

Makalenin Geliş Tarihi : 19.02.2010  
Makalenin Kabul Tarihi : 14.09.2010

## ESKİŞEHİR ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ'NDEKİ ELEKTRİK ÜRETİM TESİSİNİN NO<sub>2</sub> VE CO EMİSYONLARININ ISC3-ST İLE MODELLENMESİ

Serdar ARAR<sup>1</sup>, Kemal TANER<sup>2</sup>

**ÖZET :** Bu çalışmada, sürekli rejim Gauss modeli ISC3-ST (Industrial Source Complex-Short Term) kullanılarak CO ve NO<sub>2</sub> emisyonlarının modellemeleri yapılmıştır. Endüstriyel Enerji Sanayi'ne ait gerekli değerler İl Çevre-Orman Müdürlüğü'nden, meteorolojik veriler ise aylık ortalamalar şeklinde İl Meteoroloji Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Yer seviyesi kirlenici konsantrasyonlarının en yüksek değerlerinin olduğu kasım ayı için modelleme yapılmıştır. Emisyon değerleri 2006-2009 yılları arasında sabit kabul edilmiştir. IST3-ST modelini kullanan bir bilgisayar programı yardımıyla her bacanın CO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları için dispersiyon grafikleri bulunmuştur. Yer seviyesi CO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Organize Sanayi Bölgesi içine yüksek olduğu ve en yüksek değerlerinin 2 km mesafede olduğu grafiklerden görülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Hava Kirliliği, Industrial Source Complex, Gauss Duman Denklemi

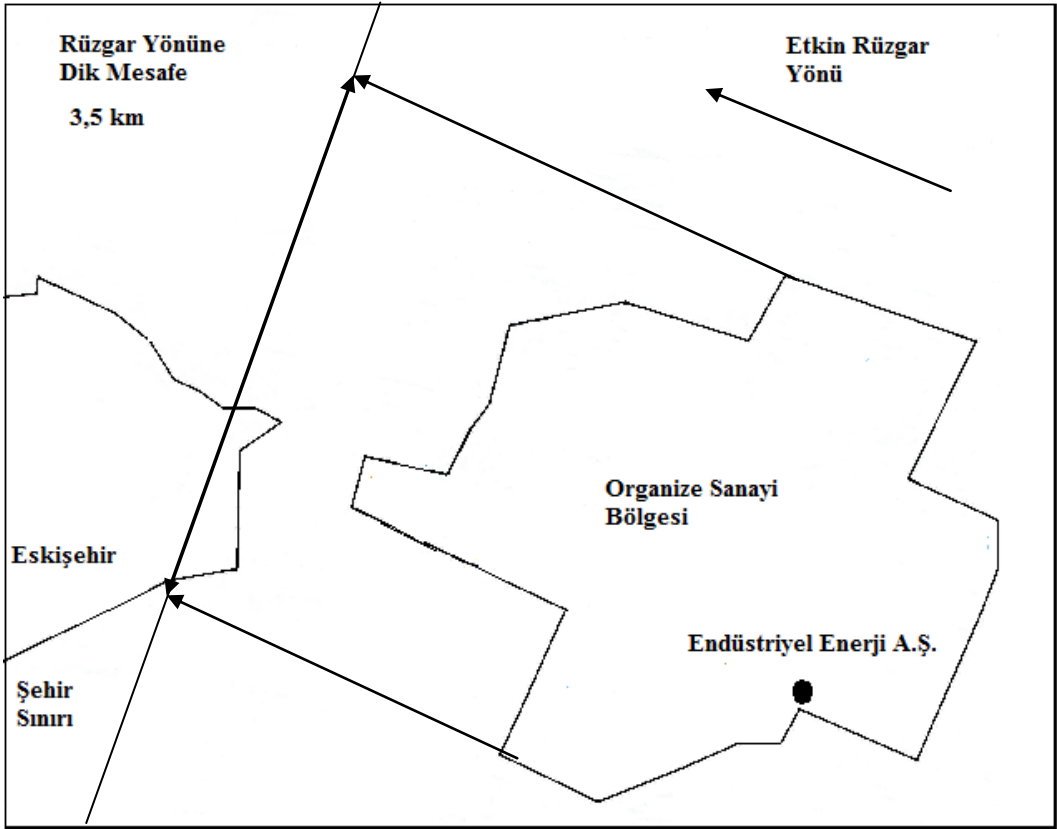
## NO<sub>2</sub> AND CO EMISSIONS MODELING WITH ISC3-ST OF A POWER PLANT IN ESKİŞEHİR INDUSTRIAL ZONE

**ABSTRACT :** In this paper, CO and NO<sub>2</sub> emissions were modeled with using by ISC3-ST(Industrial Source Complex-Short Term).The required data of Endüstriyel Enerji Sanayi was taken from Environmental and Forest Department, the meteorological data was taken from Meteorology Department as monthly averages. The modeling was used for just November when the highest degree of ground level concentration was generated. Emission values have been nearly constant between 2006-2009. CO and NO<sub>2</sub> dispersion graphics of all stacks were obtained with a pc program using ISC3-ST. It can be shown from graphics that ground level concentrations of CO and NO<sub>2</sub> are higher in Industrial Zone and the highest concentration values are occurred at 2 km.

**KEYWORDS :** Air Pollution, Industrial Source Complex, Gauss Plume Equation.

## I. GİRİŞ

Bu çalışmada Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'ndeki elektrik enerjisi üreten tesisten yayılan CO ve NO<sub>2</sub> emisyonlarının şehrin bu bölgeye yakın mahallelere olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 1, Endüstriyel Enerji Sanayi tesisinin Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'ndeki konumunu göstermektedir. Kirleticilerin atmosfer içindeki yayılımlarını modelleyen 3 temel yaklaşım olan Euler, Lagrange ve Gauss yaklaşımlarını içeren çeşitli modelleme yöntemleri incelenmiştir. Burada sabit meteorolojik ve sürekli emisyon şartları için çözüm yapan ISC3-ST yöntemi seçilmiştir.

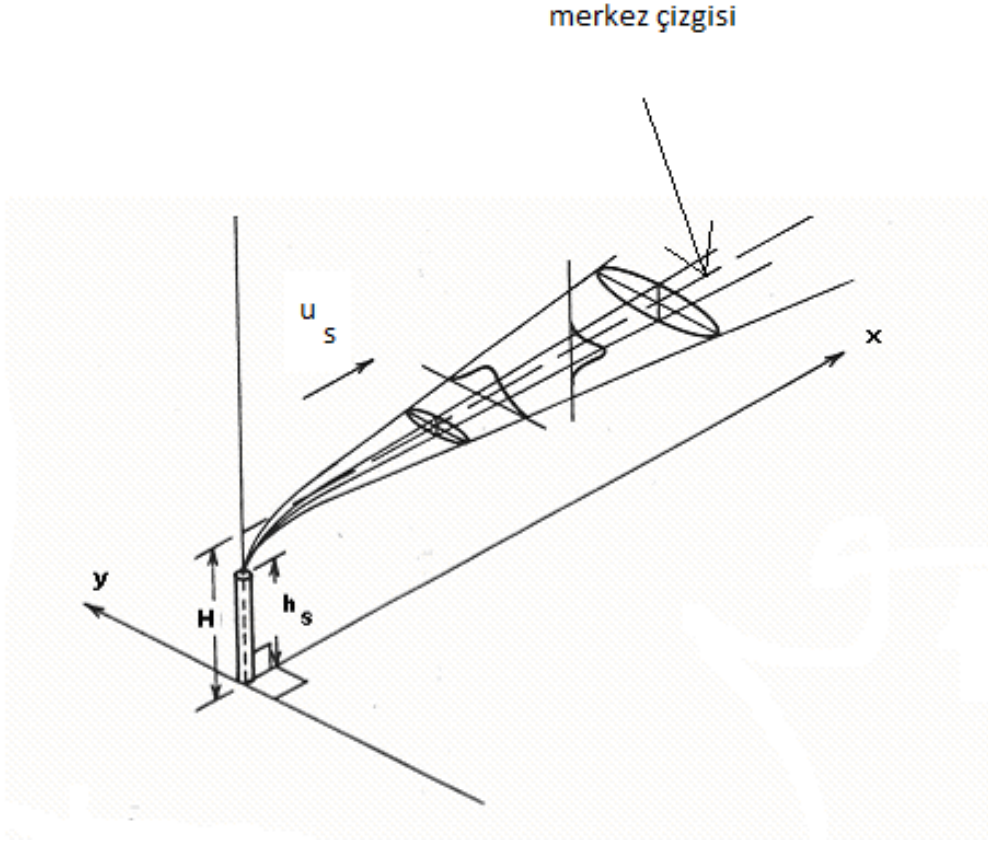


Şekil 1. Endüstriyel Enerji Sanayi'nin Organize Sanayi Bölgesi'ndeki Yeri

Bu model (Amerika Birleşik Devletleri) Çevre Koruma Örgütü (E.P.A.) tarafından sanayi kuruluşlarından yayılan emisyonların yayılımını modellemek için geliştirilmiştir.

## II. KULLANILAN MODEL

### II.1. Teori



Şekil 2. Nokta kaynaktan çıkan dumanın izlediği yol[15]

Nokta kaynağa ait sürekli rejim bir duman için,  $y(m)$  yan (çapraz) rüzgar mesafesine bağlı olarak  $x(m)$  çökme mesafesindeki saatlik konsantrasyon[1-13],

$$C = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0,5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (1)$$

ile verilmiştir. Burada,

K= hesaplanmış değerleri istenen değerlere dönüştüren skala faktörü,

Q= kirletici emisyon hızı ( $\text{g.s}^{-1}$ ),

D= boyutsuz bozunma terimi,

$\sigma_y, \sigma_z$  = yatay ve düşey konsantrasyon dağılımının standart sapmaları (m),

$u_s$ = arttırılmış yükseklikteki ortalama rüzgar hızı ( $\text{m.s}^{-1}$ ),

V=boyutsuz dikey terimdir.

Genellikle kuru çökme olmadığı kabul edilip,

$$V = \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \exp\left[-0,5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2)$$

ile hesaplanır. Burada,

$z_r$ = alıcı yüksekliği (m),

$h_e$ = etkin baca yüksekliği (m),

$h_s$ = gerçek baca yüksekliği (m),

$\Delta h$ =duman yüksekliği (m),

$z_i$ = karışım yüksekliği (m),

$h_e = h_s + \Delta h$ ,

$H_1 = z_r - (2iz_i - h_e)$ ,  $H_2 = z_r + (2iz_i - h_e)$ ,  $H_3 = z_r - (2iz_i + h_e)$ ,  $H_4 = z_r + (2iz_i + h_e)$ .

$h_e$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  birimleri metredir. Nötral atmosfer için  $\Delta h$  duman yüksekliği için Briggs duman denklemi kullanılmıştır (Şekil 2):

$$\Delta h = 1,60 \left( \frac{F_b}{u_s^3} \right)^{1/3} x^{1/3} \quad (3)$$

Burada;

$x$  = rüzgar yönündeki mesafe (m),

$u_s$  = arttırılmış yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (m.s<sup>-1</sup>),

$$F_b = g V_s \frac{d_s^2}{4} \left( 1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \quad \text{ile tanımlanan yükselme parametresidir. Burada,}$$

$g$  = yerçekimi ivmesi (m.s<sup>-2</sup>),

$V_s$  = Dumanın baca ucundaki hızı (m.s<sup>-1</sup>),

$d_s$  = baca çıkış çapıdır (m),

$T_a$  = atmosferin mutlak sıcaklığı (K),

$T_s$  = baca gazının mutlak sıcaklığıdır (K).

Dikey terim partiküllerin kuru çökmesi, yerçekimi çökmesi, dikey yönde sınırlı çökme, duman yükselmesi, alıcı yükselmesi ve kaynak yükselmesi etkilerini içerir. Bozunma terimi  $D$ ,

$$\psi > 1 \text{ için } D = \exp \left( -\psi \frac{x}{u_s} \right)$$

$$\psi = 0 \text{ için } D = 1$$

(4)

olarak tanımlanır; burada,

$\psi$  = bozunma katsayısı (s<sup>-1</sup>),

$x$  = çökme mesafesidir (m).

Örneğin,  $T_{1/2}$  saniyeler kadar kısa bir yarılanma ömrü olsun, bu durumda,

$$\psi = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (5)$$

olarak bulunabilir.

Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) kırsal bölgeler için aşağıdaki  $\sigma_y$  denklemini yayınlamıştır [12]:

$$\sigma_y = \frac{1000 \times \tan(TH)}{2,15} = 465,11628 \times \tan(TH) \quad (6)$$

Burada ;

$x$ = rüzgar(çökme) yönü mesafesi (km),

$\sigma_y$  = yatay konsantrasyon dağılımının standart sapmasıdır (m). TH için denklemler Çizelge 1 ile verilmiştir.  $\sigma_z$  için kullanılan güç kanunu aşağıdaki gibidir [12] :

$$\sigma_z = ax^b \quad (7)$$

Burada ;

$x$ = rüzgar (çökme) yönü mesafesi (km),

$\sigma_z$  = düşey konsantrasyon dağılımının standart sapmasıdır (m). Katsayılar, Çizelge 2 ile verilmiştir. Baca ucundaki rüzgar hızı değeri aşağıdaki denklemlerle bulunur [12]:

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left( \frac{z}{z_m} \right)^p \quad (8)$$

Burada;

$\bar{u}$  =  $z$  yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı ( $m.s^{-1}$ );

$\bar{u}_m$  =  $z_m$  yüksekliğinde ölçülen ortalama rüzgar hızı;

$P$ = kararlılık şartları ve yüzey sertliğine bağlı olan üstür ve Çizelge 3 ile verilmiştir [12].

## II.2. Veriler

Model için gerekli emisyon verileri (emisyon debisi, hızı, sıcaklığı), baca verileri (çap, yükseklik) Çevre-Orman Müdürlüğü'ndeki emisyon raporlarından, meteorolojik veriler (ortalama rüzgar hızı, rüzgar hızı yüksekliği, atmosfer sıcaklığı) ise Meteoroloji Müdürlüğü'nün verilerinden aylık ortalamalar şeklinde sağlanmıştır; ortam basıncı ise 997 milibar olarak kullanılmıştır. Modellemeler, sadece en yüksek emisyon değerlerinin olduğu kasım ayı için yapılmıştır. Bacalardan radyal olarak kaybolan ısı ihmal edilmiştir. [4]

Çizelge 1. TH Denklemi (B kararlılık sınıfı için) [12]

Kararlılık Sınıfı	TH Denklemleri
B	TH=18,333-1,8096ln(x)

Çizelge 2. Pasquill-Gifford  $\sigma_z$  Denklemleri (B kararlılık sınıfı için) [12]

Pasquill Kararlılık Sınıfı	x (km)	$\sigma_z (m) = ax^b [x(\text{km})]$	
		a	b
B	<0,2	9,673	0,93198
	0,21-0,4	98,483	0,98332
	>0,4	109,3	1,0971

Çizelge 3. Hız Profil Denklemindeki p Üs Değerleri [12]

Kararlılık Sınıfı						
	A	B	C	D	E	F
Kentsel	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
Kırsal	0,07	0,07	1	0,15	0,35	0,55

Çizelge 4. Pasquill-Gifford Kararlılık Sınıfları [12]

Yüzey rüzgar hızı (10 metrede)	Gündüz			Gece	
	Güneş Radyasyonu			Kapalı veya $\geq$ 4/8 bulutlu (4)	$\leq$ 3/8 bulutlu (5)
Kategori	Kuvvetli (1)	Orta (2)	Zayıf (3)		
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Çizelge 5. Maksimum Karışım Yüksekliği [16,17]

Kararlılık Sınıfı	Karışım Yüksekliği
A	2000-2500
B	1500-2000
C	1000
D	750
E	300
F	250

Çizelge 6. Eskişehir'deki aylara göre ortalama rüzgar hızı ve atmosfer sıcaklıkları [8]

Aylar	Ortalama Atmosfer Sıcaklığı ( °C )	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Aylar	Ortalama Atmosfer Sıcaklığı ( °C )	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Ocak	2,1	2,5	Temmuz	22,4	2,7
Şubat	1,5	3,1	Ağustos	22,8	3,1
Mart	4,9	2,8	Eylül	16,8	2,1
Nisan	10	2,6	Ekim	9,6	2,4
Mayıs	14,7	2,3	Kasım	5,2	2,9
Haziran	18,2	1,9	Aralık	2,5	2,7



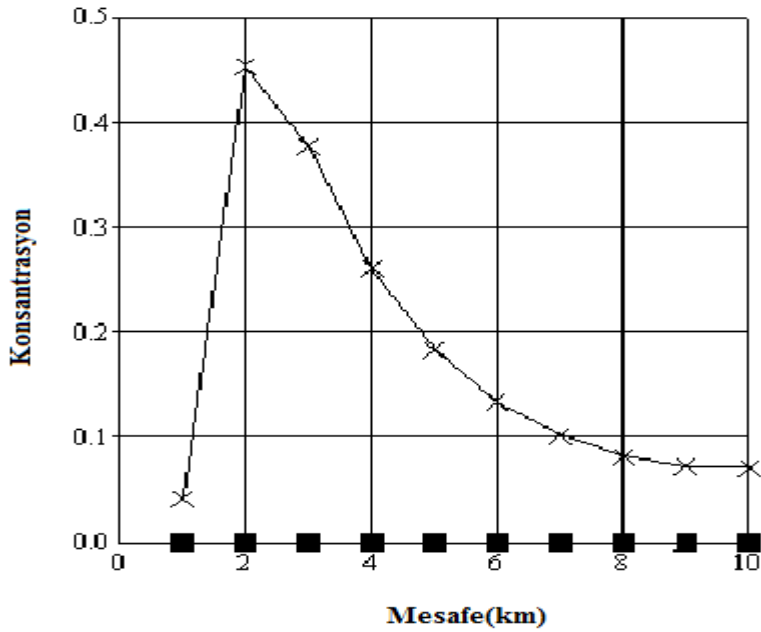
*Çizelge 7. Eskişehir'deki aylara göre ortalama rüzgar hızı yönleri[8]*

<b>Aylar</b>	<b>Ortalama Rüzgar Yönü</b>	<b>Aylar</b>	<b>Ortalama Rüzgar Yönü</b>
<b>Ocak</b>	Doğudan Batıya	<b>Temmuz</b>	Batıdan Doğuya
<b>Şubat</b>	Doğudan Batıya	<b>Ağustos</b>	Batıdan Doğuya
<b>Mart</b>	Batıdan Doğuya	<b>Eylül</b>	Batıdan Doğuya
<b>Nisan</b>	Batıdan Doğuya	<b>Ekim</b>	Batıdan Doğuya
<b>Mayıs</b>	Batıdan Doğuya	<b>Kasım</b>	Doğudan Batıya
<b>Haziran</b>	Batıdan Doğuya	<b>Aralık</b>	Doğudan Batıya

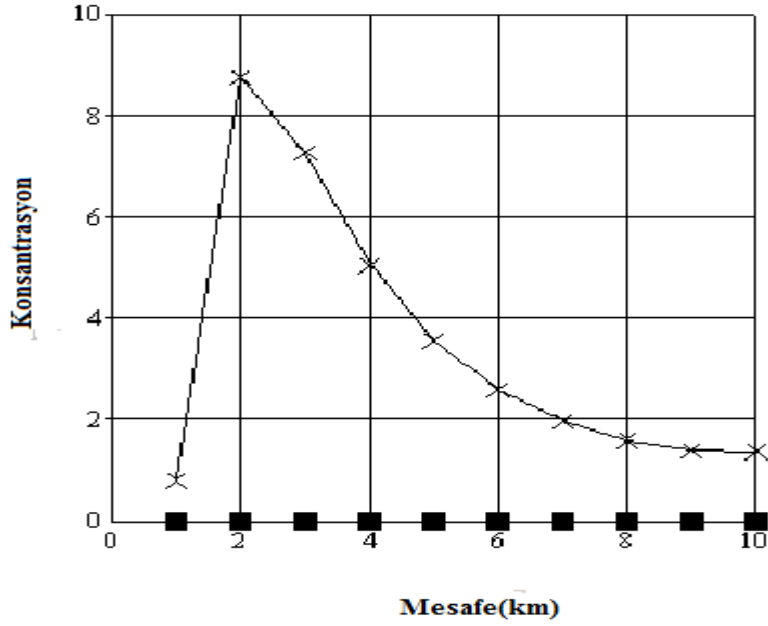
### **III. MODELLEME VE SONUÇLAR**

ISC-ST modelleme yöntemini kullanan bir bilgisayar program yardımıyla her bacaya ait dispersiyon grafikleri elde edilmiştir (Eşitlik 1). Burada amaç Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nin enerji ihtiyacını karşılamak için kurulmuş olan enerji üretim tesisinin çevresinde yarattığı hva kirliliğini tespit ederek gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Bu yüzden modellemeler, en yüksek emisyon değerlerinin olduğu kasım ayı için yapılmıştır. Bacalardan radyal olarak kaybolan ısı ihmal edilmiştir. Modelde bulunan çökme ve bozunma olayları bu çalışma için ihmal edilmiştir. Dispersiyon katsayılarının bulunması için atmosfer Pasquill-Gifford kararlılık sınıflarına ayrılmış ve Eskişehir için bu sınıf B olarak seçilmiştir (Çizelge 4). Karışım yüksekliği ise kararlılık sınıfına bağlı olarak 2000 metre bulunmuştur (Çizelge 5). Duman yüksekliği için Briggs duman yükselme formülü kullanılmış (Eşitlik 3), modelin kırsal bölgeler için olan seçeneği kullanılarak bina etkisi ihmal edilmiştir. Mode 10 km için kullanılmış, rüzgar hızı yüksekliği 10 metredir (Eşitlik 8). Ortalama rüzgar hızı 2,9 m/sn ve ortalama atmosfer sıcaklığı ise 5,2 °C olarak kullanılmıştır (Çizelge 6). Çizelge 7 ile rüzgar yönleri gösterilmiştir. [1-17]

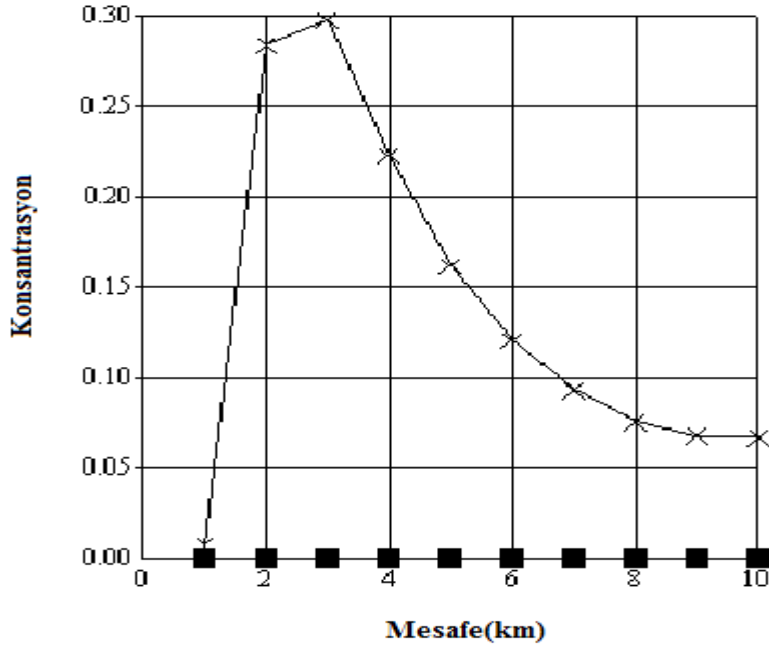
Baca parametreleri (gaz çıkış hızı, baca yüksekliği, emisyon hızı, baca gazı sıcaklığı), meteorolojik parametreler (atmosfer sıcaklığı ve basınç) ve diğer parametreler (bozunma katsayısı, duman yükseklik formülü) kullanılarak Eşitlik 1 yardımıyla oluşturulmuş bilgisayar programı ile Şekil 3-8 grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerdeki yatay eksen etkin rüzgar doğrultusundaki merkez çizgisi boyunca kaynaktan olan uzaklık, dikey eksen ise kaynaktan belirli uzaklıktaki noktalara ait yer seviyesi konsantrasyon değerlerini (göstermektedir. ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )



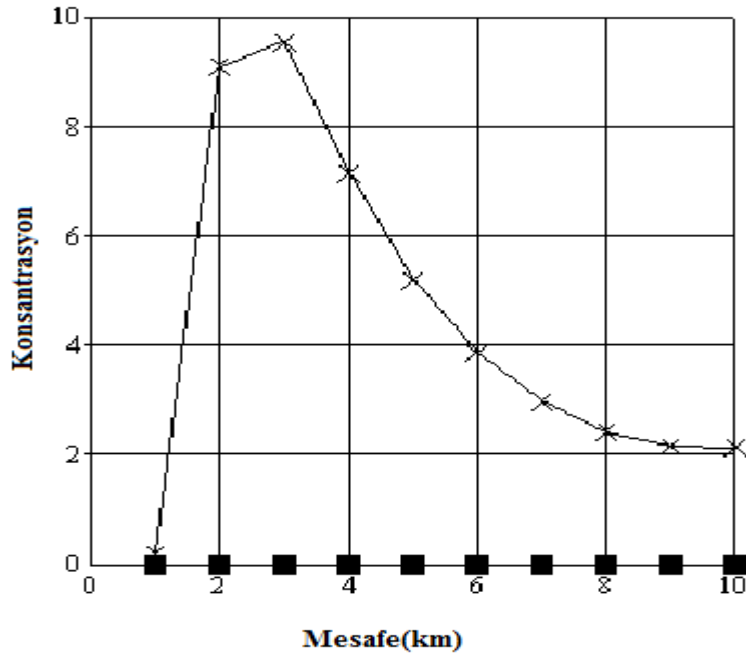
Şekil 3. 1 Numaralı bacaya ait CO ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) dispersiyon grafiği



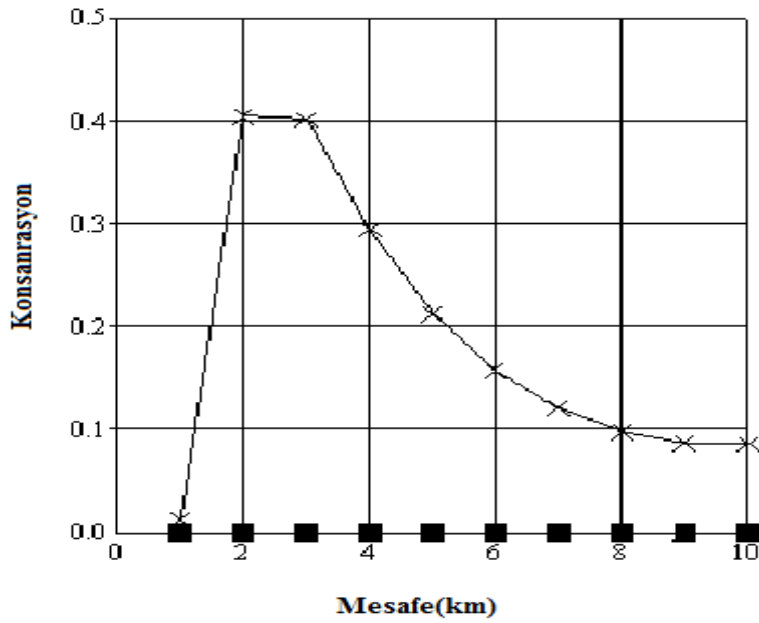
Şekil 4. 1 Numaralı bacaya ait NO<sub>2</sub> (µg.m<sup>-3</sup>) dispersiyon grafiği



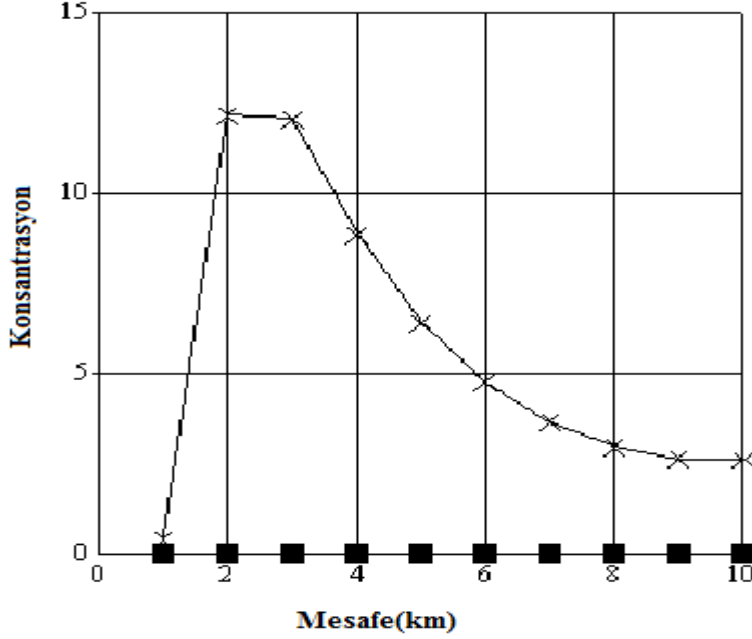
Şekil 5. 2 Numaralı bacaya ait CO (µg.m<sup>-3</sup>) dispersiyon grafiği



Şekil 6. 2 Numaralı bacaya ait NO<sub>2</sub> (µg.m<sup>-3</sup>) dispersiyon grafiği



Şekil 7. 3 Numaralı bacaya ait CO (µg.m<sup>-3</sup>) dispersiyon grafiği



Şekil 8. 3 Numaralı bacaya ait NO<sub>2</sub> (µg.m<sup>-3</sup>) dispersiyon grafiği

#### IV. YORUM

Bu çalışmada, Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde elektrik üretimi yapan Elektrik Üretim Sanayi'nin 3 bacasına ait CO ve NO<sub>2</sub> emisyonlarının modellenmesinde Industrial Source Complex-Short Term modelleme yöntemi kullanılmıştır. Konsantrasyon değerleri, 1 ve 3 numaralı bacalar için 2 km mesafede en üst düzeye ulaştığı (Şekil 3, 4, 7, 8), 2 numaralı baca içinse bu mesafenin 3 km olduğu grafiklerden görülmektedir (Şekil 5, 6). 8 km sonunda tüm grafikler düzgün bir görünüm kazanmaktadır. Bu durumda bacalardan atılan kirleticilerin büyük kısmının Organize Sanayi Bölgesi'ne çöktüğü görülmektedir. Bu ise insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Grafiklerde NO<sub>2</sub> değerlerinin yüksek olduğu söylenebilir. Bu yüzden, bacalara yakın yerlerdeki NO<sub>2</sub> etkisinin azaltılması için baca çıkış hızları arttırılmalı yada baca çapları düşürülmelidir. Ayrıca NO<sub>2</sub> ve CO değerlerinin azalmasını sağlayacak bir diğer yöntemse baca gazındaki atık ısının geri kazanılmasıdır. Önerilen yöntemlerden bir diğeri ise bacalara uygun filtrelerin takılmasıdır.

**V. KAYNAKLAR**

- [1] I.Alameddine, M. El-Fadel, “Stack Emission from Desalination Plants: A Parametric Sensitivity Analysis for Exposure Assessment”, *Desalination*, V 177, 15-29, 2005.
- [2] R. Başara, Sivas İline ait Hava Kirliliği Verileri ile Meteorolojik Veriler için Çoklu Lineer Regresyon Uygulaması, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 38-55, 1996.
- [3] A.D. Bhanarkar, S.K. Goyal, R. Sivacoumar, C.V.C. Rao, “ Assessment of Contribution of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from Different Sources in Jamshedpur Region, India”, *Atmospheric Environmental*, Vol. 39, pp. 7745-7760, 2005.
- [4] Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’ndeki Fabrikalarına ait Emisyon Raporları.
- [5] N. de Nevers, “*Air Pollution Control Engineering*”, McGraw-Hill International Editions, pp. 83-152, 2000.
- [6] T.V.B.P.S.R. Krishna, M.K. Reddy, R.C. Reddy, R.N. Singh, “Assimilative Capacity and Dispersion of Pollutants Due to Industrial Sources in Visakhapatnam Bowl Area”, *Atmospheric Environmental*, Vol. 38, pp. 6775-6787, 2005.
- [7] T.V.B.P.S.R. Krishna, M.K. Reddy, R.C. Reddy, R.N. Singh, “*Impact of Industrial Complex on the Ambient Air Quality: Case Study Using a Dispersion Model*”, *Atmospheric Environmental*, Vol. 39, pp. 5395-5407, 2005.
- [8] Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistik Verileri.
- [9] A. Müezzinoğlu, “Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları”, ss. 86-120, 2000.
- [10] H. Okutan, M. Tırıs, F. Ertürk, E. Kalafatoğlu, “Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü”, TÜBİTAK Yayınları, ss. 243-264,1993.
- [11] B. Öner, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Termik Santrallerinin bacalarından çıkan gaz ve partiküllerin dağılımının modellenmesi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, ss. 1-40, 2000.
- [12] B.K. Jr. Schnelle, R.D. Partha, “*Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide*”, McGraw-Hill International Editions, Chapt. 4-9, 14, 2000.

- [13] R. Sivacoumar, A.D. Bhanarkar, S.K. Goyal, S.K. Gadkari, A.L. Aggarwal, “ Air Pollution Modeling for an Industrial Complex and Model Performance Evaluation”, *Atmospheric Environmental*, V 111, 471-477, 2001.
- [14] P. Zannetti, “ *Air Pollution Modeling*”, Computational Mechanics Publications, Chapter 4, 6- 10, 1990.
- [15] [www.ajdesigner.com](http://www.ajdesigner.com)
- [16] [www.csiro.au](http://www.csiro.au)