

## ESKİŞEHİR BÖLGESİNDEKİ BİR ÇİMENTO FABRİKASI EMİSYONLARININ DAĞILIMININ İNCELENMESİ

**Pınar SONKURT, Emre CAN, Eftade O. GAGA(\*), Ozan Devrim YAY**

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,  
Tepebaşı/Eskişehir

### ÖZET

Bu çalışmada, Eskişehir ÇİMSA Çimento Fabrikası kaynaklı kirleticilerin dağılımını "Industrial Source Complex" (ISCST3) modeli ile incelenmiştir. Bunun için, kaynaktan çıkan kirleticiler ve kaynağın baca verileri, ayrıca bölgenin meteorolojik koşulları ve topoğrafya yapısı ile ilgili bilgiler derlenmiştir. Topoğrafya verisi için USGS Earth Explorer veri tabanındaki GMTED2010 veri seti kullanılmış ve Coğrafi Bilgi Sisteminde 1 km'lik çözünürlük için yeniden örneklenmiştir. Meteorolojik veriler, PCRAMMET meteorolojik ön işlemci yardımıyla hazırlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı yardımıyla kirleticilerin Eskişehir ili üzerindeki dağılımı görselleştirilmiştir.

Yağışın varlığının ve topoğrafyanın etkisi zaman zaman bu tür çalışmalarda göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada yağışın ve topoğrafyanın etkisinin modele dâhil edilip edilmemesinin sonuçlara etkisi incelenmiştir. Özellikle topoğrafyanın etkisinin göz ardı edilmesi durumunda sonuçlarda ciddi mekânsal ve sayısal hatalar olduğu gözlenmiştir. Örneğin partikül maddenin 1 saatlik maksimum ortalamaları model ile hesaplanırken topoğrafya etkisi göz önünde bulundurulduğunda en yüksek derişim  $854 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken topoğrafya etkisi göz ardı edildiğinde bu değer  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmektedir. Eskişehir'in kuzey ve güneyinde birbirine paralel bulunan yükseltiler kirleticilerin daha çok batı-doğu eksenli olarak dağılmasına ve dağılımın kuzey-güney ekseninde kısıtlanmasına neden olmaktadır.

Topoğrafya ile karşılaştırıldığında, yağışın sonuçlara etkisinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.

### ABSTRACT

In this study, dispersions of air pollutants of a cement factory named Eskişehir ÇİMSA were investigated by using "Industrial Source Complex" (ISCST3) model. For this purpose, basic input data such as emission rates of pollutants, stack parameters, meteorological and elevation data of the study area were collected. GMTED2010 data set served by USGS Earth Explorer database was used for elevation data, and it was resampled in Geographic Information System for 1km×1km resolution. PCRAMMET meteorological preprocessor was used for preparing meteorological input data. Pollutant distribution maps for Eskişehir were prepared employing Geographic Information System.

\* egaga@anadolu.edu.tr

Wet deposition estimate and elevation data are not always included in modelling studies. In this study, however, these two parameters were included to determine whether concentrations and distributions of pollutants will change. Especially, if elevations are considered, the results changed dramatically. For instance; the highest 1 hour maximum average concentration for particulate matter decreased from 854  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  when elevation data was not used. Spatial distributions of pollutants were in the west-east direction as there are parallel mountains in the north and south regions of Eskişehir.

The effect of precipitation scavenging for particulates was low compared to the effect of topography.

## ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kirliliği, Çimento Fabrikası, Modelleme, ISCST3, Topoğrafya

### 1. GİRİŞ

Artan çevre problemlerinden biri olan hava kirliliği, ekolojik dengeyi bozması, insan sağlığı ve diğer canlılar üzerindeki olumsuz etkileri ve canlı çeşitliliğinin azalmasına neden olması ile geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Dünya nüfusunun ve enerji kullanımının hızla artışı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği, dünyadaki tüm ülkeleri birbirine karşı sorumlu kılan bir kirlilik türüdür.

Endüstriyel faaliyetler hava kirliliğinin önemli sebeplerindendir. Bu çalışmaya konu olan endüstriyel faaliyet çimento üretimidir. Küresel boyutta hızla büyüyen ekonomiler için çimento önemli bir ticari üründür. Türkiye’de de inşaat odaklı bir ekonomik büyüme modeli izlendiği için çimento üretimi her geçen yıl yükselmektedir. 2013 yılı Türkiye çimento üretimi 70,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).

Çimento üretimi sırasında çıkan kirlenmeler, ham madde ve yakıtların fiziksel ve kimyasal reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Çıkış gazlarının ana bileşenleri azot ve yanma sonucu açığa çıkan fazla oksijen, karbondioksit ve sudur. Çıkış gazı, aynı zamanda toz, kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, klorürler, florürler, amonyak ve daha az miktarda organik bileşikler ve ağır metaller içermektedir (EEA, 2013).

Noktasal kaynaklardan yayılan bu kirlenmelerin mekânsal dağılımı modelleme yöntemiyle belirlenebilmektedir ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımı ile kirlilik haritaları oluşturulabilmektedir.

Kirlilik haritalarının oluşturulması geniş alanlarda hava kirliliğinin seviyesinin anlaşılabilmesi için önemlidir. Bunun sonucunda şehirlerdeki riskli bölgeler belirlenerek şehir planlaması gözden geçirilebilir ve ileride gerçekleştirilecek yatırımların (imar faaliyetleri, sanayi bölgesi kurulması vb.) yerleri seçilirken kirlilik haritaları da bir faktör olarak düşünülebilir.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir ÇİMSA Çimento Fabrikası kaynaklı azot oksit ( $\text{NO}+\text{NO}_2=\text{NO}_x$ ), karbon monoksit (CO) ve partikül madde (PM) kirlenmelerinin Eskişehir iline olan etkisi 2013 yılı için Industrial Source Complex-Short Term (ISCST-3) modeli

kullanılarak hesaplanmıştır. Topoğrafya ve yağış faktörlerinin kirleticilerin dağılımlarına ve atmosferik konsantrasyonlarına olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METHOD

### 2.1. Çalışma alanı

Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında, 29° 32' doğu boylamı ve 39° 40' kuzey enleminde yer almaktadır. Eskişehir ili alanı, yaklaşık 13653 km<sup>2</sup>' dir, kış aylarının soğuk ve yağışlı, yaz aylarının ise sıcak ve kurak geçtiği tipik karasal iklime sahiptir. İl merkezinin denizden yüksekliği ise 792 metredir.

Eskişehir ÇİMSA Çimento Fabrikası Çukurhisar ilçesinde bulunmaktadır ve şehir merkezine uzaklığı yaklaşık olarak 30 km'dir. Çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü

### 2.2. Kullanılan modelleme programı

Çimento üretimi kaynaklı kirleticilerinin modellenmesinde Amerika Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafında geliştirilen ISCST-3 modeli kullanılmıştır. ISCST-3 yatışkın hal durumu için Gauss dağılım eşitliğini temel alan, noktasal, hacimsel, alansal ve açık alan kaynaklarından oluşan kirliliği hesaplayabilen Lagrange tipi bir modeldir (USEPA, 1995). Modelde emisyon kaynakları tek olarak ya da grup olarak belirlenebilir. Modelde gaz ya da partikül maddeler için yağ ya da kuru çökeltmenin hesaplanması, topoğrafya bilgisinin kullanılması, dağılımı etkileyebilecek faktörlerin hesaba katılması (örneğin; kaynağın yanında bulunan yüksek bir bina) gibi bir çok opsiyon bulunmaktadır. Bu çalışmada zorunlu girdilerin dışında topoğrafya ve yağış verisi de opsiyonel olarak kullanılmıştır.

### 2.3. Kullanılan modelin girdi verileri

Hava kirliliği modelleri için iki temel girdiye ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi emisyon kaynağı ile ilgili bilgilerdir. Çimento fabrikasındaki iki döner fırın bacası emisyon kaynakları olarak alınmıştır, bu iki kaynağın özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Çimento fabrikası emisyon kaynakları bilgileri

	1 Nolu Döner Fırın Bacası	2 Nolu Döner Fırın Bacası
PM (ton yıl <sup>-1</sup> )	121,4	124,4
NO <sub>x</sub> (ton yıl <sup>-1</sup> )	8375,8	8375,8
CO (ton yıl <sup>-1</sup> )	1058,6	1058,6
Baca yüksekliği (m)	60	108
Baca çapı (m)	2,9	3
Baca gazı çıkış sıcaklığı (°C)	91,4	128
Baca gazı çıkış hızı (m sn <sup>-1</sup> )	11,3	9,5

İkinci temel model girdisi olan meteorolojik veriler 2013 yılı için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. ISCST-3 modeli için meteoroloji girdi dosyası kullanıcı tarafından hazırlanabileceği gibi, USEPA tarafından geliştirilmiş olan PCRAMMET ön işlemcisi de kullanılabilir. Bu çalışmada PCRAMMET ön işlemcisi kullanılmıştır. Bu işlemci için iki adet girdi dosyası gerekmektedir. İlki saatlik rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, bulut kapallılığı ve bulut tavan yüksekliğini içerir; ikincisi ise sabah ve öğlen saatlerindeki karışma yüksekliklerini içeren dosyadır (USEPA, 1999). Bu asgari girdilere ek olarak; yağış ile partikül madde konsantrasyonu ilişkisini belirlemek için yağış verisi de ilk dosyaya eklenmiştir. PCRAMMET ön işlemcisi bu girdileri kullanarak saatlik karışma yüksekliklerini, atmosferik kararlılık sınıflarını hesaplar ve meteorolojik veriyi ISCST-3 modeli için uygun formata getirir.

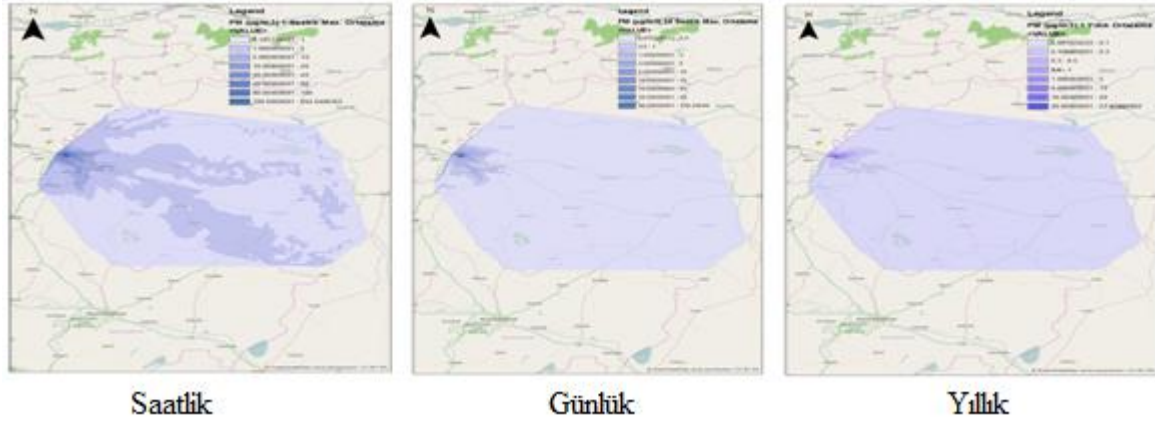
Kirlilik dağılımın topoğrafya ile ilişkisini belirlemek için Eskişehir ilinin yükselti bilgileri USGS Earth Explorer veri tabanında bulunan GMTED2010 veri setinden alınmıştır (USGS Earth Explorer, 2015). Alınan bu topoğrafya veri seti CBS yazılımı olan ArcGIS programında işlenerek model için gerekli olan alıcı noktaların yükseklikleri ve koordiantları 1km×1km çözünürlükte hesaplanmıştır. Böylelikle Eskişehir ilini kapsayacak şekilde 13734 tane alıcı nokta belirlenmiştir.

PM, NO<sub>x</sub> ve CO kirlleticilerinin 2013 yılındaki 1 saatlik maksimum, 24 saatlik maksimum ve 1 yıllık konsantrasyonları belirlenen alıcı noktalar için hesaplanmıştır. ArcGIS programında, alıcı noktalardaki konsantrasyon değerleri interpolasyon yöntemi ile tüm şehire dağıtılmış ve Eskişehir için kirlilik haritaları oluşturulmuştur. PM kirleticisi için yağış ve topoğrafya verisinin kullanılması ve kullanılmaması durumunda sonuçlarda oluşabilecek olan değişiklikler araştırılmıştır.

### 3. SONUÇLAR

#### 3.1. PM dağılımları

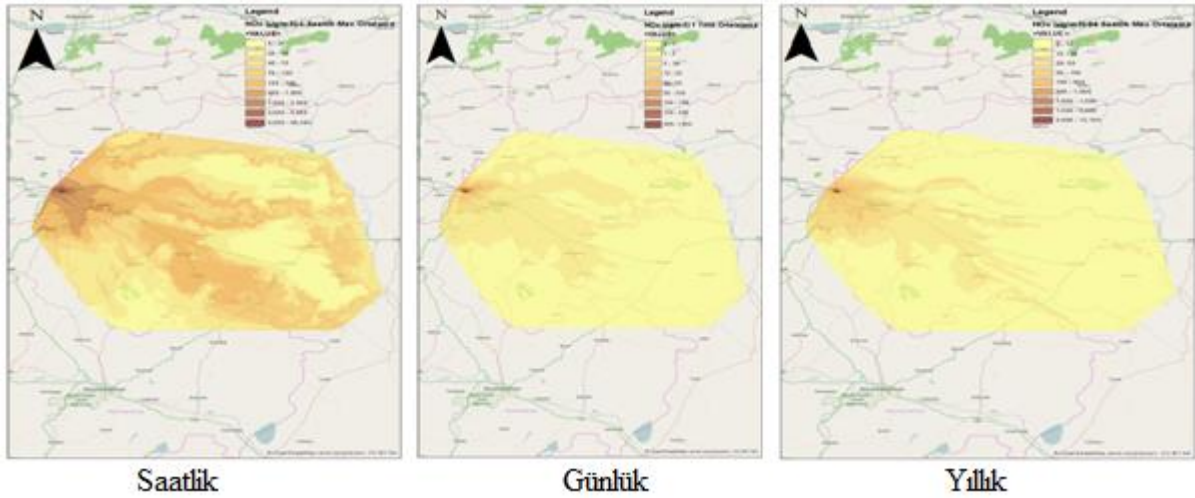
PM için saatlik, günlük ve yıllık kirlilik dağılım haritaları Şekil 2'de gösterilmiştir. Saatlik, günlük ve yıllık en yüksek ortalama değerler sırasıyla; 854,1 µg m<sup>-3</sup>, 158,2 µg m<sup>-3</sup> ve 23,7 µg m<sup>-3</sup> tür.



Şekil 2. Noktasal PM emisyonlarının saatlik, günlük ve yıllık dağılımları

### 3.2. NO<sub>x</sub> dağılımları

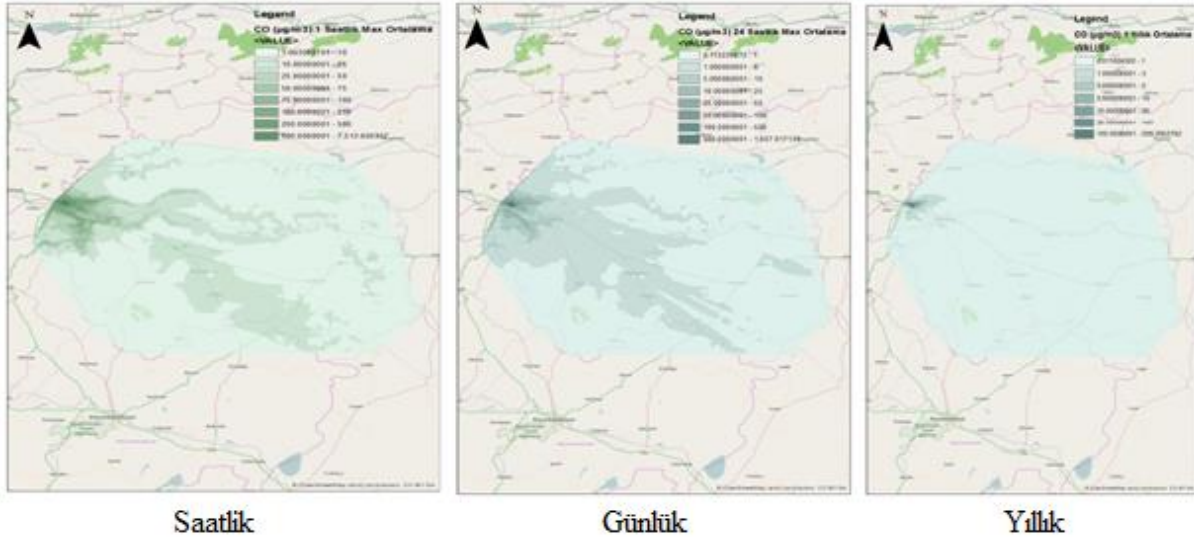
NO<sub>x</sub> için saatlik, günlük ve yıllık kirlilik dağılım haritaları Şekil 3’de gösterilmiştir. Saatlik, günlük en yüksek değerler ve yıllık ortalama değerler sırasıyla; 59393 µg m<sup>-3</sup>, 13104 µg m<sup>-3</sup> ve 1654 µg m<sup>-3</sup>’tür.



Şekil 3. Noktasal NO<sub>x</sub> emisyonlarının saatlik, günlük ve yıllık dağılımları

### 3.3. CO dağılımları

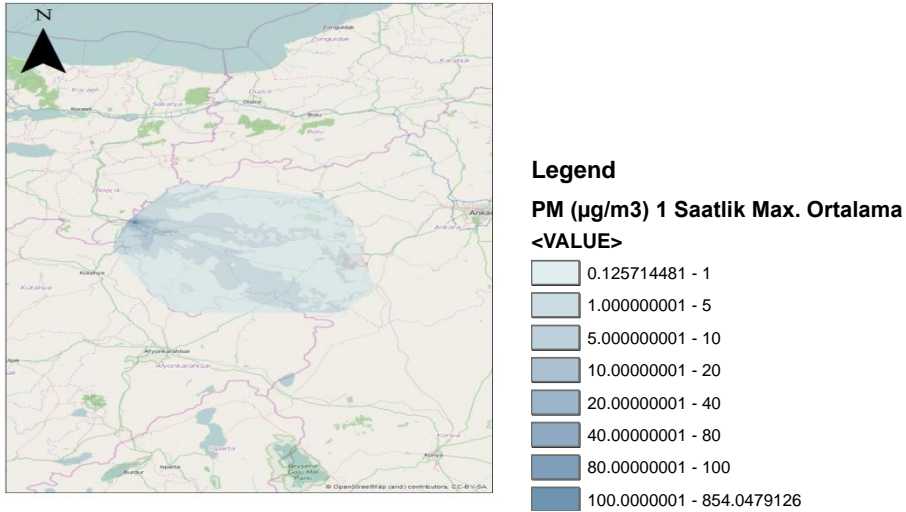
CO için saatlik, günlük ve yıllık kirlilik dağılım haritaları Şekil 4’de gösterilmiştir. Saatlik, günlük en yüksek değerler ve yıllık ortalama değerler sırasıyla; 7513,6 µg m<sup>-3</sup>, 1657,8 µg m<sup>-3</sup> ve 209,3 µg m<sup>-3</sup>’tür.



Şekil 4. Noktasal CO emisyonlarının saatlik, günlük ve yıllık dağılımları

### 3.4. PM dağılımının yağış ve topoğrafya verisi kullanılmadan hesaplanması

Yağış miktarı atmosferik kirlenmelerin dağılımını etkileyen önemli meteorolojik faktörlerden bir tanesidir. Yağış verisi kullanılmadan saatlik PM dağılımının nasıl olduğu Şekil 5’de gösterilmiştir. Bu durumda en yüksek ortalama değer  $854,1 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak bulunmuştur. Yağış faktörüne benzer şekilde topoğrafya da kirlilik dağılımını etkileyen faktörlerdendir. Bu etkiyi görebilmek için saatlik PM dağılımı topoğrafya verisi kullanılmadan hesaplanmıştır ve dağılım Şekil 6’da gösterilmiştir. Bu durumda en yüksek ortalama değer  $11,2 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Noktasal PM emisyonlarının yağış faktörü hesaba katılmadan saatlik dağılımı



#### Legend

PM (ug/m3) 1 Saatlik Max. Ortalama  
<VALUE>

0.517113984 - 1
1.000000001 - 2
2.000000001 - 3
3.000000001 - 6
6.000000001 - 11.16811657

**Şekil 6.** Noktasal PM emisyonlarının topoğrafya faktörü hesaba katılmadan saatlik dağılımı

#### 4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

PM, NO<sub>x</sub> ve CO kirleticilerinin saatlik dağılımına baktığımızda batı-doğu ekseninde bir dağılımın olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü Eskişehir'in kuzeyi Sündiken ve Bozdağ, güneyi ise Türkmen ve Emirdağ dağları ile çevrilmiştir.

Topoğrafya hesaba katılmadan yapılan modelleme çalışmasının hem kirletici konsantrasyonu hem de dağılım açısından ne kadar yanıltıcı olduğu model sonuçlarında görülmektedir.

PM dağılımı için yağış faktörünün etkisi incelendiğinde ise topoğrafya da olduğu gibi belirgin bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Bunun bir nedeni, model girdi verisinde istenen bazı ayrıntılara (kaynaktan çıkan partikül maddenin kütleli fraksiyonu) ulaşılamaması ve literatür verisinin kullanılmış olması olabilir

#### 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hava kirliliğinin modellenmesinde topoğrafya bilgisinin kullanılmamasının yanıltıcı sonuçlara sebep olacağı görülmüştür. Partikül maddenin kaynaktaki kütleli fraksiyonun bilinmemesi durumunda ise yağış faktörünün atmosferik konsantrasyonu ne kadar etkilediği açıkça görülememektedir.

#### KAYNAKLAR

EEA, 2013. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013 - Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories, EEA Teknik Rapor, No. 12/2013, Copenhagen.

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

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014. Çimento Sektörü Raporu 1, Ankara, sf. 4.  
U.S. EPA., 1995. User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models  
Volume 2 – Descriptions of Model Algorithms, North Carolina.

U.S. EPA., 1999. PCRAMMET User's Guide, North Carolina.

USGS, Earth Explorer, 2015. <http://earthexplorer.usgs.gov/> , Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2015.