

BİR CADDE-KANYON MODELİ YARDIMIYLA İZMİR KENT MERKEZİNDEKİ BAZI CADDELERDE PM₁₀ SEVİYELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Melik KARA^(*), Tolga ELBİR, Remzi SEYFİOĞLU, Abdurrahman BAYRAM, Hasan ALTIOK, Yetkin DUMANOĞLU, Anıl HEPYÜCEL

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

ÖZET

İzmir kent merkezinde kanyon tipi cadde özelliği gösteren 5 caddede (Mustafa Kemal Caddesi, Mithatpaşa Caddesi, İnönü Caddesi, Cumhuriyet Bulvarı ve Girne Bulvarı) OSPM Cadde-Kanyon modeli yardımıyla saatlik PM₁₀ seviyeleri tahmin edilmiştir. Caddelerde model çalışmaları için gerekli olan saatlik taşıt sayımları yapılmış ve meteorolojik parametreler ölçülmüştür. Caddelerdeki taşıt sayımları ile eş zamanlı olacak şekilde bir mobil ölçüm istasyonu ile dış hava kalitesi ölçümleri yapılmıştır. Model ile tahmin edilen saatlik PM₁₀ konsantrasyonları (modellenen) ve ölçüm istasyonu ile ölçülen konsantrasyonlar (ölçülen) bazı istatistikî yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda ölçülen ve modellenen değerlerin uyumluluk gösterdiği, aralarında 0,34–0,92 aralığında değişen korelasyon katsayısı (R²) ve 0,76–0,98 aralığında Uyumluluk Göstergesi (IA) değeri olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

Hourly PM₁₀ levels in five street canyons in Izmir city center (Mustafa Kemal Street, Mithatpaşa Street, İnönü Street, Cumhuriyet Avenue and Girne Avenue) were predicted by using OSPM Model. Hourly vehicle counting needed for model studies in the streets were carried out and meteorological parameters were measured. Outside air quality measurements by mobile measurement station and vehicle countings were made in a simultaneous way. PM₁₀ concentrations predicted by model and measured concentrations in measurements were evaluated by comparing. As a results of statistical analyses, it has been determined that each two data sets are well-matched, their correlation coefficient values are ranged of 0.34 - 0.92, their index of agreement values are ranged 0.76 - 0.98.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

OSPM, Cadde-Kanyon Modellemesi, Trafik, PM₁₀

GİRİŞ

Kent merkezlerindeki en önemli çevresel problemlerden birisi kent atmosferinde oluşan hava kirliliğidir. Kent merkezlerinde görülen hava kirliliğinin en önemli kaynağı, sanayi tesislerinde ve konutlarda kullanılan fosil yakıtların kontrolsüz yakılması ve trafikten

* melik.kara@deu.edu.tr

kaynaklanan diğer kirleticilerin katkısıdır. Kirliliği önemli ölçüde evsel ve endüstriyel sektörler oluştursa da bazı kirletici türleri için en az onlar kadar ulaşım sektörünün de hava kalitesine olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Özellikle karayollarında seyir halindeki motorlu taşıtların egzozlarından kent atmosferine verilen kirleticilerin bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşulları altında zaman zaman insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaştığı bilinen bir gerçektir.

Benzin ve motorin kullanan motorlarda kullanılan hidrokarbon (HC) kökenli yakıtların, ideal koşullarda hava ile tam yanması sonucu oluşan ürünler arasında karbondioksit (CO₂), su buharı (H₂O) ve azot bileşikleri (NO_x) bulunmaktadır. Ancak uygulamada ideal koşulların sağlanamaması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici bileşenler oluşmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam kirleticilerin %75'ini oluşturan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanmamış hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar, karbonmonoksit (CO), NO_x, kükürtdioksit (SO₂), kurşun bileşikleri ve partikül maddeler (PM) bulunmaktadır (Alkaya ve Yıldırım, 2000). Benzinli motorlarda CO ve yanmadan kalan HC, dizel motorlarda ise NO_x, SO₂ ve PM en önemli yeri tutmaktadır.

Ayrıca motorlu taşıt egzoz emisyonları, CO₂, metan (CH₄)ve nitröz oksit (N₂O) gibi birçok sera gazını da ihtiva ettiği için yer kürenin ısınmasında önemli rol oynar. Kurşun, asbest ve klima sistemlerinde ozon tabakasını inceltici madde olarak kullanılan kloroflorokarbonlar diğer zararlı emisyonları teşkil ederler. Bu emisyonlar, yakıt bileşimleri ve yakıt katkı maddeleri ile ilişkili olduğu kadar, yanmamış yakıt ve tam olmayan yanma ile ilgilidir. Bunun yanında yakıt dağıtımı, depolanması, taşıtların depolarına doldurulması ve taşıtların seyri sırasındaki buharlaşma kayıplarından oluşan emisyonlar da sayılmalıdır.

Trafikten kaynaklanan kirleticilerin etkisi genellikle kent merkezlerinde ve trafiğin yoğun olarak aktığı ana arterlerde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle trafikten kaynaklanan hava kirliliğini belirleme çalışmaları kent merkezlerinde ve daha çok büyük cadde yakınlarında gerçekleştirilmektedir (Zhou ve Levy, 2008; Mensink ve Cosemans, 2008). Sadece trafikten kaynaklanan kirliliği belirlemek amacıyla özel modelleme teknikleri kullanılmaktadır. (Berkowicz vd., 2008). Bunların başında da Cadde-Kanyon modellemesi gelmektedir.

Cadde-Kanyon terimi genellikle her iki kenarı yüksek binalarla çevrili nispeten dar caddeler için kullanılan bir terimdir (Vardoulakis vd., 2003). Cadde-Kanyon modelleri ise, sözkonusu caddeler içerisinde rüzgârın oluşturacağı hava dolaşımının etkisiyle araç egzozlarından salınan kirletici emisyonlarının cadde içerisindeki dağılımının ve istenen herhangi bir noktadaki konsantrasyonlarının belirlenmesini sağlayan modellerdir.

Bir Cadde-Kanyon modeli ile çalışabilmek için bazı temel verilere ihtiyaç vardır. Bunlar; meteoroloji verileri, cadde geometrisi, alıcı noktanın yeri ve trafik hacmi olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra detaylı bir trafik bilgisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca hesap yapılacak caddedeki trafik yoğunluğu, araç filosu kompozisyonu, ortalama araç hızları ve araç sayıları bilinmelidir. Cadde-Kanyon uygulamalarında kullanılmakta olan çok sayıda basit ya da gelişmiş modelleme yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımlar hava kalitesi yönetimi, trafik yönetimi, şehir planlaması, gözlemlenen verilerin yorumlanması, kirlilik tahminlerinin yapılması, kirliliğe maruz kalma incelemeleri gibi faaliyetlerde yararlı bir şekilde kullanılmaktadırlar (Vardoulakis, 2003).

Kanyon tipi caddelerdeki kirleticileri belirlemek için birçok araştırmacı, Danimarka Ulusal Çevre Araştırma Enstitüsü, Atmosferik Çevre Birimi tarafından geliştirilmiş bir Cadde-Kanyon modeli olan OSPM (Operational Street Pollution Model) modelini etkili bir şekilde kullanmıştır (Berkowicz, 2008; Assael, 2008; Kukkonen, 2001a, 2003; Ghenu, 2008). Bu model diğer Cadde-Kanyon modellerine kıyasla daha basit olup aynı zamanda kabul edilebilir sonuçlar üretebilmektedir (Berkowicz, 2008).

Kukkonen (2001) OSPM modelini kullanarak Helsinki’de bulunan bir kanyon tipi caddede NO_x , NO_2 ve CO seviyelerini tahmin etmiştir. Çalışmada ölçülen ile modellenen değerler arasında gayet iyi istatistiksel değerler elde etmiştir. Yine benzer şekilde Ghenu (2008) ve Berkowicz (2008) ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda OSPM modelini kanyon tipi caddelerdeki kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanmışlardır. Bu çalışmaya benzer bir çalışmada Assael (2008) tarafından Yunanistan’ın tarihi bir kenti olan Thessalonika’daki, PM_{10} konsantrasyonlarını belirlemek için OSPM modelinden yararlanılmıştır. Çalışmada modellenen PM_{10} konsantrasyonları ile ölçülen PM_{10} konsantrasyonları arasında bir uyum olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı; İzmir kent merkezinde yer alan kanyon tipi caddelerde saatlik PM_{10} seviyelerini OSPM modeli yardımıyla tahmin etmektir.

MATERYAL VE METOD

Ölçüm Yapılan Caddeler ve Ölçüm Dönemleri

Bu çalışma İzmir kent merkezinde yer alan trafiğin yoğun olduğu kanyon görünümündeki 5 ana cadde için gerçekleştirilmiştir.

Kanyon tipi caddeler, caddenin geometrik yapısına göre simetrik veya asimetrik olarak ikiye ayrılmaktadır (Vardoulakis, 2003). Simetrik caddeler, caddenin her iki tarafındaki bina yükseklikleri aynı olan ve görünüm olarak tam bir kanyon yapısında iken asimetrik caddelerde caddenin her iki tarafında farklı yüksekliklere sahip binalar olabilmektedir. Bu çalışmada da, caddeler bu şekilde kategorize edilerek değerlendirilmiştir. Simetrik caddeler Cumhuriyet Bulvarı ve Girne Bulvarı iken asimetrik olanlar ise Mustafa Kemal Caddesi, Mithatpaşa Caddesi ve İnönü Caddesi’dir. Bu caddelerden birer görüntü Şekil 1’de verilmektedir. Caddelerdeki çalışma dönemleri ise Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Modelleme ve ölçüm çalışmalarının yapıldığı zaman aralıkları

Cadde İsmi	Çalışma Dönemleri
Mustafa Kemal Caddesi	5–11 Kasım 2007
Cumhuriyet Bulvarı	24–30 Aralık 2007
Girne Bulvarı	21–27 Ocak 2008
Mithatpaşa Caddesi	18–24 Şubat 2008
İnönü Caddesi	3–9 Mart 2008



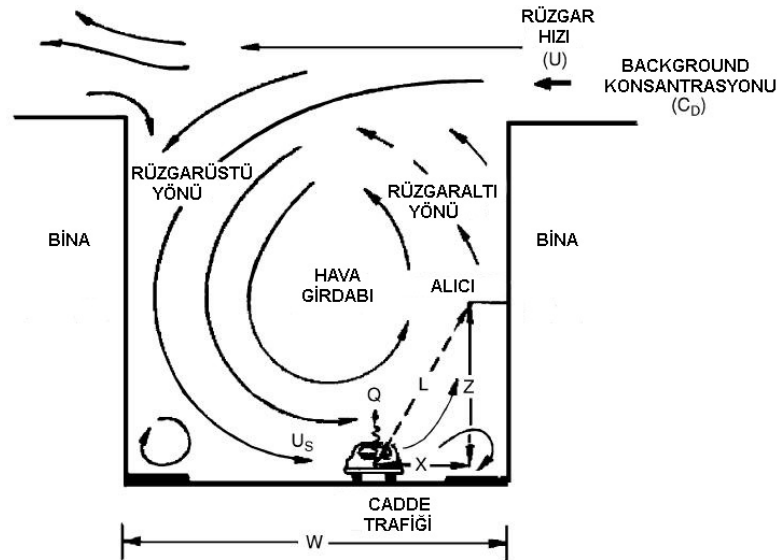
Şekil 1. Çalışmada Cadde-Kanyon modellemesi yapılan caddelerden görüntüler

Caddelerde modelleme çalışmaları için öncelikle taşıt sayılarının türlerine göre kategorize edilerek saatlik bazda belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için caddelerde yukarıda belirtilen dönemlerde taşıtlar 4 kategoriye (motosiklet, otomobil, kamyonet+minibüs ve kamyon+otobüs) ayrılarak sayımları gerçekleştirilmiştir. Taşıt sayımları için bir seyyar sayım sistemi kullanılmıştır. Seçilen caddelerde hareket halindeki araçların sayımları Metrocount firmasının “Vehicle Classifier System – 5600 Series” cihazları ile yapılmıştır. Bu cihazlar yol üzerine yerleştirilen pnömatik (havalı) hortumlar üzerinden geçen taşıtların hava basıncı etkisiyle sayılması ve sınıflandırılması esasına dayanan taşınabilir (seyyar) otomatik sayım ve sınıflandırma cihazlarıdır. Bu cihazları ülkemizde T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü çeşitli devlet karayollarında 1056 noktada başarı ile kullanmaktadır (KGM, 2008).

OSPM (Operational Street Pollution Model) Modeli

OSPM modeli, Hertel ve Berkowicz (1989) tarafından geliştirilen cadde kanyonlarında akım ve yayılma şartlarının basitleştirilmiş bir tanıma dayandırıldığı pratik bir cadde kirlilik modelidir. OSPM modeli, egzoz gazı emisyonlarının ve cadde içi hava kalitesinin hesaplanmasında iki farklı yaklaşım kullanır. Birinci yaklaşım, taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazlarının cadde içindeki dağılımını hesaplamada geleneksel duman dağılımı eşitliklerinin kullanılmasıdır. İkincisi ise cadde içinde zamanla biriken kirletici miktarlarının hesaplanmasında bir kutu modeli yaklaşımının kullanılmasıdır.

OSPM'nin önemli bir özelliği caddedeki türbülansı modelleyebilmesidir. Cadde içerisinde oluşan türbülansın iki kısımdan oluştuğu kabul edilir. Birinci kısım rüzgâr hızına bağlı oluşan dış ortam türbülansı, ikinci kısım ise cadde trafiğinin oluşturduğu iç türbülanstır. Rüzgâr hızının düşük olduğu durumlarda ikinci türbülans tipi daha baskın olmaktadır. Böyle durumlarda genellikle cadde içerisinde yüksek konsantrasyonlarda kirlilik oluşmaktadır. Şekil 2'de bir kanyon tipi caddede meydana gelen hava hareketleri görülmektedir.



Şekil 2. Bir kanyon tipi caddede oluşan hava hareketleri

Model tarafından ortalama saatlik konsantrasyonlar rüzgar hızının azalması ile kirliliğin arttığı kabulüne dayandırılarak hesaplanır. Cadde trafiğinden kaynaklanan direk katkı aşağıda verilen eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{w \sigma_w} \ln \left[\frac{\sigma_z(x)}{h_0} \right] \quad (1)$$

Burada; C_d ; trafikten gelen katkı ($g \text{ m}^{-3}$), Q ; cadde içerisindeki emisyon miktarı ($g \text{ m}^{-1} \text{ sn}^{-1}$), $\sigma_z(x)$; düşey dağılım parametresi (m), σ_w ; cadde içinde havanın dolaşım hızı (m sn^{-1}) ve h_0 ; duman yükselmesi (m) (2 ~ 4 m rüzgâr hızına bağlı olarak) 'dir.

Modelin saatlik konsantrasyonları hesaplamak için kullandığı diğer bir mekanizma da cadde içerisindeki türbülansın meydana gelen düşey dağılımlardır. Düşey dağılım aşağıdaki eşitlikle (2) ifade edilir.

$$\sigma_z(x) = \sigma_w \frac{x}{U_b} + h_0 \quad (2)$$

Burada; $\sigma_z(x)$; düşey dağılım parametresi (m), x ; rüzgârın geldiği yöndeki yatay mesafe (m) ve U_b ; rüzgâr hızı (m sn^{-1})'dir.

Cadde içerisinde çevrimlenen kirleticilerin katkısı basit bir kutu modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Kanyon içerisindeki hava sirkülasyonunun bir trapez görünümüne sahip olduğu ve en yüksek kenarın maksimum uzunluğunun hava sirkülasyonunun yarısı olduğu kabul edilir. Çevrim içerisindeki hava dolaşımını trapezin kenarları boyunca hareket etmekte olup ancak rüzgârın gittiği yönde herhangi bir kenarı kesen bir binanın varlığıyla akım engellenebilir (Kukkonen, 2001).

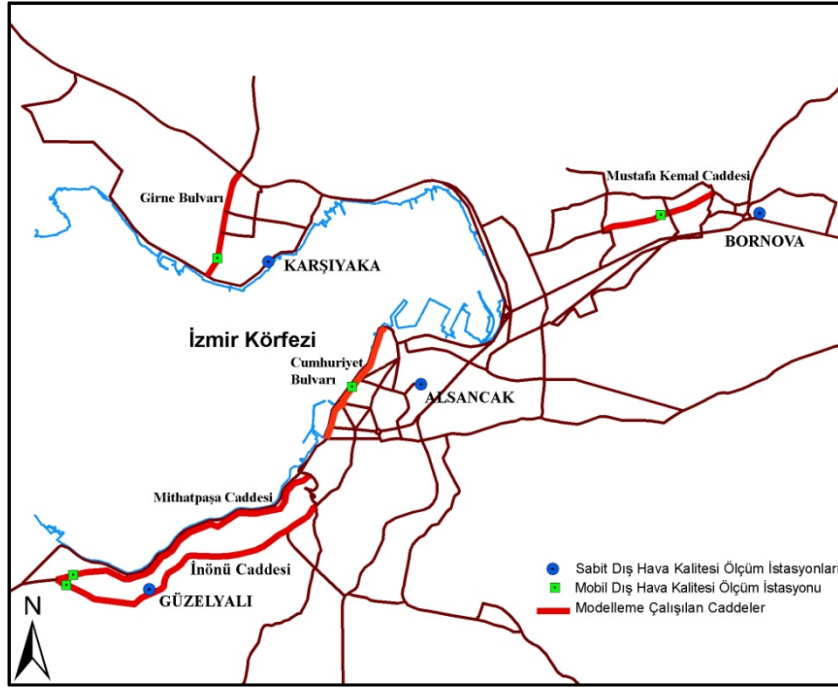
OSPM modeli birer saatlik veriler ile çalışmak üzere dizayn edilmiştir. Modelin çalışması için gerekli olan veriler saatlik olarak rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ve global radyasyon miktarıdır. Sıcaklık ve global radyasyon NO-NO₂-O₃ arasındaki dönüşümlerin hesaplanmasında kullanılır. Model bunun yanı sıra modellenen kirletici miktarları için o kirleticilere ait bölgedeki saatlik background konsantrasyonlarına da gereksinim duymaktadır. Model saatlik girdi parametrelerinin yanında modelleme yapabilmek için cadde geometrisi ve cadde trafik verilerine de gerek duymaktadır.

Dış Hava Kalitesi Ölçümleri

Modelin çalışmasında gerekli olan diğer bir önemli parametre çalışılan yoldaki trafik emisyonlarından etkilenmeyen bir noktada şehir havasında mevcut olan kirletici konsantrasyonlarının (background konsantrasyon) miktarlarıdır. Buradaki temel prensip cadde içerisindeki toplam kirletici konsantrasyonlarını hesaplarken trafikten kaynaklanan konsantrasyonlara ilave olarak meteorolojik faaliyetlerle cadde içerisine giren şehir atmosferindeki kirletici konsantrasyonlarını da hesaba katabilmektir. Bu nedenle OSPM ile modelleme çalışmaları yapılırken çalışılacak kirleticiye ait background konsantrasyonlarının da ölçülerek modele girdi olarak verilmesi gerekmektedir.

Model yardımıyla modellenen PM₁₀, konsantrasyonlarına ait background konsantrasyon değerleri İzmir Büyükşehir Belediyesine ait şehir merkezindeki SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonu seviyelerinin sürekli izlendiği bir dış hava kalitesi izleme ağından elde edilmiştir. Şehirdeki hava kalitesi izleme ağı dört adet sabit ölçüm istasyonundan oluşmaktadır. Bu istasyonlar

şehir merkezinde Bornova, Güzelyalı, Karşıyaka ve Alsancak bölgelerinde yer almaktadır. Şekil 3'te sabit ölçüm istasyonlarının caddelere göre konumları verilmektedir.



Şekil 3. Mobil ve sabit dış hava kalitesi ölçüm istasyonlarının yerleşimleri

Modelleme sonuçlarının doğruluğunun belirlenmesi ve caddelerdeki mevcut kirliliği ortaya çıkarabilmek için de caddelere belirtilen dönemlerde mobil ölçüm istasyonu yerleştirilmiştir. Bu mobil ölçüm istasyonu sayesinde caddelerdeki kirletici konsantrasyonları saatlik olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan mobil ölçüm istasyonu; SO₂, CO, NO-NO₂-NO_x, PM₁₀, ozon (O₃), hidrokarbon (metan ve metan dışı toplam hidrokarbon), nem, sıcaklık, basınç, rüzgâr yönü ve hızı gibi parametreleri caddelerde sürekli ölçmüştür.



Şekil 4. Cumhuriyet Bulvarı'na yerleştirilen mobil ölçüm istasyonu

Mobil ölçüm istasyonu taşıt sayımı yapılan caddelerde yol ile arasında engel olmayacak şekilde taşıtların etkisinin doğrudan izlenebileceği yola yakın ve gün boyu güvenliğinin sağlanabildiği ve elektrik ihtiyacının karşılanabileceği bir noktaya yerleştirilmiştir. Mobil istasyon, ölçüm noktalarında bir hafta içindeki günlük ve saatlik değişimleri görebilmek için yaklaşık 10 gün boyunca sürekli olarak işletilmiştir. Şekil 4'te Cumhuriyet Bulvarı'nda mobil ölçüm istasyonu çalışırken görülmektedir.

Meteoroloji verileri

OSPM modelinin çalışması için gerekli olan meteorolojik veriler T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait İzmir Güzelyalı istasyonundan ve bu çalışma için kullanılan mobil ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. Model için girdi verisi olarak istenen saatlik sıcaklık, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametreleri mobil istasyondan sağlanırken, global radyasyon parametresi ise Güzelyalı istasyonu verilerinden elde edilmiştir.

İstatistiksel Parametreler

Çalışmada modellenen konsantrasyonlar ile ölçülen konsantrasyonlar arasındaki uygunluğu test etmek için istatistiksel parametreler olarak Korelasyon Katsayısı (R^2), Uyumluluk Göstergesi (IA), Ortalama Kesirsel Hata (RMSE) ve Kesirsel Yanlılık (BIAS) incelenmiştir. Uyumluluk Göstergesi ve Korelasyon Katsayısı iki farklı veri dizisinin birbiri ile olan uyumluluğunu hesaplayan bir parametre iken, Kesirsel Yanlılık ise ortalama değerlerin uyumluluğunun bir ölçüsüdür (Elbir, 2003).

Bu parametreler aşağıda tanımlanmaktadır, Uyumluluk Göstergesi (IA);

$$IA = 1 - \frac{(\overline{Cp-Co})^2}{[|\overline{Cp-Co}| + |\overline{Co-Co}|^2]} \quad (3)$$

Korelasyon Katsayısı (R);

$$R = \left[\frac{(\overline{Co-Co})(\overline{Cp-Cp})}{\sigma_o \sigma_p} \right] \quad (4)$$

ve Kesirsel Yanlılık (BIAS);

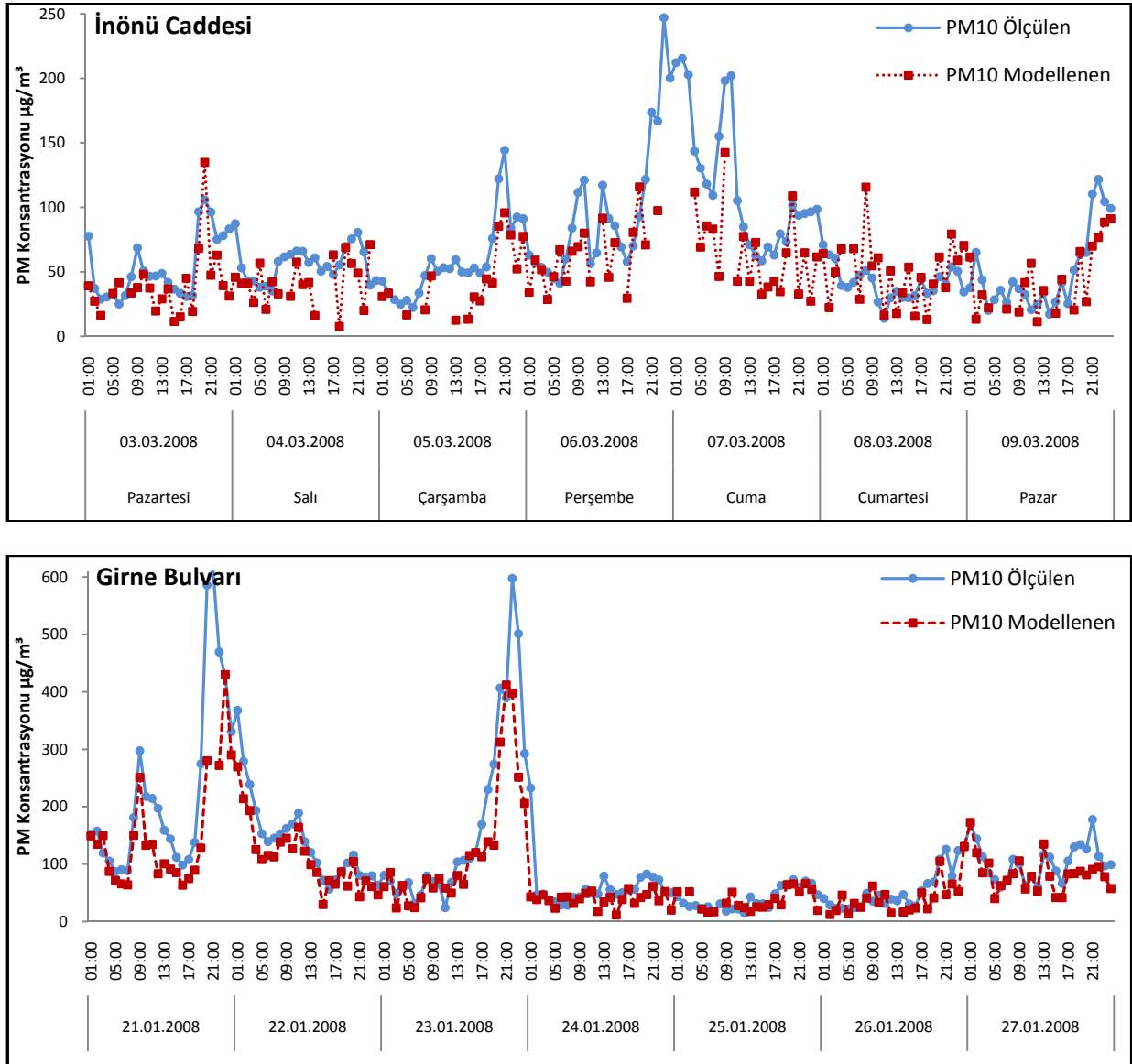
$$FB = \frac{\overline{Cp-Co}}{0,5 (\overline{Cp+Co})} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitlik 3, 4 ve 5'te yer alan Cp ve Co tahmin edilen ve ölçülen değerlerdir, σ_p ve σ_o sırasıyla tahmin edilen ve ölçülen değerlerin standart sapmasıdır. Eşitliklerdeki üst çizgi ise tüm değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

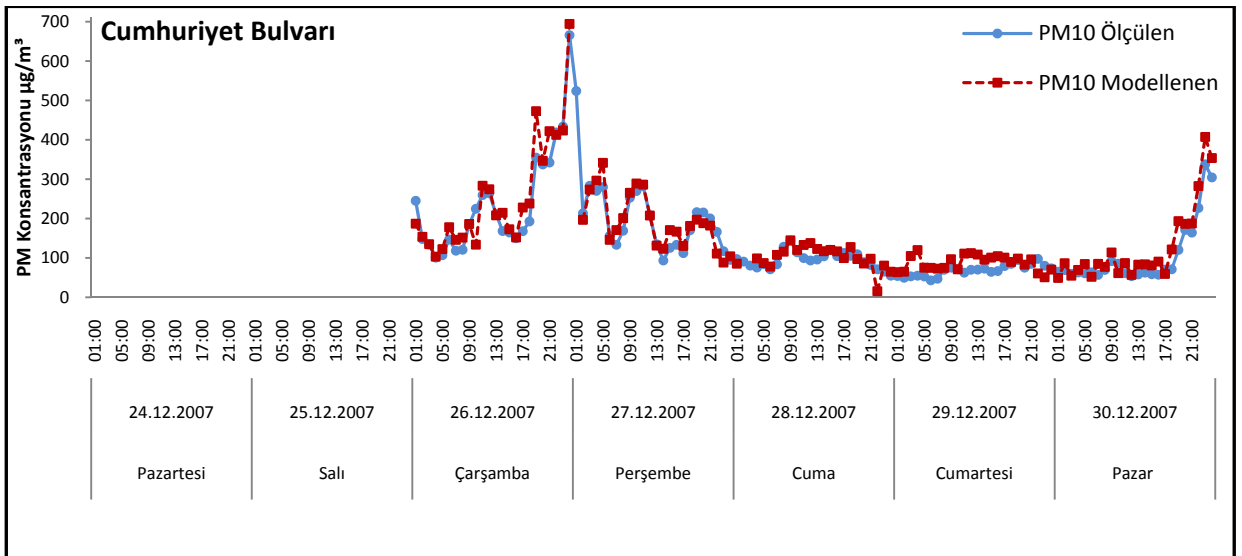
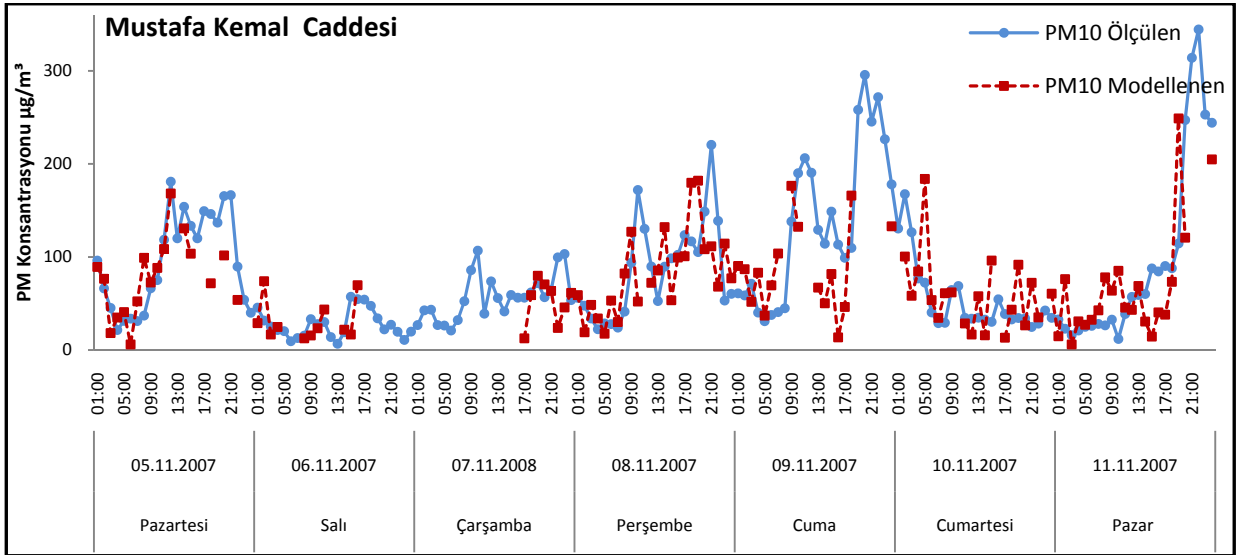
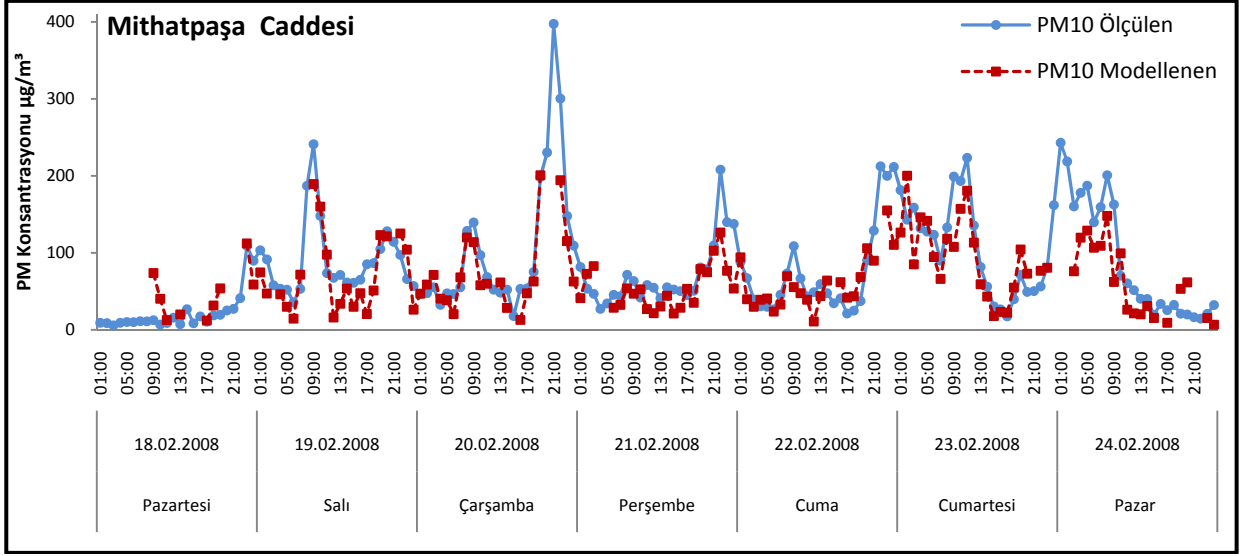
Uyumluluk Göstergesi ve Korelasyon Katsayısı değerleri 0,0 ila 1,0 arasında değişmektedir. 1,0 değeri veriler arasındaki uyumun mükemmel olduğunun göstergesidir. Kesirsel Yanlılık ise 0,0 değerine ne kadar yakınsa o kadar iyi sonuçlar üretilmiş anlamına gelmektedir.

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında kanyon özelliği gösteren 5 adet caddede ölçülen PM₁₀ konsantrasyonları ile OSPM modeli yardımıyla modellenen PM₁₀ konsantrasyonları kıyaslanmıştır. Caddelerin her birisinde saatlik ölçülen ve modellenen PM₁₀ konsantrasyonları Şekil 5'te gösterilmektedir. Buna göre modellenen ile ölçülen sonuçların birlikte değişimi görülmektedir. Modellenen konsantrasyonlar ile ölçülen konsantrasyonlar sabah ve akşam pikleri de dâhil olmak üzere aynı salınımı takip etmektedir. Bu da ölçülen ve modellenen değerler arasında bir uyumun olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Modellenen PM ile ölçülen PM konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri



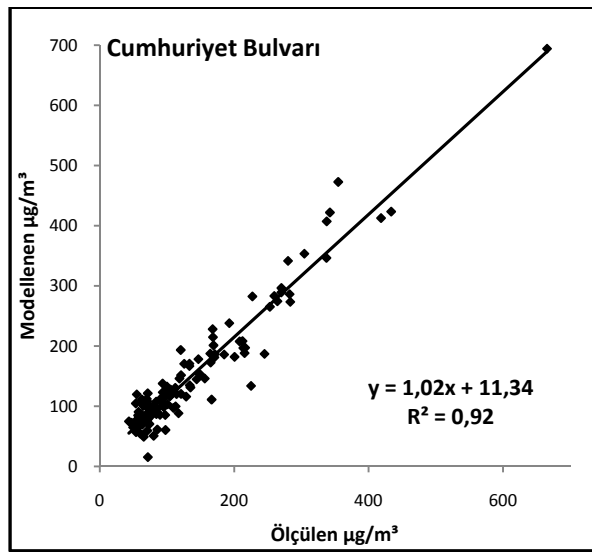
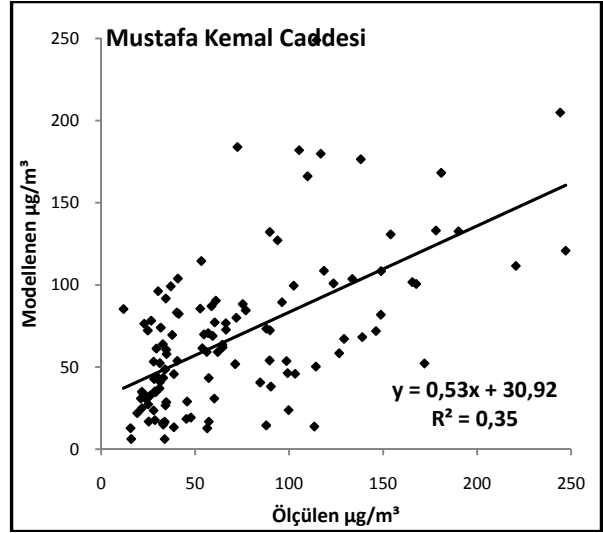
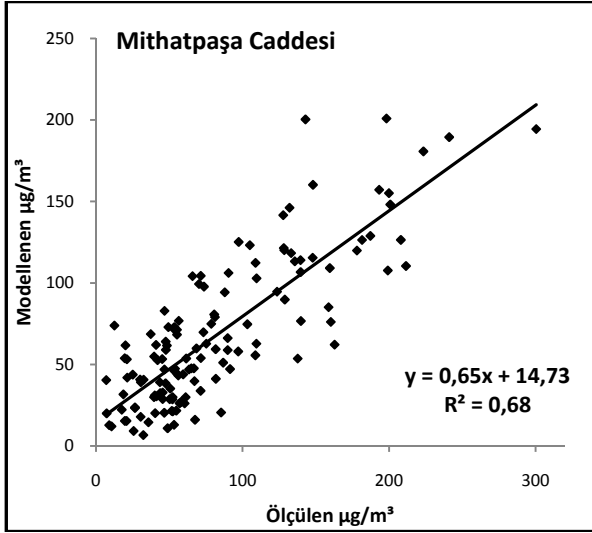
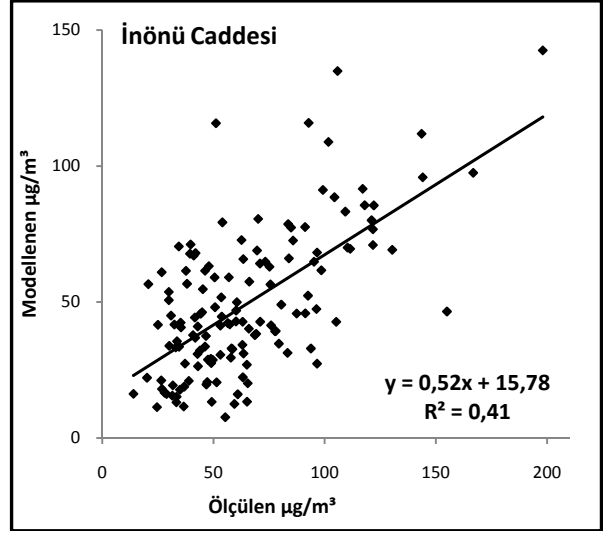
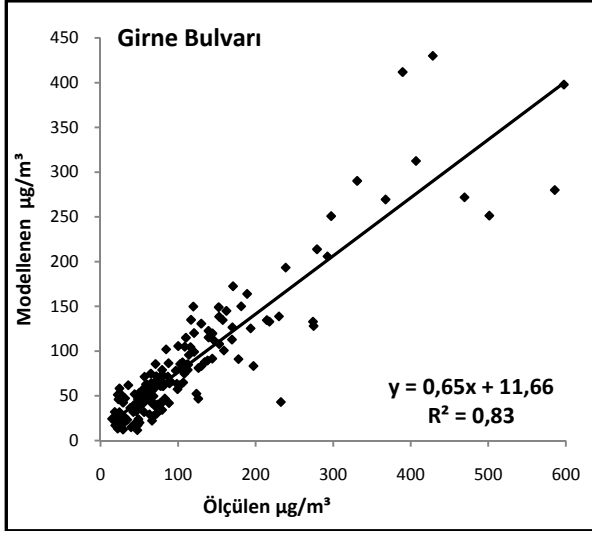
Şekil 5. Modellenen PM ile ölçülen PM konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri

Bu kıyaslama sonucunda elde edilen sonuçların kullanılan istatistiksel parametrelerden yola çıkılarak gayet tatminkâr olduğu söylenebilir. Çalışma sonucunda en iyi sonuç 0,92 Korelasyon Katsayısı ile Cumhuriyet Bulvarında bulunurken ikinci en iyi sonuç 0,83 değeri ile Girne Bulvarında elde edilmiştir. Diğer caddelerde ise 0,68, 0,41 ve 0,34 değerleri bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı caddelerdeki PM₁₀ konsantrasyonlarının modellenen ve ölçülen değerleri arasındaki bu korelasyon ilişkileri Şekil 6'da verilmektedir ve şekil incelendiğinde bazı caddelerde mükemmel denilebilecek kadar iyi korelasyon katsayılarının yakalandığı görülmektedir. Diğer caddelerde bu kadar iyi sonuçların elde edilememesinin nedeni olarak modellemelerde kullanılan background konsantrasyonlarının çalışma yapılan bölgeyi yeterince temsil etmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışılan caddelerde en iyi sonuçların bulunduğu Cumhuriyet ve Girne Bulvarlarının yapısal olarak tam bir kanyon görünümünde olduğu, diğer caddelerin ise yapısal olarak yarı kanyon tipinde yani caddenin bir tarafında yüksek binalar bulunurken diğer kenarında kısmen açıklıkların olduğu düşünülürse modelin tam kanyon tipi caddelerde daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Modellenen PM₁₀ konsantrasyonları ile ölçülen PM₁₀ konsantrasyonları arasında elde edilen istatistiksel bulgular Tablo 2'de yer almaktadır. Buna göre 5 cadde için korelasyon katsayısı (R²) 0,34 ila 0,92 aralığında bulunurken Uyumluluk Göstergesi (IA) ise 0,76 ila 0,98 aralığında elde edilmiştir. Bu değerlerin 1,0 değerine yakınsaması sonuçlar arasındaki uyumun iyi olduğunun göstergesidir. Benzer çalışmada Asseal ve arkadaşları (2008), modellenen ile ölçülen değerler arasındaki IA değerini PM₁₀ konsantrasyonu için 0,65 olarak elde etmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara diğer istatistiksel performans değerlendirme kriterleri olan RMSE ve BIAS uygulanmıştır. BIAS değerleri 5 cadde için -0,28 ila 0,09 aralığında bulunmuştur. İyi bir sonuç için BIAS değerinin 0,0 değerine yakın olması gerekmektedir. Çalışmada ise tüm caddelerde 0,0 değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yine Asseal (2008) tarafından yapılan çalışmada bu değer -0,36 olarak elde edilmiştir.

Modellenen değerler ile ölçülen değerler arasındaki ilişkide ölçülen konsantrasyonların modellenen konsantrasyonlardan çoğu kez yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bunun birinci nedeni model çalışmalarında kullanılan background konsantrasyonlarının çalışma yapılan bölgeyi yeterince temsil etmemesi, ikinci olarak ise cadde içerisinde mobil istasyon ile ölçümün yapıldığı anlarda istasyon yakınlarında gerçekleşen bazı aktivitelerden dolayı (örneğin bazı araçların yol kenarında rölantide beklemeler yapması, trafiğin sıkışarak beklenenden yavaş akması gibi) ölçüm sonuçlarının daha yüksek bulunduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak kanyon tipi caddelerde trafikten kaynaklanan hava kalitesinin belirlenmesinde OSPM modelinin iyi bir araç olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Çalışılan caddelerdeki PM₁₀ konsantrasyonlarının modellenen ve ölçülen değerlerinin kıyaslaması

Tablo 2. Modelleme yapılan 5 caddeye ait PM konsantrasyonlarının saatlik modellenen ve ölçülen değerlerinin istatistiksel analizleri

	Girne Bul.		Cumhuriyet Bul.		İnönü Cad.		Mustafa Kemal Cad.		Mithatpaşa Cad	
	Ölçülen	Model.	Ölçülen	Model.	Ölçülen	Model.	Ölçülen	Model.	Ölçülen	Model.
Ortalama	111,9	84,4	138,7	152,6	64,6	49,1	72,0	68,7	81,9	67,8
Maksimum	597,5	430,1	665,6	694,2	198,1	142,5	247,1	249,0	300,5	201,0
Standart Sapma	104,4	74,3	98,6	104,5	32,7	26,5	51,7	46,2	57,0	44,8
Gözlem Sayısı	162		117		139		116		134	
Uyumluluk Göstergesi (IA)	0,91		0,98		0,74		0,76		0,87	
Korelasyon Katsayısı (R ²)	0,83		0,92		0,41		0,34		0,68	
Sistemik RMSE ¹	45,70		50,92		16,52		23,72		26,74	
Sistemik Olmayan RMSE	29,98		69,10		21,67		39,81		25,50	
Toplam RMSE	54,66		85,86		27,26		46,34		36,95	
Kesirsel Yanlılık (F. BIAS) ²	-0,28		0,09		-0,27		-0,05		-0,19	

¹ RMSE; Verilerin yanlılığını gösteren ortalama karesel hata değeridir.

² F. BIAS; Ortalama tahmin edilen ile ölçülen değerler arasındaki uyumluluğun bir ölçüsüdür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 106Y009 nolu araştırma projesi kapsamında hazırlanmıştır. Çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK ve İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Alkaya, B. ve Yıldırım, B. Taşıt kaynaklı kirleticileri azaltma yöntemleri, *Ekoloji Dergisi*, 34 (9) 15-20, 2000.

Assael, M.J., Delaki, M. ve Kakosimos, K.E. Applying the OSPM model to the calculation of PM₁₀ concentration levels in historical centre of the city of Thessaloniki, *Atmospheric Environment*, 42, 65-77, 2008.

Berkowicz, R., Ketzler, M., Jensen, S.S., Hvidberg, M. ve Raaschou-Nielsen, O. Evaluation and Application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations, *Environmental Modeling & Software*, 23, 296-303, 2008.

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

Ghenu, A., Rosant, J.M. ve Sini, J.F. Dispersion of pollutants and estimation of emissions in a street canyon in Roune, France, *Environmental Modeling & Software*, 23, 314-321, 2008.

Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Walden, J., Kartastenpaa, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. ve Berkowicz, R. Evaluation of The OSPM Model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg street, Helsinki, *Atmospheric Environment*, 37, 1101-1112, 2003.

Kukkonen, J., Valkonen, E., Walden, J., Koskentalo, T., Aarnio, P., Karppinen, A., Berkowicz, R. ve Kartastenpaa, R. A measurement campaign in a street canyon in Helsinki and comparison of results with predictions of the OSPM Model, *Atmospheric Environment*, 35, 231-243, 2001.

Mensink, C. ve Cosemans, G. From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards, *Environmental Modeling & Software*, 23, 288-295, 2008.

National Environmental Research Institute, Denmark. <http://ospm.dmu.dk>

Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Pericleous, K. ve Gonzales-Flesca, N. Modeling air quality in street canyons: a review, *Atmospheric Environment*, 37, 155-182, 2003.

Zhou, Y. ve Levy, J.I. The Impact of urban street canyons on pollution exposure to traffic-related primary pollutants, *Atmospheric Environment*, 42, 3087-3098, 2008.