

75099

**TÜRKİYE' DEKİ ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNİN
YARATTIĞI HAVA KİRLİLİĞİ VE
MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Kim. Müh. Y. Volkan ARINCI

75099

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Kasım 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Nisan 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Nursen İPEKOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Günay KOCASOY

Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ

Prof. Dr. Hüsnü ATAÖL

Doç. Dr. Ersan KALAFATOĞLU

NİSAN 1998

ÖNSÖZ

Modern yaşamın bir sonucu olarak ortaya çıkan hava kirlenmesi katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması olmak üzere günlük yaşamın sonucu, endüstriyel üretim, ulaşım, ısı ve ışık elde etmek için yapılan faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

Çevreye yeterince önem verilmemesi, 21. yüzyıla yaklaşırken hava kirliliğinin her geçen gün büyüyerek artan ve doğal kaynakları kullanılmaz hale getiren bir sorun oluşturmaya neden olmuştur. Dünyanın geleceğini ciddi bir şekilde tehdit eden bu sorun, yakın bir gelecekte ekolojik tehlikelerle yüzyüze gelmemize neden olacaktır.

Hava kirliliğinde, teknolojik kontrol ile ilgili uygulamalar, kirlenme yapısının kompleks bir sorun oluşturmaya nedeniyle sınırlı boyutlarda kalmıştır. Hava kirliliğini sadece kaynaklardan yayılan kirleticilerin kontrolü ile önlemek yeterli olmamaktadır. Özellikle kirlenme seviyesi ile hava kirliliğinin etkileri arasındaki ilişkiler, meteorolojik ve dış hava kalitesi ölçümleriyle belirlenebilmektedir.

Çalışmalarım sırasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. A. Nursen İPEKOĞLU, Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ ve Prof. Dr. Hasancan OKUTAN' a; Türkiye Çimento Müstahzarları Birliği, Çevre ve Kalite Kontrol Müdürü Sayın İsmet MUNLAFALIOĞLU' na; Çimsa Çimento Fabrikası Genel Müdürü Sayın Yılmaz KÜLCÜ' ye, Üretim Müdürü Sayın Basri DİNÇER' e ve Çevre Kontrol Müdürü Sayın Erol KERTİ' ye sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sırasında benden yardım ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarım da katkıları olan İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İşlemler Anabilim Dalı' ndaki Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği geçen aileme de ayrıca teşekkür ederim.

Kasım 1997

Y. Volkan ARINCI
Kimya Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2. ÇİMENTO ENDÜSTRİSİ	3
2.1 Çimentonun Tarihsel Gelişimi	3
2.2 Çimento Hammaddeleri ve Türkiye’ deki Rezervleri	4
2.3 Çimento Üretim Tesisleri	9
2.3.1 Hammaddenin Hazırlanması	9
2.3.2 Çimento Üretim Prosesleri ve Döner Fırımlar	11
2.3.3 Ön Isıtıcılar	14
2.3.4 Klinker Soğutucular	14
2.3.5 Toz Ayırıcılar	14
2.4 Çimento Üretimi	15
BÖLÜM 3. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI VE ÖLÇÜMÜ	18
3.1 Hava Kirliliği ve Hava Kalitesi Kavramı	18
3.2 Hava Kirliliği Kaynakları	20
3.2.1 Hava Kirliliğinin Temel Kaynakları	20
3.2.2 Hava Kirliliğinin Diğer Kaynakları	20
3.3 Hava Kirletici Parametreler	21
3.3.1 Konvensiyonel Kirleticiler	22
3.3.2 Spesifik Kirleticiler	25
3.4 Hava Kirlenmesinin Ölçekleri	25
3.5 Emisyon Ölçüm Yöntemi	26

3.6 İzokinetik Emisyon Ölçüm Cihazları	28
3.6.1 Partiküler Madde Numune Alıcılar	28
3.6.2 Gaz Numune Alıcılar	30
3.6.3 Elektronik Numune alıcılar ve Analizörler	30
3.6.4 Optik-Elektronik Toz Ölçüm Cihazları	30
BÖLÜM 4. HAVA KİRLİLİĞİ MODELLENMESİ	32
4.1 Emisyon Modellenmesi	32
4.1.1 Kapasite Tahmini	33
4.1.2 Emisyon Faktörü ve Emisyon Envanteri	34
4.2 Etkiye Yönelik Modelleme	37
4.3 Hava Kalitesi Modellemesi	37
4.3.1 Kutu Modeli	38
4.3.2 Dispersiyon Modelleri	39
BÖLÜM 5. ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE ÇEVRE KİRLİLİĞİ	46
5.1 Çimento Endüstrisinde Çevre Kirliliği	46
5.1.1 Çimento Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği	46
5.1.2 Çimento Tesislerinde Gürültü ve Vibrasyon	50
5.1.3 Su Kirliliği	52
5.1.4 Katı Atıklar	52
5.2 Çimento Endüstrisi İçin EPA ve CORINAIR Emisyon Faktörleri	53
5.3 Türkiye Çimento Sektöründe Emisyon Faktörleri Üzerine Yapılan Bir Çalışma	54
5.4 Türkiye Çimento Sektöründe Hava Kalitesi Modellenmesi Üzerine Yapılan Bir Çalışma	56
BÖLÜM 6. TÜRKİYE’ DEKİ ÇİMENTO FABRİKALARININ EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	58
6.1 Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi	58
6.2 Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi	61
6.3 Emisyon Faktörlerinin Üretim Prosesi İle Değişimi	66
6.4 Emisyon Faktörlerinin Fabrika Yaşı İle Değişimi	69
6.5 Emisyon Faktörlerinin Coğrafi Bölgere Göre Değişimi	69
BÖLÜM 7. BİR ÇİMENTO FABRİKASININ EMİSYONLARININ ZAMANA GÖRE DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ	72
7.1 Emisyonların Yıllık Değişimleri	73
7.2 Emisyonların Aylık Değişimleri	75
7.3 Emisyonların Günlük Değişimleri	77
7.4 Emisyonların Saatlik Değişimleri	88
7.5 Emisyonların Zamana Göre Değişiminin Nedenlerinin İrdelenmesi	99
7.5.1 Toz Emisyonlarının Değişim Nedenleri	99

7.5.2 NO _x Emisyonlarının Değişim Nedenleri	102
7.5.3 CO Emisyonlarının Değişim Nedenleri	104
BÖLÜM 8. INDUSTRIAL SOURCE COMPLEKS (ISC3) HAVA KALİTESİ MODELLEME PROGRAMI KULLANILARAK TÜRKİYE' DEKİ ÇEŞİTLİ ÇİMENTO FABRİKALARINDA HAVA KALİTESİ MODELLEME ÇALIŞMALARI	105
8.1 Industrial Source Complex (ISC3) Hava Kalitesi Modelleme Programı	105
8.2 Doğu-Batı-Orta Anadolu' da Seçilen Çimento Fabrikalarında ISC3 Model Programı Yardımıyla Hava Kalitesi Modelleme Çalışmaları	106
8.3 Coğrafik ve Meteorolojik Şartların Hava Kirliliği Modeline Etkisi	118
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	126
KAYNAKLAR	129
EKLER	132
ÖZGEÇMİŞ	140

SEMBOL LİSTESİ

A	: Hareket yönüne dik kesit alanı
$C, \dots, C_i$	: Konsantrasyonlar
D_x, D_y, D_z	: x, y, z yönündeki diffüzyon katsayıları
H	: Yüzgar yönüne dik olan kutunun yüksekliği
h	: Gerçek baca yüksekliği
Δh	: Bacanın tepesinden sonraki hüzme yüksekliği
Q_i	: Kirleticilerin emisyon hızı
u	: Ortalama rüzgar hızı
v	: y- yönündeki ortalama rüzgar hızı
w	: z- yönündeki ortalama rüzgar hızı
ϕ_i	: Kirletici maddenin oluşum veya giderimi ile ilgili terim
W	: Rüzgar yönüne dik olan kutunun genişliği
σ_y, σ_z	: Yatay ve dikey yayılma parametreleri

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Yarıyaş (Lepol) döner fırın	13
Şekil 2.2	Siklon ön ısıtıcılı ve değirmen kurutmalı döner fırın	13
Şekil 3.1	Hava kirliliğinde başlıca elemanlar	19
Şekil 3.2	Dairesel kesitli bir bacada numune alma yerleri	27
Şekil 3.3	MK-3A İzokinetik toz numune alma sistemi	29
Şekil 3.4	Optik-elektronik toz ölçüm cihazı	31
Şekil 4.1	Hava kalitesi modelinin elemanları	38
Şekil 4.2	Kutu modeli	38
Şekil 4.3	Nokta kaynaktan çıkan hüzmenin zamana göre dağılımı	41
Şekil 4.4	Etkin baca yüksekliği H olan bir kaynaktan çıkan hüzmenin dağılımı	42
Şekil 5.1	Parçacıkların havadaki yaklaşık çökelme hızları	49
Şekil 6.1	Tüm çimento fabrikaları için toz, CO ve NO ₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimi	62
Şekil 6.2	Kuru prosesle çalışan genç fabrikalarda (yaşları 0-20 arasında) toz, CO ve NO ₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimi	64
Şekil 6.3	Kuru prosesle çalışan orta yaşlı fabrikalarda (yaşları 20-50 arasında) toz, CO ve NO ₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimi	63
Şekil 6.4	Kuru prosesle çalışan yaşlı fabrikalarda (yaşları 50-85 arasında) toz, CO ve NO ₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimi	64

Şekil 6.5	Yarıyaş prosesle çalışan çimento fabrikalarında toz, CO ve NO ₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimi	65
Şekil 6.6	Emisyon faktörlerinin üretim prosesi ile değişimi	67
Şekil 6.7	Emisyon faktörlerinin fabrika yaşı ile değişimi	68
Şekil 6.8	Toz emisyon faktörlerinin coğrafi bölgelere göre değişimi	70
Şekil 6.9	NO ₂ emisyon faktörlerinin coğrafi bölgelere göre değişimi	70
Şekil 6.10	CO emisyon faktörlerinin coğrafi bölgelere göre değişimi	71
Şekil 7.1	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının yıllık ortalama toz emisyonlarının değişimi	73
Şekil 7.2	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının yıllık ortalama NO _x emisyonlarının değişimi	74
Şekil 7.3	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının yıllık ortalama CO emisyonlarının değişimi	74
Şekil 7.4	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının aylık ortalama toz emisyonlarının değişimi	75
Şekil 7.5	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının aylık ortalama NO _x emisyonlarının değişimi	76
Şekil 7.6	Emisyonları incelenen çimento fabrikasının aylık ortalama CO emisyonlarının değişimi	76
Şekil 7.7-7.17	Ocak-Aralık ayları günlük ortalama toz emisyonları	77-80
Şekil 7.18-7.28	Ocak-Aralık ayları günlük ortalama NO _x emisyonları	81-84
Şekil 7.29-7.39	Ocak-Aralık ayları günlük ortalama CO emisyonları	84-88
Şekil 7.40-7.49	Kasım ayı 1-10. günler arasındaki saatlik toz, NO _x ve CO emisyonları	89-98
Şekil 7.50	Çimento tozlarının özgül direncinin sıcaklık ve nem ile değişimi	100
Şekil 7.51	Elektrik direncinin göçme hızına etkisi	101

Şekil 7.52	Bir çimento fırınında toz direncinin değişimi	101
Şekil 8.1	Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki çimento fabrikalarının iki boyutlu ve üç boyutlu topografik haritaları ve bölgenin rüzgar gülü	108
Şekil 8.2	Batı Anadolu Bölgesi'ndeki çimento fabrikalarının iki boyutlu ve üç boyutlu topografik haritaları ve bölgenin rüzgar gülü	109
Şekil 8.3	Orta Anadolu Bölgesi'ndeki çimento fabrikalarının iki boyutlu ve üç boyutlu topografik haritaları ve bölgenin rüzgar gülü	110
Şekil 8.4	Doğu Anadolu' daki çimento fabrikasının NO emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	112
Şekil 8.5	Doğu Anadolu' daki çimento fabrikasının NO ₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	113
Şekil 8.6	Batı Anadolu' daki çimento fabrikasının NO emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	114
Şekil 8.7	Batı Anadolu' daki çimento fabrikasının NO ₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	115
Şekil 8.8	Orta Anadolu' daki çimento fabrikasının NO emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	116
Şekil 8.9	Orta Anadolu' daki çimento fabrikasının NO ₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri	117
Şekil 8.10	İncelenen çimento fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) topografik haritaları ve bölgeye ait rüzgar gülü	120
Şekil 8.11	İncelenen çimento fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) orijinal coğrafi ve meteorolojik verilerinin model sonuçları	121
Şekil 8.12	Topografik yapısı düz bir plato şeklinde kabul edilen çimento fabrikasının NO ₂ emisyonlarının Hava Kalitesine etkisinin iki boyutlu ve üç boyutlu gösterilişi	122

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Bölgelere göre kalker rezervleri	6
Tablo 2.2 Bölgelerimize göre kil ve killi kayaç rezervleri	7
Tablo 2.3 Çimento fırını bölgeleri ve hammadde sıcaklıkları	16
Tablo 2.4 Çimento fırınlarında oluşan reaksiyonlar ve ısı değişimi	16
Tablo 2.5 Portland çimentosunun klinker bileşimi	17
Tablo 3.1 Partikül şeklindeki kirletici emisyonları	23
Tablo 3.2 Spesifik kirletici örnekleri	25
Tablo 3.3 Kirleticilerin ulaşım mesafelerine göre hava kirlenmesi olaylarının sınıflandırılması	26
Tablo 5.1 Farin ve döner fırın baca gazı tozunun kimyasal bileşenleri	47
Tablo 5.2 Çimento üretimi için CORINAIR emisyon faktörleri	53
Tablo 5.3 EPA'nın çimento üretiminde hammadde hazırlama işlemleri için verdiği toz emisyon faktörleri	53
Tablo 5.4 EPA'nın çimento üretimi için verdiği toz emisyon faktörleri	54
Tablo 5.5 Türkiye' deki çimento fabrikalarının emisyon faktörleri	55
Tablo 5.6 İncelenen çimento fabrikalarının özellikleri	56
Tablo 5.7 İncelenen fabrikalarda Hava Kalitesine katkı yıllık ortalama değerleri	57
Tablo 5.8 İncelenen tesislerin H.K.K.Y.'ne göre Hava Kalitesine katkı değerleri	57
Tablo 6.1 Ölçümü yapılan fabrikaların kapasiteleri (1996) ve emisyonları	59

Tablo 6.2	Ölçümü yapılan fabrikaların kapasiteleri ve emisyonları	61
Tablo 8.1	Doğu Anadolu'daki çimento fabrikasının (Mardin Çimento Fabrikası) NO ve NO ₂ emisyon noktaları	107
Tablo 8.2	Batı Anadolu'daki çimento fabrikasının (Bursa Çimento Fabrikası) NO ve NO ₂ emisyon noktaları	107
Tablo 8.3	Orta Anadolu'daki çimento fabrikasının (Eskişehir Çimento Fabrikası) NO ve NO ₂ emisyon noktaları	107
Tablo 8.4	İncelenen çimento fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) emisyon kaynakları ve parametreleri	119
Tablo 8.5	Çimento fabrikasının orijinal coğrafi ve meteorolojik verileriyle bölgede elde edilen en yüksek beş NO ₂ konsantrasyonu ve koordinatları	119
Tablo 8.6	Topografik yapısı düz bir plato şeklinde kabul edilen çimento fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) NO ₂ emisyonlarından dolayı elde edilen en yüksek beş konsantrasyon değeri ve koordinatları	123
Tablo 8.7	İncelenen fabrikanın daha soğuk iklim şartlarında olan bir bölgede kurulu olduğu kabul edilerek model programı ile bölgede belirlenen en yüksek beş NO ₂ konsantrasyonu	123
Tablo 8.8	Maksimum bir karışım yüksekliği (5000 m) seçilerek incelenen fabrikanın model programı ile bölgede belirlenen en yüksek beş NO ₂ konsantrasyonu	124
Tablo 8.9	Minumum bir karışım yüksekliği (100 m) seçilerek incelenen fabrikanın model programı ile bölgede belirlenen en yüksek beş NO ₂ konsantrasyonu	124

ÖZET

Katı, sıvı ve gaz atıkların miktar ve derişimlerinin canlı ve cansız varlıkları olumsuz yönde etkileyecek düzeye ulaşması “Çevre Kirlenmesi “ sorunu olarak bilinmektedir. Hava, su ve toprak kirliliği yanında radyoaktif atıklar ve gürültü de çevreyi etkileyen faktörler arasındadır. Sosyo-ekonomik etkinlikler veya doğal olaylar sonucu ortaya çıkan bu kirliliğe neden olan kirlilik kaynaklarından; önce önlem almak veya sonradan arıtma yöntemlerini araştırarak korunmak çevre korumasının ana ilkelerini oluşturur.

Hava kirliliği problemleri yurdumuzun birçok yöresinde her geçen yıl daha belirgin bir hal almakta, hava kalitesi gittikçe kötüleşmektedir. Bu problemlerin yoğun yerleşim alanlarının bulunduğu yörelerde ve özellikle kış aylarında ölümcül boyutlara ulaşması bu konuda yakıt kaynaklı kirlenmenin önemini vurgulamaktadır. Sanayileşmenin yoğun olduğu endüstri bölgelerinde problemler sadece kış aylarında tehlikeli boyutlara ulaşmakla kalmamakta; sürekli hal alarak bütün yıl boyunca yaşanmaktadır.

Çimento, ülkemizde pekçoğu kentsel yerleşim alanına kurulmuş olan büyük tesislerde üretilmektedir. Çimento sektörünün kirlilik düzeyi yüksektir. Çalışmamızda ülkemizdeki çimento sanayiinin oluşturduğu kirlilik seviyesinin belirlenmesi ve tesisler için oluşturulan emisyon faktörlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ülkemizde seçilen bir çimento fabrikasının azotoksit emisyonlarının değişimi saatlik, günlük, aylık ve yıllık bazda belirlenmiş ve bu değişimlerin nedenleri araştırılmıştır. Emisyonlardaki değişimin üretim sırasındaki işletme şartlarındaki değişime bağlı olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca tesislerin oluşturduğu kirlilik "Hava Kalitesi Model Programı" yardımıyla değerlendirilmiştir. Doğu, Batı ve Orta Anadolu Bölgesi' nde seçilen üç çimento fabrikasının yıllık ortalama azotdioksit emisyon dağılımı model programı yardımıyla belirlenmiş ve Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği' nde verilen uzun vade sınır değerlerinin aşılmadığı belirlenmiştir.

EVALUATION AND MODELLING OF AIR POLLUTION FROM CEMENT PLANTS IN TURKEY

SUMMARY

Air pollution is woven throughout the fabric of our modern life. A by-product of the manner in which we build our cities, air pollution is waste remaining from the ways we produce our goods, transport ourselves and our goods and generate the energy to heat and light the places where we live, play and work. The major cause of all the air pollution is combustion. When perfect or theoretical combustion occurs, the hydrogen and carbon in the fuel combine with oxygen of the air to produce heat, light, carbon dioxide and water vapour. However, impurities, in the fuel, poor fuel to air ratio, or too high or too low combustion temperatures cause the formation of such side products as carbon monoxide, sulphur and nitrogen oxides, fly ash and unburned hydrocarbons all air pollutants.

The sources of pollution are typically classified into the following five categories:

1- Fuel combustion in stationary sources: The first category includes all facilities where fuels are burned to provide either space or process heating. All fuels-coal, coke, fuel oil, gas and wood-contribute in varying degrees to total emissions. In most areas, the burning of these fuels accounts for the majority of sulphur oxide and particulate emission. Sources in category can be further subdivided according to the type of consumer;

- a- Steam-electric power plants,
- b- Industrial facilities,
- c- Houses and apartment buildings,
- d- Commercial, institutional and governmental buildings.

2- Mobile sources: This category includes road vehicles, ships, trains and aircraft. The fuels of primary concern are gasoline and diesel fuel by motor vehicles; diesel oil and coal burned in locomotives and aviation fuels in aircraft. Carbon monoxide, oxides of nitrogen; hydrocarbons and particulates are pollutants of primary interest from this category of sources.

3- Industrial processes: This category includes all facilities that generate pollutants during the manufacture or handling of products, other than the pollutants emitted from the use of fuels.

4- Disposal of solid waste: This category consists of the incineration or open burning of solid waste which can be a significant source of pollution. Such burning may take place either in large central facilities, such as municipal incinerators and open-burning dumps or at individual residences, factories or shops.

5- Evaporation of organic substances: Included in this category is the evaporation of gasoline and dry cleaning solvents.

Emissions, air quality and meteorological data provide the basic information for understanding an area's air pollution problem. The accounting of air pollutant sources and their related emission rates for a given area is defined as an "emissions inventory". Although many different procedures are available for compiling an emissions inventory, all of them depend on the use of average "emission factors", since it is impractical to measure continuously or even periodically, the discharges of pollutants into the atmosphere from all sources. Emission factors have been formulated for most of the major types of sources.

Cement production is one of the dominant sectors in Turkish industry. Due to its high energy consumption and dust emission potential, it is one of the sectors which is scrutinized for its role as an air pollution source. Reliable emission calculations have not been made because of the lack of emission factors.

In Turkey, the first cement plant was established in Darica (Kocaeli) in 1912, with a capacity of 2.10^4 tonnes per year. At present there are 48 cement plants which have a total production capacity of approximately 32.10^6 tonnes/year. These capacities classify Turkey as the eighth highest cement producer in the World and second in Europe. The difference between production and consumption makes cement a strong export commodity for Turkey.

An emission factor is an average value which relates the quantity of a pollutant released into the atmosphere with the activity associated with the release of pollutants. Emission factors are rated according to their reliability and accuracy between A and E. An emission factor based on ten or more source tests would be rated A. Conversely a factor based on single observation of questionable quality or extrapolated emission factor would be rated D or E. The rating is scaled in 5 categories 1-5 by European Community. It is important to estimate the contribution of the cement industry to present air pollution in Turkey. Also pollution characteristics of cement and other sectors of industry need to be determined in order to make life cycle analysis which is necessary for current practices.

In this study, A type emission factors for different cement plants and country average for Turkey are reported. These factors include some or all of dust, CO, NO₂ and SO₂ and concentration of suspended particulate matter. The emission factors obtained from different plants are discussed and compared with the available data in the literature.

Special care is taken to ensure representative sampling. The plants are visited prior to sampling, necessary sampling parts are chosen and attachment are prepared for probes. In the cement plants, the dust emission measurements were performed using SICK-SHC 2 and SHC 5 isokinetic samplers. The standards of these samplers refer to VDI-2066 and VDI-3950. For gaseous

emissions, the computerised system sends the pressure and temperature readings to data logger and automatically adjusted the opening at the tip of probe . MRU 95/3 - CD model electrochemical analyser working under TUV Guarantee and Binos 4.2 type equipment operating according to NDIR methods were used for NO and CO measurements, respectively. For dust mass flow, CO, NO₂ and SO₂ ,three different hourly measurements are averaged.

Table 1. Emissions Factors According To Average Capacity of Cement Plants In Turkey

Unit	Dust	CO	NO ₂	SO ₂
kg/t clinker	0.610	2.933	1.070	0.101
kg/t cement	0.337	1.609	0.596	0.060

Investigation of the emission factors for cement plants in Turkey show that the heaviest load to air is CO emissions followed by NO₂, dust and SO₂. The least number of measurements were understandably done for SO₂. The SO₂ emissions were found to be of trace amount or very low for the plants for which measurements were taken. This was due to the presence of Ca and Mg based absorbents of SO₂ which contacted the gases above calcination temperatures and excess air conditions. Sulphonation under these conditions kept the SO₂ emissions low arising from the combustion of coal, petroleum coke and fuel-oil which ever is applicable.

Table 2. Emission Limits For Plant In Turkey

Type of Contaminant	Before the Declaration	After the Declaration		
	mg/Nm ³ (dry)	kg/h	mg/Nm ³ (dry)	kg/h
Dust	75-240	15	50-120	15
NO	--	20	--	20
NO ₂	--	40	--	40
SO ₂	--	60-100	400	60-100
CO	--	1000	--	1000

A plot of CO emission factors together with capacity of the plants, gave a roughly inverse relationship with capacity. The values of the emission factors fluctuated immensely at plant capacities lower than 150 tonnes/h. This is explained by the plants with smaller capacity which are usually located in eastern Turkey and generally consist of machinery using older technologies. Then larger plants are built using more up to date and better control capabilities.

Considering that the emission measurement in each plant were repeated three times using well established international standards, the emission factors reported for each plant may be rated as B. However, the national average for dust, CO, NO₂ and emission factors are as A. From the average emission factors it is clear that the dominant emission from cement production in Turkey is CO

followed by NO₂, dust and SO₂.

The emission factors for German cement plants are 0.17,2,0.6 kg/tonnes clinker for dust, NO₂ and SO₂ respectively. On the national average Turkish dust emission factor is higher than German factors, however NO₂ and SO₂ emission are much lower. The low NO₂ emission may be due to the differences in combustion conditions and reactions between nitrogen oxides and calcined solid products.

The steadily growing cement industry in Turkey is pressurized by national and international emission factor limitations. At present on a national scale, dust emissions are higher than national and EC limitations but NO₂, CO, and SO₂ emissions are lower than both of these limitations. There is a strong move to bring cement emissions under control by using a number of measures. These measures include the renewable of filters, insulations of new cooling towers, control of open storage and continuous dust and CO, O₂ and NO_x monitoring and automation of some of the older plants. In the light of new environmental goals and to keep the pollution under control, all cement plant have agreed to renew old electrofilters.

For the air quality modelling of the planned cement plant, Industrials Complex Source Long term Air Quality Modelling Programme is used.

BREEZE AIR ISCLT3 of Trinity Consultants, Inc. was used to asses the impact of the emissions on the ambient air quality. The software is a Windows based programme for the development of the EPA long term industrial source complex (ISCLT3) model. The software is capable of analysing the emissions of up to 1000 point, area, volume and open pit sources which may be grouped. Receptor grids as well as the discrete receptos can be defined to assess the air quality in a particular urban location. Concentrations can be calculated for all terrain elevations up to stack height and for receptors above ground elevation. It requiers summary meteorological data in a frequency distribution of wind spee, stability class and wind direction (star data).

Star data was prepared from the long term monthly average climate data published by the Turkish Meteorology Office. The stabilty classes have been calculated by considering by the rules in AQPR and EPA regulatory options. Topografy around the plants was investigated and the relevant file was prepared by reading elevations on a 1/25000 chart in 250 m distances for a grid of 5 km by 5 km. The elevations and locations of discrete sources for which the air quality has to be calculated specifically is also read on the map. The locations of the emission sources are also indicated in the same grid file.

In choosing a cement plant have also been investigated in different location (flat) and for applying two different meteorological data (for two mixing height). The original modelling results are Tablo 3 and applying two different meteorological data's results are shown Table 4 and Table 5 applying different location's results are shown Table 6.

Table 3. The Original Plants Data

No	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coordinates (X - Y)
1	41.9	720000-4418500
2	37.0	719750-4418250
3	31.4	720000-4418750
4	27.5	720250-4418750
5	26.4	719500-4418250

Table 4. Model Results For Maximum Mixing Height

No	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coordinates (X - Y)
1	42.4	720000-4418500
2	36.9	719750-4418250
3	31.8	720000-4418750
4	28.3	720250-4418750
5	27.4	720000-4419000

Table 5. Model Results For Minimum Mixing Height

No	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coordinates (X - Y)
1	38.2	720000-4418500
2	30.9	719750-4418250
3	29.9	720000-4418750
4	26.9	720250-4418750
5	25.8	720000-4419000

Table 6. Model results For Flat Elevation

No	Consantrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coordinates (X - Y)
1	8.6	720000-4417000
2	8.5	720000-4416750
3	8.3	718700-4419700
4	8.0	720000-4416500
5	7.9	720000-4417250

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Hava kirliliği problemleri yurdumuzun birçok yöresinde her geçen yıl daha belirgin bir hal almakta, hava kalitesi gittikçe kötüleşmektedir. Problemler yoğun yerleşim alanlarının bulunduğu yörelerde, özellikle kış aylarında, tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır. Sanayileşmenin yoğun olduğu endüstri bölgelerinde ise bu problemler sadece kış aylarında tehlikeli boyutlara ulaşmakla kalmamakta, daha kalıcı bir hal alarak, bütün bir yıl boyunca yaşanmaktadır. Bu olay; hava kirliliği problemlerinin oluşmasında sanayi tesislerinin de önemli bir payı olduğunu vurgulamaktadır.

"Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği" 2 Kasım 1986 gün ve 19269 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini ortamdaki kirlenmelerden ve doğacak tehlikeden korumaktır. Bu yönetmeliğin hükümleri, belirtilen amaçlara ulaşmak için tesislerin kurulması ve işletilmesini; yakıtların, hammaddelerin ve ürünlerin üretilmesi, kullanılması, depolanması, taşınması ve ithalini, motorlu vasıtaların donanımları, çalıştırılmaları ve uymaları gereken kuralları kapsar.

Yurdumuzda her geçen gün artan hava kirliliği problemlerinin azaltılması ve hava kalitesi seviyesinin yükseltilebilmesi için öncelikle, kirleticiler kaynağın belirlenmesi, bunların denetim altına alınması ve yönetmelikte getirilen düzenlemelere uymalarının sağlanması gerekmektedir. Bunun için de yönetmeliğin işlerlik kazanması ve tüm hükümlerinin tam olarak uygulanması gerekmektedir.

Ülkenin gelişmesinde yolunda önemli bir yeri olan çimento sektörü, teknolojik bakımdan oldukça iyi bir düzeye ulaşmıştır. Çimento fabrikaları,

kirletici özelliği yüksek tesisler grubu içinde değerlendirilmektedir. Bu endüstri özellikle toz emisyonları açısından önemli bir hava kirleticisidir. Su kirliliği, gürültü, vibrasyon ve katı atıklar gibi sorunlar da bu tesisler için ikinci derece önem arz etmektedir.

Çimento tesislerinden kaynaklanan hava kirleticilerini toz emisyonlar ve gaz emisyonlar şeklinde sınıflandırarak incelemek ve önerilerde bulunmak, konuya daha sistematik bir bakış açısı kazandıracaktır. Ayrıca hava kirliliğinin önlenmesinde enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasının önemi dikkate alınarak, çimento tesislerinde enerji tasarrufu konusunda alınması gereken tedbirlerin neler olabileceğinin belirlenmesi faydalı olacaktır.

Herhangi bir bölgede kurulacak yeni tesislerin veya mevcut tesislerin çevreye zarar vermemesi için, tesisin inşaatından evvel hava kirliliği etki değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Çeşitli kaynakların hava kirliliği etki değerlendirilmesi, hava kalitesi simulasyon modelleri yardımıyla tahmin edilmektedir.

Çalışmamızın amacını üç ana grupta toplayabiliriz:

- Türkiye'deki çimento fabrikalarının emisyon faktörlerinin üretim prosesi, üretim kapasitesi, fabrika yaşı ve coğrafi bölgelere göre değişiminin incelenmesi.
- Çimento fabrikalarındaki partiküler madde (toz), NO_x ve CO emisyonlarının zamana göre değişiminin incelenmesi ve değişim nedenlerinin araştırılması.
- Çimento fabrikalarındaki NO_x emisyonlarının Hava Kalitesine etkilerinin Hava kalitesi Model Programı yardımıyla belirlenmesi.

BÖLÜM 2

ÇİMENTO ENDÜSTRİSİ

2.1 ÇİMENTONUN TARİHSEL GELİŞİMİ [1]

Çimento yapımına elverişli maddelerin ve çimentonun tarihçesi antik çağlara uzanmaktadır.

Eldeki belgelere göre, eski Mısırlılar kalsine olmuş saf olmayan killi jipsten oluşan bir çimentoyu M.Ö. 2000 yıllarında kullanmışlardır. Aynı dönemde Anadolu'daki Çorum (Hattuşaş ve Boğazkale), Tokat ve Malatya gibi Hitit kentlerinde magnezyen kireç ile doğal puzolanik aktif toprakların karıştırılarak harç yapıldığı saptanmıştır.

M.S. 1. yüzyılda Kapodokya bölgesinde, dolomitli kireç ile asit nitelikli SiO_2 'ce zengin volkanik kayaların puzolanik aktivitelerinden yararlanılarak oluşturulan hidrolik bağlayıcılar çeşitli yapılarda kullanılmıştır.

Eski Yunanlılar ve Romalılar, kalsine edilmiş kalkerli puzolan adı verilen volkanik külün kireçle öğütülmesi ile oluşan puzolanik çimentoları yapmışlardır. Puzolanik çimentolar ile inşaa edilen yapıların halen ayakta kalmış olması bu çimentoların üstünlüklerinin bir kanıtıdır.

Anadolu'da 11. yüzyılda Selçuklu'lardan bu yana yapılmış olan türbe, kümbet, köprü, han, hamam, cami, medrese v.s. lerde doğal ve yapay puzolanların kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle su ve tuzlu su etkisinde bulunan yapı ve sanat eserlerinde, puzolanlar, kireç ile çok ince öğütülerek kullanılmışlardır.

Özellikle 18. ve 19. yüzyıllar çimento ve çimento sanayiinde önemli gelişmelerin yaşandığı bir dönemdir. Bir İngiliz mühendisi olan John Smeton 1756

yılında saf olmayan yumuşak kalker ve killi malzemeden yapılan çimentonun tuzlu su içinde en iyi kalitede bir bağlayıcı olduğunu deneylerle kanıtlamıştır. 1796 İngiltere’ de Joseph Parker’ in kaliteli hidrolik çimento elde etmekte kullanılacak kalker modüllerini (Septaria) keşfettiği yıldır. 1813 yılında Vicat adlı bir Fransız araştırmacı ve İngiliz James Forset kalker ve kil dışında malzemeler kullanarak çimento üretmeyi başarmışlardır.

İngiliz Joseph Aspadin, killi bir kireç taşının kalsinasyonu ile Portland ismi ile anılan yapay çimentoyu bulmuş ve patentini almıştır. Bu ürüne Portland isminin verilmesi, İngiltere yakınlarındaki Portland adasından çıkarılan ünlü yapı taşlarına benzemesindendir. Son olarak bulunan bu çimento cinsi benzerlerinin en gelişmiş olanıdır.

Yapay çimento alanında gerçekleştirilen çalışmalar doğal çimentonun da bulunmasına neden olmuştur. 1850 yılında David O. Saylor Pennsylvania’ da Coplay yakınlarında yakıldığı zaman çimento malzemesi oluşturan çimento kayacını bulmuştur.

1802 yılı çimento endüstrisinin başlangıcı olarak bilinmektedir. Portland çimentosu ile ilgili ilk çalışmalar İngiltere’ de Swanscombe’de 1825 yılında başlamıştır. İlk Portland çimentosu fabrikaları 1865 yılında Belçika ve Almanya’ da kurulmuştur. Portland çimentosunun ekonomik anlamda üretimi ise 1871 yılında ABD’ de David O. Saylor tarafından başlatılmıştır.

Türkiye’ de ilk çimento fabrikası 20.000 ton/yıl kapasiteli olarak 1911 yılında İzmit-Darica’ da kurulmuştur. Cumhuriyet’ ten sonra ilk kurulan fabrika ise Ankara Çimento Fabrikasıdır.

2.2 ÇİMENTO HAMMADDELERİ VE TÜRKİYE’ DEKİ REZERVLERİ [1,2]

Çimento yapmaya elverişli hammaddeler, kalker, marn, kil, kil taşı (şeyl), killi şist ve çeşitli yakıtlar (fuel-oil, linyit, ham petrol, maden kömürü, petrokok, doğal gaz)’ dan ibarettir. Bunların dışında hammaddenin karışımını düzenlemek için demir cevheri, pirit külü, silisli kum, kum taşı, boksit, diyasporit, alüvyon kili gibi maddeler kullanılır. Kireçtaşı ve kalkerli marnlar birçok jeolojik formasyonda mevcuttur. Bu hususta özel bir önemi olan formasyonlar yaş sırasına göre Tersiyer - Kretase(tebeşir)

- Jura - Kabuklu kalker - Devon şeklindedir.

Çimento hammaddeleri doğada nadiren saf halde bulunmakta olup, genellikle yapılarında ağır metaller ve halojenler gibi safsızlıkları barındırırlar.

Killerin çoğu Diuvium ve Tersiyer devre aittir. Killi şistler, şistli killer ve şistler daha yaşlıdır. Devon devre ait olanlar daha da eski formasyonlardır. Kireçtaşı, kalkerli marn, marn, kil ve çimentonun priz zamanını ayarlamak için kullanılan alçıtaşı Türkiye’ de bol miktarda mevcuttur. Tüm bu kayalar yerüstü maden işletmeciliği yöntemleriyle çıkarılmaktadır.

Kalker [1,2]

Kalker, kimyasal bileşiminde %90’ a yakın kalsiyum karbonat bulunduran kayalara denmektedir. Minerolojik olarak saf halde kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki kristal şekli olup, kimyasal bileşimleri teorik olarak %56 CaO ve %44 CO₂’ dir.

Kalker asit ile reaksiyona girdiğinde köpürerek erir ve CO₂ açığa çıkar. Bu, kalker diğer kayalardan ayıran en belirgin özelliğidir. Kalker, deniz ve tatlı su ortamlarında biokimyasal olarak oluşur ve kimyasal, organik veya mekanik yollar ile çöker. Deniz ve tatlı sularda yaşayan organizmalar suda bulunan kalsiyum iyonunu veya kalsiyum karbonatı organik olarak kalsiyum karbonat haline dönüştürüp, kabuk ve iskeletlerinde biriktirirler. Kalkerin büyük bir bölümü organizmaların bu şekilde oluşturduğu kalsiyum karbonat / kalker birikmeleridir.

Kara kökenli oluşumlarda, yeraltı sularının yeryüzeyine ulaşmaları ile yapısında çözelti şeklinde bulunan kalsiyum bikarbonat, kalsiyum karbonat halinde uygun koşullarda çökerek karasal kökenli kalker oluşumlarını meydana getirirler. Kalkerler hangi yol ile oluşurlarsa oluşsunlar doğada magnezyum karbonat, kil mineralleri, demir silikat-oksit, silikat asiti (SiO₂) gibi safsızlıkları yapılarında bulundururlar. Bütün bu safsızlıklar kalkerin minerolojik ve kimyasal yapısını değiştirirler. Örneğin, kalker doğada kalsit ve aragonit kristallerinden oluşmuş bir kayaç olarak saf halde bulunabileceği gibi çift karbonatlı CaMg(CO₃)₂ olarak da bulunabilir. Kristal şekli değişen bu kayaç dolomit olarak adlandırılır.

Türkiye'nin jeolojik yapısının saptanması ve değişik amaçlı doğal araştırmalardan faydalanılarak, kalker ve kalkerli kayaçların çok genel düzeyde bölgelere göre rezervleri Tablo 2.1' de görülmektedir. Buna göre Türkiye' deki kalker ve kalkerli kayaçların 2.3 milyar ton görünür, 9.7 milyar ton muhtemel ve 40 milyar ton jeolojik rezervi saptanmıştır.

Tablo 2.1 Bölgelere Göre Kalker Rezervleri (milyon ton) [2].

Bölgeler	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv	Jeolojik Rezerv
Marmara	217	1008	2395
Ege	395	2200	16427
Akdeniz	323	1335	7780
İç Anadolu	606	2112	5125
Karadeniz	260	1405	4640
Doğu Karadeniz	383	1180	2760
Güneydoğu Anadolu	147	530	910
GENEL TOPLAM	2331	9770	40037

Kil [1,2]

Yerbilim açısından kil, minerolojik bileşiminde % 90' a kadar kil minerali bulunan kayaçlara verilen addır. Kil mineralinin temel özelliği kimyasal bileşimlerinde alüminyum oksit (Al_2O_3) bulunması ve kristal sulu alüminyum silikatlardan meydana gelmesidir. Kil mineralleri genel olarak incelendiklerinde minerolojik ve kimyasal özelliği açısından sulu alüminyum, magnezyum ve demir silikatlardan oluştuğu görülmekte, bununla beraber kalsiyum, potasyum ve diğer iyonları da içermektedir. Doğada kil mineralleri ender olarak saf halde bulunurlar. Kil yatakları kaolinlerin kil taşı, killi şist, grovak ve feldspathlı tüm kayaçların bozunması sonucu ve alterasyon örtüsündeki aşınma ve taşınma sonucu tatlı su ve deniz ortamlarında çökelmeleri sonucu oluşur.

Çimento hammaddesi olarak kullanılacak killerin kimyasal analizinde Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , kızdırma kaybı miktarlarının yüzdeleri bilinmelidir. Ayrıca kilin kimyasal bileşiminde Al_2O_3 / Fe_2O_3 oranı 2/1 civarında, toprak alkali oksitlerin miktarının %1' in altında olması ve 900-1050°C' de sinterleşme olması tercih edilmektedir.

Türkiye’de çimento yapımına elverişli kil ve killi kayaç oluşumlarının genel düzeyde yapılmış olan etüd ve aramalarda saptanmış olan bölgelerimize göre rezervleri Tablo 2.2’ de görülmektedir. Buna göre, 748 milyon ton görünür, 2.9 milyar ton muhtemel ve 6.4 milyar ton jeolojik rezerv mevcuttur.

Tablo 2.2 Bölgelerimize Göre Kil ve Killi Kayaç Rezervleri(milyon ton) [2].

Bölgeler	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv	Jeolojik Rezerv
Marmara	54	201	583
Ege	123	364	1085
Akdeniz	235	1175	2225
İç Anadolu	88	408	1106
Karadeniz	32	264	503
Doğu Karadeniz	92	300	462
Güneydoğu Anadolu	124	212	444
GENEL TOPLAM	748	2924	6408

Marn [1,2]

Doğada %50-70 oranında kalker ve %30-50 oranında kil karışımından oluşmuş kayaçlara marn adı verilmektedir. Oluşumu bakımından tümüyle sedimenter nitelik taşımaktadır. Karadan taşınan silt niteliğinde ve koloidal partiküller halindeki kil mineralleri, deniz ortamında çökelirken, yüzeydeki planktonik ve pelajik kalker yapan organizmalar ile deniz diplerinde yaşayan kalker kabuklu organizma atıklarından oluşan kalker çamuru, kil çamuru ile karışarak marn çökellerini oluşturmaktadır.

Çimento yapımında genellikle %70 kalker ve %30 kil içeren marnlı kalker, klinkerin kimyasal bileşimine en yakın doğal kayaç olduğu için tercih edilmektedir. Marnın kalkerli hammadde olarak kullanılma avantajları, kolay sökülebilir nitelikte ve yumuşak olması, işletme, öğütme ve pişirme işlemlerinde ekonomi sağlamasıdır.

Türkiye’ de yer alan marn oluşumlarının hammadde niteliği açısından kalite ve rezerv durumları bugüne kadar saptanmamıştır.

Alçıtaşı [1,2]

Alçıtaşı doğada kalsiyum sülfat şeklinde bulunmaktadır. İki molekül kristal suyu bulunan türüne jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve susuz kalsiyum sülfat mineraline de

anhidrit (CaSO_4) adı verilmektedir. Çimento sanayiinde genellikle jips kullanılmaktadır. Alçıtaşı genellikle kimyasal tortul oluşum olup, deniz suyunun buharlaşması ile çökelmiştir. Bu tür oluşumlara evaporit oluşumlu çökelmeler denilmektedir.

Alçı taşı yataklarına oluşum esnasında veya sonradan yabancı maddeler karışmış olabilir. Bunların başlıcalarını kalker, manyezit, tuzlar (Na, K, Mg v.s., klorürleri), kil mineralleri, sülfatlar, metal oksitli bileşikler ve silis asitli bileşikler teşkil eder. Alçı taşı doğada %85-90 safılıkta bulunmaktadır. Alçı taşı, Portland çimentolarında öğütülmeden önce klinkere ham haliyle %3-5 oranında karıştırılarak kullanılır. Alçı taşı çimento harcında donma (priz) süresinin ayarlanmasında rol oynar.

Türkiye’ de bulunan alçı taşı oluşumlarının potansiyeli çok genel düzeyde saptanmıştır, buna göre 566 milyon ton görünür rezerv ve 3.9 milyar ton jeolojik oluşum bakımından bulunması mümkün olan alçı taşı kaynak potansiyeli tesbit edilmiştir.

Puzolanik Maddeler [1,2]

Puzolanik maddeler, silisli ve alumino-silisli minerallerin karışımlarından meydana gelen bir bileşim olup kendi başlarına bulunduklarında hidrolik özelliğe sahip olmadıkları halde, çok ince öğütüldüklerinde ve normal sıcaklıkta sulu ortamda kalsiyum hidroksitle muamele edildiklerinde kimyasal reaksiyona girerek hidrolik özellik gösteren maddeler olarak tanımlanmaktadır.

Çimento sanayiinde doğal puzolanların kimyasal özelliklerinin norm değerlerinin ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) min. %70, MgO maks. %5, SO_3 maks. %3 ve rutubet maks. %10 olması istenmektedir.

Türkiye’ de doğal puzolan oluşumlarının bulunduğu geniş alanlar olmasına rağmen kalite ve potansiyelleri bugüne kadar saptanamamıştır.

Demir Cevheri [1,2]

Sanayiinin en önemli maddelerinden olan demir, saf halde gümüş parlaklığında olup, kolayca oksitlendiği için doğada saf halde ender olarak bulunur. Yer kabuğunun kimyasal bileşiminde %4.7 oranında bulunan en yaygın metallerden biridir. Mağmanın kimyasal bileşiminde silisyum (%27.72); alüminyum (%21.13)' dan sonra %5.01 oranında olan demir en çok bulunan ve arz kabuğunun yapısına giren ana elementler arasında üçüncü sırayı oluşturmaktadır. Demir metalinin elde edilmesinde kullanılan demir cevherleri oksitler, sülfürler, sülfatlar ve karbonatlar olmak üzere dört grupta toplanmaktadır.

Çimento sanayiinde kullanılacak olan demir cevherinin minerolojik ve kimyasal bileşiminde belli sınırlarda kükürt, arsenik, serbest silis asidi, fosfor, klor, krom, bakır, nikel, kurşun, mangan ve kobalt elementlerinin çeşitli bileşikler ve bu bileşiklerin mineralleri bulunmaktadır.

Türkiye' de yapılan demir cevheri etüd ve aramalarında 440.7 milyon ton görünür+muhtemel ve 256.5 milyon ton mümkün rezerv olarak saptanmıştır (demir cevheri, %52 demir eşdeğeri olarak).

2.3 ÇİMENTO ÜRETİM TESİSLERİ [1,3]

Çimento üretiminde hammaddenin çıkarılmasından ürünün paketlenmesine kadar geçen süreçte, çeşitli tesis ve ekipmanlardan faydalanılmaktadır. Söz konusu her bir tesis, kendine özgü işletme, bakım ve onarım şartlarına sahiptir. Üretim prosesi, tüm bu ünitelerin kombine bir şekilde çalışması ile gerçekleştirilmektedir.

2.3.1 Hammaddenin Hazırlanması

Ocaklardan çıkarılan hammaddeler genellikle rutubetli ve iri parçalar halindedirler. Bu nedenle hammaddenin önce kırılıp ufalanması gereklidir. Daha sonra kırılan hammadde ya kurutulup öğütülerek farin (un) haline veya su ilave ederek öğütmek suretiyle çamur haline getirilerek fırına beslenecek hale getirilir.

Kırma

Patlayıcı maddeler madencilikte, kayaçları doğal yataklardan çıkarmak için kullanılırlar. Kayaçlarda boyut küçültmenin ilk aşaması kırma işlemidir. Kırma işlemi, kayaçların sert bir yüzeye sıkışması veya hareket eden parçalar ile sert bir yüzeye çarpması şeklinde olmaktadır.

Çimento endüstrisinde kullanılan kırıcılar, kırılan malzemenin boyutuna göre iki ana gruba ayrılmaktadır:

- Primer kırıcılar.
- Sekonder kırıcılar.

Primer kırıcılar büyük boyutlu cihazlar olup, ocaktan çıkan malzemenin boyutlarının kamyon veya bant ile taşınacak şekilde veya sekonder kırıcılara beslenecek boyuta küçültülmesi için kullanılır.

Sekonder kırıcılar, primer kırıcılarla karşılaştırıldığında daha küçük ve hafif cihazlardır. Primer kırıcıların ürettiği malzemeyi tekrar kırmak için kullanılırlar. Maksimum besleme çapı 15 cm' den küçüktür. Sekonder kırıcılar malzemeyi öğütmeye hazır hale getirirler.

Öğütme

Kırılmış hammadde yaş proses fırın sistemleri için çamur halinde öğütülerek, kuru proses sistemler için farin halinde öğütülerek hazırlanır. Öğütme, değirmenlerde gerçekleştirilir. Çimento endüstrisinde hammaddelerin öğütülmesi için kullanılan değirmenler aşağıda sınıflandırılmıştır:

- Bilyalı değirmenler,
- Borulu değirmenler,
- Kompaund değirmenler,
- Elavatörlü ve seperatörlü kapalı devre değirmenler,
- Hava püskürtmeli değirmenler,
- Ring değirmenler.

Kurutma

Öğütülecek malzemenin rutubet oranının yüksek olması durumunda, ham madde öğütülmeden önce kurutucularda kurutulmaktadır. Kurutma işleminde aşağıdaki kurutucular kullanılmaktadır:

- Döner kurutucular (Tambur veya Tromel kurutucular),
- Hızlı kurutucular.

2.3.2 Çimento Üretim Prosesleri ve Döner Fırınlr [1].

Çimento, yaş, yarıyaş ve kuru prosesler olmak üzere üç ayrı yöntem ile üretilmektedir. Tüm proseslerde klinkerin pişirilmesi için döner fırınlar kullanılmaktadır. Bu fırınlar yavaşca dönen silindir şeklindeki bir borudan ibarettir. Klinker çıkış noktasına doğru %3-5 eğimli olarak inşaa edilmişlerdir. Böylece fırın içinde ek bir güce ihtiyaç duyulmadan, pişirilen malzemenin gravitasyonel kuvvet doğrultusunda klinker çıkış noktasına ulaştırılması sağlanır. Fırının iç kısmı ateşe dayanıklı malzeme (genellikle ateş tuğlası) ile örülmüştür. Fırın dönüş hızı 1.5-3 dev/dak'dır.

Piştirilecek olan madde fırının yukarı kısmından(besleme ucu) girer. Pişirme düzeneği klinker boşaltma ucuna monte edilmiştir. Pişirme sırasında oluşan sıcak fırın gazları, ters akım prensibine göre, pişirme yönünün tam tersine ilerleyerek farin besleme noktasına ulaşmaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki bu gazlar, prosesin özelliklerine göre hammaddelerin (farin, pelet ve çamur) kurutulması, ön ısıtılması ve ön kalsinasyonu amacıyla kullanılmaktadır.

Yaş Proses

Yaş proseste, fırına beslenecek karışım, homojenizasyonunun sağlanması için su ile karıştırılmakta ve sonuçta %30-40 su içeren çamur fırına beslenmektedir. Fırın beslemesinden suyun buharlaştırılması için hem çimento fırınının kurutma ve ön ısıtma bölümlerinin daha uzun olması hem de ek bir enerji yatırımı gerekmektedir. Bu yöntemle daha iyi bir ham malzeme karışımı sağlanmasına karşın, diğer proseslere

göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Yarıyaş Proses

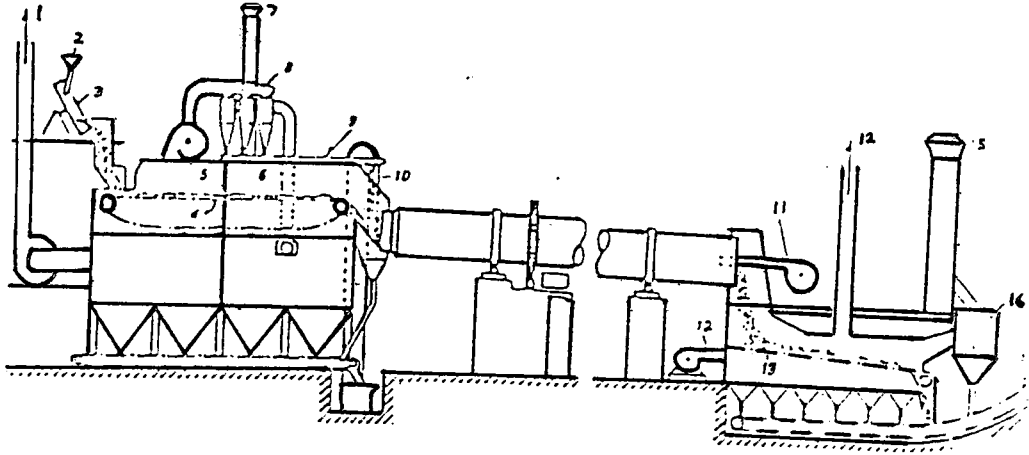
Yarıyaş proses Grate veya Lepol proses olarak da bilinmektedir. Bu proseste öğütülmüş kuru besleme hammaddesine eklenen su %10-15 civarındadır. Sonuçta oluşan pelet, çimento fırınının sıcak çıkış gazlarının içinden geçirildiği hareketli eleklere yüklenmektedir. Besleme hammaddesi fırın girişine ulaştığında, su buharlaşmış ve kalsinasyon başlamıştır. Bu proseste, enerji fırının sıcak çıkış gazlarının besleme malzemesinin kurutulması, ön ısıtılması ve kalsinasyonunda kullanılması nedeniyle, tamamıyla verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Yarıyaş prosesin akım şeması Şekil 2.1' de görülmektedir.

Kuru Proses

Kuru proseste fırın girişine ulaşan besleme hammaddesi kuru toz şeklindedir. Bu proses üç tip fırın ile karakterize edilebilir:

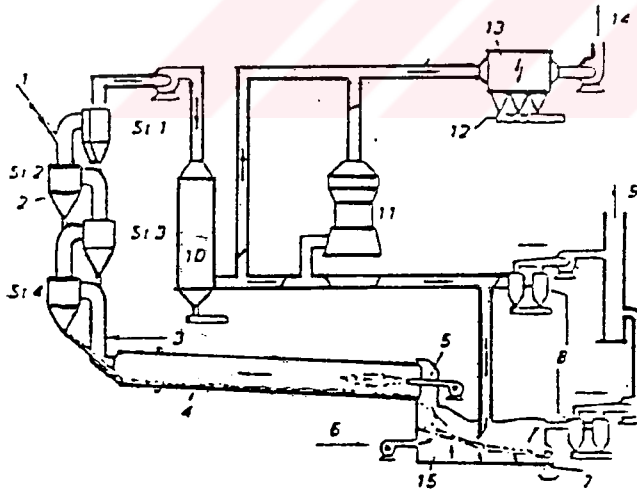
- a) Kuru fırın,
- b) Ön ısıtılıcı fırın,
- c) Ön kalsinasyonlu fırın.

En eski kuru proses fırınları, yaş proses fırınlarını çok andırmaktadır ve basit anlamda bu tür fırınlar, kuru fırın olarak bilinmektedir.



- | | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. Elektrofiltreye çıkış | 7. Yardımcı baca | 13. Izgara soğutucu |
| 2. Farin beslemesi | 8. Ara toz tutma | 14. Sıcak hava kullanımı |
| 3. Nodül plakası | 9. İkincil ateşleme | 15. Atık gaz bacası |
| 4. Hareketli ızgara | 10. Toz geri dönüşü | 16. Toz tutma |
| 5. Kuru kamara | 11. Birincil hava ve yakıt | 17. Klinker konveyörü |
| 6. Sıcak kamara | 12. Soğutma havası | |

Şekil 2.1 Yarıyaş (Lepol) Döner Fırın



- | | | |
|---------------------|--------------------|-----------------------|
| 1. Farin beslemesi | 6. Soğutma havası | 11. Değirmen kurutma |
| 2. Ön ısıtıcı | 7. Klinker | 12. Toz geri dönüşü |
| 3. İkincil ateşleme | 8. Toz tutucu | 13. Elektrofiltre |
| 4. Döner fırın | 9. Atık hava | 14. Atık gaz |
| 5. Brülör | 10. Soğutma kulesi | 15. Izgaralı soğutucu |

Şekil 2.2 Siklon Ön Isıtıcılı ve Değirmen Kurutmalı Döner Fırın

Şekil 2.2' de verilen ön ısıtıcı fırın II. Dünya Savaşı' ndan sonra yaygınlık kazanmıştır. Bu tip fırınlar kuru besleme maddenin sıcak fırın gazları ile ön ısıtılmaya tabi tutulduğu ve kısmen kalsine edildiği ön ısıtma kulesine sahiptir. Fırın girişinde ve ön ısıtıcının alt kamaralarında alkali tuzlar gibi uçucu bileşenlerin birikmesi nedeniyle, ön ısıtıcı fırın, sıcak fırın gazının bir bölümünü kuleden hava kirliliği kontrol aletlerine yönlendirici bir by pass sistemi ile donatılmıştır.

Ön kalsinasyonlu fırınlar en son teknolojinin ürünüdür. Bu fırınları ön ısıtıcı olanlardan ayıran fark, daha fazla maddenin kalsinasyonunun sağlanması için ön ısıtma kulesinde ikinci bir yakma sisteminin bulunmasıdır. Sonuç olarak bu sistemde malzemenin büyük bir kısmı fırına tamamiyle kalsine olmuş bir şekilde girmektedir.

2.3.3 Ön Isıtıcılar

Fırını terk eden gazların sahip olduğu ısıdan maksimum derecede faydalanmak için çeşitli tipte önısıtıcı sistemler geliştirilmiştir. Döner fırından önce monte edilen çeşitli tipteki tesisler ile fırın gazlarındaki ısıdan faydalanılmaktadır.

Bu tesisler farini veya çamuru kurutmak, önısıtma ve kısmen kalsine etmeyi sağlamaktadırlar. Kalsinatör ve konsantratör, önısıtıcılar hem yaş hem de kuru proseste kullanılabilmektedir.

2.3.4 Klinker Soğutucular

Soğutucuların görevi fırından çıkan klinkerin soğutulmasıdır. Ayrıca bunlar, fırındaki yanma için gerekli olan sekonder havayı da temin ederler.

Klinker soğutucular, döner soğutucular, integral soğutucular ve ızgaralı soğutucular olmak üzere üç ayrı tipte karakterize edilebilirler.

2.3.5 Toz Ayırıcılar

Çimento endüstrisinde toz ayırma için aşağıdaki çeşitli sistemler kullanılmaktadır:

- Toz odaları,
- Siklonlar,
- Filtre ayırıcılar(torbalı filtreler, dökme yataklı filtreler, seramik filtreler),
- Elektrofiltreler.

2.4 ÇİMENTO ÜRETİMİ [1,4,5]

Uygun oranlarda karıştırılarak öğütülen hammaddeler, çimento fırınına beslenmektedir. Çimento fırınlarında beş termal bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler ve maddelerin bu bölgelerdeki sıcaklıkları Tablo 2.3' de verilmiştir. Bu bölgedeki gaz sıcaklıkları madde sıcaklıklarından daha yüksektir. Örneğin sinterleşme bölgesinde genellikle gaz sıcaklığı 1927 °C iken, aynı bölgede madde sıcaklığı yaklaşık olarak 1482 °C olmaktadır.

Fırının kurutma ve önısıtma bölgesinde, malzemede bulunan serbest ve kristal su buharlaşır ve fırına verilen maddenin sıcaklığı 805 °C' a ulaşır.

Hammaddenin sıcaklığının 1200 °C kadar yükseldiği kalsinasyon bölgesinde oluşan reaksiyon sonucu, kalsiyum karbonattan karbon dioksit ayrılarak fırın içinde kalsiyum oksit teşekkül eder. Ayrıca ham besleme malzemesinde az miktarda bulunan magnezyum karbonat, karbon dioksitin serbest kalması ile magnezyum oksite dönüşür. Fırın içinde karbon dioksitin serbest kalması, olarak gerçekleşen bu olaya kalsinasyon denmektedir. Hammaddenin 1482 °C 'ye kadar ısıtıldığı son üç bölgeye pişirme bölgesi denilmektedir. Bu bölgeden; üst-geçiş bölgesinde ve bir miktarda kalsinasyon bölgesinde olmak üzere, dikalsiyum silikat ve yarı aluminat ve ferrit bileşenleri oluşur, sinterleşme bölgesinde trikalsiyum silikat, trikalsiyum aluminat ve tetrakalsiyum aluminaferrit oluşmaktadır. Ayrıca, bu bölgede yarı sıvı maddeler, çapları yaklaşık olarak 3 ile 20 mm arasında değişen nodüller halinde yoğunlaşmaktadır. Çimento fırınının son bölgesi soğutma bölümü olarak adlandırılır. Bu bölgede klinker sertleşir ve soğumaya başlar. Fırın prosesi tamamlanan klinker, soğutulmak amacıyla klinker soğutucusuna alınmaktadır.

Tablo 2.3 Çimento Fırını Bölgeleri ve Hammadde Sıcaklıkları [4].

Bölgeler	Hammadde Sıcaklıkları °C
Kurutma ve Önisıtma	15-805
Kalsinasyon	805-1200
Üst-geçiş	1200-1400
Sinterleşme	1400-1510
Soğutma	1510-1290

Tablo 2.4 Çimento Fırınlarda Oluşan Reaksiyonlar ve Isı Değişimi [5].

Sıcaklık °C	Reaksiyon	Isı Değişimi
100	Serbest suyun buharlaşması	Endotermik
500 ve üstü	Bileşik suyun kilden uzaklaşması	Endotermik
900 ve üstü	Amorf yapıli kil dehidratasyon ürününün kristalizasyonu	Ekzotermik
900 ve üstü	Kalsiyum karbonattan karbondioksitin çıkışı	Endotermik
900-1200	Kil ve kireç arasındaki esas reaksiyon	Ekzotermik
1250-1280	Sıvı faz oluşumunun başlangıcı	Endotermik
1280 ve üstü	Sıvılaşmanın devamı ve klinker oluşumunun tamamlanması	Dengede Endotermik

Fırın içerisindeki reaksiyonların büyük çoğunluğu, katı faz içerisinde meydana gelmekte ve bu işlemin sonunda önemli derecede erime görülmektedir. Çimento endüstrisinde 1250 °C, sıvılaşmanın (sinterleşme) başladığı sıcaklık olarak kabul edilmektedir.

Geleneksel olarak klinkerin yapısı elementel bileşenlerin oksitleri şeklinde ifade edilmektedir. Bu kural, klinkerin kimyasal yapısının tam olarak belirlenemediği 19. yüzyılın başlarında kabul görmüştür. Bu kurala göre klinkerin yapısını oluşturan başlıca elementlerin kalsiyum (Ca), silisyum (Si), alüminyum (Al) ve demir (Fe) olması nedeniyle, klinkerin bileşimi aşağıdaki gibi verilebilir:

Kalsiyum oksit	CaO	%67
Silisyum oksit	SiO ₂	%22
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	%5
Demir oksit	Fe ₂ O ₃	%3
Muhtelif bileşikler	----	%3

Portland çimentosu üretiminin tamamlanması için soğutulmuş klinkerin bir miktar alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile öğütülmesi gerekmektedir. Böylece çimentodaki %2-3' lük sülfat bileşimi sağlanmış olacaktır. Çimento klinkeri ile öğütülen alçıtaşı, çimento priz zamanının uzatılmasını sağlamaktadır. Çimentonun priz zamanını kısaltan faktörler; klinkerin az pişirilmesi, yüksek alumina miktarı, alkaliler, soda, alkalihidroksitler ve ince öğütmedir. Priz zamanını uzatan faktörler ise klinkerin fazla pişirilmesi, yüksek silis miktarı, sülfatlar, sert su, sodyum klorür, magnezyum klorür, baryum klorür ve iri öğütme olarak sıralanabilir.

Katkılı çimento; uygun oranlarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, puzolan veya diğer dolgu maddelerinin çimento değirmenlerine kurutulmuş olarak verilerek öğütülmeleri suretiyle üretilmektedir. Kimya sanayiinde yan ürün olarak elde edilen kalsiyum sülfat, alçı taşı yerine kullanılabilir. Öğütme prosesi esnasında, öğütülmedeki incelik, ürünün kalitesini arttırmaktadır. Öğütme esnasında fazla miktarda enerji tüketimini azaltmak için öğütme yardımcıları kullanılabilir, ayrıca öğütme prosesi ile ürünün iyi bir homojenizasyona sahip olması sağlanmaktadır.

Tablo 2.5 Portland Çimentosunun Klinker Bileşimi [1]

Kimyasal İsmi	Formülü	Kısaltma	Bileşim
Dikalsiyum silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	% 15-30
Trikalsiyum silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	% 50-70
Trikalsiyum aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	% 5-10
Tetrakalsiyum aluminaferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	% 5-15
Serbest magnezyum oksit	MgO	MgO	--

BÖLÜM 3

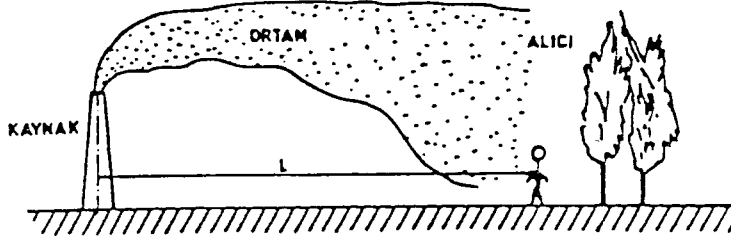
HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI VE ÖLÇÜMÜ

3.1 HAVA KİRLİLİĞİ VE HAVA KALİTESİ KAVRAMI

Hava kirliliği havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik mal varlıklarına zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasıdır. Bu tanımda dikkati çeken önemli nokta, zararlı olabilecek ifadesidir. Bu ifade zarar kavramının hava kirlenmesinde yeterli açıklıkta ve kesin olarak belirlenememesinin bir sonucudur. Hava kirliliğinin etki şekli ve derecesi ; yaş, dayanıklılık gibi kişisel faktörlere bağlıdır. Tanımda kullanılan diğer önemli terim ise süredir. Hava kirlenmesinde kirleticilere maruz kalma süresi önem taşımaktadır. Bazı kirleticilere düşük derişimlerde çok uzun sürede maruz kalınma ile olumsuz etki oluşurken, diğer bazı kirleticilerin düşük derişimleri, uzun sürede insanlarda ölümcül sonuç doğurabilmektedir [6].

Katı, sıvı ve gaz şeklinde kirleticiler maddelerin havaya karışması olayında; a) bir kaynak , b) bir taşıyıcı ortam ve c) bir alıcı ortam bulunur. Şekil 3.1’de kaynak, taşıyıcı ortam ve alıcı ortam arasındaki ilişki görölmektedir [7].

Alıcı için hava kalitesinin ne olması gerektiği hava kalitesi kriterleri yardımıyla belirlenmektedir. Kriterlerin yasal hali standartları oluşturmaktadır. Belirli kriter veya standartlara uyulabilmesi için kaynak ve ortama ilişkin iki grup değişken tariflenmektedir. Bunlardan kaynakla ilişkin olanlar; yakıtlar,yakma teknolojisi ve hava kirliliği önleme cihaz ve teknikleri ile ilgilidir. Ortama ilişkin olanlar ise kirleticiler kütlenin atmosferdeki dağılımını belirlemektedir. Bu dağılım incelenen bölgenin meteoroloji koşulları ile ilişkilidir.



Şekil 3.1 Hava Kirliliğindeki Başlıca Elemanlar [7]

Alıcı ortamın meteorolojik koşulları, gerek bölgede hava kalitesinin oluşmasında ve gerekse bu kalitenin matematiksel dağılım modelleri yardımıyla belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

Hava kalitesi, insan ve çevresi üzerine etki eden hava kirliliğinin bir göstergesidir. Çevre havasında hava kirleticilerin miktarının artması, hava kalitesini düşürmektedir. Hava kalitesi sınır değerleri, insan sağlığının korunması amacıyla çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin bir arada bulunduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak belirlenmiş derişimlerle ifade edilen seviyelerdir. Genellikle hava kalitesi sınır değerleri; uzun vadeli sınır değerler (UVS) ve kısa vadeli sınır değerler (KVS) olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır. UVS, hava kirleticilerin düşük miktarlarının uzun sürede solunmasıyla ortaya çıkan kronik etkiler için verilen üst sınır değerleri göstermektedir. KVS ise, kısa sürede hava kirleticilerin yüksek derişimlerinin solunmasıyla ortaya çıkan kısa süreli akut etkiler için belirtilen sınır değerleri göstermektedir.

Hava kalitesi sınır değerleri için kullanılan derişim birimleri şunlardır :

- a)Kütle Derişimi :Havanın birim hacmindeki hava kirleticisinin kütle miktarıdır (g/m^3),
- b)Hacim Derişimi:Havanın milyon hacmindeki hava kirleticisinin hacim miktarıdır (ppm),
- c)Çöken Toz Derişimi : Birim zamanda birim yüzeyde toplanan toz kütlesinin miktarıdır ($\text{g/m}^2.\text{gün}$).

3.2 HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI [8,9]

3.2.1. Hava Kirliliğinin Temel Kaynakları

Hava kirliliği kaynakları iki grupta toplanabilir :

- 1) Doğal Kaynaklar : Volkan faaliyetleri, orman yangınları, açık arazideki hayvan ve bitki örtülerinin bozunması,
- 2) Yapay Kaynaklar : Bu kaynaklar, insanlar tarafından meydana getirilen kaynaklardır. Yapay kaynaklar sabit kaynaklar ve hareketli kaynaklar olarak iki grupta incelenebilir. Sabit kaynaklar; katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile veya herhangi bir üretim prosesi sırasında oluşan kirleticilerin atmosfere emisyonunun yapıldığı kaynakları içermektedir. Hareketli kaynaklar ise ; kara, deniz ve hava taşıtlarının egzozlarıdır.

Evsel ısıtma, endüstride buhar, sıcak su ve elektrik üretimi (termik santraller) için kullanılan katı, sıvı veya gaz yakıtların yanma ürünlerinin atmosfere atıldığı bacalar önemli hava kirliliği kaynaklarını oluşturmaktadır.

Yanma prosesleri dışındaki ticari ölçekte üretim yapan endüstrilerin faaliyetleri sonucunda oluşan çeşitli hava kirleticilerin atmosfere verildiği bacalar endüstriyel kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliğini oluşturan endüstriyel kaynaklar aşağıdaki şekilde incelenebilir:

- a) Minerallerin İşlenmesi,
- b) Metalurjik İşlemler,
- c) Kimyasal İşlemler,
- d) Kağıt ve karton endüstrileri,
- e) Gıda endüstrisi,
- f) Yanmadan kaynaklanan kirlilik,
- g) Nükleer işlemler.

3.2.2. Hava Kirliliğinin Diğer Kaynakları

Yanma proseslerinden, taşıt egzozlarından ve çeşitli endüstrilerden kaynaklanan hava kirliliğinin dışındaki kaynakları diğer hava kirliliği kaynakları olarak

inceleyebiliriz. Bu kaynaklar, yakıtların yanması sonucunda oluşan yanma ürünleri ve endüstriyel kaynaklar kadar önemli olabilmektedirler, bu kaynaklar çoğunlukla dikkate alınmayan hava kirliliği kaynaklarıdır.

Hava kirliliğine neden olan diğer kirlenici kaynaklar şunlardır :

- a) Çöplerin Yanması
- b) Kirli Su Kütelleri
- c) İnşaat Faaliyetleri
- d) Atık Su Arıtma Tesisleri.

3.3 HAVA KİRLİTİCİ PARAMETRELER [7]

Havanın doğal bileşimini değiştiren hava kirleniciler gaz , sıvı veya katı faz halinde olabilen kimyasal maddelerdir. Gaz hali dışında bulunan kirleniciler havada aerosol halinde olup , bazıları sis , mist , duman gibi özel adlar ile adlandırılmaktadır.

Hava kirleniciler çeşitli özellikler gözönüne alınarak sınıflandırılmaktadır. Fiziksel yapısına göre gaz veya partiküler madde (toz) şeklinde sınıflandırma yapılmaktadır. Bunun dışındaki bir sınıflandırma ise, kimyasal yapıya bağlı olarak yapılmaktadır. Kimyasal yapıya göre kirleniciler ; organik ve inorganik kirleniciler olarak ayrılırlar. Organik kirlenicilerin de kendi içlerinde çok sayıda sınıfa ayrılmaktadır.

Genel olarak havayı kirlen parametreleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- a) Partiküler maddeler (Tozlar),
- b) Kükürtlü maddeler,
- c) Organik maddeler,
- d) Azotlu maddeler,
- e) Karbonmonoksit,
- f) Halojenler,
- g) Radyoaktif maddeler.

Doğrudan doğruya kirlenici kaynaktan atılan maddeler "Birincil Kirleniciler" olarak adlandırılırlar. Bu gazlar , atmosferde bulunan oksitleyici özellikteki ozon ve fotokimyasal tepkimelerle daha ileri oksitlenme seviyelerine yükseltilebilirler.

Böylece oluşan ara maddeler atmosferdeki su buharı ile birlikte sülfürik, nitrik, karbonik asit gibi doğaya zarar veren ürünleri ve asit yağmurlarını oluştururlar. Bu oluşuma “İkincil Kirlenme” denir.

Kirleticileri, hava kalitesi yönetimi bakımından; konvansiyonel ve spesifik kirleticiler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

3.3.1 Konvansiyonel Kirleticiler

Konvnsiyonel kirleticiler katı , sıvı ve gaz yakıtların yanmasıyla ve taşıtların egzozlarından oluşan kirleticiler olarak adlandırılmaktadır. Konvansiyonel kirleticiler, karbonmonoksit hariç birden fazla kirletici madde içeren gruplar şeklinde anılmakta ve bu gruplar birer kollektif parametre olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; NO, NO₂ ve diğer azot oksitleri , toplam azot oksitleri (NO_x) şeklinde bir kirletici parametre olarak ifade edilmektedir.

Partiküler Madde (PM)

Çapları ortalama olarak 0.0002 µm'den büyük olan ve havada askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partikül sınıfına girer. Partikül şeklindeki kirletici emisyonların tanımları iriliklerine, yoğunluklarına ve kimyasal yapılarına bağlı olarak aeresol, duman, is ve toz şeklinde adlandırılmaktadır. Bu tanımlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tozluluk ister doğal , ister yapay nedenlerden kaynaklansın görüş mesafesini kısaltan güneş ışınlarının absorbladığı bantı değiştiren, insan, hayvan ve bitki sağlığına olumsuz etki yapan bir kirlilik türüdür. Tozları oluşturan maddenin kendisi kimyasal bakımdan aktif olabildiği ve çeşitli şekillerde insan sağlığını etkileyebildiği gibi , üzerine adsorbladığı diğer kirletici gazların da havada bulunan derişimlerinden çok daha yoğun olarak hassas canlı dokulara ulaşmasına neden olabilir ve yüksek derecede tahribat yapmasına yol açmaktadır.

Tablo 3.1 Partikül Şeklindeki Kirletici Emisyonları [7]

Kirletici Adı	Açıklama
Tanecik (partikül)	Boyutları 0.001-500 μm arasında değişen katı ve sıvı kütleleridir. 10 μm altında olanlar havada askıda kalabilir, büyük tanecikler ise çökebilir.
Aeresol	Gaz ortamında kolloidal büyüklükte dağılmış pozitif veya negatif yüklü veya yüksüz katı veya sıvı taneciklerdir.
Duman	Tam olmayan yanma sonucu oluşan , çoğunlukla karbon ve diğer yanabilen maddeleri içeren parçacıklar olup , boyutları 1 μm 'den küçüktür.
İslilik	Karbonlu bileşiklerin tam yanmaması sonucu katran ile yapışarak aglomera olan ve havada dağılan 0.5 μm 'den küçük karbon tanecikleridir.
Toz	Gaz ortamda geçici olarak asılı halde bulunan ve boyutları 1-10 μm arasında değişen katı taneciklerdir.
Uçucu kül	Katı yakıtların yakılmasından oluşan 1-200 μm boyutlarında bulunan ve bünyesinde yakıtın da yer aldığı yanma gazlarındaki küllerdir.

Kükürt Oksitler (SO_x)

Havadaki kükürt oksitler (SO_x) içerisinde kükürt dioksit (SO_2) en önemli bileşendir. Kükürt dioksit yanmayan, renksiz bir madde olup 0.3-1 ppm derişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm' in üstünde ise, boğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde hızlı bir oksitlenmeyle kükürt trioksit (SO_3) ve sülfatlara dönüşmektedir. SO_3 ise sülfirik asitin anhidridi olup, yağmur veya yoğunlaşmış nem damlacıklarıyla birleşerek havada sülfirik asitin oluşmasına yol açar. Oluşan sülfatlar ise çoğunluğu 0.2-0.9 μm çapa sahip katı tanecikler şeklinde olup , görünür ışığın 0.4-0.8 μm olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş uzaklığını azaltmaktadırlar.

Kükürtlü gazların insan sağlığı ile ilişkisi birçok araştırmada incelenmiştir. Bu çalışmalar sonunda havadaki SO_2 seviyeleri ile toplum sağlığının ilişkide olduğu bilinmekle beraber, SO_2 ' nin atmosferde her zaman partiküllerle beraber değerlendirilmesi zorunluluğu olmuştur. Bu yüzden çok yüksek derişimleri hariç olmak üzere atmosferde bulunabilen seviyelerde ki SO_2 , partiküllerle beraber bir hava kirliliği indeksi kavramı içerisinde sağlık etkisi yaratır. SO_2 ' nin solunum yolu rahatsızlıkları yarattığı , özellikle akciğer yetmezliği ve solunum sistemi hastaları için öldürücü olabildiği düşünülmektedir.

Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitleri kararlı ve kararsız oksitler olmak üzere iki şekildedir. Diazot monoksit (N_2O), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), diazot trioksit (N_2O_3) ve diazot pentaoksit (N_2O_5) azotun gaz halindeki oksitleridir. Azot trioksit (NO_3) kararsız bir oksittir. Bu oksitlerden NO ve NO_2 en önemli kirletici gazlardandır. Azot oksitler de kükürt oksitler gibi asit yağmurlarına neden olurlar. Ayrıca fotokimyasal sisin oluşumunda başlıca etkenlerden sayılmaktadır. NO_2 insan sağlığı ve bitki örtüsüne zehir etkisi bulunmaktadır.

Hidrokarbonlar (HC)

Gaz halindeki hidrokarbonların doğrudan etkileri yerine atmosferdeki fotokimyasal reaksiyon ürünleri büyük önem taşır. Doğrudan etkisi bilinen tek organik gaz etilen (C_2H_4)'dir. Etilenin bitki büyümesini durdurduğu belirlenmiştir. Daha büyük moleküller halinde bulunan ve katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan hidrokarbonlar ise kanser yapıcı oldukları kuşkusuyla üzerinde çok sayıda araştırma yapılan kirleticilerdir.

Karbon Monoksit (CO)

Renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına eşit mol ağırlığında bir gaz olan karbonmonoksit (CO), bu yüzden hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hem de varlığı kolay farkedilmeyen zehirli bir gazdır. Atmosferde kolay kolay yok olmaz, ömrü 2-4 ay kadardır.

İnsan sağlığı bakımından bilinen en eski gaz zehirlenmeleri, tam olmayan yanmadan kaynaklanan artık gazların solunması dolayısıyla karbon monoksit yüzünden meydana gelmiştir. Bu zehirlenme, kandaki hemoglobinin karbonmonoksit ile tercihi olarak bir kompleks (COHb = karboksi hemoglobin) yapıp, dokulara oksijen sevkini engellemesi ile kendini göstermektedir. Karboksi hemoglobinin, ayrıca dokulara ulaşabilen oksijenin de hücrelerde serbest hale gelmesini engellediği belirlenmiştir.

Fotokimyasal Oksidanlar

Havanın oksitlenme gücünü gösteren ve genelde ozon, peroksi bileşikleri ve radikallerin oluşturduğu oksitleyici maddelerin toplamıdır. İnorganik oksitleyiciler de

bu gruba dahildir. Ultraviyole fotometrisi ve oksitlenebilen iyot cinsinden ölçülürler. Oluşumları atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlara dayanır.

3.3.2 Spesifik Kirleticiler

Spesifik hava kirletici parametreler genelde tek bir madde veya bazı hallerde spesifik bir yapıya sahip madde grubu olarak ele alınırlar. Spesifik kirleticiler özellikle insan sağlığı açısından önem taşıyan ve etkilerini çok düşük konsantrasyonlarda da gösteren kirleticilerdir katı, sıvı veya gaz halinde olabilirler spesifik kirleticiler kanser yapıcı maddelerin önemli bir grubunu oluşturur. Spesifik kirletici olarak iki yüzün üstünde madde belirlenmiştir. Bu parametrelerle ilgili kontrol ihtiyacı, spesifik kirleticilerin sayıları ve yapılan araştırmalarla gün geçtikçe artmaktadır. Tablo 3.2’de Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’ ndeki sınıflandırılan spesifik kirleticilerden örnekler verilmiştir.

Tablo 3.2 Spesifik Kirletici Örnekleri [7]

Toz (PM)	Organik Buhar ve Gazlar	İnorganik Gazlar	Kanser Yapıcı Maddeler
Alüminyum karbür, bizmut, fosfat, kalsiyum oksit, fosfor pentaoksit, kiselgur, kuvars, kurum, kurşun ve çözünen bileşikler	Anilin, aseton, n-butilasetat, dietil eter, etilen glikol, formik asit, fenol	Klor gazı, flor gazı, florürlü bileşikler, hidroklorik asit, amonyak	Benzopiren, arsenik, hidrazin, etilen diamin, krom(6) bileşikler, nikel tetra karbonil

3.4 HAVA KİRLENMESİNİN ÖLÇEKLERİ [9].

Hava kirlenmesi, kirleticilerin muhtemel uzaklığa göre Tablo 3.3’ de görüldüğü gibi sınıflandırılır. Bu sınıflamaya göre meydana gelebilecek hava kirlenmesinin coğrafi ölçekleri, etkili olacağı maksimum atmosfer yüksekliği, olay süreleri ile birlikte, olaydan sorumlu olacak veya önlem alınması gerekli en uygun örgütün adı belirtilmiştir. Yerel kirlenmelere örnek olarak rüzgar doğrultusuna ters düşen, yüksek binalarla çevrili olan bir sokakta sıkışıp kalan hava kütlelerinde, trafikten kaynaklanan ekzoz gazlarının giderek yoğunlaşması gösterilebilir.

Tablo 3.3 Kirleticilerin Ulaşım Mesafelerine Göre Hava Kirlenmesi Olaylarının Sınıflandırılması [9]

Kategori	Düşey Mesafe	Ortalama Kirlenme Süresi	Önemle Görevli Örgüt
Yerel	Baca yüksekliği	Saatler	Yerel
Kentsel	Bir kilometre	Günler	Belediye
Ulusal	Troposfer	Aylar	Devlet
Sınır ötesi	Strotosfer	Yıllar	Komşu devlet
Global	Atmosfer	Onyıllar	Uluslararası

Hava kirliliğinin ölçeklerini meteorolojik olayların ölçeklerine uyarak a) Makro ölçek b) Sinoptik ölçek c) Mezo ölçek d) Mikro ölçek olmak üzere dört ana sınıfa ayırmak mümkündür.

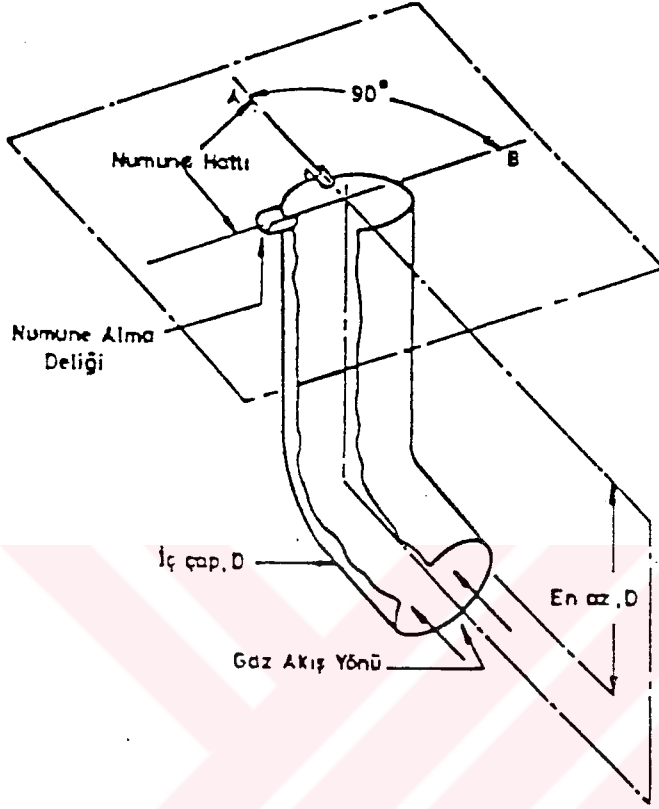
3.5 EMİSYON ÖLÇÜM YÖNTEMİ [7]

Emisyon kaynağında yapılan ölçümlerin sağlıklı olması tamamen doğru numune almaya bağlıdır. Kirletici parametre taşıyan kaynaklarda doğru numune almayı etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri,

a) numune alma yeri b) numune alma şekli c) numune alma hızı d) numune alma süresi olmak üzere dört ana grupta toplamak mümkündür.

Numune Alma Yeri

Sağlıklı bir ölçme için, emisyon yapılan baca veya kanal üzerinde numune alma yerinin seçimi çok önemlidir. Atık gaz partiküler madde taşıyor ise, numune alma yerinin seçimi dikkatlice yapılmalıdır. Atık gazın hızı, gaz bileşimi ve partiküler madde miktarı emisyonun yapıldığı baca veya kanal kesiti üzerinde değişiklik gösterebilmektedir. Atık gazın akım hattı üzerinde bulunan fan, vanalar, dirsek, daralma veya genişleme yerleri, başka bir akım birleşme veya ayrılma yerleri akımda düzensizlikler oluşturur, bu nedenle numune alma yeri, akımın karakteri bozan etkilerden yeterli uzaklıkta olmalıdır. Çeşitli standartlar numune alma yerinin, bu tür dirsek veya etkilerden en az bir baca çapı mesafe uzakta seçilmesini gerekli görmektedir. Şekil 3.2' de dairesel kesitli bir bacada numune alma yerleri görülmektedir.



Şekil 3.2 Dairesel Kesitli Bir Bacada Numune Alma Yerleri [7]

Numune Alma Şekli

Numune alma yerlerinde, numune alma şekli ve sayısı kirletici parametre yayan kaynağın karakterine ve kanal kesiti boyunca akımın üniform olup olmadığına bağlıdır. Bu sebeple çalışmaların başında yapılması gereken; pitot tüpü ile kesit boyunca gaz hızındaki dalgalanmaları tespit etmektir. Kesit üzerinde tek noktadan numune almanın yeterli olması durumunda numunenin kesit merkezinden alınması gerekmektedir.

İzokinetik Numune Alma

Numune alma ve doğru ölçüm yapılmasında önemli faktör izokinetiklik şartının sağlanmasıdır. İzokinetik numune, bir kaynaktan akım şartları bozulmaksızın, akımla orantılı numune alınmasıdır. Bu, atık gazın hızı ile aynı hızda numune çekilmesi

şeklinde de ifade edilebilir. Gerek gaz numune, gerekse partikül içeren numune alımlarında kaynaktaki akım karakteristikleri birinci derece önem taşımaktadır. Akım hızı ve konsantrasyonu kararlı ise atık gaz kaynağı kesiti üzerinde herhangi bir noktada ve herhangi bir hızda numune alınması yeterlidir. Akım hızı ve konsantrasyon kaynak kesiti üzerinde değişiklik göstermekte ise o zaman orantılı numune alınması gereklidir.

Numune Alma Süresi

Doğru numune alma işlemine etki eden diğer bir faktör de kesit üzerinde belirlenen numune noktalarından numune alma süresidir. Burada iki yöntem kullanılabilir; bunlar artım ve toplam numune alma yöntemleridir. Artım numune alma yöntemi daha kolay uygulanabilir. Genel olarak her bir adımda numune alma süresi 5-15 dakika arasında tutulabilir.

3.6 İZOKİNETİK EMİSYON ÖLÇÜM CİHAZLARI

Emisyon ölçüm cihazları kesikli ve sürekli numune alıcılar olarak iki ana grupta toplanmaktadır. Kesikli sistemle çalışan cihazlar, ayrı ayrı kaynaklarda değişik zamanlarda değişik kirleticilerin ölçülmesi için numune alınmasını sağlar. Kesikli sistem emisyon örneklemeye yönelik kullanılırken, sürekli sistem proses kontrolüne yönelik kullanılmaktadır.

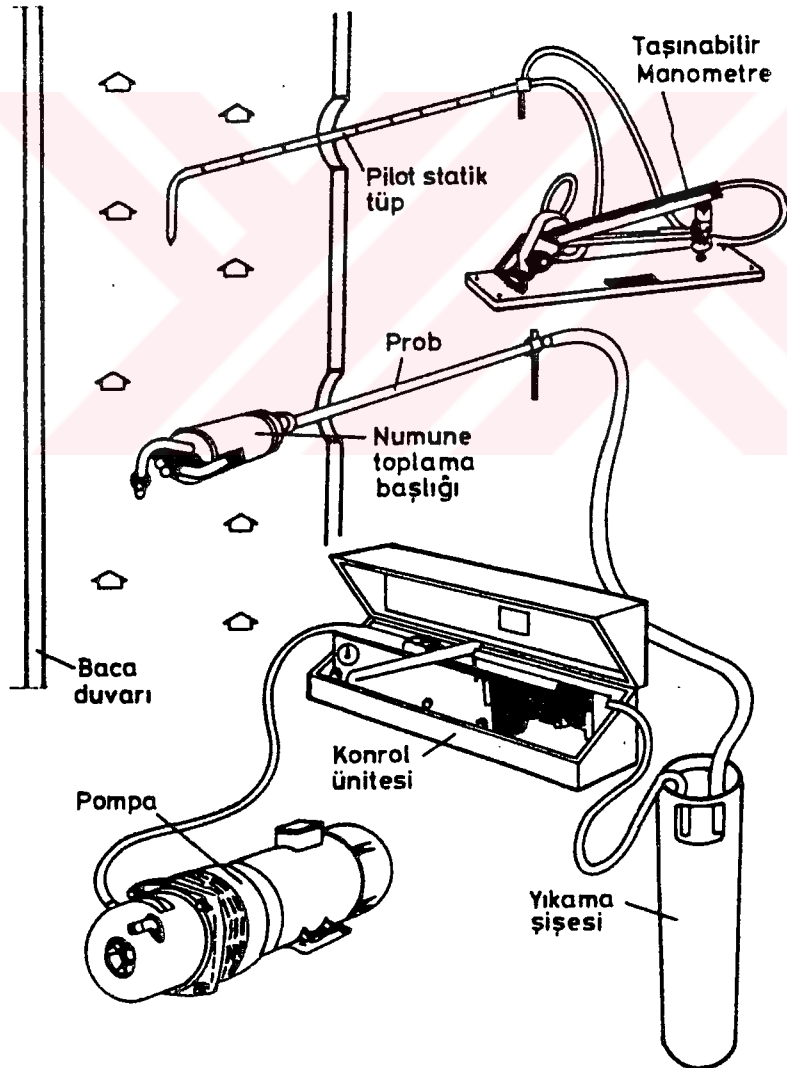
3.6.1 Partiküler Madde Numune Alıcılar [7]

Partiküler madde numune alıcılar, bir nozul, bir prob, partiküler maddeyi toplamaya yarayan bir filtre, bir gazometre ve vakum pompasından oluşmaktadır. Kaynağın gaz hızı bir pitot tübü ve manometre yardımıyla belirlenir.

Nozul, kaynaktan gaz numunesinin alınmasında kullanılan ilk elemandır. İzokinetik numune alma tekniği açısından nozulların şekli önemlidir. Prob, nozulun istenen noktaya yönlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Filtre elemanı, partiküler maddeyi gaz akımından ayırarak analiz için tutar. Filtre ortamında partiküller maddenin tutulması: filtrasyon, elektriksel çökelme, ıslak yıkama, kondenzasyon veya

bunların uygun kombinasyonu şeklinde yapılmaktadır. Gazometre ve vakum pompası istenilen miktarda ve hızda gaz numunesinin çekilmesini sağlamaktadır.

Partiküler madde numune alınmasında kullanılmak üzere ticari olarak üretilen düzeneklerde numune alma elemanları değişik sıralamalar halinde bulunurlar. Partiküler madde alımında universal numune alma sistemi kullanımı mümkün olabileceği gibi, çok daha basit dizayndaki numune alıcılar da kullanılabilir. İngiliz Air Flow Şirketi tarafından üretilen universal bir numune alma sistemi (MK-3A) şematik olarak Şekil 3.3' de görülmektedir.



Şekil 3.3 MK-3A İzokinetik Toz Numune Alma Sistemi

3.6.2 Gaz Numune Alıcılar [7]

Bir emisyon kaynağından, gaz numuneler, integre numune ve anlık numune olmak üzere iki şekilde çekilebilir. Temel elemanlar olarak bir filtre, prob, gaz yıkama şişesi seti, gazometre, akım düzenleyicisi ve bir vakum pompasından ibarettir. Ayrıca manometre ve termometreler de kullanılmaktadır.

Filtre elemanı, partiküler maddelerin tutulmasını sağlamaktadır. Prob genellikle camdan yapılmakta ve numunenin yoğunlaşmadan gaz absorpsiyon birimine taşınmasını sağlamak için ısıtma imkanına sahiptir. Absorpsiyon birimi bir kısım çözeltileri içermektedir. Gazometre, akım hızını veya toplam gaz hacmini ölçmekte kullanılır. Gaz çekmek için bir vakum pompası kullanılmaktadır.

3.6.3 Elektronik Numune Alıcılar ve Analizörler [7]

Elektronik numune alıcılar ve analizörler fuel-oil, doğal gaz, LPG gibi yakıtların yakıldığı kaynaklarda veya kömür yakan tesislerde, partiküler madde konsantrasyonunun düşük olduğu kaynaklarda kullanılmaktadır. Analizörler çok sayıda gaz halindeki parametrelerin (O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_2 , H_2S , rutubet gibi) analizini yapmaktadır. Temel olarak elektrokimyasal prensiplere dayalı olarak çalışan hücreler kullanılarak her bir parametre için ayrı ayrı ölçüm yapılabilmektedir.

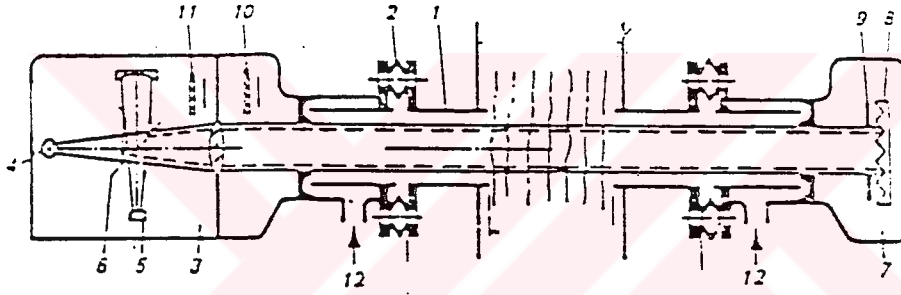
3.6.4 Optik-Elektronik Toz Ölçüm Cihazları [31]

Bir gaz akışı içerisindeki toz konsantrasyonunun sürekli olarak ölçülmesi pratikte optik yolla da yapılabilmektedir. Bir kaynaktan gönderilen ışın demeti bir gaz akışı içersinden geçerken belirli faktörlere bağlı olarak gücünden kaybeder. Işın gücünün zayıflamasında etkili olan faktörler sırasıyla; gaz içersindeki toz miktarı, ışın dalgasının katettiği yol ve gerek gazın analizine bağlı olarak ve gerekse tozun cinsine bağlı olarak bulunan bir katsayıdır. Bu işlem Lambert-Beer Kanunu ile tanımlanmaktadır.

Toz konsantrasyonu ölçme cihazı temel olarak bir ölçme başlığı ve bir de yansıtma başlığından meydana gelmiştir. Şekil 3.4' de optik-elektronik toz ölçüm

cihazının şematik şekli görülmektedir.

Ölçme başlığında bir ışık kaynağı, optik-elektronik bir alıcı, yansıtıcı başlık içersinde ise bir yansıtıcı bulunmaktadır. Işık kaynağından çıkan ışık hüzmesi ölçme ve kıyaslama ışınları olarak ikiye ayrılmaktadır. Ölçme ışını yansıtıcıya kadar gidip tekrar geri döner, buna karşılık kıyaslama ışını tozsuz referans bölgesine gidip geri döner. Her iki ışın bir faz farkıyla alıcı üzerine gelir ve ekstinksiyonla orantılı olarak bir doğru akım üretir. Böyle bir sistemle kaynaktaki toz miktarı optik-elektronik yolla belirlenir.



- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1– Montaj flanşı | 9– Yansıtıcı blendesi |
| 2– Ayar elemanı | 10– Sıfırlama yansıtıcısı |
| 3– Ölçü başlığı | 11– Kontrol filitresi |
| 4– Işık kaynağı | 12– Temizleme hava bağlantısı |
| 5– Işık alıcısı | |
| 6– Kısmi geçirgen ayna | |
| 7– Yansıtma başlığı (reflektör) | |
| 8– Yansıtıcı | |

Şekil 3.4 Optik-Elektronik Toz Ölçüm Cihazı

BÖLÜM 4

HAVA KİRLİLİĞİ MODELLENMESİ

Hava kirliliği ile ilgili konular; emisyon, hava kalitesi ve alıcı ortam olmak üzere üç ana bölümde incelenebilir;. Bu nedenle hava kirliliği ile ilgili modelleme yaklaşımlarını üçe ayırmak mümkündür [7]; Bunlar;

- a) Emisyon modellemesi yaklaşımı,
- b) Hava kalitesi modellemesi,
- c) Alıcı ortama yönelik modelleme yaklaşımı' dır.

4.1 EMİSYON MODELLENMESİ [10]

Emisyon modellemesi ile ilgili iki önemli bileşen emisyon faktörü ve kapasitesi tayinidir.

Emisyon faktörleri bir çok sanayi kolu için özellikle Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde tesbit edilmiş olup, ülkemizde henüz bu konuda kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır.

Emisyon faktörlerinin Amerika veya Avrupa' daki değerlerinden yola çıkılarak Türkiye için uyarlanması, başka seçenek olmadığı durumlarda faydalı olacaktır. Ancak gerek teknoloji, gerekse hammadde farklılıkları nedeniyle bir prosesten diğerine değişebilecek bu faktörlerin Türkiye şartlarında değerlendirilmesi gereklidir.

Emisyon modellemesi yapmak için emisyon faktörlerinin bilinmesinden başka, kapasitenin de bilinmesi gerekir. Geçmişteki veriler yardımı ile geçmişteki emisyon miktarları bulunabilir. Ancak modellemedeki temel sorun; gelecekteki emisyon miktarının ne olabileceği veya emisyonu etkileyebilecek parametrelerdeki herhangi bir değişme sonucunda, emisyonun ne şekilde değişebileceğinin tahmin edilmesidir. Bu sayede önceden önlemler almak veya optimizasyona gitmek mümkün olabilecektir.

Kapasite modellemesi için yine geçmiş veriler kullanılır. Burada temel amaç;

emisy on faktörlerinin bilindiği varsayımı ile kapasitenin ne şekilde değişebileceğinin bulunmasıdır.

4.1.1 Kapasite Tahmini

Kapasiteler bilinmediği takdirde veya gelecekteki kapasiteler tahmin edilmek istendiğinde kapasite modellemesi yapılmaktadır. Modellemede agregat ve disaggregat yaklaşım olmak üzere başlıca iki yaklaşım söz konusudur.

Aggregat Yaklaşım:

Bu yaklaşım veri sayısı ve tipinin az olduğu durumlarda kullanılır. Bunun için;

$$Y_t = f(N, G, Y_{t-1}, \dots)$$

şeklinde bir fonksiyon tanımlanabilir. Örneğ in, İstanbul' da araçlardan oluş an hidrokarbon emisyonu tahmin edilmek istendiğinde, bu işlem için İstanbul' da araçlarda tüketilen yakıt miktarının tayin edilmesi gereklidir. Bu tahmin yukarıdaki denklem yoluyla yapılabilir. Denkle mde Y_t , t yılında İstanbul'daki ulaşım sektörü yakıt tüketimini; N, İstanbul nüfusunu; G , gelir seviyesini; Y_{t-1} , bir önceki yılda İstanbul'da ulaşım sektöründe tüketilen yakıt miktarını göstermektedir. Bu gibi yakıt tüketimini etkileyen parametrelerin geçmiş dönemdeki verileri yardımıyla, örnek olarak İstanbul'da 1999,2000,.....2005 yıllarında ulaşım sektörü yakıt talebi ve bu kapasite (ton), emisyon faktörü ile çarpılarak o yıllarda ulaşım sektöründeki emisyon miktarları tahmin edilebilir.

Disaggregat Yaklaşım

Bu yaklaşım ise veri sayısının yeterli miktarda ve çeşitlilikte olduğu durumlarda kullanılır. Örnek olarak İstanbul'daki doğal gaz tüketimi modellenmek istendiğinde öncelikle doğal gaz tüketim sektörleri alt sektörlerine ayrılır (ev, endüstri, vb.). Daha sonra her bir alt sektör tekrar alt sektörlerine ayrılır (örnek olarak evsel tüketim için ısı nma, pişirme, su ısı tma, vb.). Bundan sonra bu birimlerin herbirinde aşağıdaki tipte bir fonksiyon tanımlanabilir (örneğin su ısı tma amaçlı doğal gaz tüketim talebi); $[D_t \approx N * C * T]$ burada D_t , İstanbul'da t yılında, evsel tüketimde ısı tma amaçlı doğal gaz tüketim talebini; N, o yıldaki İstanbul'daki kişi sayısını; C, t yılındaki kişi başına düş en doğal gazlı ısı tma cihazı sayısını; T, İstanbul'da cihaz başına

tüketilen doğal gaz miktarını göstermektedir.

Daha sonra tüketim talepleri alttan yukarıya doğru toplanarak önce evsel tüketimdeki doğal gaz miktarı, sonra diğer alt sektörlerdeki toplam doğal gaz tüketim talepleri de toplanarak İstanbul'daki t yılındaki toplam doğal gaz tüketim talebi miktarı bulunur.

Disagregat tipi modelleme yaklaşımı, kapasite ve tüketim talebi ile ilgili ayrıntılı bilgiler içereceğinden emisyon modellemesi açısından daha detaylı sonuçlar verecektir. Ancak toplanan verilerin çeşitliliğinden ve çokluğundan dolayı, verilerden kaynaklanabilecek modelleme hatası büyüyecektir.

Aggregat modellemede ise, emisyon ile ilgili daha global ve ortalama rakamlar tahmin edilecektir. Buna karşılık veri toplamadaki güçlük ve maliyet gibi tesirlerden daha az etkilenecektir.

4.1.2 Emisyon Faktörü ve Emisyon Envanteri

Emisyon Faktörü; herhangi bir kaynaktan atmosfere verilen kirleticinin, aktivite başına ortalama miktarıdır. Birim olarak genellikle kirletici ağırlığı/ilgili birim aktivite (1 ton kömür yakılması, 1 km yolculuk, 1 ton üretim, vb.) verilir. Bu faktörlerin kullanılması sonucunda farklı hava kirliliği kaynaklarından oluşan emisyonlar tahmin edilebilir. Bu faktörler, Çoğunlukla kabul edilebilecek hassasiyetteki basit ortalama değerlerdir ve genellikle prosesle ilgili bir çok parametre (sıcaklık, reaktan konsantrasyonları, vb.) dikkate alınmadan hazırlanır.

Emisyon faktörleri, çeşitli kaynaklarda oluşan kirleticileri tahmin etmek için kullanılan faydalı bir araçtır. Ancak, emisyon faktörlerinin farklı hassasiyetteki verilerden türetilmesi nedeniyle, bu faktörler kullanılarak hesaplanan emisyonlar, prosesten oluşan gerçek emisyonlardan az veya çok farklıdır. Yerin ve gerçek proses şartlarında yapılan ölçümler gerçek emisyonları en iyi şekilde tesbit edebilir, ancak bu pahalı ve güç bir işlemdir. Bu nedenle, bazı durumlarda örneğin, İstanbul'daki yakıt kökenli SO₂ emisyonları belirlenmek istendiğinde ölçüm yerine, emisyon faktörü kullanılarak hesaplama yöntemi tercih edilir. Bir tesis kurulmadan önce, oluşabilecek çevre etkilerinin tahmin edilmesi durumunda veya muhtemel kapasite artışının çevre etkilerinin tahmini durumunda ise emisyon faktörlerinin

kullanılması zorunludur.

Emisyon faktörlerinin hangi hassasiyette olduğu, faktörle birlikte verilmelidir. Bu hassasiyet Amerikan sisteminde A'dan E'ye kadar, İngiliz sisteminde 1'den 5'e kadar aynı kabullerle verilmektedir. Amerikan sisteminde, A; 10 veya daha fazla kaynakta, genel kabul görmüş test yöntemleriyle yapılan ölçümlerin ortalamasını esas alan veya en iyi durumu gösteren emisyon faktörünü temsil eder. Eğer emisyon faktörü, kalitesi tartışılabilir yalnızca bir ölçüm sonucunda veya herhangi benzer prosesten ekstrapolasyon yolu ile elde edilmiş ise, D veya E sınıfında yer alır.

Emisyon Envanterinin Çıkarılması

Emisyon envanteri, hava kirletici kaynaklardan , herhangi bir bölgede, herhangi bir zaman diliminde atmosfere verilen kirleticilerin bir listesidir.

Emisyon envanteri;

- Hava kalitesi tahmini ve değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan dispersiyon modellerinin en önemli girdisidir,
- Yönetmeliklerin oluşturulması, geliştirilmesi ve mevcut yönetmeliklerle uyumun kontrolünde kullanılır,
- Çevre ile ilgili uluslar arası tartışmalarda önemli bir veridir,
- Halkın çevre konusunda aydınlatılması ve bilinçlendirilmesinde kullanılabilecek bir araçtır.

Emisyon envanterinin çıkartılması için, ölçüm sonucu elde edilen veya emisyon faktörü kullanılarak tahmin edilen birim emisyonlar(örneğin kg atık/ton üretim) toplam kapasite (ton) ile çarpılır ve o kirletici için yalnızca bir kaynaktan oluşan emisyonlar hesaplanır. Daha sonra farklı kaynaklardan, aynı kirleticinin oluşma miktarı toplanarak ele alınan kirletici bazında, incelenen bölgede ve zaman diliminde toplam emisyonlar bulunur. Daha sonra bu işlemler herbir kirletici için tekrarlanarak emisyon envanterine ulaşılır.

Envanter tasarımı en önemli konular; kirleticilerin, bölgenin, zaman diliminin seçimi, kaynak gruplarının belirlenmesi, kullanım yerlerine uygunluğu ve tasarımın integrasyonudur.

1) Kirleticilerin seçiminde:

- Mevcut yönetmelikler çerçevesinde belirlenen parametreler (duman, SO₂, kurşun,

NO_x, vb.),

- Zorunlu olmayan ancak bazı ulusal ve uluslararası kuruluşlarca (WHO vb.) istenen (CO, ozon ,vb.) parametreler,
- Halkın ilgi duyduğu benzen, pestisitler gibi parametreler,
- Şikayet unsuru olan özel kaynaklarla ilgili parametreler (yakma tesisleri için metaller, halojenler; uçaklar için hidrokarbonlar, NO_x vb.) ,
- Özel bir hedef kitle (astımlılar, tarım ürünleri, Marmara Denizi vb.) ile ilişkili bu kitleyi korumayı amaçlayan çalışmalarda kullanılacak parametreler,
- Kirleticiler sınıfında yeni yer alan ‘toksik organik mikro kirleticiler’ (PAH’lar, PCB’ler , Dioksin’ler ve Furan’lar), tercih edilir. Ancak verilerin temin edilebilir olup olmaması, seçimdeki en önemli kısıtlamadır.

2) Bölgenin seçiminde:

- Kirletici kaynakların pozisyonları,
- Hassas hedeflerin pozisyonları,
- Reaktif/depolanan kirleticilerin taşınma uzaklıkları,

önemlidir . Çoğunlukla ilgili bölge alt bölgelere ayrılarak incelenir.

3) Zaman diliminin seçiminde:

- Şu andaki durumu temsil edecek, mevcut verilerin toplama periyodu,
- Uzun süreli etkilerin (tarihi yapılarıdaki korozyon vb.) analizinde kullanılabilecek periyot,
- Gelecek zaman dilimlerinde oluşacak etkilerin tahmininde kullanılabilecek mevcut verilerin periyodu önemli kısıtlamalardır. Emisyonlar genellikle ana zaman diliminin alt dilimlerinde hesaplanır. Alt zaman dilimlerinin uzunluğu ilgilenilen hava kirliliği etkisine (bazen bir mevsim veya episod, bazen de saat olabilir) bağlıdır. Alt zaman dilimlerindeki emisyonlar genellikle uzun dönemli ortalama emisyonlardan, ilgili faktörler kullanılarak tahmin edilir (örneğin, yıllık trafik emisyonlarından haftalık tahmini gibi).

4) Kaynak gruplarının seçiminde;

Kirletici kaynaklar farklı gruplar halinde incelenir. Bu, toplam emisyonların içindeki farklı grupların paylarını belirlemek ve hava kalitesi yönetimi maksadıyla çalışmaların yoğunlaştırılacağı en kirletici kaynakları tesbit etmek amacını taşır. Gruplar belirlenirken üzerinde durulması gereken konu, pratik kontrol politikalarının

uygulanabilmesi, aşırı zaman ve para harcanmasından kaçınılmasıdır.

Dört farklı kriter altında seçim yapılabilir:

- a)Emisyonun geometrisi ve miktarı,
- b)Yakıt tipi,
- c)Kullanım sektörü,
- d)Coğrafik bölge.

5)Kullanım yerlerine uygunluk için:

- Hazırlanan envanterin ulusal envanteri tamamlamak üzere mevcut diğer envanterlerle kıyaslanabilme özelliği,
- yapılabilecek ulusal gridlere adaptasyon kabiliyeti,
- Envanterin yerel dispersiyon modellemesi işlemlerinde kullanılabilme kolaylığı,
- Envanterin yerel hava kalitesi yönetimi planındaki önemli bütün kaynakları içermesi özelliği taşıması gereklidir.

4.2 ETKİYE YÖNELİK MODELLEME [7]

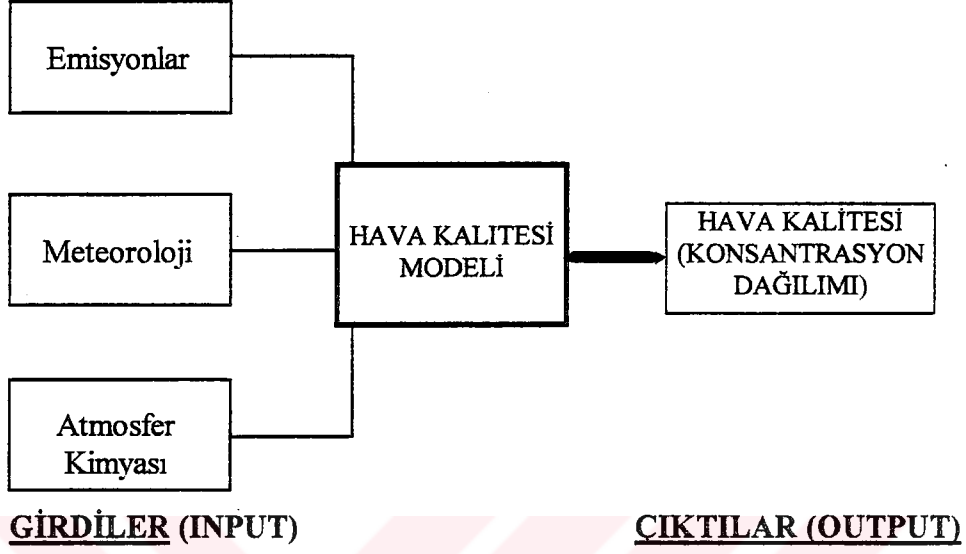
Etkiye yönelik modelleme çalışmalarında temel amaç hava kirliliği miktarları ile bitki, hayvan, insan üzerindeki etkilerin korelasyonudur. Örneğin, o yöredeki SO₂ seviyeleri ile astım, bronşit v.b. vakalar ilişkilendirilebilir veya herhangi bir çimento fabrikası çevresindeki partikül emisyonu ile zirai ürün kaybı arasındaki ilişki araştırılabilir.

4.3 HAVA KALİTESİ MODELLENMESİ

Herhangi bir bölgede kurulacak yeni tesislerin veya mevcut tesislerin çevreye zarar vermemesi için, tesisin inşaatından evvel hava kirliliği etki değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Çeşitli kaynakların hava kirliliği etkisinin değerlendirilmesi, hava kalitesi simülasyon modelleri yardımıyla tahmin edilebilir.

Böyle bir model genelde iki çeşit veri gerektirir. Bunlardan biri kirleticiler kaynakların emisyon miktarları, diğeri rüzgar hızı ve türbülans gibi meteorolojik verilerdir. Bunların yanında gerekirse atmosfer kimyası ile ilgili veriler de girdi olarak verilebilir. Bu verilerin modele girdi olarak verilmesinden sonra, matematik ifadelerle kirleticilerin atmosferdeki taşınım ve dispersiyonu veya kimyasal ve fiziksel

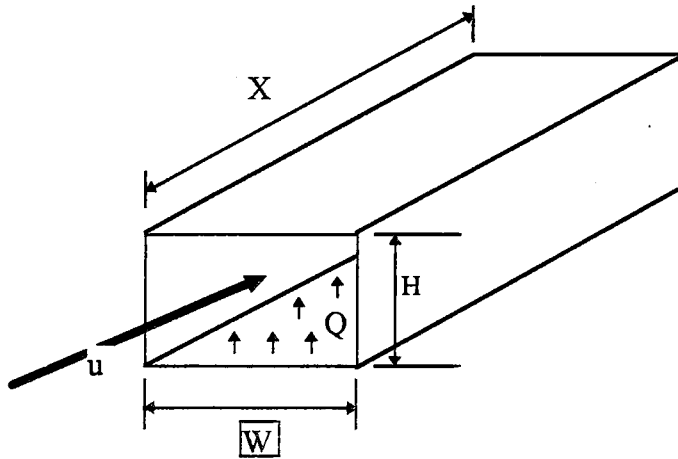
dönüşümleri ve uzaklaştırılma prosesleri model vasıtası ile simüle edilir. Modelin çıktısı ise belirli zaman aralığı için belirli alıcı noktalardaki kirletici konsantrasyonlarıdır. Bir modelin elemanları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Hava Kalitesi Modelinin Elemanları

4.3.1.Kutu Modeli

Kutu modeli, hava kirliliği modellemesinde kullanılan en basit modeldir. Bu model, kirleticilerin, sabit hacimdeki üç boyutlu bir kutu (dikdörtgen kesitli) içinde uniform olarak karıştığı varsayımına dayanmaktadır.



Şekil 4.2 Kutu modeli

Kararlı emisyon ve meteorolojik şartlar için kirletici konsantrasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

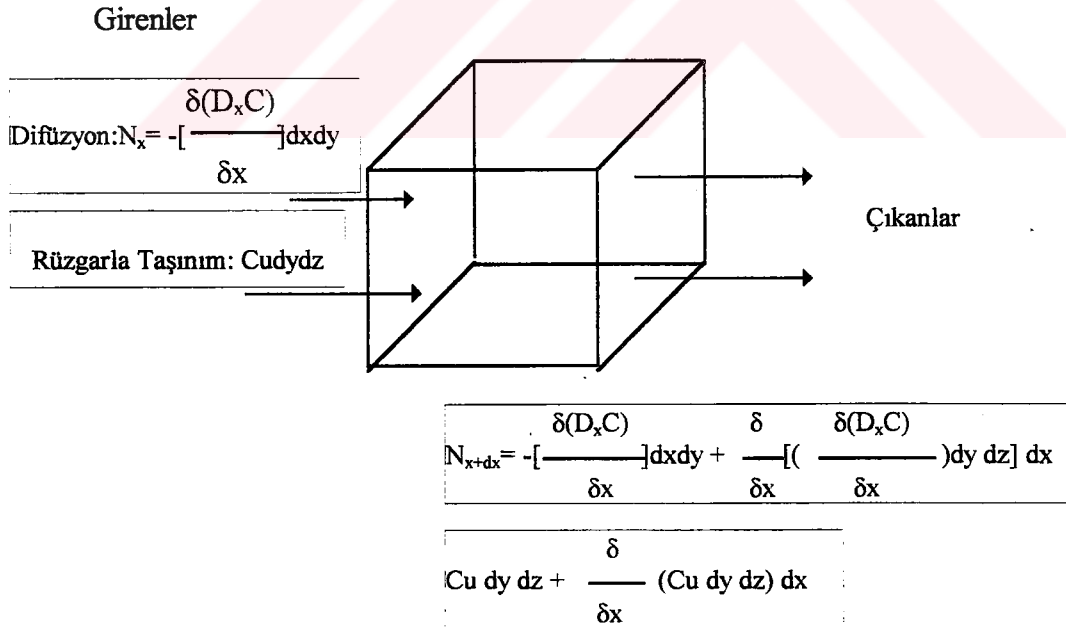
$$C_i = \frac{Q_i}{uWH} \quad (4.1)$$

- C_i : i kirleticisinin kararlı durumdaki konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 u : ortalama rüzgar hızı (m/san)
 W : rüzgar yönüne dik kutunun genişliği (m)
 H : rüzgar yönüne dik olan kutunun yüksekliği (m)
 Q_i : i kirleticisinin emisyon hızı ($\mu\text{g}/\text{san}$)

4.3.2. Dispersiyon Modelleri

Dispersiyon modelleri, maddenin korunumu prensibine dayanan differansiyel denklemlerle formüle edilmektedirler. Bu modeller, kirletici maddelerin zaman ve konumuna göre dağılımlarını noktasal olarak belirleyebilirler.

Dispersiyon modellerinin dayandığı temel matematiksel ifadeler, aşağıda gösterilen kontrol hacminde kütle bilançosu yapılarak çıkarılabilir:



N_x gaz halindeki kirleticinin x yönündeki kütleli diffüzyon hızı olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$N_x = -\left[\frac{\delta(D_x C)}{\delta x} \right] A \quad (4.2)$$

Denkleimde;

- D_x : x yönündeki diffüzivite [türbülans karışım katsayısı] (alan/zaman),
 C : konsantrasyon (kütle/hacim),
 A : x yönünde hareket yönüne dik olan kesit alanıdır.

Kontrol hacmindeki maddenin (kirleticinin) konsantrasyonundaki değişimin taşınım ve dispersiyondan dolayı meydana geldiği varsayılırsa, herhangi bir i maddesi için kütlenin korunumu prensibi uygulandığı takdirde ifade;

$$\begin{aligned} \frac{\delta C_i}{\delta t} dx dy dz = & - \frac{\delta}{\delta x} (C_i u dy dz) dx - \frac{\delta}{\delta y} (C_i v dx dz) dy - \frac{\delta}{\delta z} (C_i \omega dx dy) dz \\ & + \frac{\delta}{\delta x} [\delta(\frac{D_x C_i}{\delta x})] dx dy dz + \frac{\delta}{\delta y} [\delta(\frac{D_y C_i}{\delta y})] dx dy dz + \frac{\delta}{\delta z} [\delta(\frac{D_z C_i}{\delta z})] dx dy dz \\ & + \phi_i dx dy dz \text{ şeklini alır.} \end{aligned}$$

Yukarıdaki denklemin her iki tarafı da kontrol hacmine; dx,dy,dz, bölünürse:

$$\begin{aligned} \frac{\delta C_i}{\delta t} = & - \frac{\delta}{\delta x} (C_i u) - \frac{\delta}{\delta y} (C_i v) - \frac{\delta}{\delta z} (C_i \omega) + \frac{\delta}{\delta x} [\delta(\frac{D_x C_i}{\delta x})] + \frac{\delta}{\delta y} [\delta(\frac{D_y C_i}{\delta y})] \\ & - \frac{\delta}{\delta z} [\delta(\frac{D_z C_i}{\delta z})] + \phi_i \end{aligned} \quad (4.3)$$

denklemini elde edilir, burada;

- C_i : i kirleticisinin konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),
 u : x-yönündeki ortalama konvektif hız (rüzgar hızı), (m/san),
 v : y-yönündeki ortalama konvektif hız (m/san),
 ω : z-yönündeki ortalama konvektif hız (m/san),
 D_x : x-yönündeki kütleli diffüzivite (m^2/san),
 D_y : y-yönündeki kütleli diffüzivite (m^2/san),
 D_z : z-yönündeki kütleli diffüzivite (m^2/san),
 ϕ_i : kirletici maddenin oluşumu veya giderimi ile ilgili terim ($\mu\text{g}/\text{san}$).

Kütleli diffüzitelerin sabit olduğu varsayılırsa, süreklilik,

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta \omega}{\delta z} = 0$$

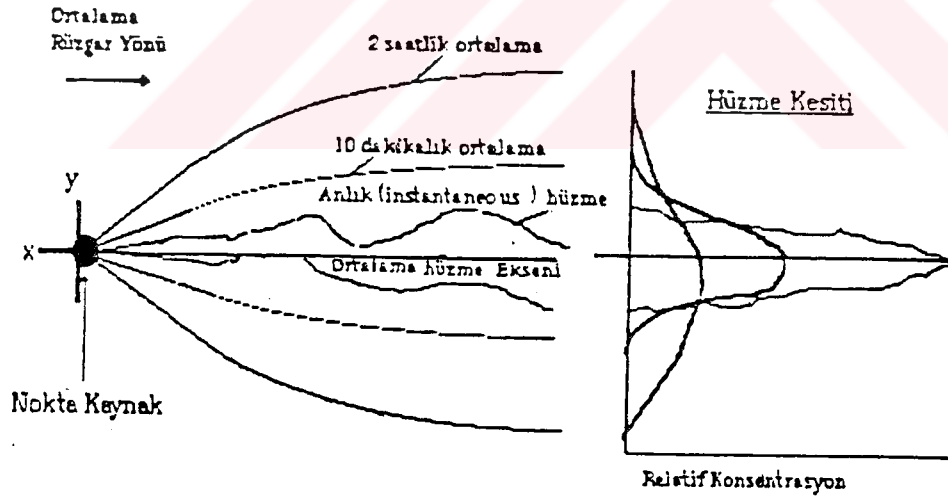
uygulandığında, denklem (4.3) temel dispersiyon denklemine dönüşür:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} = -u \frac{\delta C_i}{\delta x} - v \frac{\delta C_i}{\delta y} - w \frac{\delta C_i}{\delta z} + D_x \frac{\delta^2 C_i}{\delta x^2} + D_y \frac{\delta^2 C_i}{\delta y^2} + D_z \frac{\delta^2 C_i}{\delta z^2} + \phi_i \quad (4.4)$$

Gauss Dispersiyon Modeli

Gauss dispersiyon modeli, aşağıda açıklandığı gibi herhangi bir nokta kaynaktan çıkan hüzmelerin rüzgar yönüne dik olan eksenlerde (y ve z eksenleri) belirli bir süreç içerisinde “Normal” veya “Gauss” tipi bir dağılım gösterdiği esasına dayanmaktadır.

Bu nokta kaynaktan çıkan hüzmeye, türbülans (eddy) hareketleri sonunda Şekil 4.3’de görüldüğü gibi bir dağılım göstererek genişleyecektir.

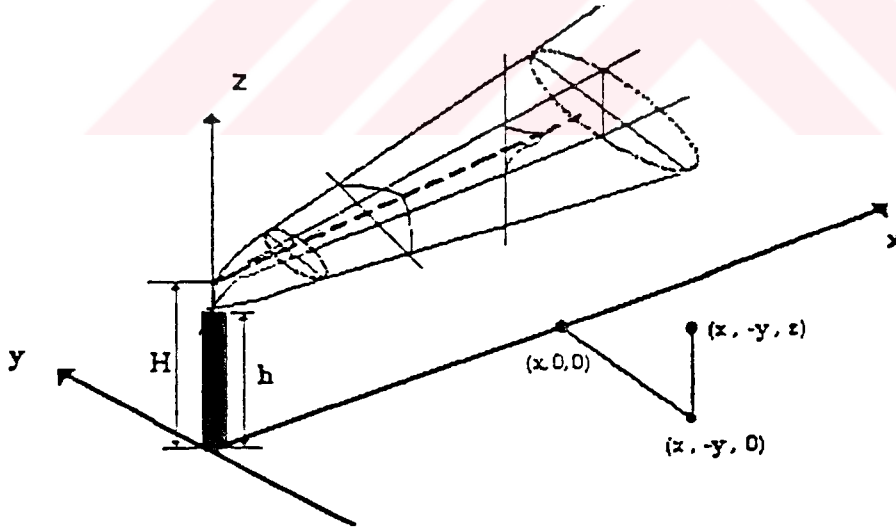


Şekil 4.3 Nokta Kaynaktan Çıkan Hüzmelerin Zamana Göre Dağılımı.

Şekil 4.3’ den görüldüğü gibi, herhangi bir konumdaki kirlenici konsantrasyonu örnekleme süresine bağlı olup, anlık hüzmeye dar bir alanda çok yüksek konsantrasyonlara sahip olabilmektedir. Buna karşılık, 10 dakikalık ortalama bir süre

içinde, hüzme daha geniş bir alana yayılmakta, fakat konsantrasyonu düşmektedir. Aynı şekilde, 2 saatlik periyotta hüzme, rüzgar yönüne dik yönde daha fazla yayılmakta, buna karşılık maksimum konsantrasyon seviyesinde düşme görülmektedir. Görüldüğü gibi, yeterli bir süre alındığında, rüzgar yönüne dik eksende konsantrasyon dağılımı “Gauss” veya “Normal” dağılım göstermektedir.

Hüzmenin zamana göre dağılımına benzer bir şekilde, kaynaktan olan mesafeye bağlı olarak da (rüzgar yönü boyunca) bir yayılma söz konusudur. Hüzme genişledikçe, daha büyük “türbülans” lar kirleticilerin dispersiyonunda etkili olamaya başlar. Kaynağa yakın mesafelerde etkili olan türbülans hareketleri ile uzak mesafelerdeki türbülans hareketlerinin boyutları farklıdır. Dolayısıyla, hüzmenin yayılma hızı sadece türbülans hareketlerinin şiddetine ve dağılımına değil, aynı zamanda hüzmenin boyutuna bağlı olarak da kaynaktan itibaren hareket süresine de bağlıdır.



Şekil 4.4 Etkin Baca Yüksekliği H Olan Bir Kaynaktan Çıkan Hüzmenin Dağılımı

Yukarıda bahsedilen, hüzmenin fiziksel olarak gösterdiği dağılım özelliği, matematiksel olarak Gauss Fonksiyonu ile gösterilebilir. Rüzgar yönüne (ve

dolayısıyla hüzmenin hareketinin meydana geldiği x yönüne) dik koordinatlarda, yani y ve z eksenlerinde, Gauss veya Normal Dağılım ile temsil edilebilen iki ayrı diffüzyon olayı meydana gelmektedir.

Gauss modeli, Denklem (4.4) ile gösterilen temel dispersiyon denkleminde, aşağıdaki varsayımlar yapılmak suretiyle ortaya çıkar:

1) Kararlı durum, yani kirletici konsantrasyonu zamanla değişmiyor ve kaynaktan uniform bir hızla (Q_i) çıkıyor, yani;

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} = 0$$

2) y ve z-yönlerindeki rüzgar hızı sıfır, $v=\omega=0$, ve x-yönündeki rüzgar hızı, u, sabit (zamana göre değişmiyor).

3) x- yönündeki taşınım (konveksiyon) rüzgar tarafından kontrol ediliyor (rüzgar ile taşınım difüzyon ile taşınıma göre çok daha etkin), yani;

$$u \frac{\delta C_i}{\delta x} \gg D_x \frac{\delta^2 C_i}{\delta x^2}$$

4) Kirleticinin atmosferde herhangi bir reaksiyonla oluşumu veya giderimi yok, dolayısıyla; $\phi=0$.

Bu durumda denklem (4.4) aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir:

$$u \frac{\delta C_i}{\delta x} = D_y \frac{\delta^2 C_i}{\delta y^2} + D_z \frac{\delta^2 C_i}{\delta z^2}$$

Konveksiyon= Dispersiyon

Bu ikinci dereceden kısmi diferansiyel denklemin genel çözümü,

$$C = Kx^{-1} \exp \left\{ -\left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \frac{u}{4x} \right\} \quad (4.5)$$

Burada, K sınır şartlarına bağlı olan bir sabittir. Sınır şartlarından biri, kararlı durumda kaynaktan rüzgar yönüne gidiş istikametinde herhangi bir dikey kesitte, kirletici transfer hızının sabit olması ve kaynaktaki emisyon hızına (Q) eşit olmasıdır.

Matematiksel olarak bu sınır şartı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Q = \int \int u C \, dy \, dz$$

1) Yer Seviyesinde Nokta Kaynak

Yer seviyesinde bulunan bir nokta kaynak için z- yönündeki integrasyon limitleri sıfır ile sonsuz alınmaktadır. Bu durumda, denklem (4.5) yukarıda sınır şartı ifadesindeki yerine konursa:

$$Q = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K u x^{-1} \text{Exp} \left\{ -\left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \frac{u}{4x} \right\} dy \, dz$$

Bu ifadenin integrasyonu neticesinde,

$$K = \frac{Q}{2\pi (D_y)(D_z)^{1/2}}$$

2) Yer seviyesinden H yüksekliğinde nokta kaynak için;

Bu durumda K sabitinin değeri:

$$K = \frac{Q}{4\pi (D_y)(D_z)^{1/2}}$$

Bu ifade denklem (4.5)'deki yerine konursa,

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi (D_y)(D_z)^{1/2}} \text{Exp} \left\{ -\left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \frac{u}{4x} \right\} \quad (4.6)$$

veya,

$$C = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right\} \right] \quad \text{oluşur.} \quad (4.7)$$

Etkin baca yüksekliği H olan bir kaynak için, yeryüzünden yansıma

olmadığında:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{y}{\sigma_y}\right\}^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (4.8)$$

Bu ifadede (z-H) yer seviyesinin üzerindeki “gerçek “ kaynağı, (z+H) ise yer seviyesinin altındaki “ hayali “ kaynağı temsil etmektedir.

Bu ifadelerde, H “etkin baca yüksekliğini ” temsil etmektedir;

$$H = h + \Delta h$$

h : Gerçek baca yüksekliği,

Δh : Bacanın tepesinden sonraki hüzmeye yüksekliğidir.

Yer seviyesindeki bir algılayıcı için, Gauss dispersiyon denklemi:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{y}{\sigma_y}\right\}^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

veya,

$$C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{y}{\sigma_y}\right\}^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

şeklinde ifade edilebilir. Yer seviyesindeki kirletici konsantrasyonu bu deklemlerle hesaplanabilmektedir.

Hüzmenin merkez çizgisi üzerinde ise bu denklem aşağıdaki hali alır.

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{şeklını alır.} \quad (4.9)$$

BÖLÜM 5

ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE ÇEVRE KİRLİLİĞİ

5.1 ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE ÇEVRE KİRLİLİĞİ [1,5,10,11]

Kirletici özelliği yüksek tesisler grubu içinde değerlendirilen çimento fabrikaları, öncelikle toz emisyonları açısından önemli bir hava kirleticisidir. Su kirliliği, gürültü, vibrasyon ve katı atıklar gibi sorunlar bu tesisler için ikinci derecede önemlidir.

5.1.1 Çimento Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Çimento tesislerinden kaynaklanan hava kirleticilerini toz emisyonlar ve gaz emisyonlar şeklinde sınıflandırmak konuya daha sistematik bir bakış açısı kazandıracaktır.

Toz Emisyonlar

Çimento üretiminde hem ara hem de son ürün toz halindedir. Çimento fabrikalarında tozun oluşumu;

- Taş ocaklarında delme ve patlatma,
- Kırma ve öğütme,
- Kurutma, eleme ve ayırma,
- Çimento klinkerinin pişirilmesi,
- Klinkerin soğutulması,
- Kuru malzemenin depolanması, karıştırılması, taşınması ve yüklenmesi esnasında meydana gelmektedir.

Yukarıda belirtilen işlemler sonucunda oluşan toz taneciklerinin boyutları ve kompozisyonları büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle tozlar; Hammadde

tozu, Farin tozu, Çimento döner fırın tozu, Klinker tozu, Çimento tozu olarak sınıflandırılabilir.

Fırın tozu haricinde kalan tozlar hammaddenin kimyasal bileşimine sahiptir. Tablo 5.1' da farin tozu ve kuru sistem fırın tozunun kimyasal bileşenleri verilmiştir.

Tablo 5.1 Farin ve Döner Fırın Baca Gazı Tozunun Kimyasal Bileşenleri [10].

Maddeler	Farin Tozu %	Döner Fırın Baca Gazı %
Kızdırma Kaybı	35.43	23.95
SiO ₂	11.39	15.90
Al ₂ O ₃	5.31	3.78
Fe ₂ O ₃	1.81	2.58
CaO	43.52	34.40
MgO	0.98	0.78
K ₂ O	1.25	11.06
Na ₂ O	0.09	0.41

Tablo 5.1' den de anlaşılacağı üzere, çimento tozunun ana bileşenlerini kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit ve kalsiyum sülfat oluşturmaktadır. Ayrıca değişen miktarlarda silisyum oksit (kuartz, kum) ve dolomit bulunmaktadır. Alkali tuzların varlığı da belirlenmiştir. Ayrıca, fırın tozları değişen konsantrasyonlarda arsenik, kurşun, kadmiyum, krom, nikel ve talyum gibi elementleri de içermektedir. Söz konusu ağır metallerin toz içeriğindeki miktarları hammaddeye ve tozun geri çevrim sistemine dahil olup olmadığına bağlıdır. Eğer ikincil yakıtlar (hurda araba lastiği v.s.) çimento fırınlarında kullanılıyor ise, çimento tozunda ağır metal konsantrasyonu artacaktır.

Fırında yakıt olarak kömür kullanılırsa, kömür külünün yaklaşık %60-65'i klinker tarafından tutulur, kalan %35-40'ı ise fırın baca gazı tozu içinde yer alır.

Bir ton çimento üretimi sırasında yaklaşık olarak 2.5 ton madde (kil, kalker, alçı, tras, curuf ve kömür) çeşitli ünitelerde işlem görmektedir. Çimento imalatı sırasında bu maddelerin yaklaşık %5-10 kadar hava-gaz karışımı içerisinde süspansiyon halinde bulunmaktadır. Bu partiküller 500 mikrondan daha küçük taneler olup, birkaç saniye ile birkaç ay arasındaki sürelerde askıda kalabilirler.

Partikül maddeleri toplam askıda madde ve çökebilen madde olmak üzere iki ayrı grupta tanımlamak mümkündür. Toplam askıda madde, büyük hava hacimlerinin bir filtreden geçirilmesi sonucunda filtrede tutulan partikül miktarını ifade etmektedir.

Çökebilen maddeler ise yerçekimi etkisiyle kendiliğinden çökebilen maddelerdir.

Baca gazı ile atmosfere verilen tozların özgül kütleleri 3.3 g/cm^3 olarak kabul edilirse, 5 ile 50 mikron aralığında bulunan tanelerin çökme hızları Şekil 5.1' de görülmektedir.

Şekil 5.1' den de görüleceği üzere, 5 ve 50 mikron çaplarındaki tanelerin çökme hızlarının oranları yaklaşık 100 civarındadır. Anlaşılacağı gibi, bir nokta kaynaktan yayılan çimento tozlarının havaya verilmesinde öncelikle dikkat edilmesi gereken boyutlar, havada daha uzun kalan ve dolayısıyla hava hareketleriyle uzak mesafelere taşınma olasılığı fazla olan küçük boyutlu tanelerdir, bu tanelerin insan solunum sistemi üzerindeki etkileri de problemler yaratabilir.

Çimento fabrikalarının çeşitli ünitelerinden filtre edilen toz genellikle prosese geri verilmektedir. Bununla beraber, fırın sisteminde yaşanan önemli sorunlardan biri alkali tuzların fırın çıkışı ve ön ısıtıcı kamaralarında birikmesidir. Bu durumda işletme şartları bozulacağından, bir kısım toz sisteme geri verilemez ve bertarafı yoluna gidilir.

Sisteme geri verilmeyen çimento fırın tozu, diğer endüstri kolları tarafından asitli atıkların nötralize edilmesi, atıkların stabizasyonu ve katılaştırılması için kullanılmaktadır. Ayrıca, tarım ve inşaat endüstrilerinde çimento fırın tozu kireç olarak da kullanılmaktadır. Hiçbir şekilde kullanılamayan fırın tozları da genellikle gömülerek bertaraf edilmektedir.

Gaz Emisyonlar

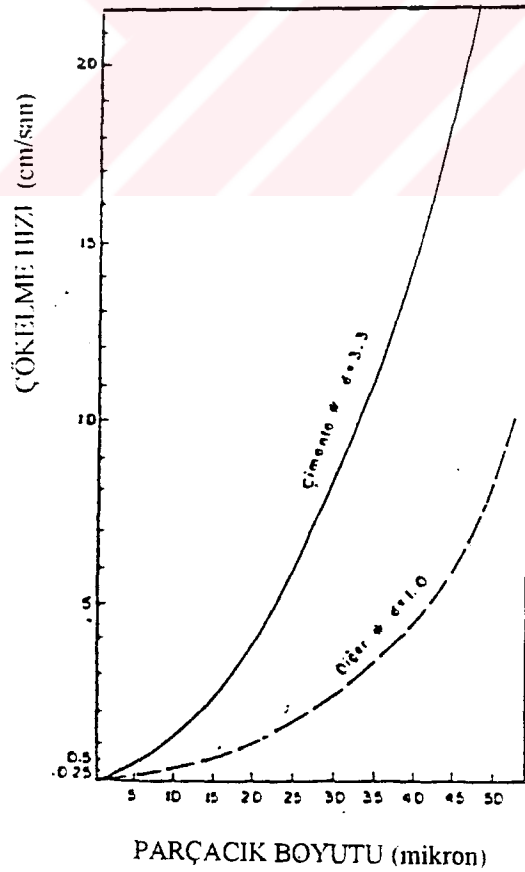
Çimento tesislerinin gaz emisyonlarını yanma ve hammaddelerin çok yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri sırasında gaz fazına geçen uçucu maddeler ve bunların fırın sisteminde oluşturdıkları bileşikler teşkil etmektedir. Buna göre, diğer yakma tesislerinde olduğu gibi, yanmadan kaynaklanan emisyonlar CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , SO_2 , NO_x ve CO olarak belirlenebilir.

Ayrıca döner fırınlarda alkaliler, klorlu ve florlu bileşiklerin incelenmesi yararlı olacaktır. Bunlar yakıt ve kalsine olan maddelerden kaynaklanır ve yüksek sıcaklık nedeniyle rahatlıkla fırın içerisinde buharlaşabilirler. Bu bileşiklerin ne kadarının çevreye bırakılacağı, fırın gazı ve kalsinasyon maddeleri arasındaki reaksiyonlara bağlıdır. Proses sırasında reaksiyonların tamamlandığı ölçüde bu maddeler azalır.

Ağır Metaller [4]

Ağır metaller çimento endüstrisinde kullanılan hammadde ve yakıtlarda eser miktarlarda mevcuttur. Buna rağmen yüksek uçuculuğa sahip bileşikler meydana getiren bazı ağır metaller, proses içerisindeki sirkülasyonlar sayesinde fırın tozu içerisinde kayda değer birikimler oluşturabilmektedir. Bu elementlerin belli başlıcaları antimon, kurşun, kadmiyum, bakır, nikel, civa, talyum, vanadyum, bizmut ve çinkodur.

Klinker ve fırın tozunda yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar, en yüksek konsantrasyon değerlerine kurşun, kadmiyum, çinko ve talyum için rastlandığını göstermiştir. Kurşun ve çinko klinkerleşme sırasında yüksek sıcaklıklarda uçucu bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşikler fırın gazlarıyla sürüklenerek daha düşük sıcaklıklarda farin üzerinde yoğunlaşmakta, böylece metaller tekrar farinle fırına girmekte ve fırın içinde benzer davranışları tekrarlamaktadır. Bu sürece dayanarak, çimento fırınlarında bir ağır metal sirkülasyonundan kolaylıkla söz edilebilir.



Şekil 5.1 Parçacıkların Havadaki Yaklaşık Çökeltme Hızları [11].

Çinko ve kurşunun klinker pişirilmesi sırasındaki davranışı bu elementlerin klinker içinde yüksek oranda kalması ile sonuçlanmaktadır. Firma beslenen çinkonun %80 ile %90'ı, kurşunun ise %72 ile %96'sı klinkerin içinde kalır. Bu durum vanadyum, berilyum, nikel için de geçerlidir, bunlar klinkerin ana maddesi olan kalsiyum gibi davranırlar. Arsenik ve krom da klinker tarafından çok yüksek oranda tutulmaktadır. Bunun nedeni; fırının bazik ve yükseltgen ortamı içerisinde bu elementlerin uçuculuğu az olan kromat ve arsenatların oluşmasıdır. Uçuculuğu az olan bir diğer elemente de kadmiyumdur ve %74 ila %88'i klinker tarafından tutulmaktadır.

Klinker pişirme ortamında uçuculuğu yüksek olan ilk bileşikler talyum tarafından oluşturulmakta; dolayısı ile bu element klinker içerisinde hiç kalmamaktadır. Talyumun hemen hemen tümü sirkülasyon prosesi içerisindeki tozda yer almaktadır. Zamanla hammadde ve yakıt içerisinde fırına beslenen talyum ile sirküle eden tozun içerisindeki talyum, elektrofiltrede tutulan ve bacadan bırakılan talyum arasında bir denge oluşmaktadır. Buna bağlı olarak sirkülasyon içerisindeki talyum konsantrasyonu sistemden dışarı alınan toz vasıtasıyla engellenebilir.

Sonuç olarak, uçuculuğu az olan ağır metallerin bileşikleri ve talyum çimento fabrikalarından gaz halinde çıkmamaktadır. Fakat bu durumun civa için geçerli olup olmadığı araştırma konusudur.

5.1.2 Çimento Tesislerinde Gürültü ve Vibrasyon [1,12]

Çimento fabrikalarında gürültü nedeni olan kaynaklar, tesis içinde geniş bir alana dağılmışlardır. Taşocakları, kırıcılar, çimento değirmenleri, farin (hammadde) değirmeni, döner fırınlar ve tesis içindeki taşıt trafiği bunların belli başlılarını oluşturmaktadır.

Kaynaktan uzaklaştıkça ses gücünün geniş bir alana dağılması nedeniyle ses seviyesinde önemli ölçüde düşme olmakta ayrıca ses seviyesindeki azalma üzerinde rüzgar, sıcaklık, atmosferik nem, topografya, yapılaşma ve bitki örtüsü gibi faktörlerin de etkili olduğu bilinmektedir.

Bir çimento tesisinde gürültüye karşı alınacak tedbirler birincil ve ikincil tedbirler olarak karakterize edebilir. Birincil tedbirler bizzat gürültü kaynağında alınan

tedbirlerdir. Bu tedbirler; yeni yapılacak veya yenilenecek teçhizatın, yasal sınırlara uygun olarak sipariş edilmesi ve üretici firma tarafından da bu değerlere uygun nitelikte üretilmesinin garanti edilmesinin sağlanmasıdır.

Çimento tesislerinde daha az gürültüyle çalışılması için uygun tekniklerin seçilmesi de bir çözümdür. Örneğin içten yanmalı motorlar yerine elektrik motorlarının kullanılması, hava soğutmalı motorlar yerine su soğutmalı olanların tercih edilmesi, depolanan malzemelerin yükseklikten bırakılmaması, gürültüyü engelleyici nitelikte yastıklama malzemesinin kullanılması ve gürültülü makinaların birbirlerine çok yakın şekilde yerleştirilmemesi alınacak tedbirlerden bazılarıdır.

İkincil tedbirler, akustik kılıflar, akustik duvarlar ve ses yutucular gibi gürültünün yayılmasını engelleyici yöntemlerdir. Ancak bunların sakıncalı şekillerde kullanılması tesiste işletme, bakım ve onarım güçlükleri yaratmakta ve fabrikaya ek maliyetler getirmektedir.

Çimento fabrikalarının çevresinin ağaçlandırılması da gürültünün azaltılması için ek bir önlem olabilir. Örneğin sık ormanlık alanlar ses düzeyini her 10 metrede 1 dB düşürmektedir.

Çimento fabrikalarından kaynaklanan hissedilebilir şiddetteki vibrasyon, taşocaklarında hammaddenin patlatılması sırasında meydana gelmektedir. Ayrıca döner fırın, kurutucular ve değirmenler gibi ünitelerin bakımsız ve balans ayarlarının bozuk oluşu vibrasyon sorununu arttıran diğer bir faktördür.

Vibrasyonlar, alçak frekanslı mekanik titreşimlerdir. Taşocaklarında ortaya çıkan vibrasyonun frekans aralığı, 3 ile 30 Hz arasındadır. Çok nadir durumlarda bu değer 100 Hz'e ulaşmaktadır. Vibrasyon şiddetine ilişkin uluslararası ölçü, mm/s cinsinden belirlenen vibrasyon hızıdır. Taşocaklarında oluşan vibrasyonun şiddetine etki eden faktörler: Patlayıcı maddenin türü, kullanılan toplam patlayıcı miktarı, avans ve delik mesafesi, ateşleme türü, taşıma türü şeklinde sıralanabilir.

Vibrasyonun yayılmasına etki eden faktörlerden biri zeminin özellikleridir. Örneğin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının bulunduğu zeminlerde vibrasyon, daha kolay bir şekilde yayılmaktadır.

5.1.3 Su Kirliliği

Çimento fabrikaları su kirliliği bakımından önemli kirletici kaynaklar değildir. Su, bu sektörde soğutma suyu, proses suyu olarak kullanılmaktadır. Proses suyu çimento tesislerinde baca gazının şartlandırılması veya yaş ve yarıyaş proseslerde fırın beslemesinin hazırlanması için kullanılmaktadır. Proses suyu, atık su olarak deşarj edilmemekte, buharlaşma yoluyla sistemi terk etmektedir.

Çimento fabrikalarında su sarfiyatının azaltılmasını için, soğutma suyunun sistem içerisinde kapalı bir çevrimi vardır. Çeşitli su kaynaklarından (kuyu vb.) temin edilen su, soğutma amacıyla kullanılmadan önce filtre edilmektedir. Değirmenler, buharlaştırmalı soğutucular ve makine yataklarında kullanılan soğutma suyunda sızıntı ve buharlaşma yoluyla meydana gelen kayıplar, sisteme su kaynaklarından besleme yapılarak dengelenmektedir. Kayıplar genellikle buharlaşma nedeniyle olmaktadır.

Çimento fabrikalarında yüzey suları proses ve soğutma suyundan ayrı düşünülmeli ve uygun yöntemlerle toplanarak atık suyun özelliklerine göre arıtılmalıdır. Evsel nitelikli atık sular ile endüstriyel atık sular karıştırılmadan ayrı ayrı toplanarak kabul sistemlerinde depolanmalıdır ve arıtmaları sağlanmalıdır.

5.1.4 Katı Atıklar

Çimento fabrikalarından kaynaklanan atık maddeler; ateşe dayanıklı tuğlalar (fırın tuğlaları), filtre toz ve çamurları, kağıt torbalar ve mukavva kutular, hurdalar, alkali tozları, filtre bezleri, kullanılmış yağlar, organik çözücüler ve boyalar, plastik ve lastik atıklar, evsel atıklar olmak üzere sınıflandırılabilir.

Atık maddeler, özelliklerine göre sınıflandırılmalı, geri kazanılması mümkün olmayanlar, hammadde ocaklarında oluşan uygun alanlarda ve zeminin geçirimsizliği sağlanarak bertaraf edilmelidir.

5.2 ÇİMENTO ENDÜSTRİSİ İÇİN EPA VE CORINAİR EMİSYON FAKTÖRLERİ

Kirletici özelliği yüksek diğer bütün endüstrilerde olduğu gibi, çimento endüstrisinde de, Hava Kalitesini Koruma amacıyla, Avrupa ve Amerika' da emisyon sınırları belirlenmiştir. Emisyon faktörleri açısından EPA ve CORINAİR tarafından verilen değerler tablolarda verilmektedir.

Tablo 5.2' de çimento üretimi için CORINAİR emisyon faktörü değerleri görülmektedir.

Tablo 5.2 Çimento Üretimi İçin CORINAİR Emisyon Faktörleri [13].

Kirletici	Emisyon Faktörü	Proses
SO ₂	5100 g/t klinker	Kuru sistem döner fırınlar
	5100 g/t klinker	Yaş sistem döner fırınlar
	258 g/t Çimento	Çimento üretimi
NO _x	1400 g/t klinker	Kuru sistem döner fırınlar
	1400 g/t klinker	Yaş sistem döner fırınlar
	1800 g/t klinker	Yarıyaş sistem döner fırınlar
VOC	10 g/t klinker	Kuru sistem döner fırınlar

EPA tarafından genel çimento üretimi için toz emisyon faktörü 0.15 kg/ton klinkerdir [14]. Ayrıca çimento üretimi sırasında kullanılan her bir işlem için toz emisyon faktörleri belirlenmiştir. Tablo 5.3' de hammadde hazırlama için verilen emisyon faktörü değerleri,. Tablo 5.4' de de çimento üretimi için verilen toz emisyon faktörü değerleri görülmektedir.

Tablo 5.3 EPA' nın Çimento Üretiminde Hammadde Hazırlama İşlemleri İçin Verdiği Toz Emisyon Faktörleri[15,16,18,19,20,21].

Hammadde Hazırlama İşlemleri	Toz Emisyon Faktörü (kg/t hammadde)
Hammadde değirmeninde öğütme (torbalı filtre)	0.0062
Hammadde değirmenine besleme (torbalı filtre)	0.0016
Hammadde değirmeni hava separatörü (torbalı filtre)	0.016
Hammadde değirmeni çıkışı (torbalı filtre)	0.0042
Hammadde değirmeni çıkışı hava separatörü (torbalı filtre)	0.014
Kireç kırma (torbalı filtre)	0.0005
Kireç taşıma (torbalı filtre)	1.5.10 ⁻⁵

Tablo 5.4 EPA' nın Çimento Üretim İçin Verdiği Toz Emisyon Faktörleri[17,22].

Çimento Üretimi İşlemleri	Toz Emisyon Faktörü (kg/t ürün)
Yaş proses döner fırın (filtresiz)	65
Yaş proses döner fırın (elektro filtre)	0.38
Yaş proses döner fırın (torbalı filtre)	0.23
Yaş proses (multisiklon, soğutma kulesi, elektro filtre)	0.10
Kuru proses döner fırın (elektro filtre)	0.50
Kuru proses döner fırın (torbalı filtre)	0.10
Ön ısıtıcı döner fırın (filtresiz)	130
Ön ısıtıcı döner fırın (elektro filtre)	0.13
Ön ısıtıcı döner fırın (torbalı filtre)	0.13
Ön ısıtıcı-prekalsinasyonlu döner fırın (elektro filtre)	0.024
Ön ısıtıcı-prekalsinasyonlu döner fırın (torbalı filtre)	0.10
Soğutma kulesi (elektro filtre)	0.048
Soğutma kulesi (torbalı filtre)	0.068

5.3 TÜRKİYE' DEKİ ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE EMİSYON FAKTÖRLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMA [23].

Ülkemizde, genel olarak çimento sektörü için, USEPA ve Avrupa Topluluğu tarafından verilen faktörler kullanılmaktaydı. İlk olarak, çimento sektörü için belirlenen partiküle madde (toz), CO, NO₂ ve SO₂ emisyon faktörleri Tablo 5.5' de görülmektedir.

Çalışmada ülkemizde kurulu olan 44 çimento fabrikasında partiküle madde (toz), CO, NO₂ ve SO₂ emisyon faktörleri belirlenmiştir. İncelenen fabrikalarda belirlenen emisyon faktörlerinden en yüksek olanının CO emisyon faktörü olduğu, bunu takiben NO₂, partiküler madde ve SO₂ 'nin izlediği görülmüştür.

En düşük CO emisyon faktörü İskenderun Çimento Fabrikası'nda ve en yüksek olanı ise Sivas Çimento Fabrikası'nda belirlenmiştir. Ülke çapında genel olarak bakıldığında en düşük partiküler madde, CO, ve NO₂ emisyon faktörü Akkayseri ve İskenderun Çimento fabrikalarında bulunmuştur.

Çalışmada Almanya' da belirlenen emisyon faktörleri ile kıyaslama yapılmış ve partiküler madde için emisyon faktörünün Alman çimento sektöründe belirlenenlerden yüksek, NO₂ ve SO₂ emisyon faktörlerinin düşük olduğu belirtilmektedir.

Tablo 5.5 Türkiye' deki Çimento Fabrikalarının Emisyon Faktörleri[23].

Fabrikalar	Toz Emisyon Faktörü kg/t Çimento	CO Emisyon Faktörü kg/t Çimento	NO ₂ Emisyon Faktörü kg/t Çimento	SO ₂ Emisyon Faktörü kg/t Çimento
Adana	0.25	1.50	0.78	Eser
Adıyaman	0.50	1.43	-	-
Afyon	0.21	0.30	0.17	Eser
Akçimento	0.12	1.67	0.75	Eser
Akkayseri	0.03	-	-	-
Ankara	0.15	0.72	0.38	Eser
Aşkale	1.85	0.96	-	-
Balıkesir	0.17	0.65	0.55	Eser
Bartın	0.09	1.41	-	-
Baştaş	0.75	1.24	-	-
Batı Anadolu	0.08	1.61	-	-
Batı Söke	0.88	1.45	-	-
Bursa	0.12	2.08	0.21	0.03
Bolu	0.16	1.58	1.15	0.05
Çanakkale	0.16	1.80	-	-
Çimentaş	0.23	2.68	0.54	Eser
Çimsa	0.30	2.31	0.84	0.05
Çorum	0.46	9.28	1.31	0.06
Darıca	0.18	0.32	0.55	Eser
Denizli	0.10	1.84	0.98	0.17
Elazığ	0.45	2.09	-	-
Ergani	0.47	3.27	0.39	Eser
Eskişehir	0.22	1.48	-	-
Gaziantep	0.87	1.70	-	-
Göлтаş	0.15	2.54	-	-
Gümüşhane	0.20	-	-	-
İskenderun	0.03	0.01	0.01	-
Kartal	0.12	0.13	1.94	Eser
Kdz. Ereğli	-	-	-	-
Kars	2.12	1.60	0.35	Eser
Konya	0.24	1.34	-	Eser
Kurtalan	2.09	0.73	1.39	Eser
Ladik	0.33	0.65	0.43	Eser
Lalapasa	0.05	0.23	0.27	Eser
Mardin	2.00	1.78	-	-
Nuh	0.04	0.91	-	-
Oysa Niğde	0.19	1.25	0.28	Eser
Öztüre	-	-	-	-
Pınarhisar	0.45	0.67	0.79	0.18
Sivas	0.14	9.54	0.34	Eser
STFA Doğal	-	-	-	-
Sanlı Urfa	0.67	1.99	-	-
Trabzon	0.39	1.90	0.50	Eser
Ünye	0.53	0.51	0.87	Eser
Van	0.29	7.34	0.24	0.40
Y. Yozgat	0.23	1.93	0.50	Eser
Y. Lafarge	0.03	0.02	Eser	-
Y. Nevşehir	-	-	-	-

5.4 TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE HAVA KALİTESİ MODELLEMESİ ÜZERİNE YAPILAN BİR ÇALIŞMA [32]

Ülkemizde kurulu altı çimento fabrikası ve kurulması planlanan bir çimento öğütme ve paketleme tesisi için yapılan bu çalışmada, hava kalitesine katkı modellemesi yapılmıştır. Çalışmada EPA (Environment Protection Agency) onaylı Breeze Air ISCLT3 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma çerçevesinde altı fabrikanın NO₂, üç fabrikanın NO, bir fabrikanın CO ve üç fabrikanın PM10 (havada askılı partikül madde) ve PM (çöken toz) hava kalitesine katkıları modellenmiştir.

Çalışmada kullanılan fabrikalar ve özellikleri Tablo 5.6' da ve sonuçları her alıcı nokta için CO, NO, NO₂, PM10 ve PM konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri olarak Tablo 5.7' de verilmiştir. Sonuçların Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği' de (H.K.K.Y.) belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmaları Tablo 5.8' de verilmektedir.

Tablo 5.6 İncelenen Çimento Fabrikalarının Özellikleri [32]

No	Üretim Kapasitesi (klinker)	Kaynak Sayısı	Kırsal/Kentsel	Yüzey Şekli	Rakım
1	1.800.000	69	Kentsel	Düzlük	Alçak-kıyı
2	837.500	19	Kırsal	Kompleks	Orta ($\approx$ 600m)
3	385.000	17	Kentsel	Düzlük	Yüksek ($\approx$ 1000m)
4	1.485.000	7	Kentsel	Düzlük	Alçak-kıyı
5	460.000	15	Kentsel	Düzlük	Orta ($\approx$ 850m)
6	1.460.000	2	Kentsel	Kompleks	Alçak-kıyı
7a	600.000	8	Kırsal	Kompleks	Orta ($\approx$ 600m)
7b	600.000	8	Kırsal	Kompleks	Orta ($\approx$ 600m)
7c	600.000	8	Kırsal	Kompleks	Yüksek ($\approx$ 1000m)

Çalışmada, fabrikaların hava kalitesine katkıları sınır değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. Genel olarak havada askılı partikül madde, çöken toz ve NO₂ konsantrasyonları H.K.K.Y.' nin belirlediği sınır değerlerin %30-50' si kadarı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, çalışmada genel olarak alıcı ortamlardaki en yüksek konsantrasyon değerlerinin fabrika sınırları içinde veya yakın çevresinde bulunduğu, uzak noktalara ulaşmadığı belirlenmiştir. Fabrikaların 1 km çapı içersinde kalan

alanların kirlilikten en fazla etkilendiği, diğer alanların ise kirlilikten etkilenmediği de çalışmada belirlenmiştir.

Tablo 5.7 İncelenen Fabrikalarda Hava kalitesine Katkı Yıllık Ortalama Değerleri [32]

No	CO [µg/m ³]	NO [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	PM [mg/m ² gün]
1	209	18.0	45.0	6.0	116
2	-	12.0	27.6	7.6	4.8
3	-	6.82	15.7	-	-
4	-	-	43.0	-	-
5	-	-	10.8	21.0	74.7
6	-	-	27.9	-	-
7a	-	-	-	46.7	-
7b	-	-	-	64.6	38.2
7c	-	-	-	18.0	23.9

Tablo 5.8 İncelenen Tesislerin H.K.K. Y.' ne Göre Hava Kalitesine Katkı Değerleri(%)

No	CO	NO	NO ₂	PM		PM 10	
				Genel	Endüstriyel	Genel	Endüstriyel
1	2	9	45	4	3	33	26
2	-	6	28	5	4	2	1
3	-	3	16	-	-	-	-
4	-	-	43	-	-	-	-
5	-	-	11	14	11	21	17
6	-	-	28	31	-	-	-
7a	-	-	-	-	23	-	-
7b	-	-	-	43	32	11	9
7c	-	-	-	12	9	4	3

BÖLÜM 6

TÜRKİYE' DEKİ ÇİMENTO FABRİKALARININ EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ

Ülkemizdeki çimento fabrikalarının emisyon faktörlerinin genel bir değerlendirmesini yapabilmek amacıyla, örnek olarak seçilen fabrikalarda emisyon ölçümleri yapılmış ve bu fabrikalar için emisyon faktörleri belirlenmiştir. Türkiye'deki çimento fabrikalarında daha önce çeşitli zamanlarda emisyon faktörleri üzerine yapılmış ve Bölüm 5.3'deki Tablo 5.5'de listelenmiş verilerde kullanılarak ülkemizdeki tüm çimento fabrikaları için emisyon faktörlerinin değerlendirilmesine çalışılmıştır.

Çalışmalarımızda Bölüm 3.5'de bahsedilen numune alma prensiplerine uyularak optimum koşullarda numuneler alınmış, partikül madde ölçüm deneylerinde Bölüm 3.6'da anlatılan MK-3A izokinetik toz numune alma seti, ANDERSEN standart toz ölçüm cihazı ve SICK-SHC2 ve SHC5 optik-elektronik izokinetik toz ölçüm cihazları kullanılmıştır.

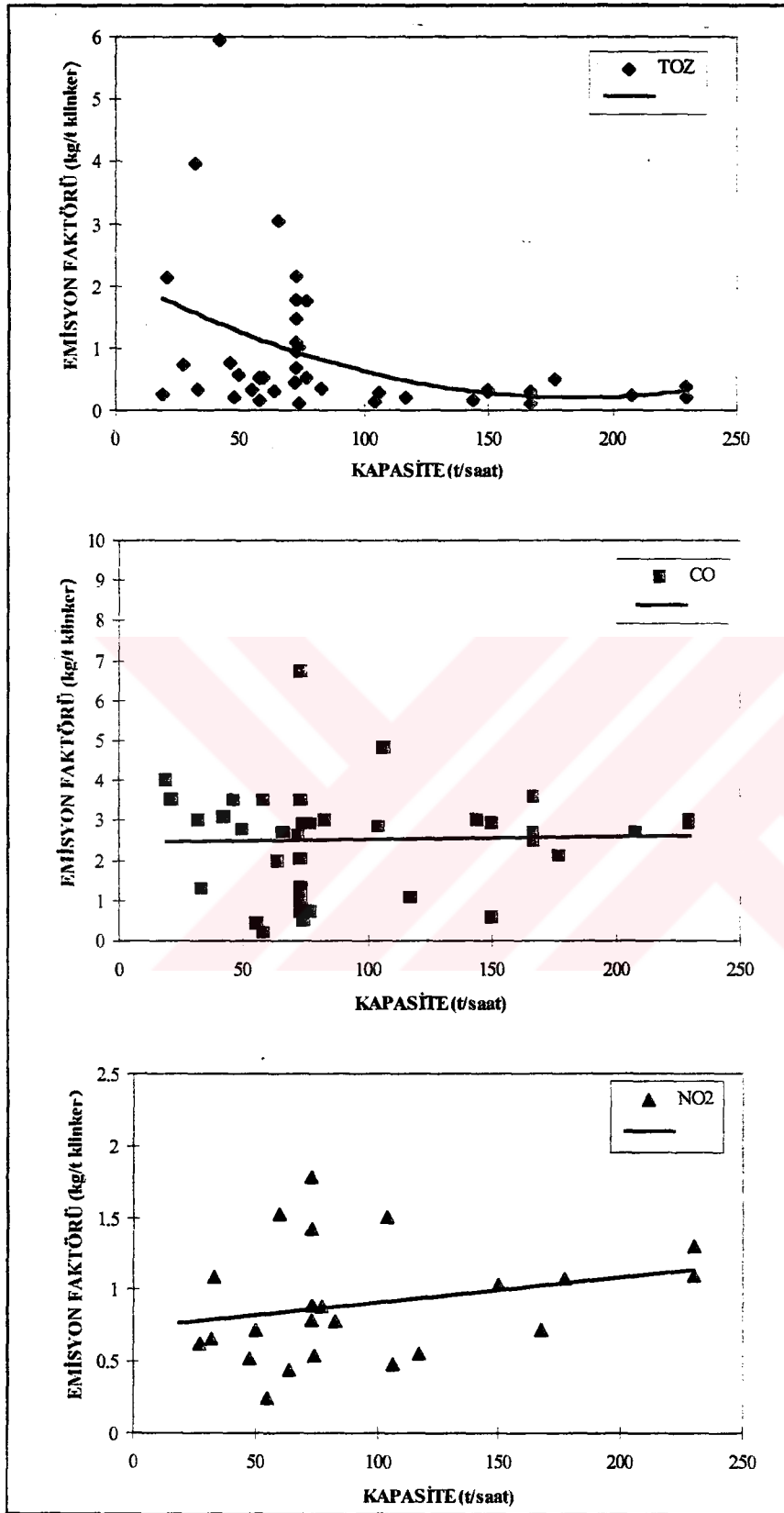
Baca gazında bulunan CO, NO₂ ve SO₂ gazlarının ölçümü MRU 95/3-CD model elektrokimyasal gaz analizörü yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 6.1'de ölçümü yapılan çimento fabrikalarının emisyon değerleri gösterilmiştir.

Fabrikalar için emisyon faktörleri Bölüm 4.1.2 'de belirtildiği şekilde klinker bazında hesaplanmış ve ölçümü yapılmayan fabrikalar için Bölüm 5.3'de yapılan çalışmadaki emisyon faktörleri kullanılarak tüm çimento fabrikaları için emisyon faktörleri oluşturulmuştur. Emisyon faktörleri toplu olarak Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Türkiye'deki Çimento Fabrikalarının Emisyon Faktörleri

Fabrikalar	Toz Emisyon Faktörü kg/t Klinker	CO Emisyon Faktörü kg/t Klinker	NO ₂ Emisyon Faktörü kg/t Klinker	SO ₂ Emisyon Faktörü kg/t Klinker
Adana	0.49	2.08	1.08	Eser
Adıyaman	1.01	2.89	-	-
Afyon	0.33	0.45	0.25	Eser
Akçimento	0.22	2.90	1.30	Eser
Akkayseri	-	-	-	-
Ankara	0.21	1.05	0.55	Eser
Aşkale	5.95	3.10	-	-
Balıkesir	0.33	1.27	1.09	Eser
Bartın	0.26	4.0	-	-
Baştaş	1.75	2.90	-	-
Batı Anadolu	0.27	2.70	-	-
Batı Söke	2.14	3.52	-	-
Bursa	0.28	4.81	0.48	0.07
Bolu	0.31	2.94	2.14	0.10
Çanakkale	0.24	2.70	-	-
Çimentaş	0.31	3.59	0.72	Eser
Çimsa	0.39	3.00	1.10	0.07
Çorum	0.53	10.80	1.53	0.07
Darıca	0.33	0.59	1.03	Eser
Denizli	0.15	2.83	1.51	0.26
Elazığ	0.76	3.50	-	-
Ergani	0.96	6.71	0.79	Eser
Eskişehir	0.52	3.50	-	-
Gaziantep	1.78	3.49	-	-
Göлтаş	0.17	3.00	-	-
Gümüşhane	-	-	-	-
İskenderun	-	-	-	-
Kartal	0.17	0.19	2.81	Eser
Kars	3.97	3.00	0.66	Eser
Konya	0.46	2.60	-	Eser
Kurtalan	2.15	0.75	1.42	Eser
Ladik	1.46	1.34	0.89	Eser
Lalapaşa	0.11	0.47	0.54	Eser
Mardin	3.03	2.70	-	-
Nuh	0.11	2.50	-	-
Oysa Niğde	0.30	2.00	0.44	Eser
Öztüre	-	-	-	-
Pınarhisar	0.51	0.75	0.88	0.20
Sivas	0.21	14.71	0.52	Eser
Şanlı Urfa	0.68	2.04	-	-
Trabzon	0.56	2.74	0.72	Eser
Ünye	1.08	1.04	1.78	Eser
Van	0.74	19.03	0.63	1.04
Y. Yozgat	0.36	3.02	0.78	Eser
Y. Lafarge	-	-	-	-



Şekil 6.1 Tüm Çimento Fabrikaları için Toz, CO ve NO₂ Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi.

Tablo 6.2 Ölçümü Yapılan Fabrikaların Kapasiteleri (1996) ve Emisyonları

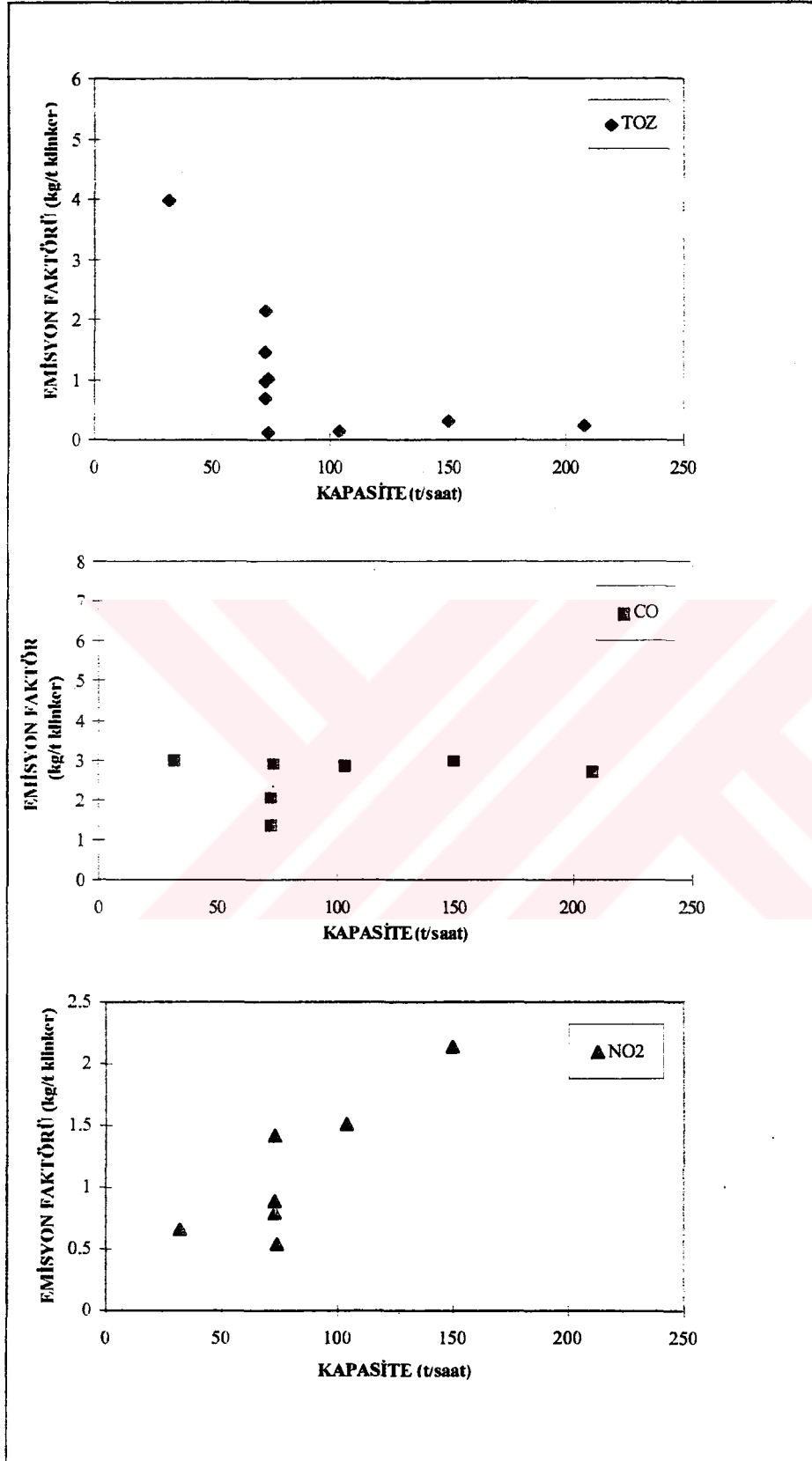
Fabrikalar	Kapasite (ton klinker/yıl)	Toz (kg/h)	CO (kg/h)	NO ₂ (kg/h)	SO ₂ (kg/h)
Afyon	242 607	18	25	14	Eser
Akçimento (Akçansa)	1 820 000	50	667	298	0.013
Ankara	653 718	25	123	64	Eser
Balıkesir	286 200	11	42	36	Eser
Bursa	787 000	30	510	51	7.11
Çimsa	1 463 000	90	692	253	15.25
Denizli	552 000	15.5	294	157	27.44
Eskişehir	440 000	30	203	--	Eser
Nuh	1 301 000	19	417	--	Eser
Pınarhisar	611 913	39	58	68	15.49

6.2 EMİSYON FAKTÖRLERİNİN KAPASİTE İLE DEĞİŞİMİ

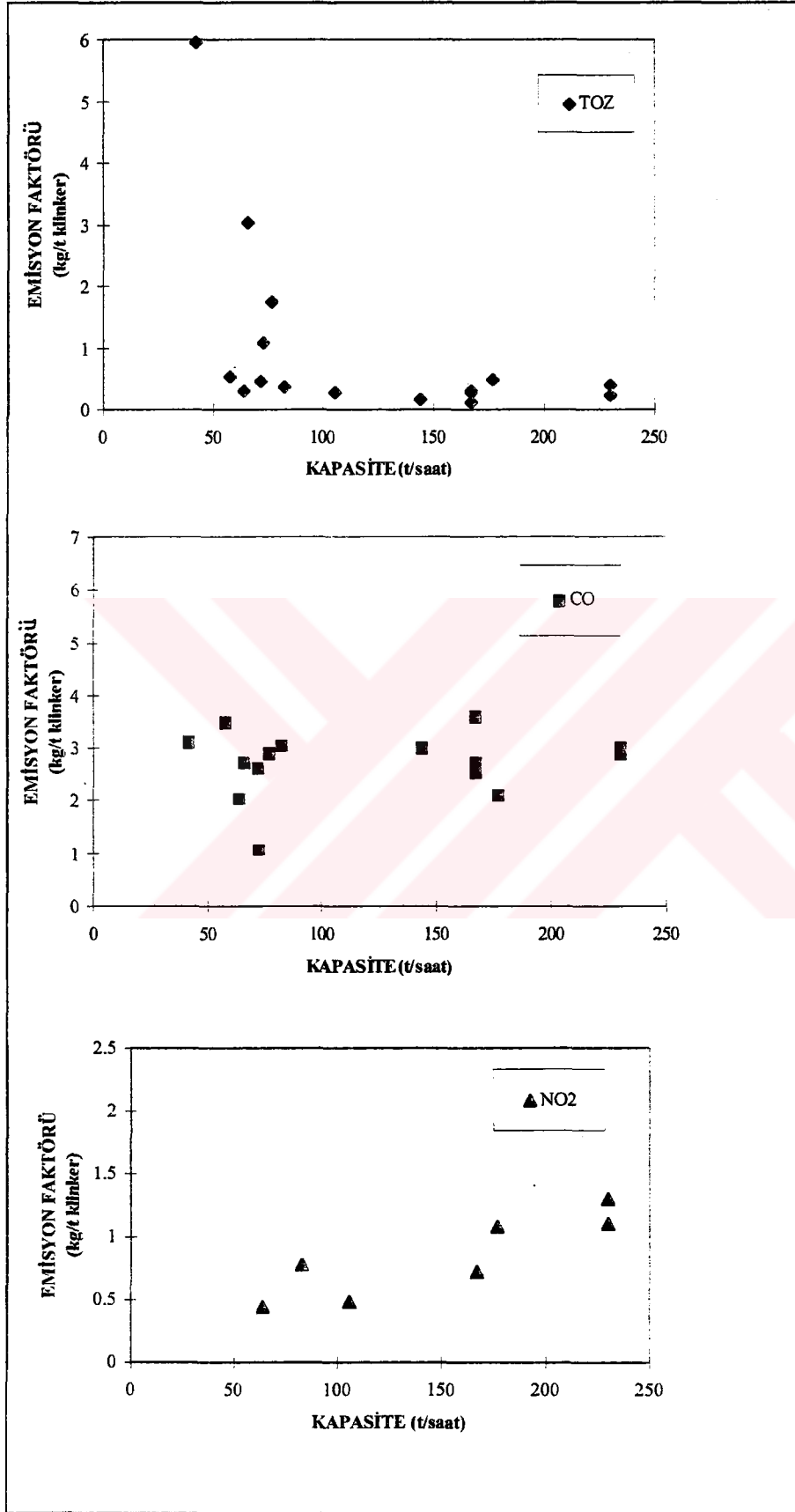
Toz emisyon faktörleri, kapasite ile birlikte değerlendirildiğinde bu iki parametre arasında ters orantının olduğu görülmektedir. CO ve NO₂ için belirlenen emisyon faktörleri açısından değerlendirildiğinde, kapasite artımlarıyla emisyon faktörlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de kuru prosesle çalışan genç, orta yaşlı ve yaşlı fabrikaların toz, CO ve NO₂ emisyonlarının kapasite ile değişimi görülmektedir. Proses şekli ve fabrikaların yaşlarını da gözönüne alarak emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimlerinin incelenmesi daha detaylı bir şekilde yapıldığında; kuru prosesle çalışan genç (yaşları 0-20 arasında) ve orta yaşlı (yaşları 20-50 arasında) fabrikalar için, toz emisyon faktörlerinin kapasite ile değişiminin yine ters orantılı olduğu gözlenmektedir. Yaşlı (yaşları 50-85 arasında) fabrikalarda, toz emisyon faktörü, kapasite artımlarıyla değişim göstermemektedir.

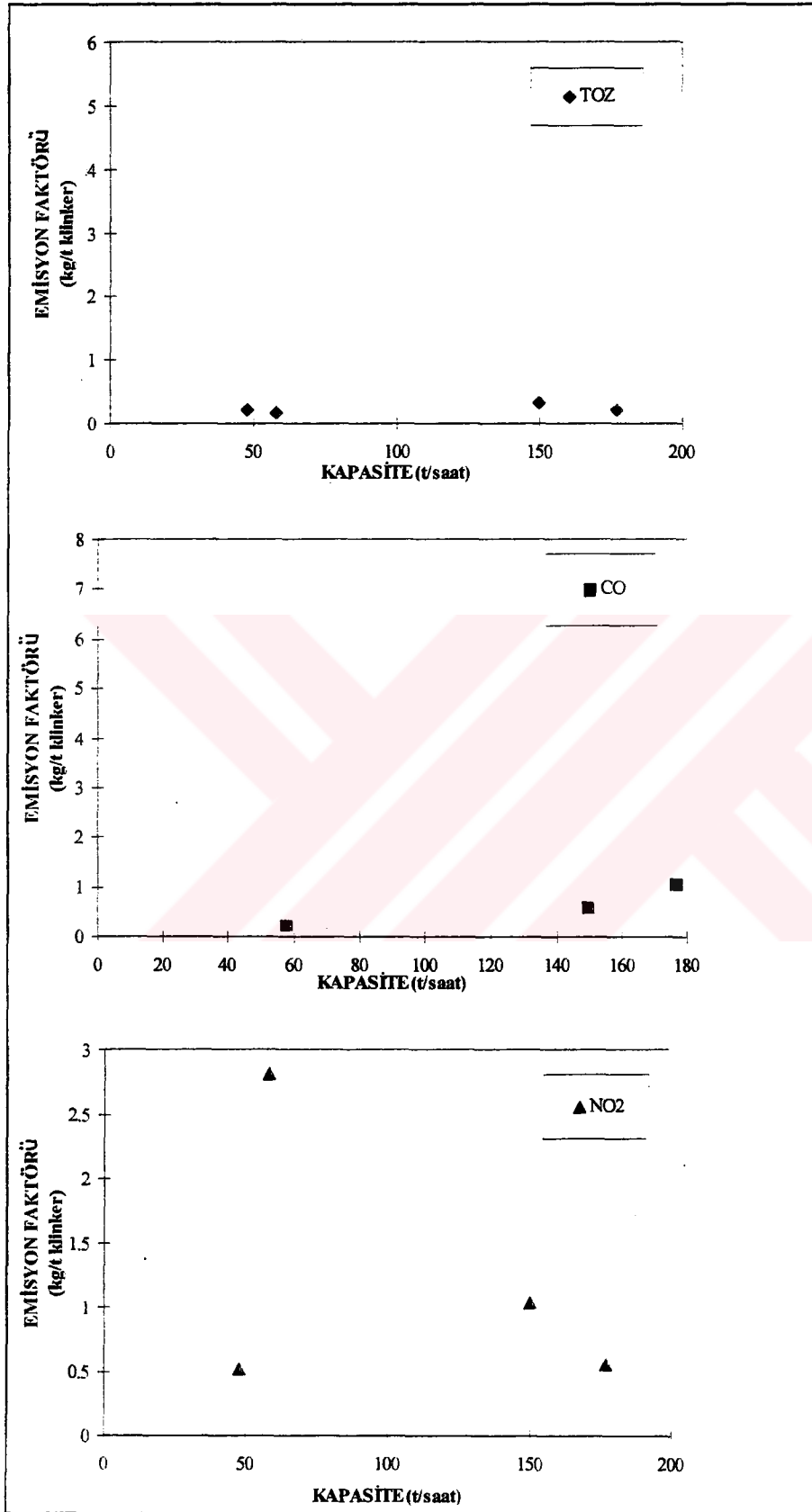
Grafikler toz emisyonları açısından fabrika bazında değerlendirilmeye alındığında; düşük kapasiteli, özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu'daki genç ve orta yaşlı fabrikaların toz tutma sistemlerinde modifikasyon amaçlı yeni yatırım yapmadıkları yaşlı fabrikalarında ancak son yıllarda Hava kalitesi koruma Yönetmeliği'nde belirlenen limit değerler çerçevesinde kalmak amacıyla yaydıkları toz emisyonlarını azaltma çalışmaları yaptıkları bilindiğinden, bu nedenle de yaşlı fabrikalarda toz emisyon faktörlerinin düşük ve kapasiteyle değişiminin sabit olduğu görülmektedir.



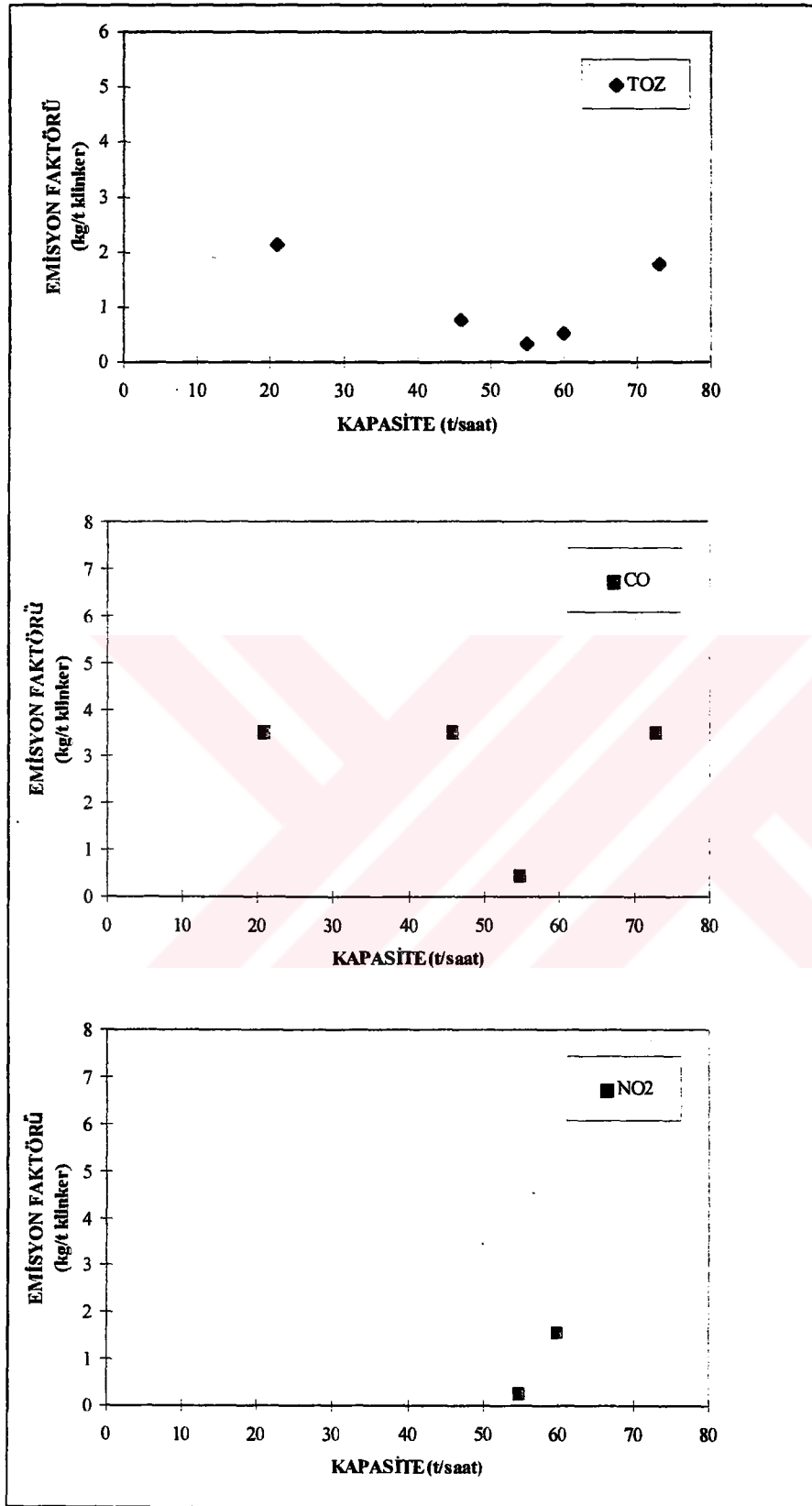
Şekil 6.2 Kuru Prosesle Çalışan Genç Fabrikalarda (yaşları 0-20 arasında) Toz, CO ve NO₂ Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi



Şekil 6.3 Kuru Prosesle Çalışan Orta Yaşlı Fabrikalarda (yaşları 20-50 arasında) Toz, CO ve NO₂ Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi



Şekil 6.4 Kuru Prosesle Çalışan Yaşlı Fabrikalarda (yaşları 50-85 arasında) Toz, CO ve NO₂ Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi



Şekil 6.5 Yarıyaş Proses İle Çalışan Çimento Fabrikalarında Toz, CO ve NO₂ Emisyon Faktörlerinin Kapasite İle Değişimi.

Ek C Tablo C.1' de proses tipleri belirtilen fabrikalardan kuru prosesle çalışan tesislerde CO emisyon faktörü genç, orta yaşlı ve yaşlı fabrikalarda kapasite artımından etkilenmemektedir. CO emisyonu yakma sistemi ile doğrudan ilgili olduğundan değişimin olmaması doğaldır.

Aynı fabrikalar NO₂ emisyon faktörü açısından değerlendirildiğinde genç ve orta yaşlı fabrikalarda kapasite artımıyla NO₂ emisyon faktöründe artış gözlenmektedir. Diğer taraftan yaşlı fabrikalarda kapasite artımıyla NO₂ emisyon faktörü düşmektedir. Bu durum kapasite ile NO₂ emisyon faktörü arasındaki ilişkiden kaynaklanmamaktadır. NO₂ emisyonu işletme şartlarına bağlıdır. Örneğin önkavurma (prekalsinasyon) sistemi bulunan fabrikaların NO₂ emisyonları düşüktür. Kapasite ile NO₂ emisyon faktörü değişimi incelendiğinde prekalsinasyonlu fabrikaların emisyon faktörlerindeki azalmaya neden olduğu gözlenmektedir. Önkavurma sisteminde sıcaklıklar 800-900 °C civarındadır, Döner fırınlarki sıcaklıklar çok daha yüksektir (1200-1500 °C). Önkavurma sistemi bulunan fabrikalarda termal oluşumlu azot oksitlerin miktarı da daha az olmaktadır.

Yarıyaş proses ile çalışan fabrikalardaki durum incelendiğinde, kuru sistem ile çalışan fabrikalarda olduğu gibi, kapasite ile değişimlerin aynı olduğu gözlenmektedir. Bu fabrikaların toz, CO ve NO₂ emisyon faktörlerinin kapasite ile değişimleri Şekil 6.5'de görülmektedir.

6.3 EMİSYON FAKTÖRLERİNİN ÜRETİM PROSESİ İLE DEĞİŞİMİ

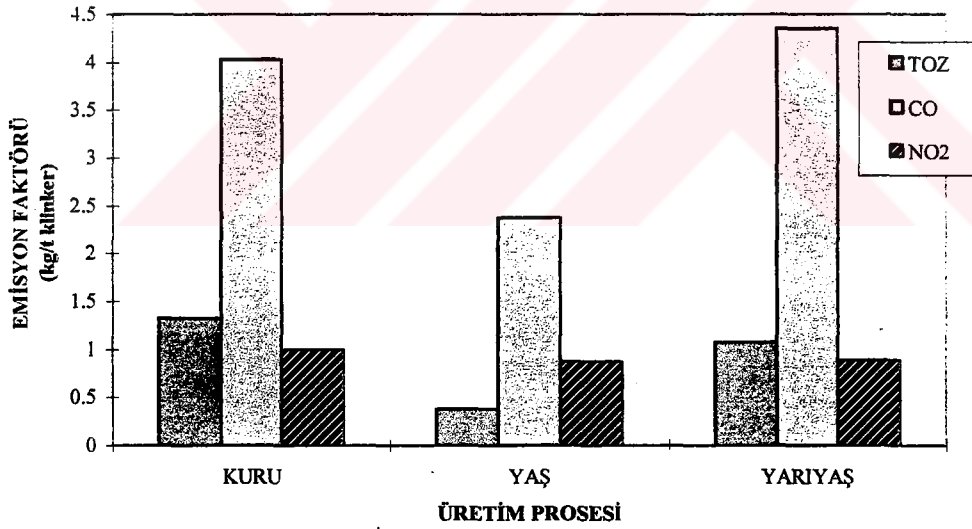
Bölüm 2.3.2' de bahsedildiği gibi çimento üretiminde yaş, yarıyaş ve kuru olmak üzere üç tip üretim süreci kullanılmaktadır. Türkiye'deki çimento fabrikalarının büyük bir kısmı kuru sistem ile üretim yapmaktadır.

Toz, CO ve NO₂ emisyon faktörlerinin üretim süreci ile değişimlerinin görüldüğü Şekil 6.6 incelendiğinde; toz emisyon faktörlerinin proses tipine göre değerlendirilmesi yapıldığında, yaş sistemle çalışan fabrikalardaki emisyon faktörü değerlerinin, diğer proses tiplerine göre belirlenen emisyon faktörü değerlerine oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni proseste hammaddelerin döner fırınlara belli oranda sulu bir şekilde beslenmesidir. Kuru sistemle çalışan fabrikalarda hammaddelerin ön ısınma işlemleri döner fırınlardan gelen atık gaz

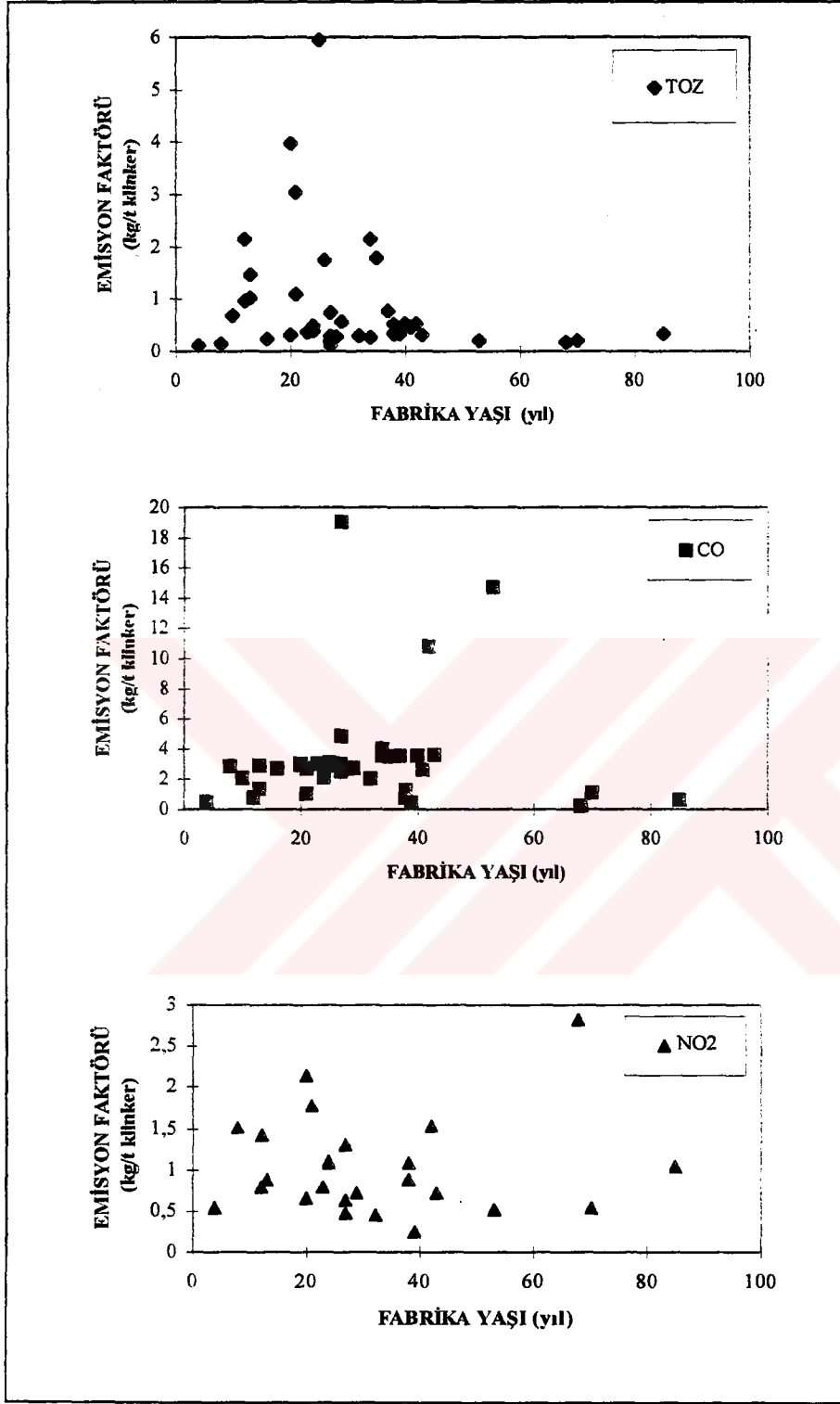
yardımıyla değirmenlerde ve siklon gruplarında yapılmakta ve bu nedenle hammadde hazırlama esnasında atık gazla birlikte toz partiküllerin bacadan sürüklenme oranı artmaktadır. Yaş sistemde hammadde sulu bir şekilde döner fırına gelmekte ve burada suyunu kaybederek klinker oluşumu gerçekleşmektedir.

Yaş sistemlerde toz emisyon faktörünün düşük olmasına karşılık, bu tip proseste enerji tüketimi diğer proseslere göre çok yüksektir. Bu nedenle, yaş proses tercih edilmeyen bir üretim şeklidir.

CO ve NO₂ emisyon faktörleri açısından değerlendirildiğinde, proses tipinin değişimiyle NO₂ emisyon faktöründe herhangi bir değişim gözlenmemektedir. CO emisyon faktörünün, yaş sistem üretim prosesinde, kuru ve yarıyaş sistemlere oranla daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6 Emisyon Faktörlerinin Üretim Prosesi İle Değişimi.



Şekil 6.7 Emisyon Faktörlerinin Fabrika Yaşı İle Değişimi

6.4 EMİSYON FAKTÖRLERİNİN FABRİKA YAŞI İLE DEĞİŞİMİ

Emisyon faktörlerinin fabrika yaşı ile değişimi Şekil 6.7'de görülmektedir. Toz emisyon faktörünün fabrika yaşı ile değişimi ters orantılı yani genç ve orta yaşlı fabrikalarda toz emisyon faktörü yüksek, yaşlı fabrikalarda emisyon faktörü düşüktür.

Bölüm 6.1'de de belirtildiği gibi orta yaşlı bir kısım fabrikalarda ve yaşlı fabrikalarda toz tutma sistemlerindeki modernizasyondan dolayı emisyon faktörleri düşük çıkmaktadır.

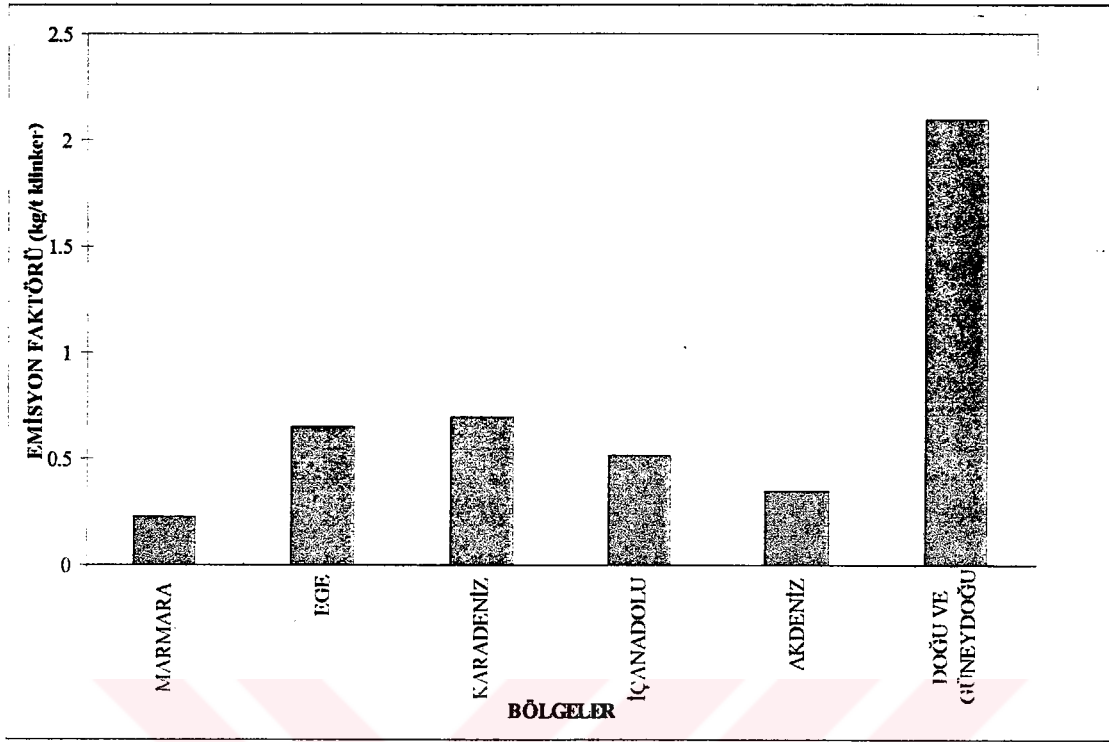
CO ve NO₂ emisyon faktörlerinin değişimi için yine Şekil 6.7 incelendiğinde, fabrika yaşının artımıyla emisyon faktörlerinde herhangi bir değişim olmadığı görülmektedir. Burada da CO emisyonunun yakma sistemleri bazında ve NO₂ emisyon faktörünün prekalsinasyonlu fabrikalar bazında değerlendirildiğinde sonuçların uygun olduğu görülmektedir.

6.5 EMİSYON FAKTÖRLERİNİN COĞRAFI BÖLGELERE GÖRE DEĞİŞİMİ

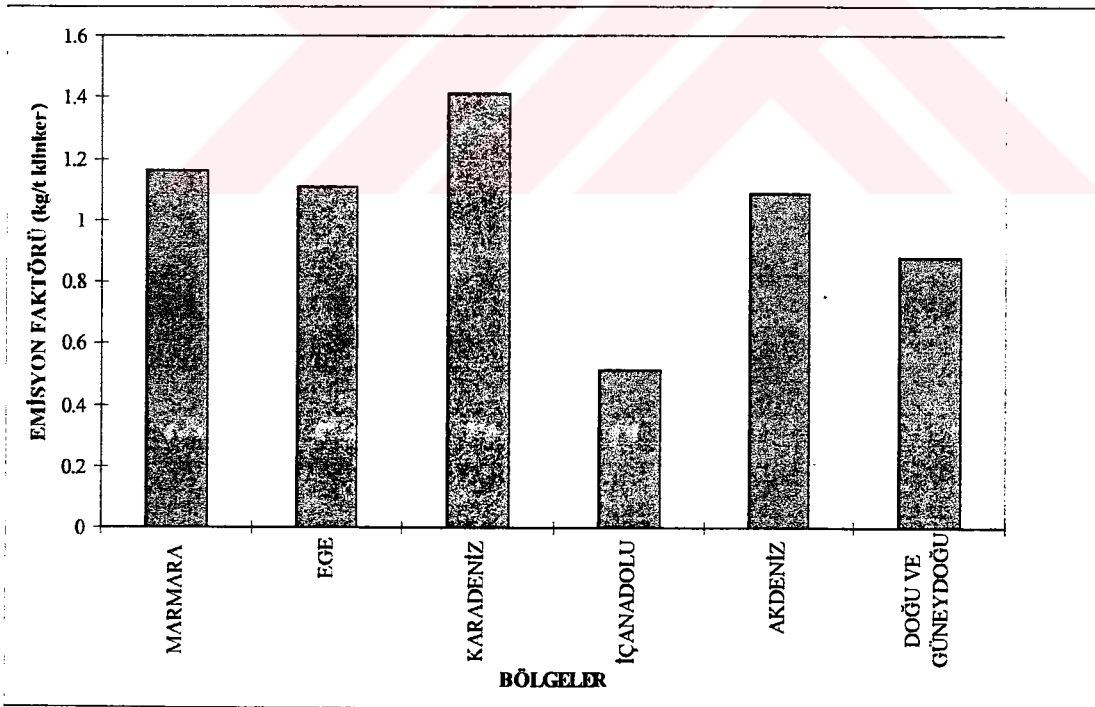
Emisyon faktörleri ülkemizde coğrafi bölgelere göre de değişim göstermektedir. Toz emisyon faktörlerinin coğrafi bölgelere göre değişimi Şekil 6.8'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'ndeki fabrikalarda toz emisyon faktörlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

NO₂ emisyon faktörünün coğrafi bölgelere göre değişimi Şekil 6.9'da görülmektedir. İç Anadolu Bölgesi hariç diğer coğrafik bölgelerde belirgin bir değişim gözlenmemektedir. İç Anadolu Bölgesi'nde NO₂ emisyon faktörleri diğer bölgelerdeki emisyon faktörlerine oranla daha düşük olduğu gözlenmektedir.

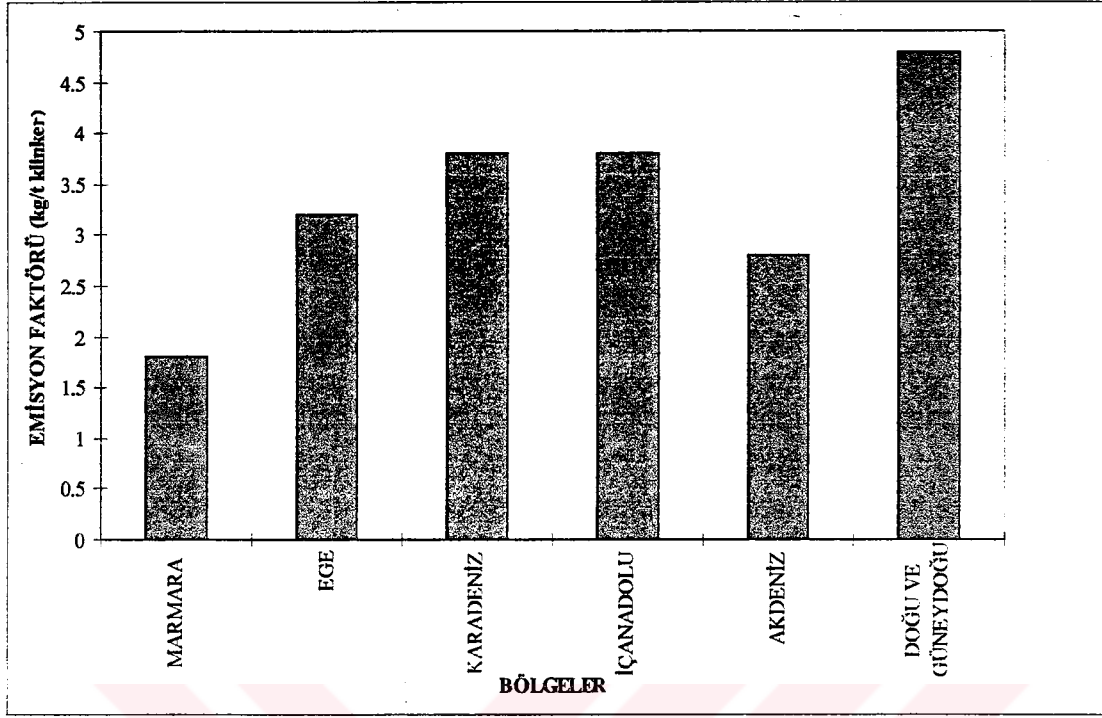
CO emisyon faktörlerinin coğrafi bölgelere göre değişimi Şekil 6.10'da görülmektedir. Marmara Bölgesi'nde en düşük CO emisyon faktörü ve Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yine en yüksek CO emisyon faktörü belirlenmiştir.



Şekil 6.8 Toz Emisyon Faktörlerinin Coğrafi Bölgelere Göre Değişimi



Şekil 6.9 NO₂ Emisyon Faktörlerinin Coğrafi Bölgelere Göre Değişimi



Şekil 6.10 CO Emisyon Faktörlerinin Coğrafi Bölgelere Göre Değişimi

BÖLÜM 7

EMİSYONLARIN YILLIK, AYLIK, GÜNLÜK VE SAATLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Çalışmalarımızda Bölüm 3.5’de sıraladığımız numune alma prensiblerine uyularak optimum koşullarda numuneler alınarak, klinker üretim kapasitesi 1.500.000 ton/yıl olan, kuru prosesle üretim yapan bir çimento fabrikasındaki partiküler madde (toz), NO_x, CO ve SO₂ emisyonlarının yıllık, aylık, günlük ve saatlik değişimleri incelenmiştir.

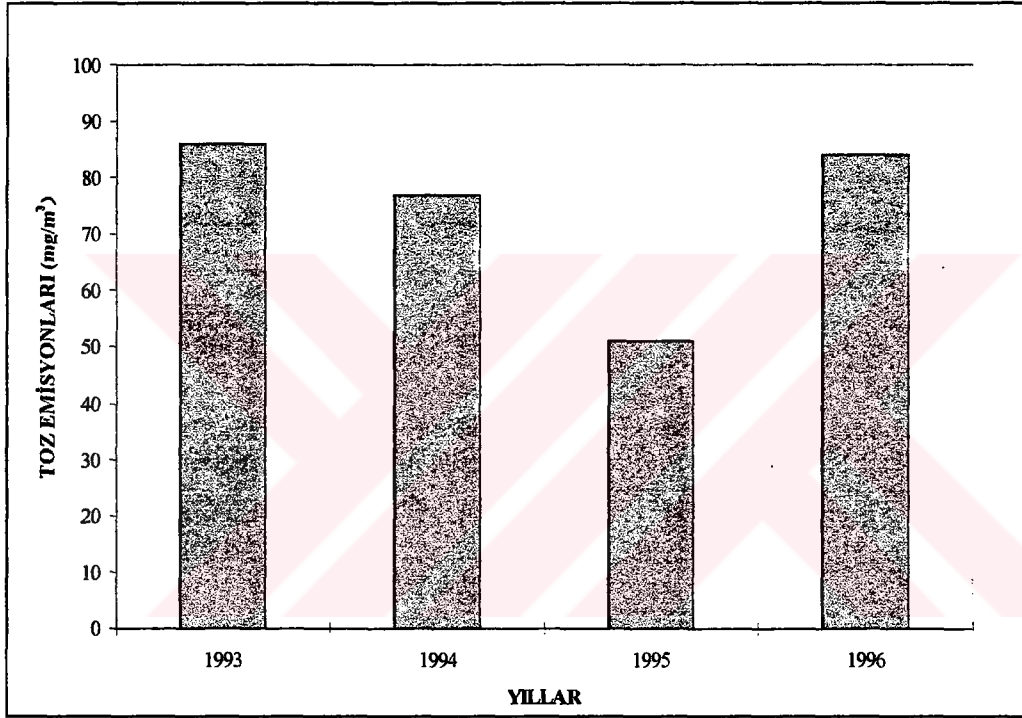
Partikül madde ölçüm deneylerinde, ölçme prensibi Bölüm 3.6.3’de açıklanan SICK-SHC2 ve SHC5 optik-elektronik izokinetik toz ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Baca gazında bulunan CO, NO_x ve SO₂ gazlarının ölçümü MRU 95/3-CD model elektrokimyasal gaz analizörü yardımıyla yapılmıştır.

Seçilen çimento fabrikasından çevreye yayılan konvansiyonel kirleticilerden SO₂ emisyonuna çoğunlukla eser miktarda rastlanmıştır. Hammadde ve yakıt cinslerinin içerdiği kükürt, genel olarak sülfat, sülfid ve organik sülfür bileşikleri şeklinde prosese girmektedir. Kükürt bileşikleri proses süresince ya indirgenmekte yada SO₂ gazlarını oluşturmaktadır. Düşük sıcaklıklarda SO₂ gazı da okside olarak SO₃ oluşmaktadır, bununla beraber egzoz gazlarının, döner fırın ve hammadde öğütme sistemlerinde düşük sıcaklıkta geçirdikleri sürenin oldukça kısa olması nedeniyle ortama bırakılan kükürdün %99’dan fazlası SO₂ şeklindedir. Bu nedenle fırınlardan açığa çıkan kükürt gazlarından SO₂ dışındakileri kontrol etmeye gerek yoktur. Kademeli siklon ön ısıtmalı fırınlarda hammadde belli oranda kalsine olmaya başlamakta, fırından gelen SO₂ ile serbest haldeki CaO temas ettiğinde CaSO₄ haline dönüşmektedir. Bu yolla fırında oluşan SO₂ ’nin neredeyse tamamı hammadde tarafından absorbe edilerek tekrar fırına gönderilmektedir.

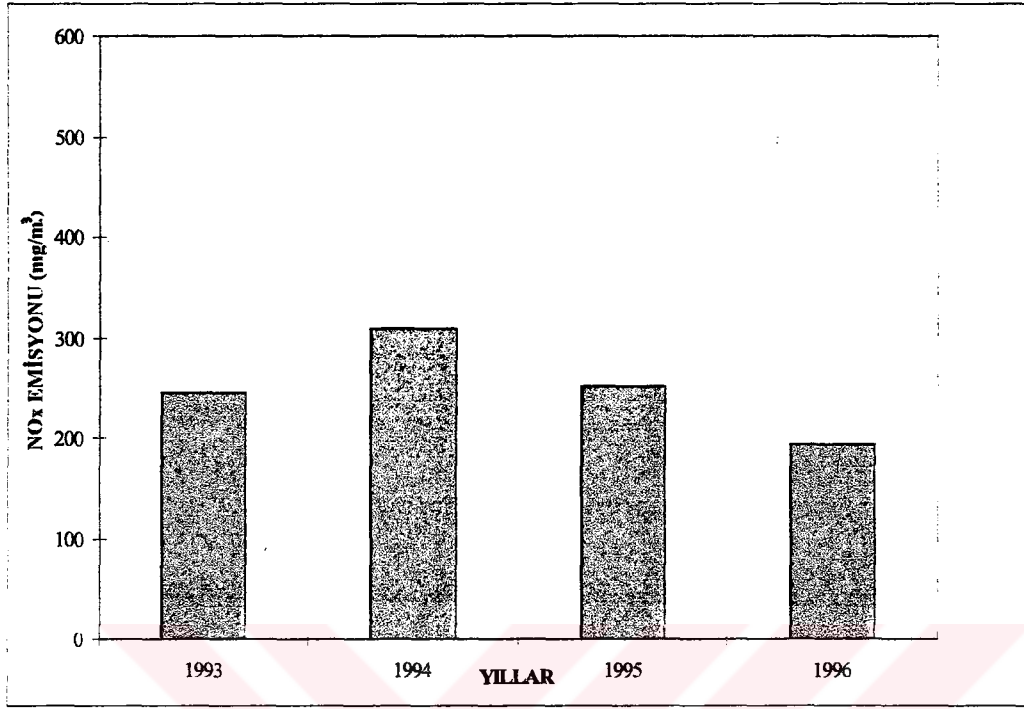
7.1 EMİSYONLARIN YILLIK DEĞİŞİMİ

Örnek olarak alınan çimento fabrikasının 1993-1996 yılları arasındaki toz emisyonlarının yıllık ortalamaları Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1' den de görüleceği gibi 1994 yılında diğer yıllara göre toz emisyonunun düşük olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeninin bu üretim dönemi başında fabrikada toz emisyonlarının azaltılması amacıyla bir seri yatırım yapılmasıdır.

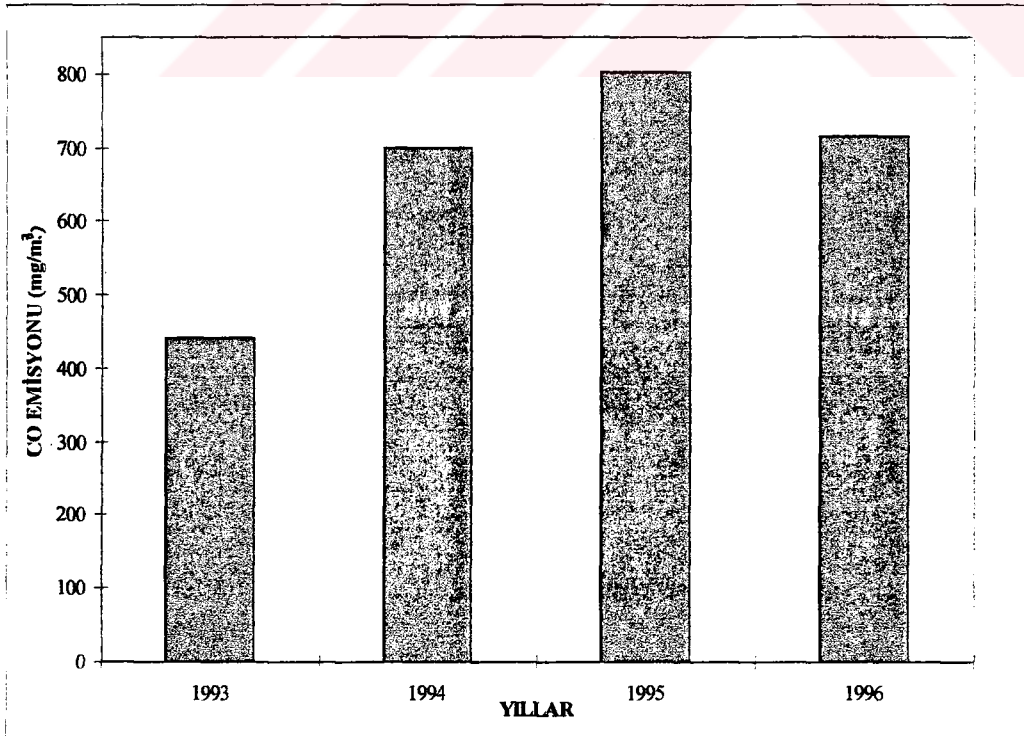


Şekil 7.1 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Yıllık Ortalama Toz Emisyonlarının Değişimi

Şekil 7.2'de aynı fabrikadan çevreye yayılan NO_x emisyonlarının yıllık ortalamaları, Şekil 7.3'de de CO emisyonlarının yıllık ortalamaları görülmektedir. NO_x Emisyonlarının yıllara göre değişimi incelendiğinde, belirgin bir değişikliğin olmadığı gözlenmektedir. 1994 yılında diğer yıllara göre biraz daha yüksek NO_x emisyonunu olduğu gözlenmektedir. Yıllara göre CO emisyonları incelendiğinde; 1996 yılı hariç yıllara göre artan değişim gözlenmektedir. Bu artış %20-40 mertebelerindedir.



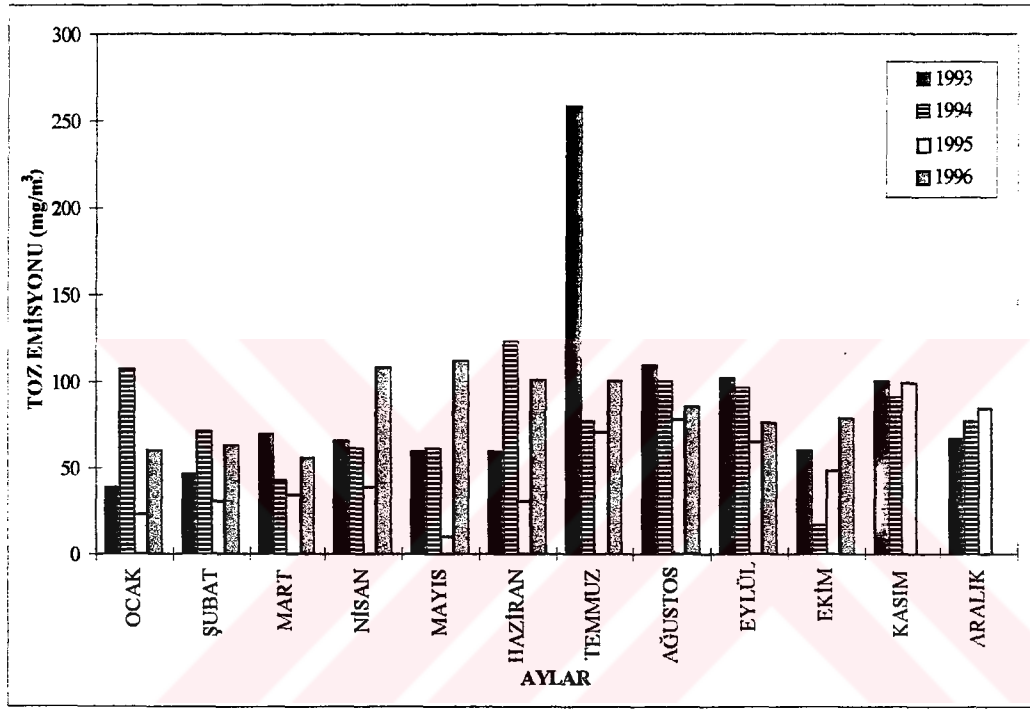
Şekil 7.2 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Yıllık Ortalama NO_x Emisyonlarının Değişimi



Şekil 7.3 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Yıllık Ortalama CO Emisyonlarının Değişimi

7.2 EMİSYONLARIN AYLIK DEĞİŞİMLERİ

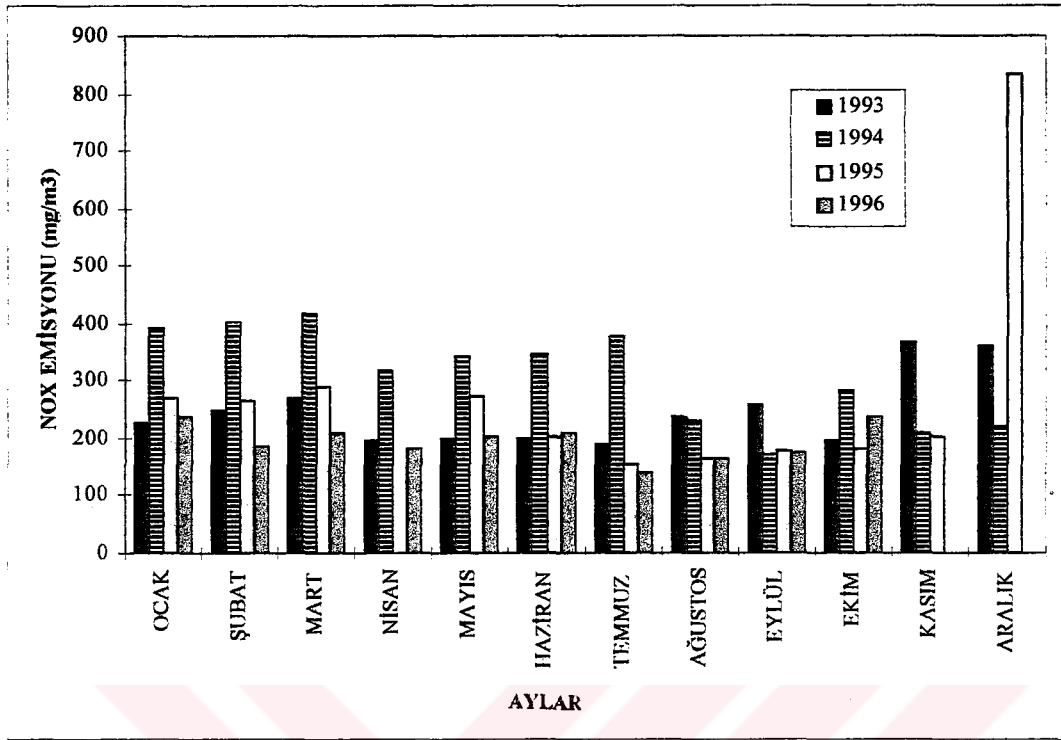
Örnek olarak alınan çimento fabrikasının 1993-1996 yılları arasındaki aylık ortalama toz emisyonları değişimi Şekil 7.4'de, NO_x emisyonlarının değişimi Şekil 7.5'de ve CO emisyonlarının değişimi Şekil 7.6'da görülmektedir.



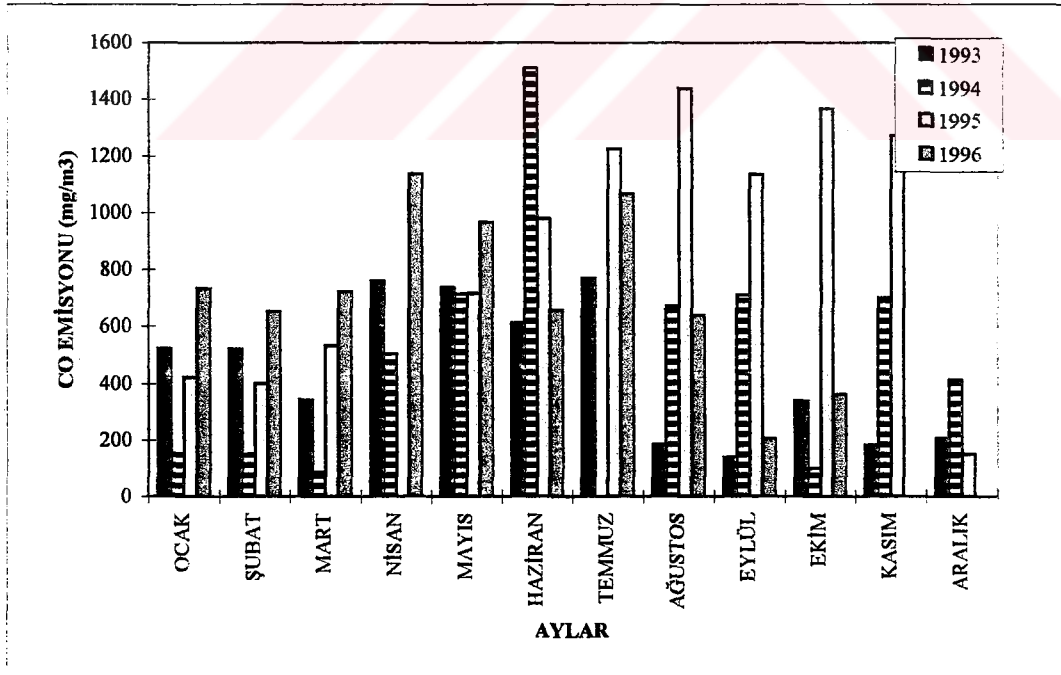
Şekil 7.4 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Aylık Ortalama Toz Emisyonlarının Değişimi

Fabrikanın toz emisyonlarının değişimi incelendiğinde 1993 yılında Temmuz ayında diğer aylara göre oldukça yüksek bir değere ulaştığı gözlenmektedir. 1993-1996 yılları birlikte incelendiğinde, en yüksek aylık toz emisyonu ortalaması Temmuz ayında gerçekleşmektedir (126 mg/m³). Buna karşılık en düşük aylık toz emisyonu ortalaması Ekim ayında görülmektedir (51 mg/m³).

Örnek seçilen fabrikanın NO_x emisyonlarının aylara göre değişimi incelendiğinde; 1995 yılının Aralık ayında en yüksek emisyonun olduğu Şekil 7.5'den görülmektedir. En yüksek aylık NO_x emisyonu ortalaması Aralık ayında (471 mg/m³), en düşük ortalama ise Nisan ayında (175 mg/m³) olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7.5 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Yıllık Ortalama NOx Emisyonlarının Değişimi

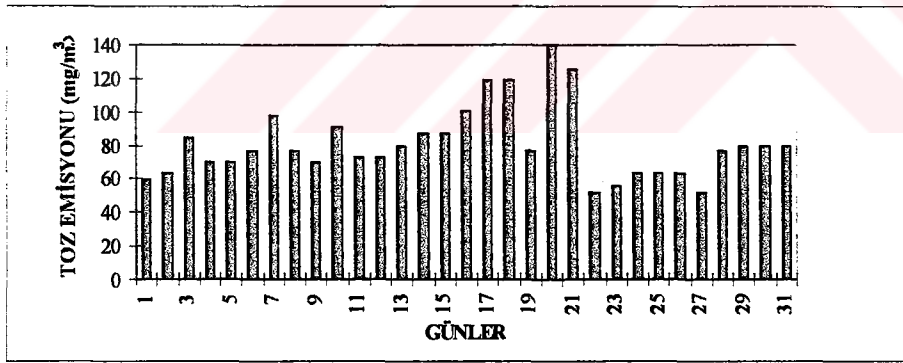


Şekil 7.6 Emisyonları İncelenen Çimento Fabrikasının Yıllık Ortalama CO Emisyonlarının Değişimi

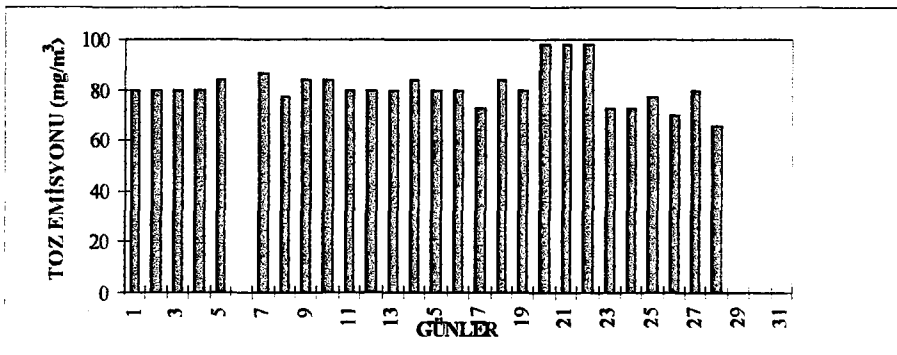
Örnek seçilen fabrikanın CO emisyonlarının değişimi aylara göre çok farklı değişimler göstermektedir. İnceleme periyodunda en yüksek aylık ortalama Temmuz aylarında (1021 mg/m^3), en düşük ortalama ise Aralık ayında (256 mg/m^3) olduğu görülmektedir.

7.3 EMİSYONLARIN GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİ

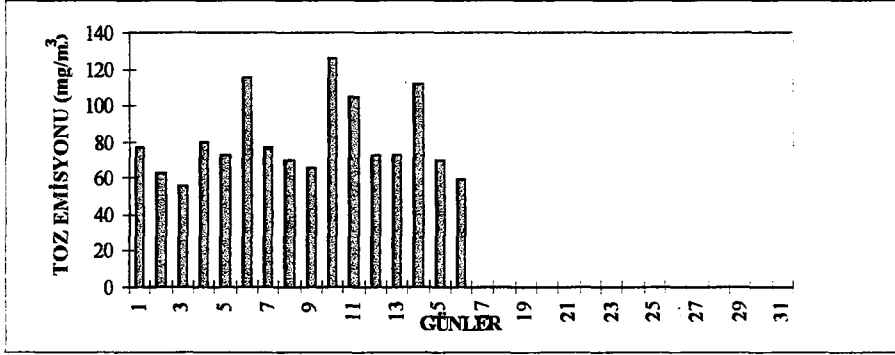
Seçilen çimento fabrikasının partiküler madde, NO_x , CO emisyonları 1994, 1995 ve 1996 yıllarında günlük olarak incelenmiştir. 1995 yılına ait günlük ortalama emisyonların grafiksel değişimi aşağıda verilmektedir. Bu yıla ait günlük ortalama toz emisyonlarındaki değişimleri Şekil 7.7-Şekil 7.17'dedir, aynı yıla ait ortalama günlük NO_x emisyonlarının değişimi Şekil 7.18-Şekil 7.28' de, ortalama günlük CO emisyonları da Şekil 7.29-Şekil 7.39'da gösterilmektedir. Nisan ayında fabrika genel bakım nedeniyle durdurulmuştur, bu nedenle bu aya ait veriler bulunmamaktadır.



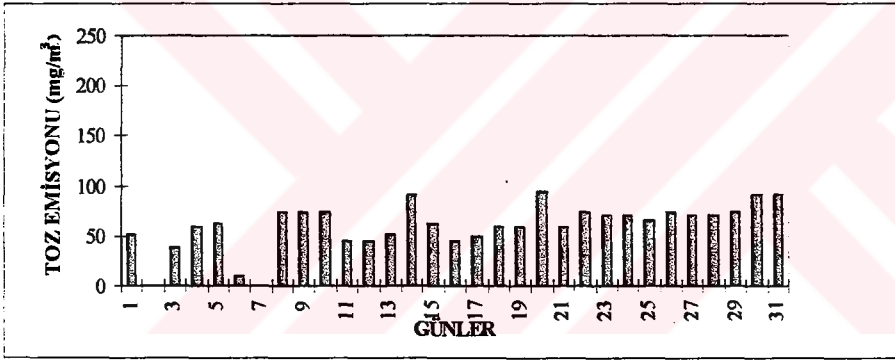
Şekil 7.7 Ocak Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



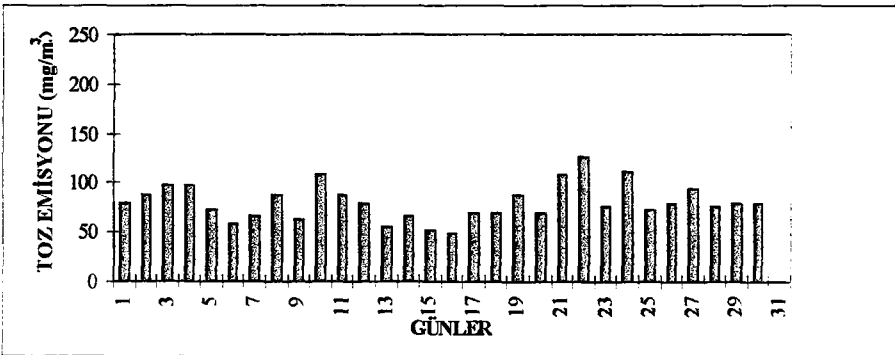
Şekil 7.8 Şubat Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



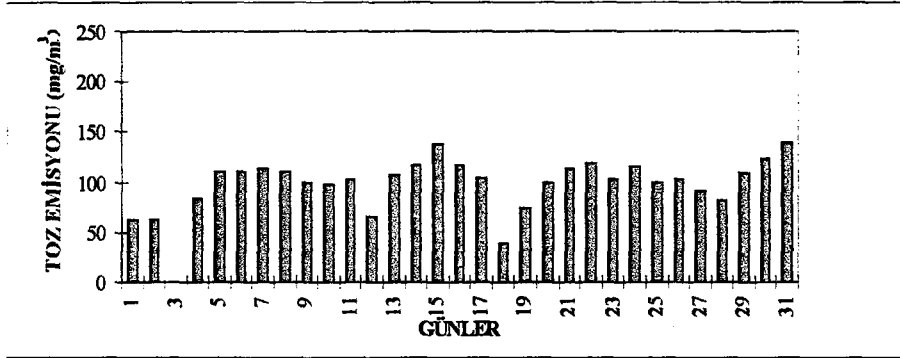
Şekil 7.9 Mart Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



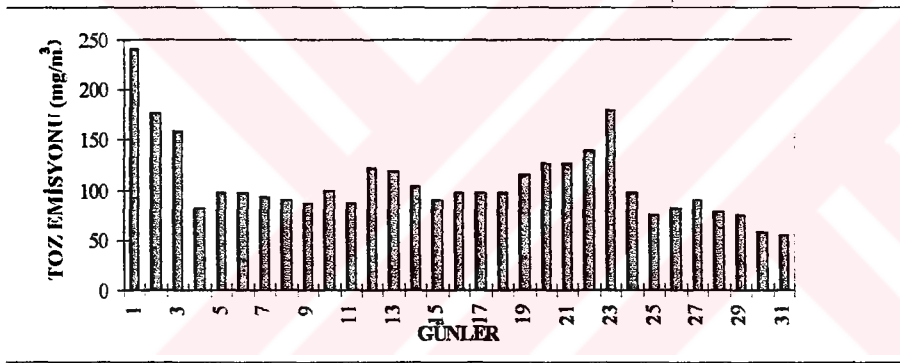
Şekil 7.10 Mayıs Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



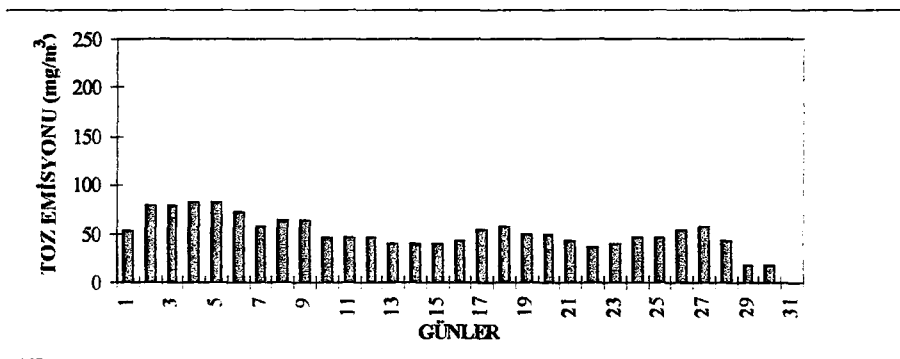
Şekil 7.11 Haziran Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



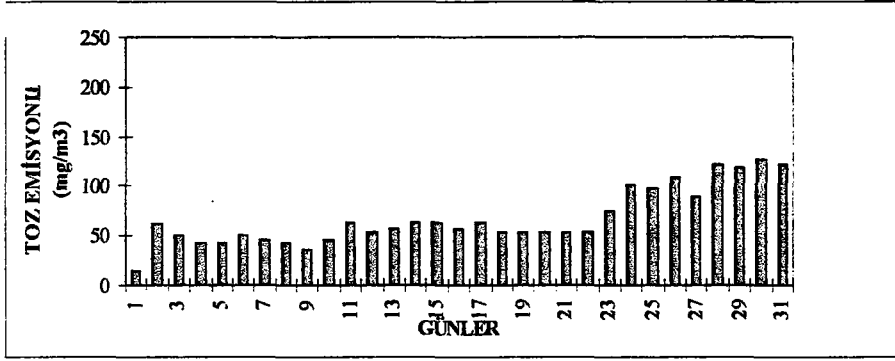
Şekil 7.12 Temmuz Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



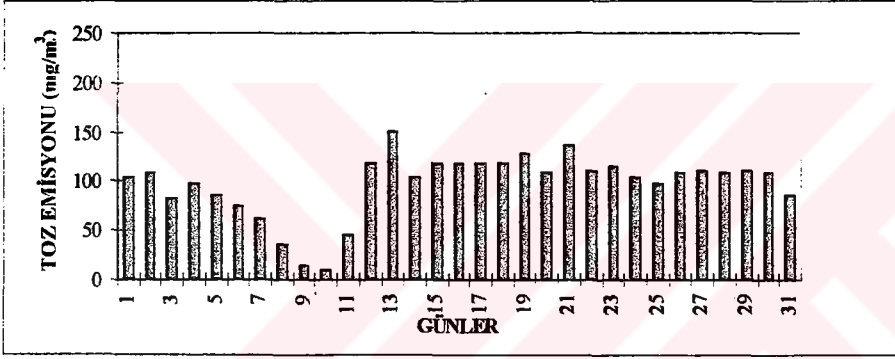
Şekil 7.13 Ağustos Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



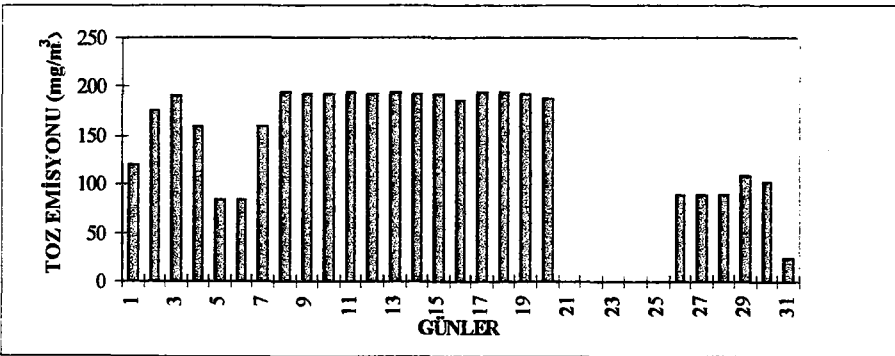
Şekil 7.14 Eylül Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



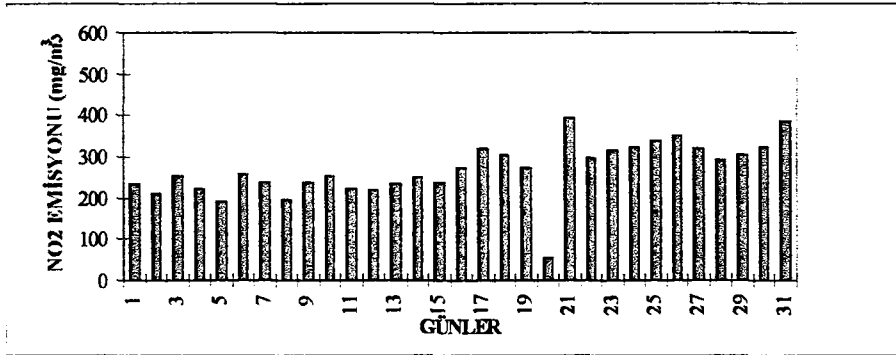
Şekil 7.15 Ekim Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



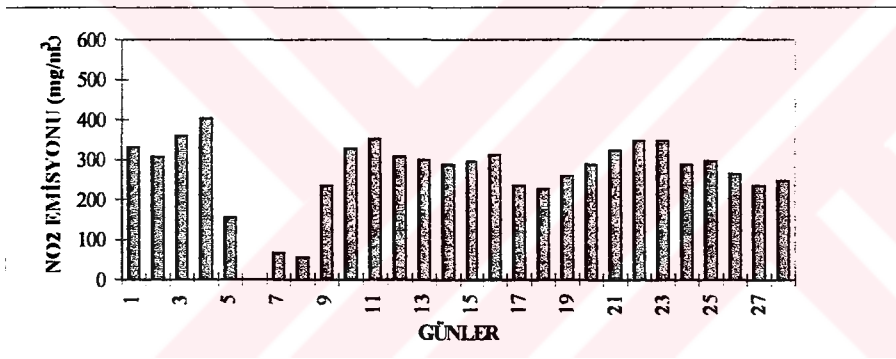
Şekil 7.16 Kasım Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



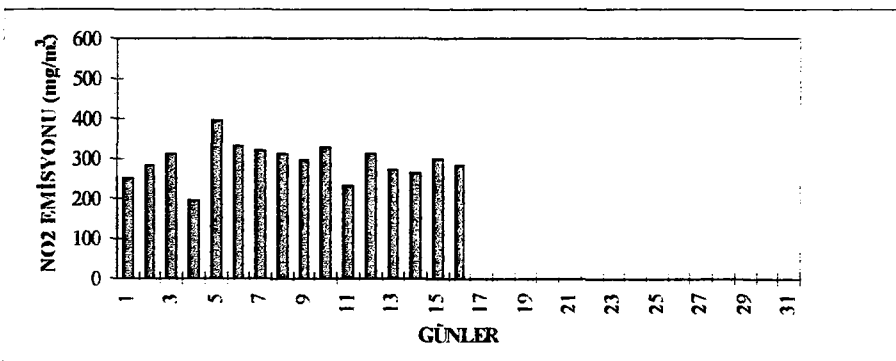
Şekil 7.17 Aralık Ayı Günlük Ortalama Toz Emisyonları Değişimi



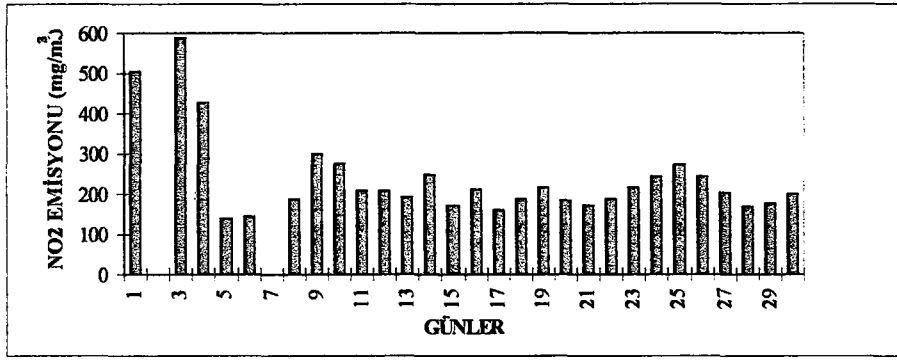
Şekil 7.18 Ocak Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



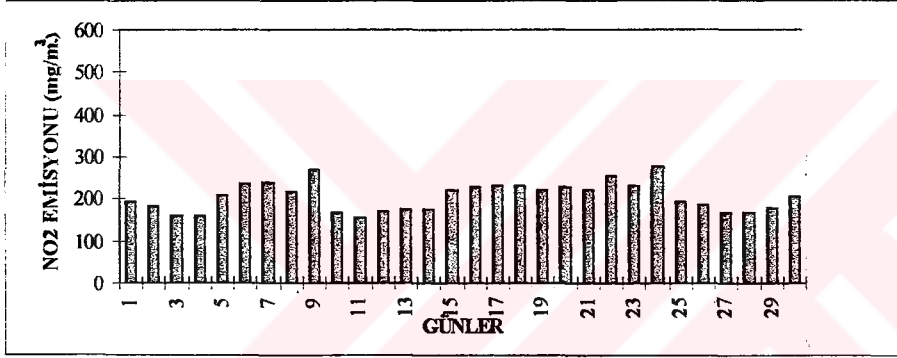
Şekil 7.19 Şubat Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



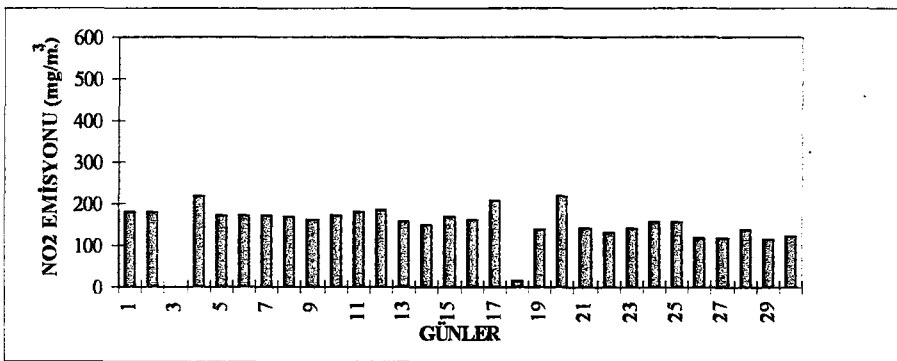
Şekil 7.20 Mart Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



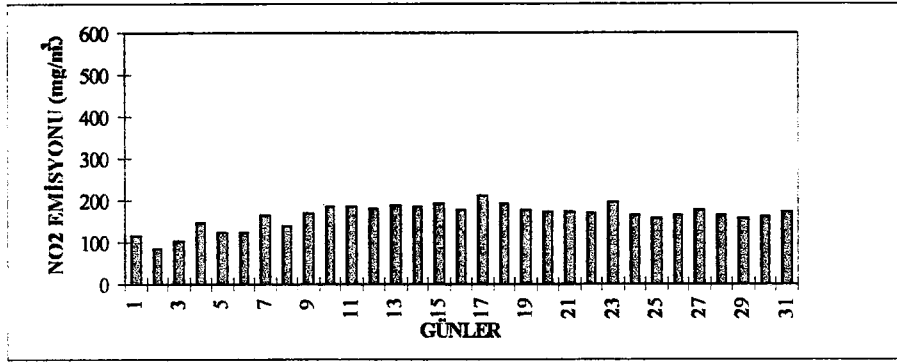
Şekil 7.21 Mayıs Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



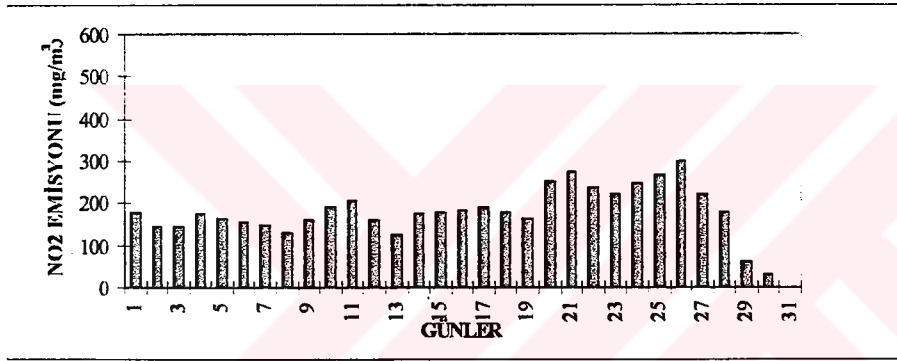
Şekil 7.22 Haziran Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



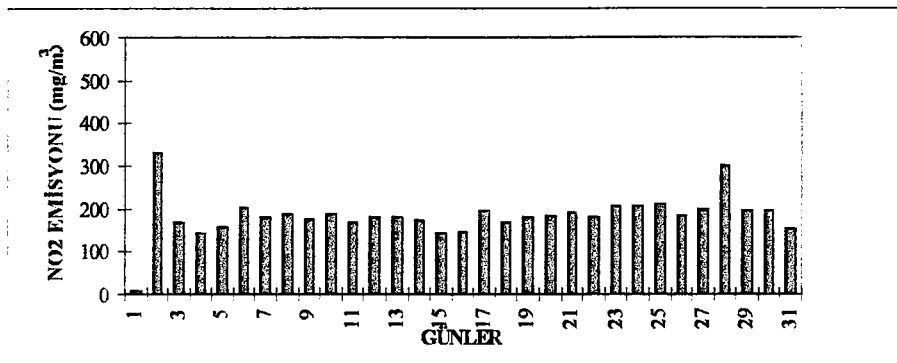
Şekil 7.23 Temmuz Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



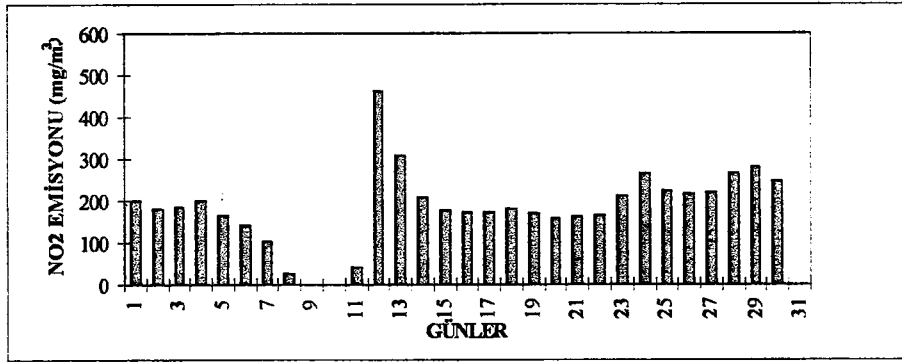
Şekil 7.24 Ağustos Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



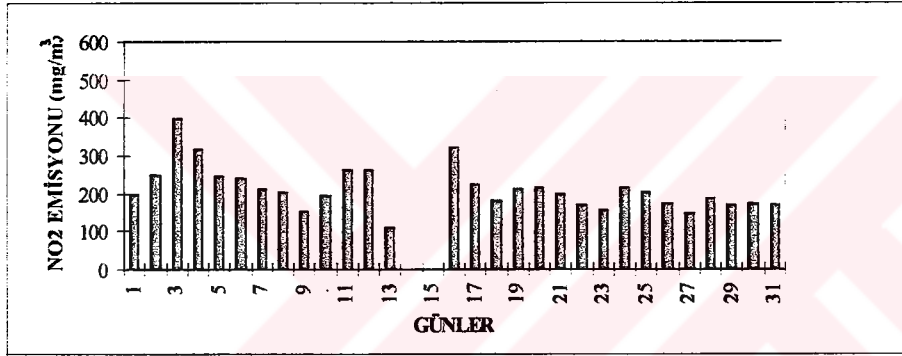
Şekil 7.25 Eylül Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



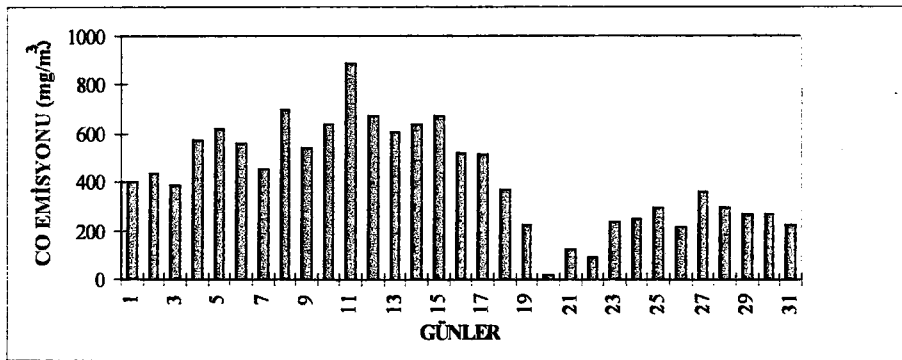
Şekil 7.26 Ekim Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



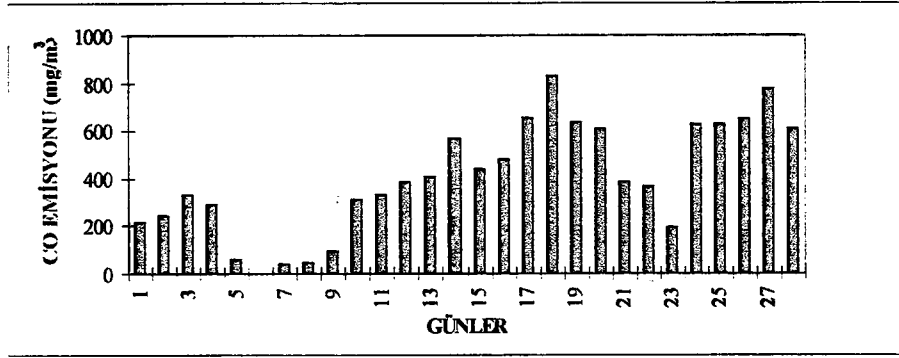
Şekil 7.27 Kasım Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



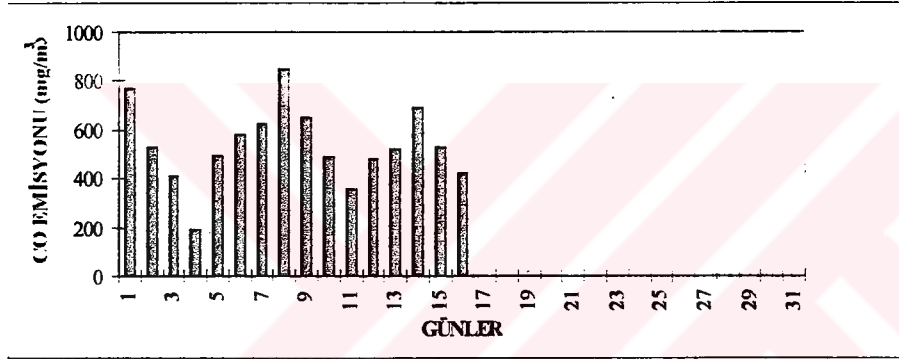
Şekil 7.28 Aralık Ayı Günlük Ortalama NO_x Emisyonları Değişimi



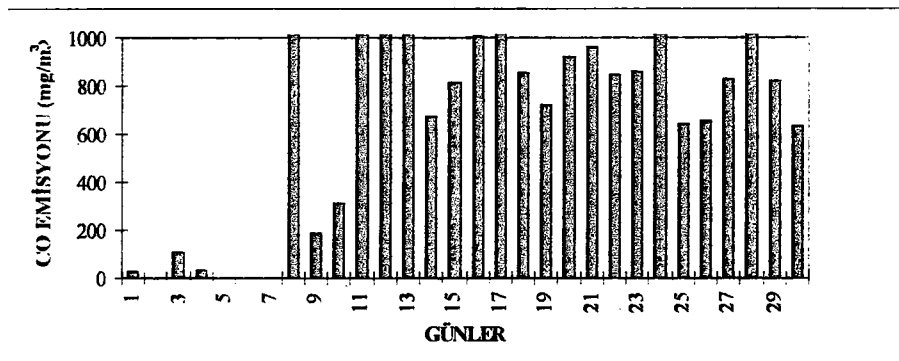
Şekil 7.29 Ocak Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



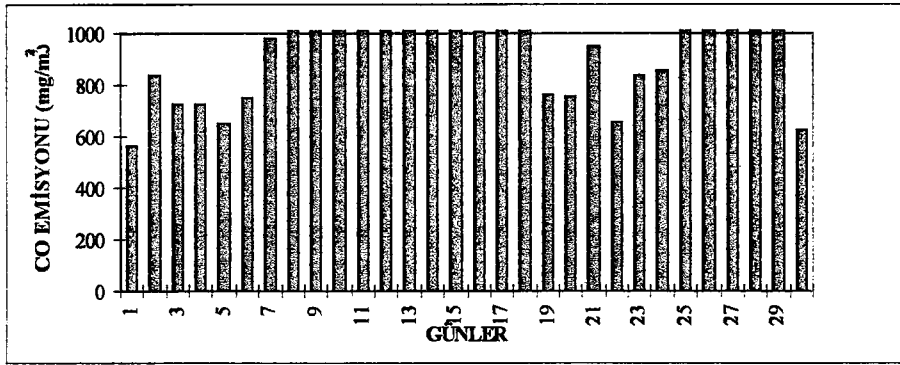
Şekil 7.30 Şubat Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



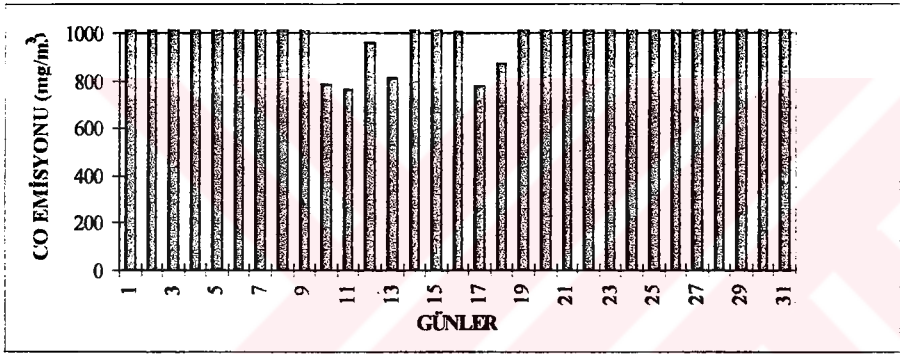
Şekil 7.31 Mart Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



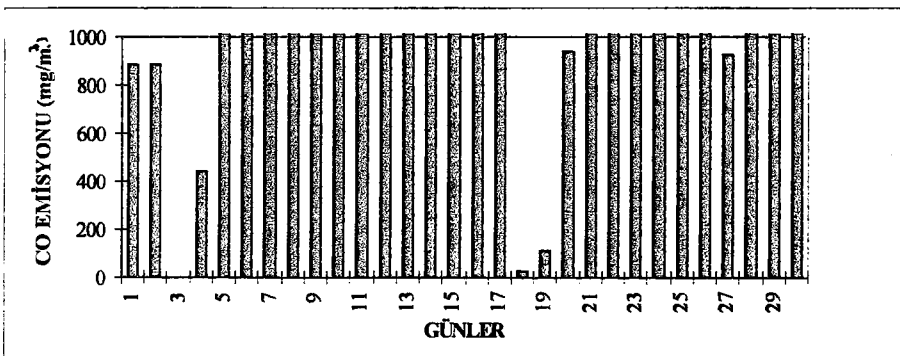
Şekil 7.32 Mayıs Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



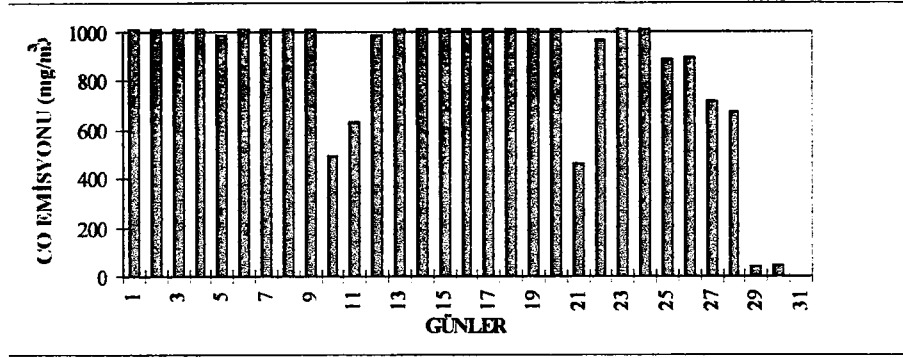
Şekil 7.33 Haziran Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



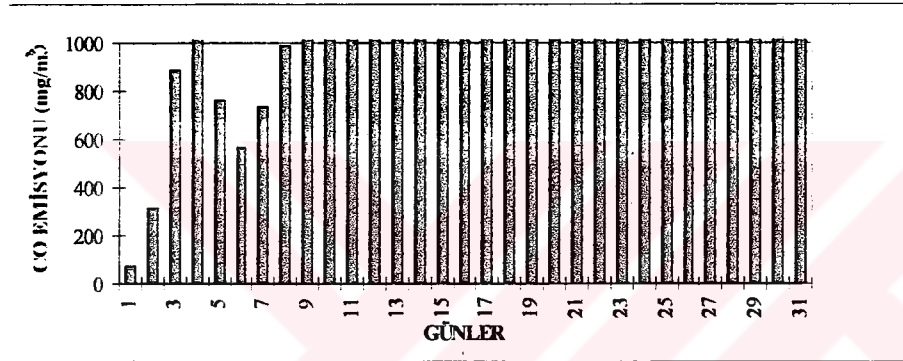
Şekil 7.34 Temmuz Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



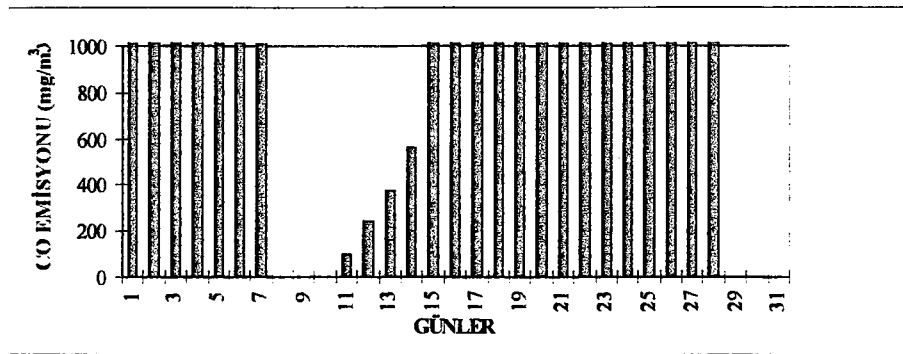
Şekil 7.35 Ağustos Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



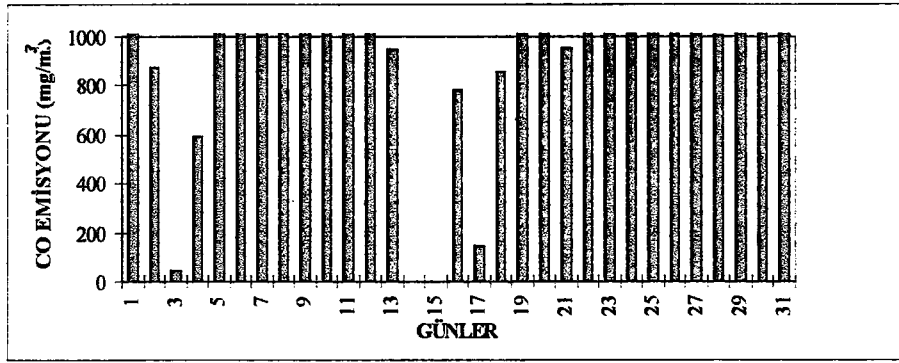
Şekil 7.36 Eylül Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



Şekil 7.37 Ekim Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



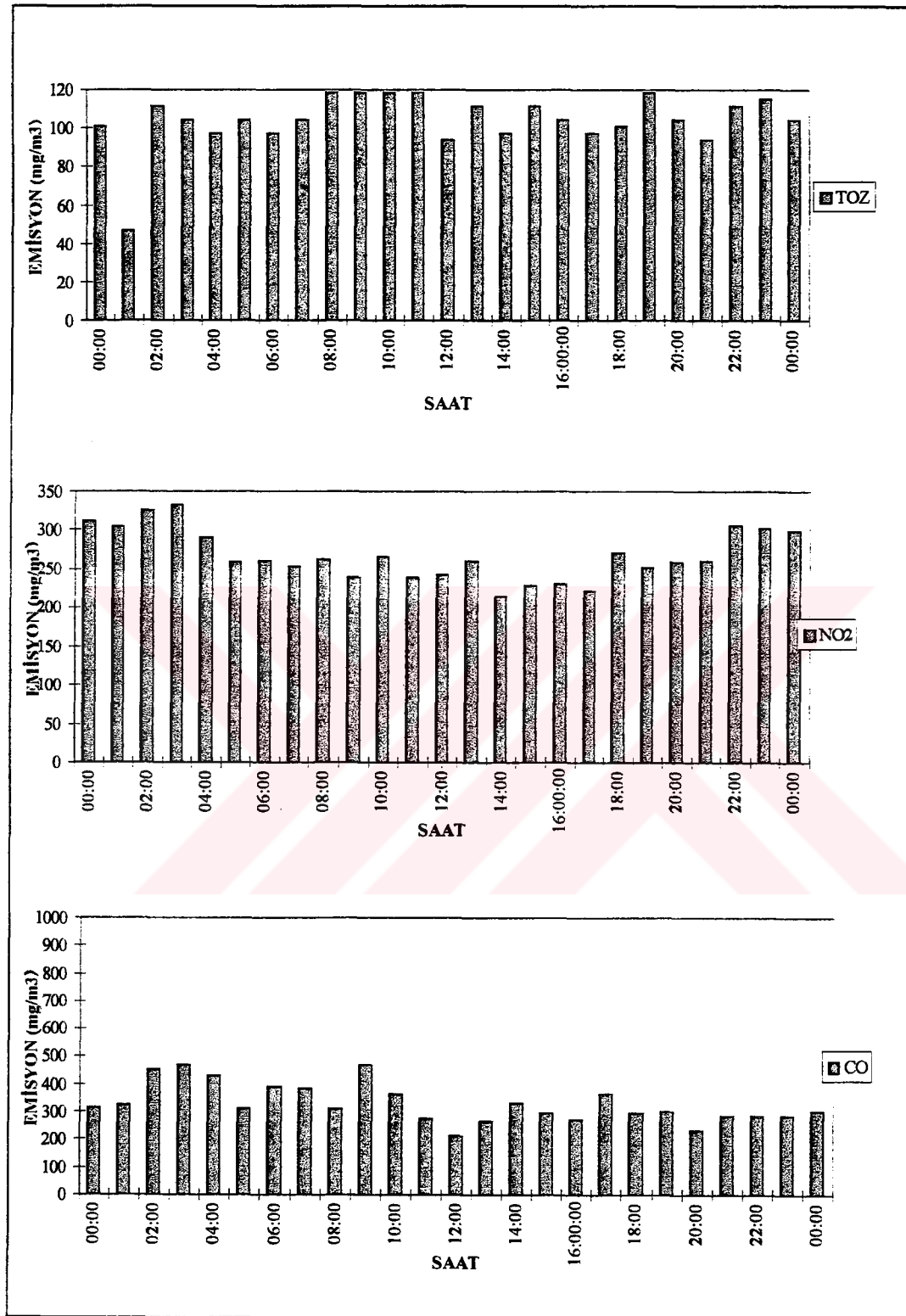
Şekil 7.38 Kasım Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi



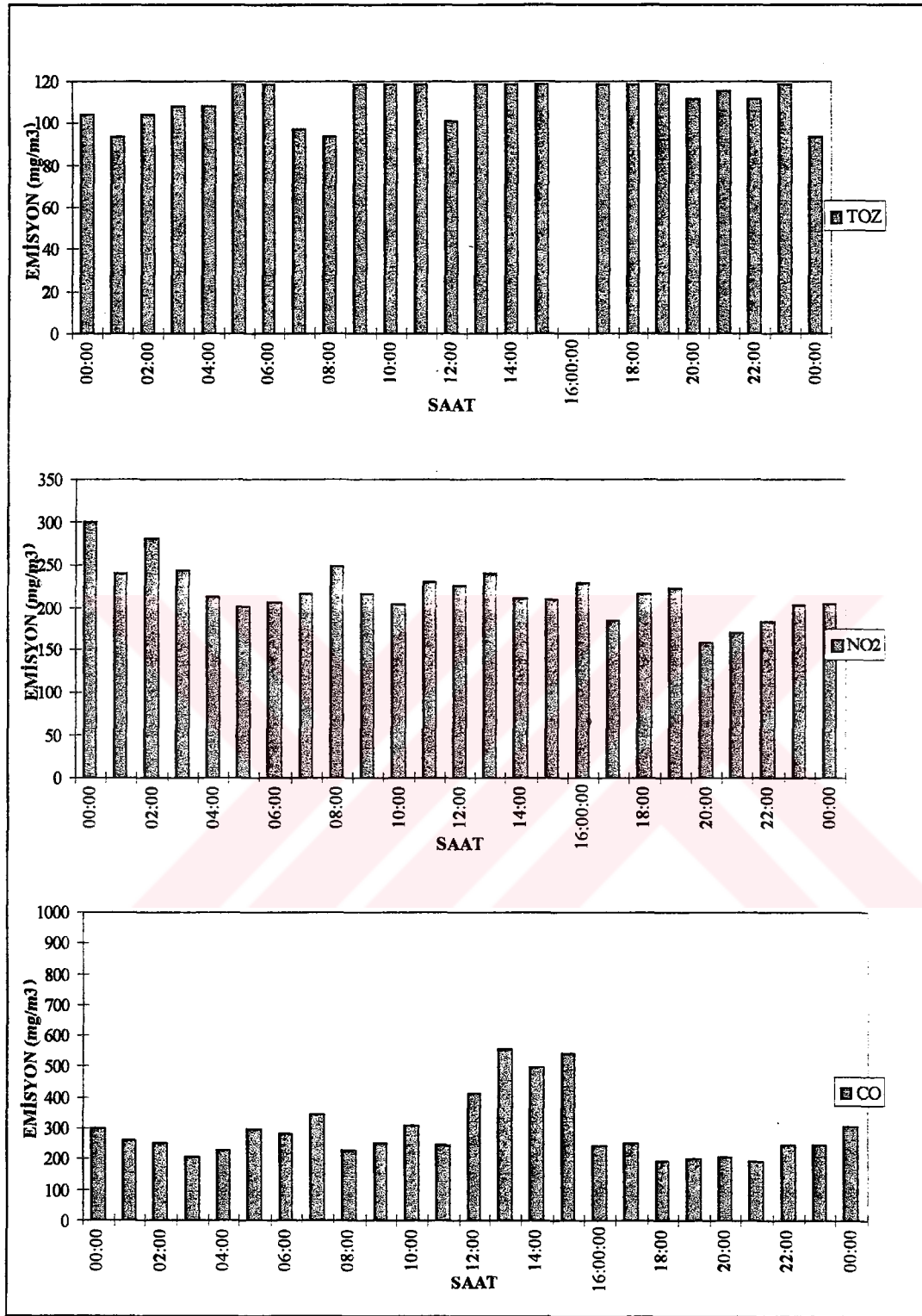
Şekil 7.39 Aralık Ayı Günlük Ortalama CO Emisyonları Değişimi

7.4 EMİSYONLARIN SAATLİK DEĞİŞİMLERİ

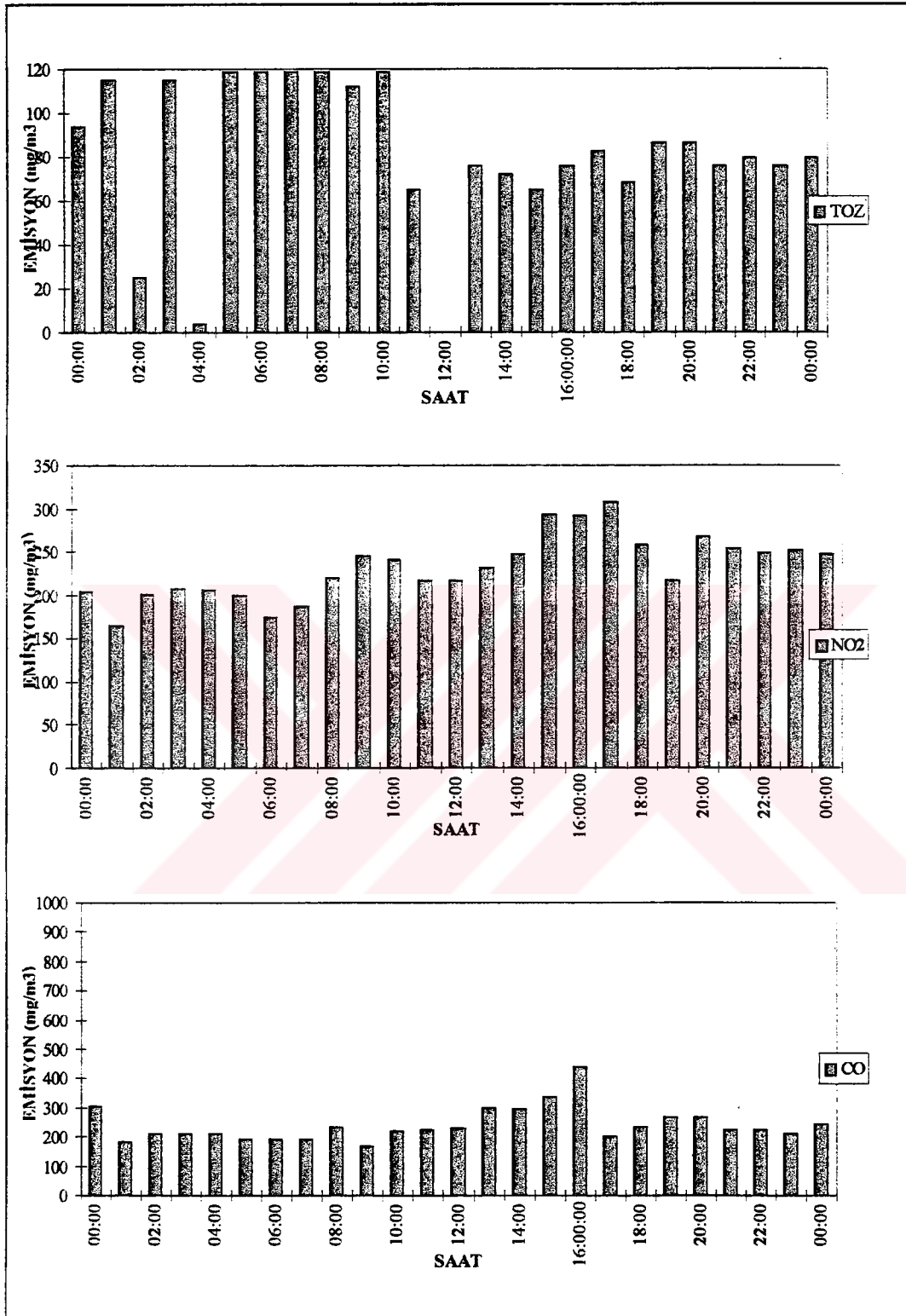
1996 yılında belli periyodlarla ölçülen saatlik partiküler madde, NO_x ve CO emisyonlarının Kasım ayının ilk 10 gününe ait değişimlerini gösteren grafikler Şekil 7.40-Şekil 7.49'da gösterilmektedir.



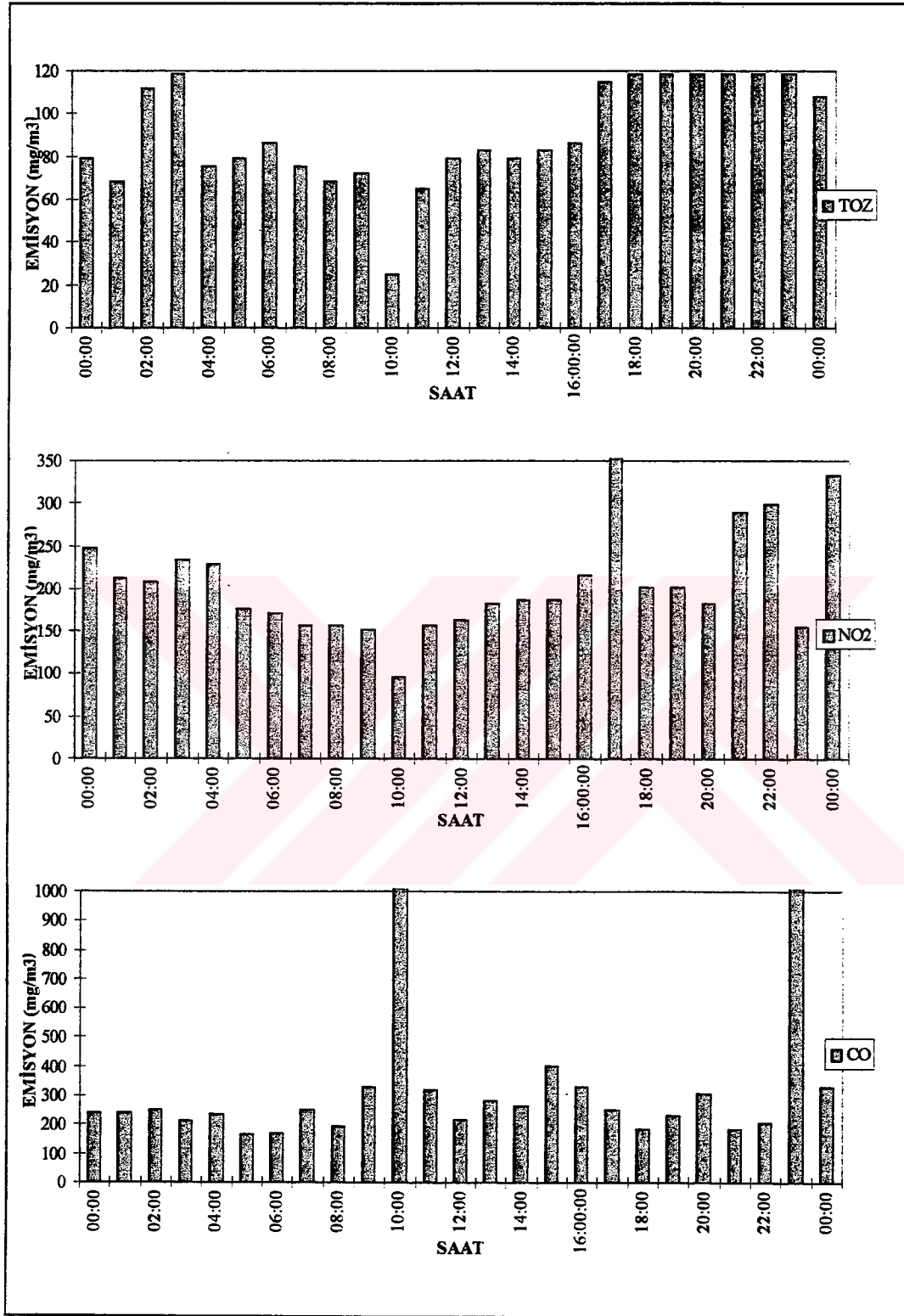
Şekil 7.40 Kasım Ayı 1. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



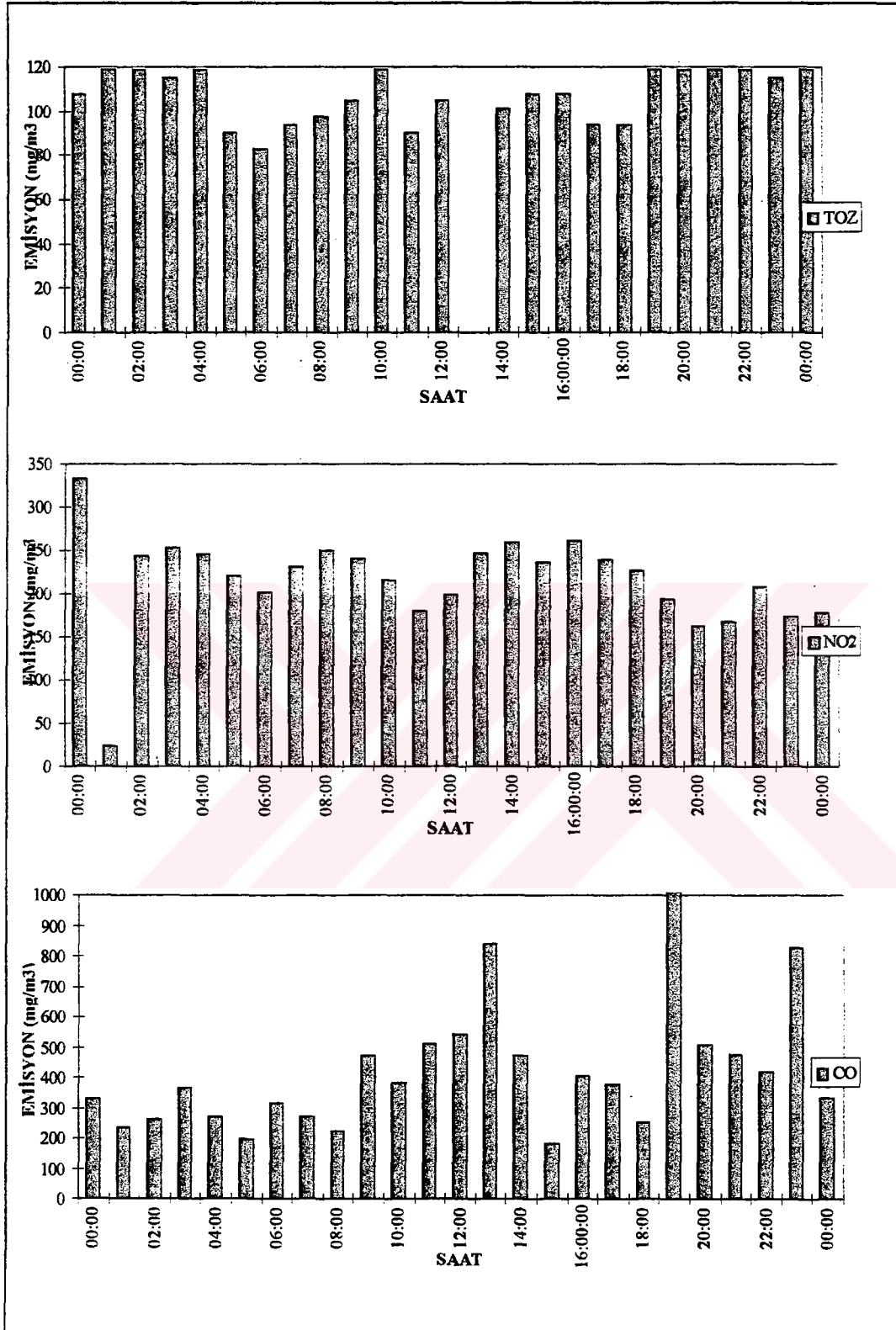
Şekil 7.41 Kasım Ayı 2. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



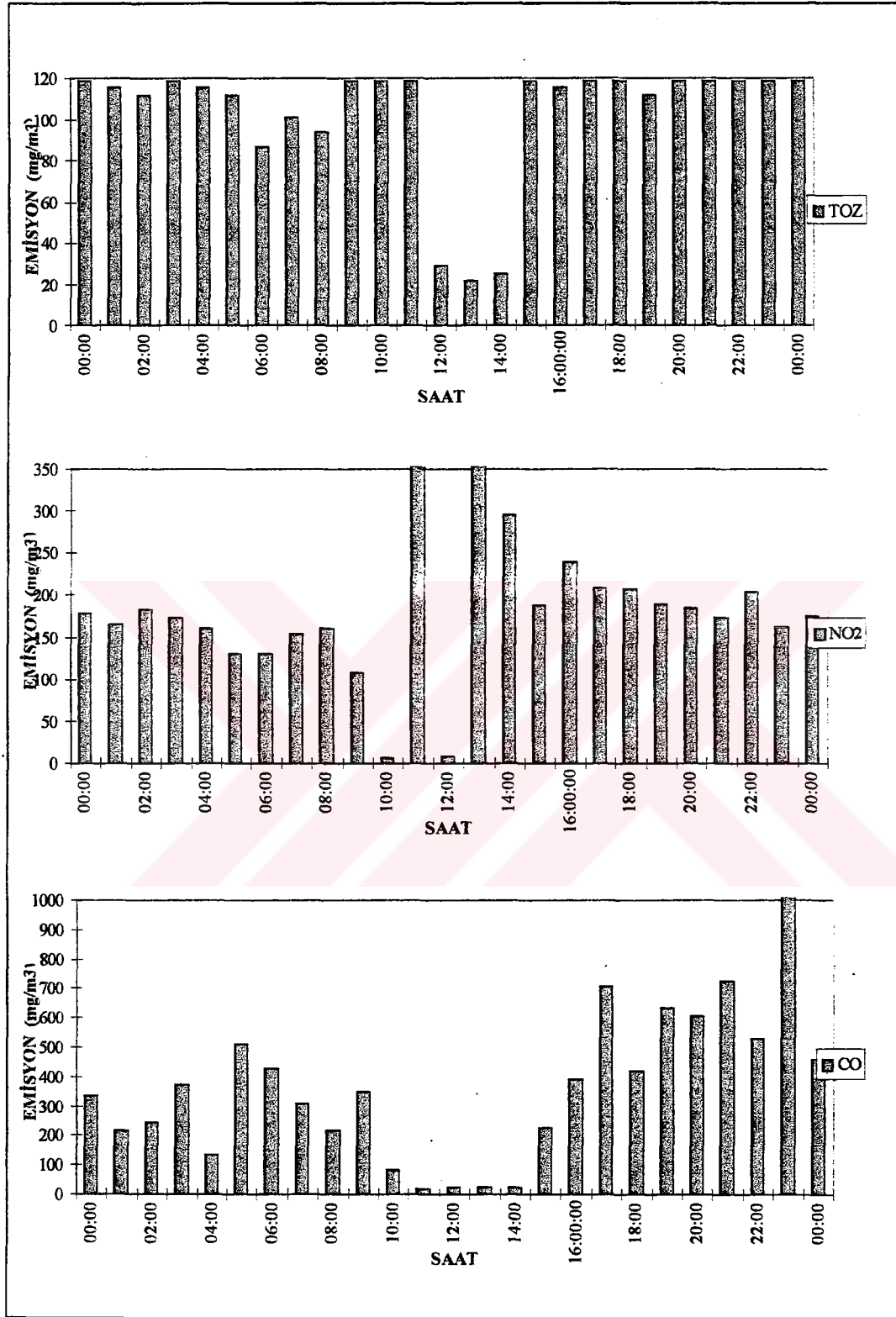
Şekil 7.42 Kasım Ayı 3. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



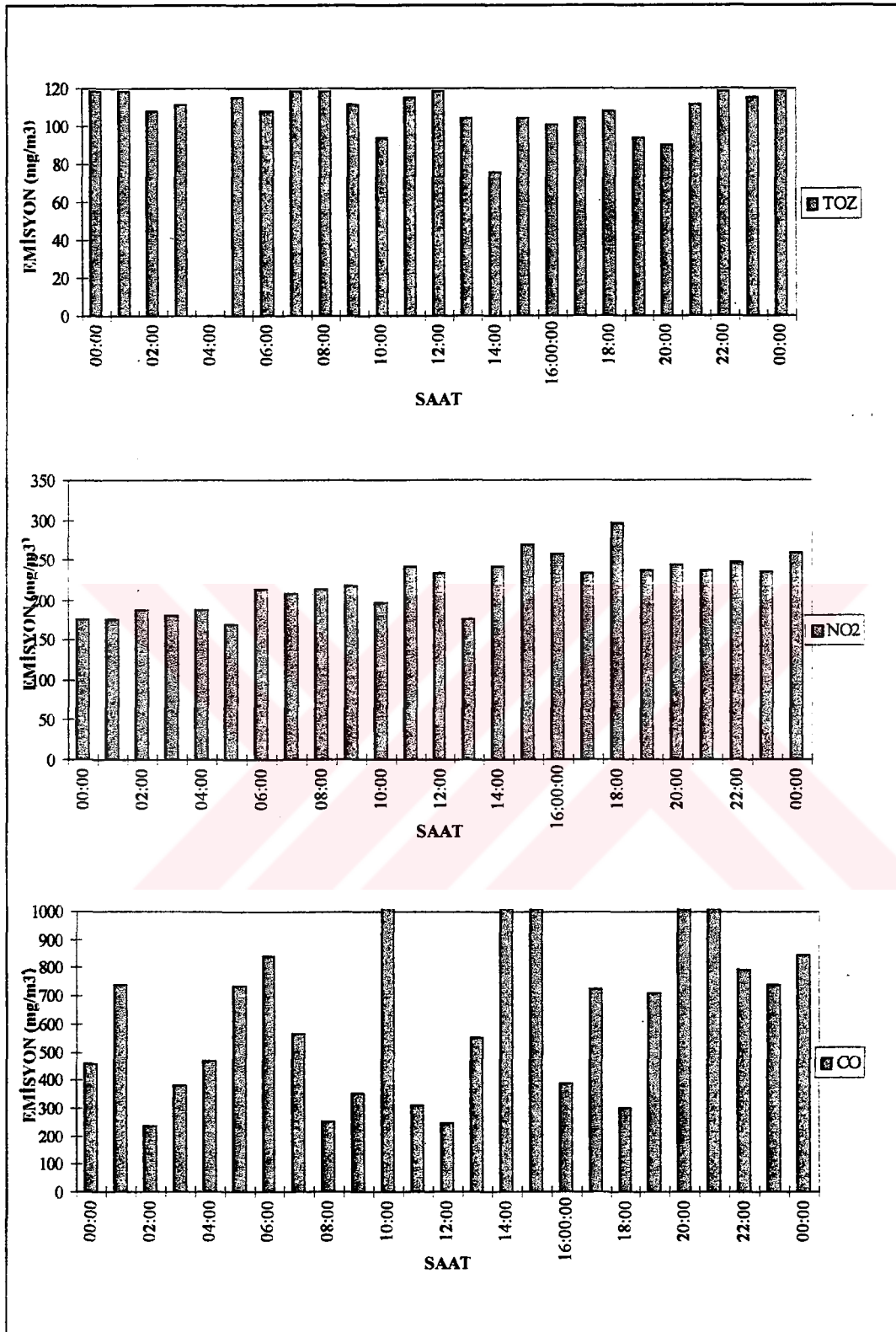
Şekil 7.43 Kasım Ayı 4. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



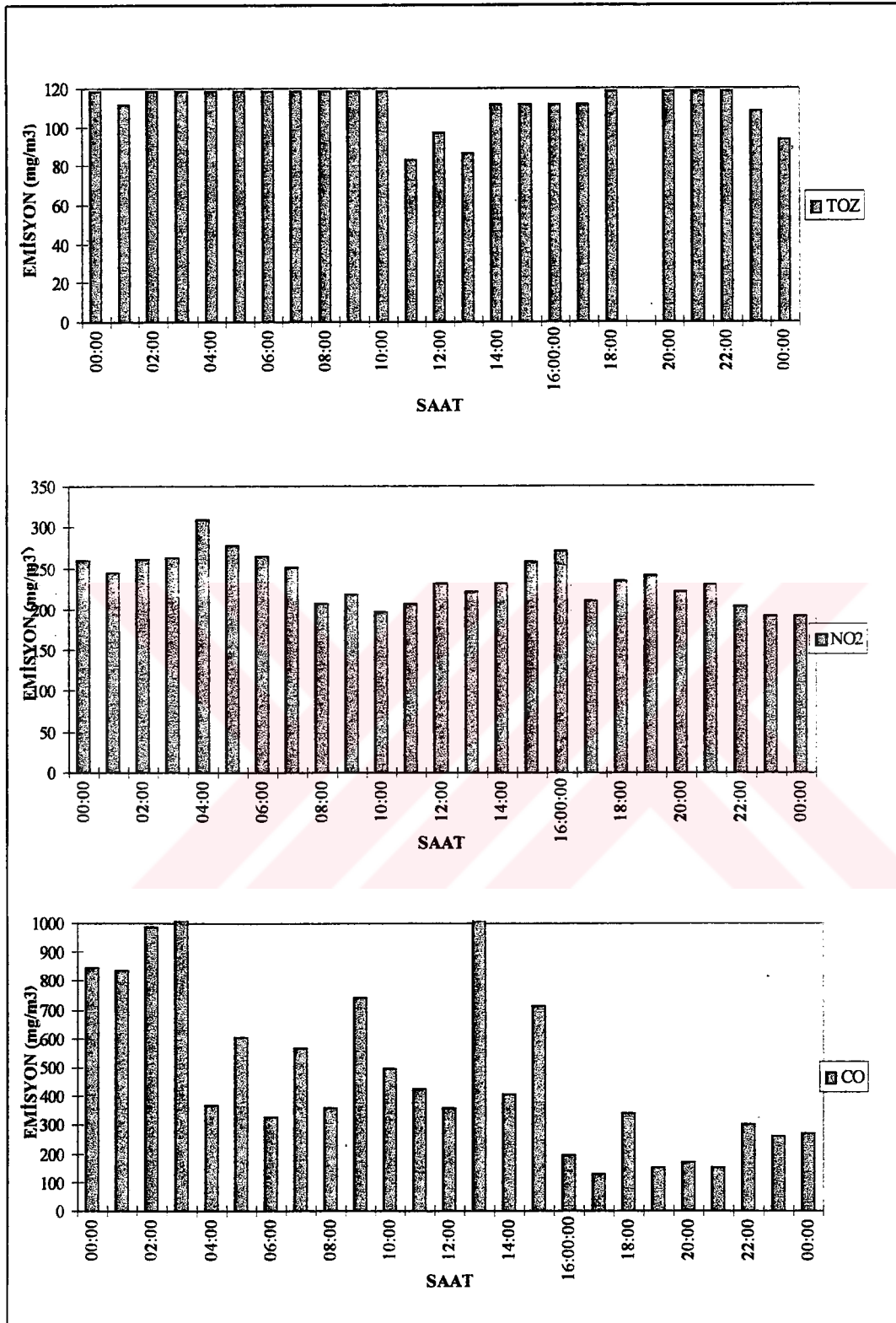
Şekil 7.44 Kasım Ayı 5. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



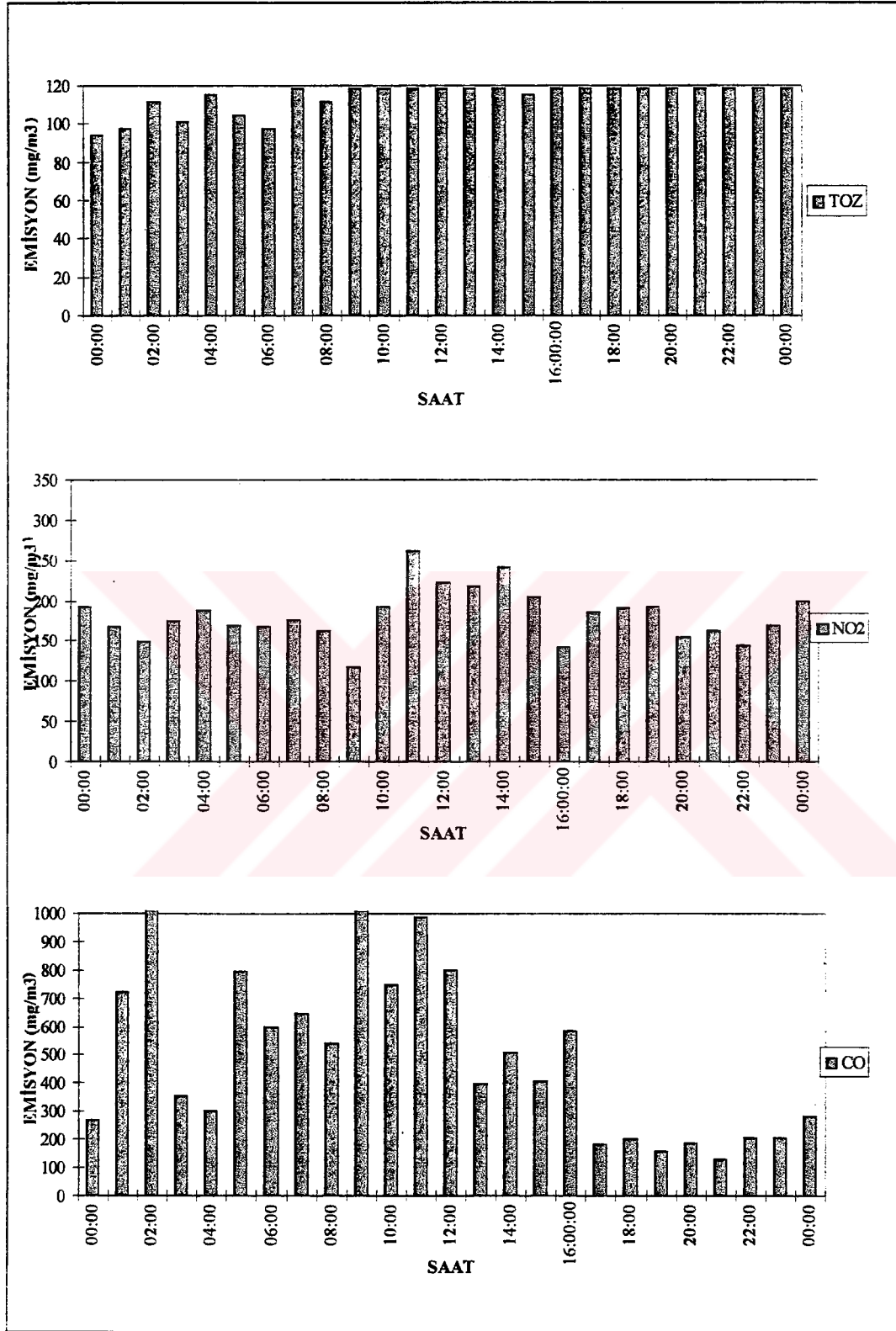
Şekil 7.45 Kasım Ayı 6. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



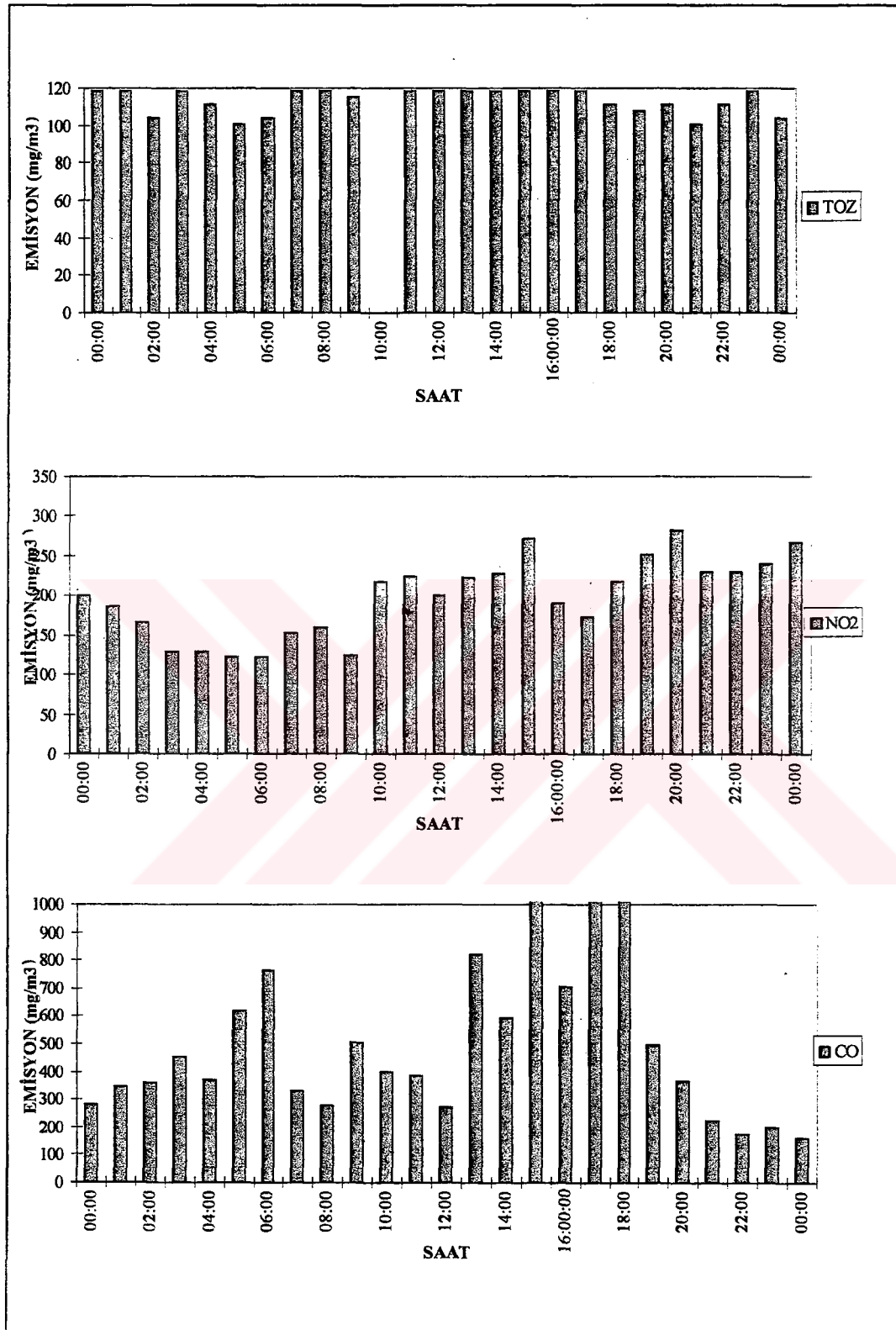
Şekil 7.46 Kasım Ayı 7. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



Şekil 7.47 Kasım Ayı 8. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



Şekil 7.48 Kasım Ayı 9. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi



Şekil 7.49 Kasım Ayı 10. Günü Saatlik Toz, NO_x ve CO Emisyonları Değişimi

7.5 EMİSYONLARIN ZAMANA GÖRE DEĞİŞİMİNİN NEDENLERİNİN İRDELENMESİ

7.5.1 Toz Emisyonlarının Değişim Nedenleri

Çimento fabrikasından yayılan toz emisyonlarının değişimi incelendiğinde saat bazında yapılan ölçümlerde sistemli bir değişimin olmadığı gözlenmektedir. Çimento fabrikalarında toz emisyonunun değişimi birçok parametreye bağlıdır. Toz emisyonunun önlenmesi amacıyla bütün çimento fabrikalarında olduğu gibi, incelediğimiz fabrikada da elektrofiltre kullanılmaktadır. Toz emisyonundaki başlıca değişimin elektrofiltrenin veriminden kaynaklandığı söylenebilir. Elektrofiltrelerin verimleri de doğrudan olarak işletme şartlarına bağlıdır.

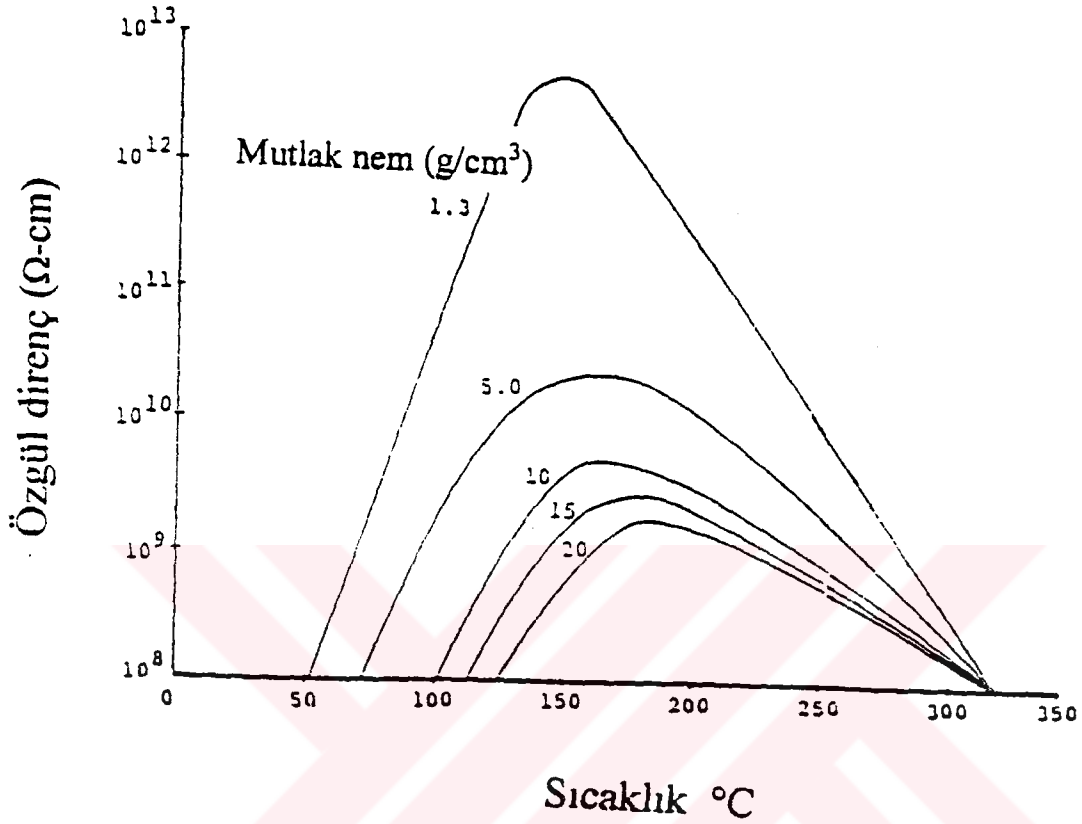
Genel olarak elektrofiltreler, sürekli çalışan sabit tesisler için olası gaz ve toz durumlarına göre dizayn edilmektedir. Bunun dışında, sapma gösteren işletme şartlarında verimde değişiklik göstermektedir. Genel olarak, verimi etkileyen başlıca parametreler [24]:

- Gaz debisi,
- Ham gazın toz içeriği,
- Gaz sıcaklığı,
- Şebnem (çiğ) noktasıdır.

Elektrofiltrelerde çöktürülmüş tozların bir kısmı sarsma esnasında gaz tarafından yeniden sürüklenebilir veya bazı gaz hızlarında, gaz dağılımı düzensizleşebilir ve sonuç olarak bacaya giden temiz gazın toz içeriği yükselebilir. Ham gazın toz içeriği çok yüksek ise emisyon elektrodunun korona saçılımı bastırılır, filtre akımı düşer ve ayırma gücü azalır[25].

Gaz sıcaklığı ve gazın şebnem noktası değişimi tozun elektrik direncine etki etmektedir. Sıcaklık-özgül direnç-nem ilişkisi Şekil 7.50’de görülmektedir. Tozların elektrik direnci sadece tanelerin elektrik alanında yüklenmesini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda özellikle tozların çöktürme elektroduna yapışmalarını etkilemektedir.

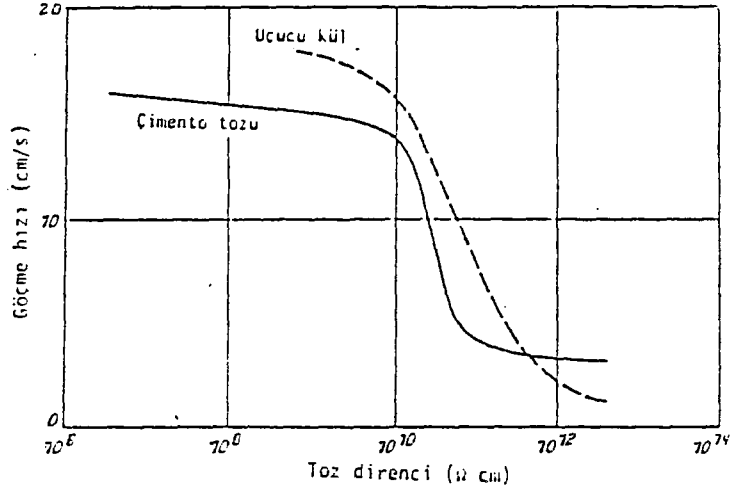
Elektrofiltrelerde ayrılan her toz yarı iletken özelliklere sahiptir, yani sıcaklıkla değişen bir direnci vardır. Bu arada direnç aynı zamanda taşıyıcı gazın rutubetine bağlıdır[24].



Şekil 7.50 Çimento Tozlarının Özgül Direncinin Sıcaklık ve Nem ile Değişimi

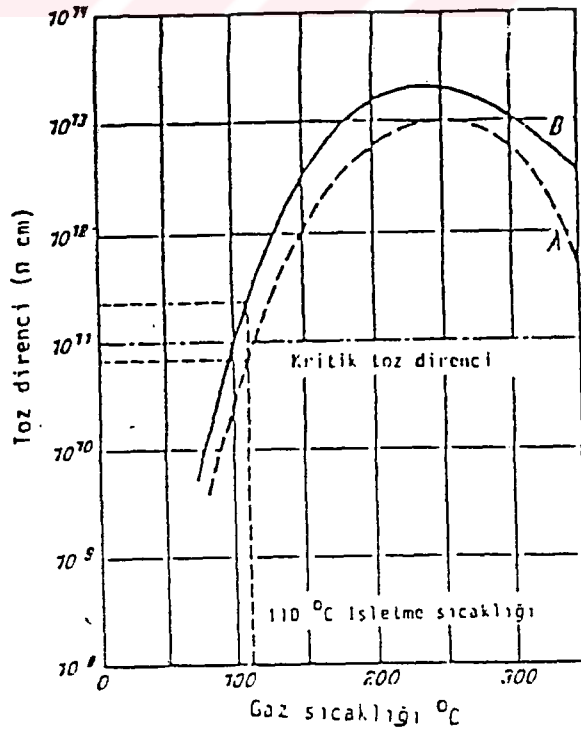
200 $^{\circ}\text{C}$ 'a kadar olan sıcaklık bölgesinde yüzey iletkenliği, toz direncini belirleyen esas değerdir. Yüzey iletkenliği adsorbslanmış veya kimyasal olarak tutulmuş rutubete bağlıdır. Sıcaklık yükseldikçe rutubet azalır ve direnç yükselir. Çimento tozlarının elektriksel direnci $10^4 \Omega \text{ cm}$ ile $10^{14} \Omega \text{ cm}$ arasında değişmektedir. $10^{11} \Omega \text{ cm}$ 'ye kadar filtre işleminde genel olarak problem yoktur. Bu değer aşıldığında, toz tabakasının levhalar üzerinde izole edici özelliği belirginleşmeye başlar ve geri saçılma olayı meydana gelir, bu durumda filtrenin çalışması düzensizleşir ve ayırma derecesi düşer [24].

Şekil 7.51' de elektrik direncinin toz partiküllerinin çökme elektrodlarına göç hızı ile değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, $10^{10} \Omega \text{ cm}$ 'den sonra çimento tozunun göçme hızı büyük ölçüde azalmaktadır.



Şekil 7.51 Elektrik Direncinin Göçme Hızına Etkisi [24].

Çimento tozlarının kimyasal ve mineralojik yapısı, boyutu, yüzey yapısı toz direncini etkileyen önemli faktörlerdir. Hammadde bileşiminin, fırın tozunun direnci üzerindeki etkisi Şekil 7.52'de görülmektedir.



Şekil 7.52 Bir Çimento Fırınında Toz Direncinin Değişimi [24]

A eğrisinde, toz direncinin normal farin bileşiminde sıcaklığa bağımlılığı, B eğrisi ise de aynı şartlarda, farin bileşiminin değişmesinin etkisi görülmektedir. Filtre sıcaklığının 110 °C olması halinde, normal farin bileşimi için, toz direnci $8 \cdot 10^{10} \Omega \text{ cm}$ ile kritik direncin altındadır. Farin bileşimi değişince, direnç $4 \cdot 10^{11} \Omega \text{ cm}$ ' ye yükselerek, kritik bölgeye girmektedir. Böylece elektrofiltrenin tuttuğu toz miktarında artış gözlenmektedir.

Gaz debisi, toz içeriği, sıcaklık, şebnem noktası ve toz direnci gibi elektrofiltrenin verimini etkileyen parametreler yanında başka etkiler de gözönünde bulundurulmalıdır. Bunlardan biri, son elektriksel alan bölgesinin sarsılması sırasında toz emisyonunda yükselme görülmesidir. Tozların aglomerasyon yatkınlıklarının düşük olması, tozların elektriksel yüklerini çöktürme elektrodlarına çok hızlı vermesi veya tozların elektrodla yapışma kuvvetinin azalmasına neden olur, böylece tozlar, sarsma işlemi sonunda toz bunkerine düşerken gaz akımı tarafından yakalanır ve doğrudan bacaya giden temiz gaz akımına karışır.

Elektrofiltreye gelen gaz akımında CO konsantrasyonunun %1'in üzerine çıkması elektrofiltrenin patlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle işletme şartlarındaki değişiklikler nedeniyle CO miktarının yükselmesiyle elektrofiltre devreden çıkmaktadır ve böylece atmosfere verilen toz emisyonu yükselmektedir. Sistemde CO ölçümü sürekli olarak kontrol edilmekte ve sınır değere ulaştığında elektrofiltre devre dışı bırakılmaktadır.

7.5.2 NO_x Emisyonlarının Değişim Nedenleri

Çimento fırınlarında NO_x iki yolla oluşmaktadır. Bunlardan birincisi yanma havası içindeki atmosferik azotun yüksek sıcaklıktaki azot oksitlere dönüşmesidir ki buna termal NO_x' de denmektedir. İkincisi ise yakıtta bulunan bağlı azotun bir kısmının oksidasyonudur. Buna da yakıt NO_x'i denmektedir. Yakıt NO_x'i sıcaklıktan daha çok yakıtın azot oranına, yakıtın özelliklerine ve yakmanın stokiometrik koşullarına bağlıdır. Termal NO_x' in oluşumu sıcaklık ve hava fazlasına bağlıdır.

Çimento prosesinde azot oksitler (NO_x), azotmonoksit (NO) ve azotdioksit (NO₂) formlarında olup, fırında hammaddenin kalsinasyonu sırasında oluşmaktadırlar ve yaklaşık olarak %95 NO ve %5 NO₂ hacim oranlarına sahiptirler.

Çimento fırınlarının pişirme bölgesinde yakıt orijinli NO oluşumu, bu bölgede termal oluşumların çok fazla olması nedeniyle ikinci derecede önem taşımaktadır. Ancak önkavurmalı fırınlarda ikincil ateşleme yapılması nedeniyle yakıt orijinli NO oluşumları önem kazanmaktadır.

Çimento fırınına terk eden gazların içerdiği NO_x konsantrasyonunu belirleyen faktörler:

- Alev sıcaklığı,
- Alev tipi,
- Fazla hava oranı,
- Malzeme sıcaklığı,
- Malzemenin yanma bölümünde kalma süresi,
- Gazın yanma bölümünde bekleme süresi olarak sıralanabilir[26].

Alevin en sıcak noktalarını belirleyen faktörlerin alev sıcaklığı ve alev tipi olması nedeniyle NO oluşumunda da bu faktörler etkili olmaktadır. Uzun cansız bir alev kısa ancak kuvvetli bir alevden daha az NO oluşumuna neden olmaktadır.

Sekonder hava sıcaklığı düştükçe ve toz miktarı arttıkça yanma bölümünde NO_x oluşumu azalmaktadır. Primer havadaki büyük miktardaki rutubet ve yanma bölgesindeki toz sirkülasyonu da NO_x oluşumunu azaltıcı yönde etki yapmaktadır. NO_x oluşumu, artan hava fazlasıyla birlikte artacaktır, ancak bu artış belli bir noktaya kadar devam etmektedir. Bu noktadan sonra fazla hava sekonder hava sıcaklığını düşürmeye başlayacağından NO_x oluşumunu ters yönde etkileyecektir. Kütlelerin sıcaklığı yanma bölümünde bekleme süresi genel olarak sıcaklık seviyesini değiştirecektir, dolayısı ile NO_x oluşumunu etkileyecektir. Yanması oldukça güç olan hammadde karışımı fazla miktarda NO_x oluşumuna sebep olmaktadır.

Önkavurmalı fırınlarda ikincil ateşleme sırasında meydana gelen NO oluşumları

- Yakıtın azot içeriğine,
- Yakma hücrendeki oksijen seviyesine,
- Katı yakıttaki uçucu madde içeriğine bağlıdır[26].

7.5.3 CO Emisyonlarının Değişim Nedenleri

Çimento fabrikalarındaki CO emisyonu tümüyle yakma sistemleriyle ilgilidir. Yakıtın tam olmayan yanmasının bir sonucu oluşan CO emisyonu, ürün kalitesinin yüksek tutulması için fırında oksijen fazlası ile çalışılması halinde gözardı edilmektedir. Ancak CO emisyonu belli noktalarda sürekli olarak ölçülmekte ve elektrofiltreler için önemli olan emniyet limitlerine yaklaşıldığında filtre devre dışı bırakılmaktadır.

CO emisyonları primer ve sekonder ateşleme kademelerinin her ikisinde de tam olmayan yanmaya bağlı olarak artabilir. Düşük bir CO emisyonunu sağlamak için yakıt ve hava oranı ayarlanmalıdır.

CO oluşumunu kontrol altında tutmak amacıyla sistemde ölçülmesi gereken parametreler:

- Yakıt debisi,
- Baca gazı debisi,
- Vantilatör güç çekimi,
- Vantilatörde basınç yükselmesi,
- Vantilatördeki gaz sıcaklığı,
- Fırın ağzındaki vakum,
- Sinterleşme bölgesi sıcaklığı,
- Ön ısıtıcıdaki basınç farkları şeklinde sıralanabilir [24].

BÖLÜM 8

INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3) HAVA KALİTESİ MODELLEME PROGRAMI KULLANILARAK TÜRKİYE'DEKİ ÇEŞİTLİ ÇİMENTO FABRİKALARINDA HAVA KALİTESİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

8.1 INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3) HAVA KALİTESİ MODELLEME PROGRAMI

Endüstriyel kaynaklı kompleks uzun dönemli dağılım modeli, Amerikan EPA onaylı Hava Kalitesi Planlama ve Standartları Ofisi' nin denetimi altında, ilk olarak J.F.Bowers, J.R. Bjorklund ve S.C. Cheney tarafından 1979 yılında yazılmıştır. Program 1989-1992 yılları arasında yeniden yapılandırılmıştır. Model programının yeniden düzenlenmesinin amacı endüstriyel kaynak kompleks algoritmasını geliştirmekten çok, kullanıcı ile veri girişini ve çıktıları kullanışlı hale getirmektir [27].

Industrial Source Complex (ISC3) model programı, kısa dönem (günlük, saatlik) dağılımların hesaplanması için Industrial Source Complex Short Term 3 (ISCST3) ve uzun dönem (aylık, mevsimlik, yıllık) dağılımların hesaplanması için Industrial Source Complex Long Term 3 (ISCL3) şeklinde ayrı ayrı paket programlar şeklinde düzenlenmiştir. ISC3 programı için gerekli temel girdiler, kaynakların yeri ve parametreleri, alıcıların yerleri, topografya ve meteorolojik verilerdir.

Program; nokta, alan ve hacim kaynakların herhangi bir kombinasyonundan kirletici konsantrasyonlarını yada birikimlerini tahmin etmek için tasarlanmıştır. Bir çalışmada çeşitli kaynakların tek tek etkileri veya grup oluşturan kaynakların hava kalitesine bileşik katkıları belirlenebilir. Nokta kaynaklar için yakındaki binaların aerodinamik geri yıkama etkisini içeren algoritmalar, büyük parçacıkların çökme ile ortamdan uzaklaşması etkilerini modellemek için algoritmalar bulunmaktadır[27].

Modelde kullanıcı çoklu alıcı ağlarını belirleyebilir. Program çeşitli koordinat sistemlerinde (kartezyen, polar v.b.) çalıştırılabilir. Ayrıca aynı çalışmada farklı koordinat sistemlerindeki alıcı ağları birleştirilebilir[27].

ISCLT3 uzun dönem hava kalitesi model programı, seri operasyonları ve içerdiği üç paket tarafında oluşturulan sekiz dosyayı (.STR, .PNT, .DAT, .LST, .RAW, .INP, .GRD, .PLT) kapsar. Kaynak verilerinin ISCLT3 programına girilmesiyle bir kaynak dosyası (.PNT) oluşturulur. Meteorolojik verileri (ortalama sıcaklıklar, 16 rüzgar yönü için hız kombinasyonları, yıllık ortalama rüzgar kararlılık dağılımı) içeren bir (.STR) dosyası hazırlanır. Program girdi dosyalarını kullanarak bir liste dosyası (.LST) hazırlar. Program algoritmasına göre çalıştırıldıktan sonra bir ham dosya (.RAW) oluşturur. Program çıktıları istenildiğinde grafik dosyasına aktararak hesaplanan konsantrasyon dağılımlarının grafikleri alınabilir, bu işlem sırasında paket program iki çizim dosyası (.GRD ve .PLT) oluşturmaktadır[28,29].

Bu çalışmanın modelleme aşamasında Industrial Source Complex Long Term (ISCLT3) Hava Kalitesi Modelleme programı kullanılmıştır.

8.2 DOĞU-BATI-ORTA ANADOLU'DA SEÇİLEN ÇİMENTO FABRİKALARINDA ISC3 MODEL PROGRAMI YARDIMIYLA HAVA KALİTESİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

Doğu, Batı ve Orta Anadolu' da seçilen üç çimento fabrikasında (Mardin Çimento Fabrikası, Bursa Çimento Fabrikası ve Eskişehir Çimento Fabrikası) azot oksitlerin (NO ve NO₂) emisyonlarının hava kalitesine etkileri, Hava Kalitesi Modelleme Programı (ISCLT3) yardımıyla incelenmiştir.

Fabrikaların yıllık üretim kapasiteleri Doğu Anadolu' da seçilen çimento fabrikasının 500.000 ton klinker, Batı Anadolu' da seçilen çimento fabrikasının 1.000.000 ton klinker ve Orta Anadoluda seçilen fabrikanın 450.000 ton klinkerdir.

Tablo 8.1, Tablo 8.2 ve Tablo 8.3' de çimento fabrikalarının NO ve NO₂ emisyon kaynakları, bu kaynaklardan yayılan emisyon miktarları ve kaynak parametreleri verilmiştir. Çimento fabrikalarının iki ve üç boyutlu topografik haritaları ile ortalama rüzgar yönleri (rüzgar gülü) Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3' de gösterilmektedir.

Tablo 8.1 Doğu Anadolu' daki Çimento Fabrikasının (Mardin Çimento Fabrikası) NO ve NO₂ Emisyon Noktaları

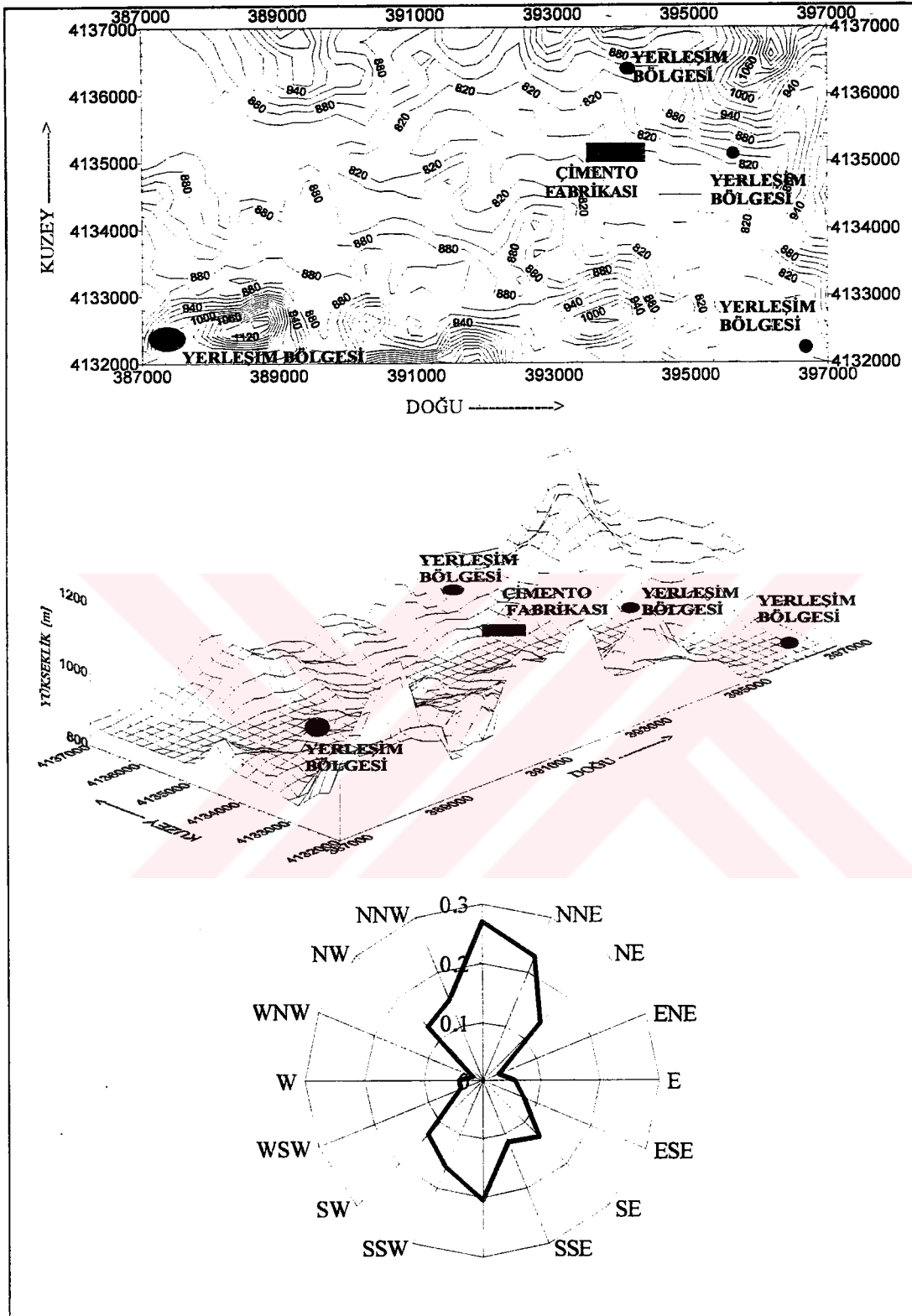
No	Baca Adı	Gaz hızı (m/s)	Sıcaklık (K)	Emisyon (g/s)		Baca çapı (m)	Baca yüksekliği (m)
				NO	NO ₂		
1	Döner Fırın Bacası -1-	12.4	373.9	1.533	3.527	2.0	70
2	Döner Fırın Bacası -2-	15.3	350.8	4.251	9.778	2.0	70
3	Kömür Değirmeni Bacası	29.1	371.9	2.876	6.614	1.1	36

Tablo 8.2 Batı Anadolu' daki Çimento Fabrikasının (Bursa Çimento Fabrikası) NO ve NO₂ Emisyon Noktaları

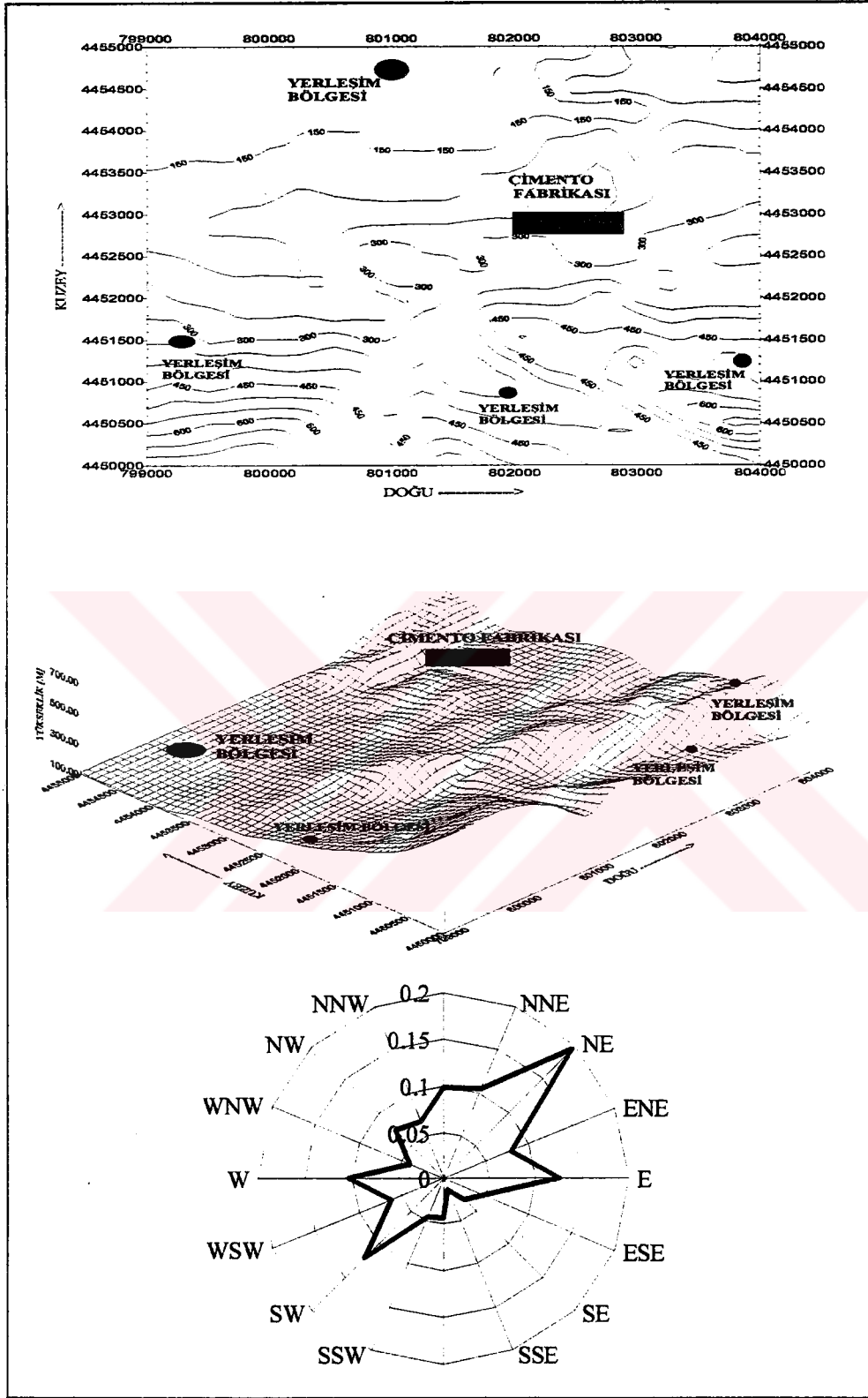
No	Baca Adı	Gaz hızı (m/s)	Sıcaklık (K)	Emisyon (g/s)		Baca çapı (m)	Baca yüksekliği (m)
				NO	NO ₂		
1	Döner Fırın Bacası -2-	15.5	392.7	6.792	15.622	2.50	42
2	Döner Fırın Bacası -1-	10.4	363.2	6.373	14.659	2.80	55
3	Kömür Değirmeni Bacası -1-	11.3	364.6	0.664	1.528	1.60	35
4	Kazan Dairesi Bacası	3.0	437.8	0.051	0.117	1.12	12
5	Kömür Değirmeni Bacası -2-	12.1	352.1	1.753	4.032	1.60	35

Tablo 8.3 Orta Anadolu' daki Çimento Fabrikasının (Eskişehir Çimento Fabrikası) NO ve NO₂ Emisyon Noktaları

No	Baca Adı	Gaz hızı (m/s)	Sıcaklık (K)	Emisyon (g/s)		Baca çapı (m)	Baca yüksekliği (m)
				NO	NO ₂		
1	Döner Fırın Bacası	13.7	388.5	9.803	22.547	2.9	60
2	Kömür Kurutucu Bacası -2-	5.5	357.7	0.033	0.076	0.62	24
3	Kömür Kurutucu Bacası -1-	6.8	346.4	0.016	0.037	0.62	24
4	Kazan Dairesi 1 No'lu Baca	0.2	376.3	0.006	0.014	0.88	8
5	Kazan Dairesi 2 No'lu Baca	0.7	440.6	0.016	0.037	0.88	8



Şekil 8.1 Doğu Anadolu Bölgesi' ndeki Çimento Fabrikasının İki Boyutlu, Üç Boyutlu Topografik Haritaları ve Bölgenin Rüzgar Güllü.



Şekil 8.2 Batı Anadolu Bölgesi' ndeki Çimento Fabrikasının İki Boyutlu, Üç Boyutlu Topografik Haritaları ve Bölgenin Rüzgar Gülü.

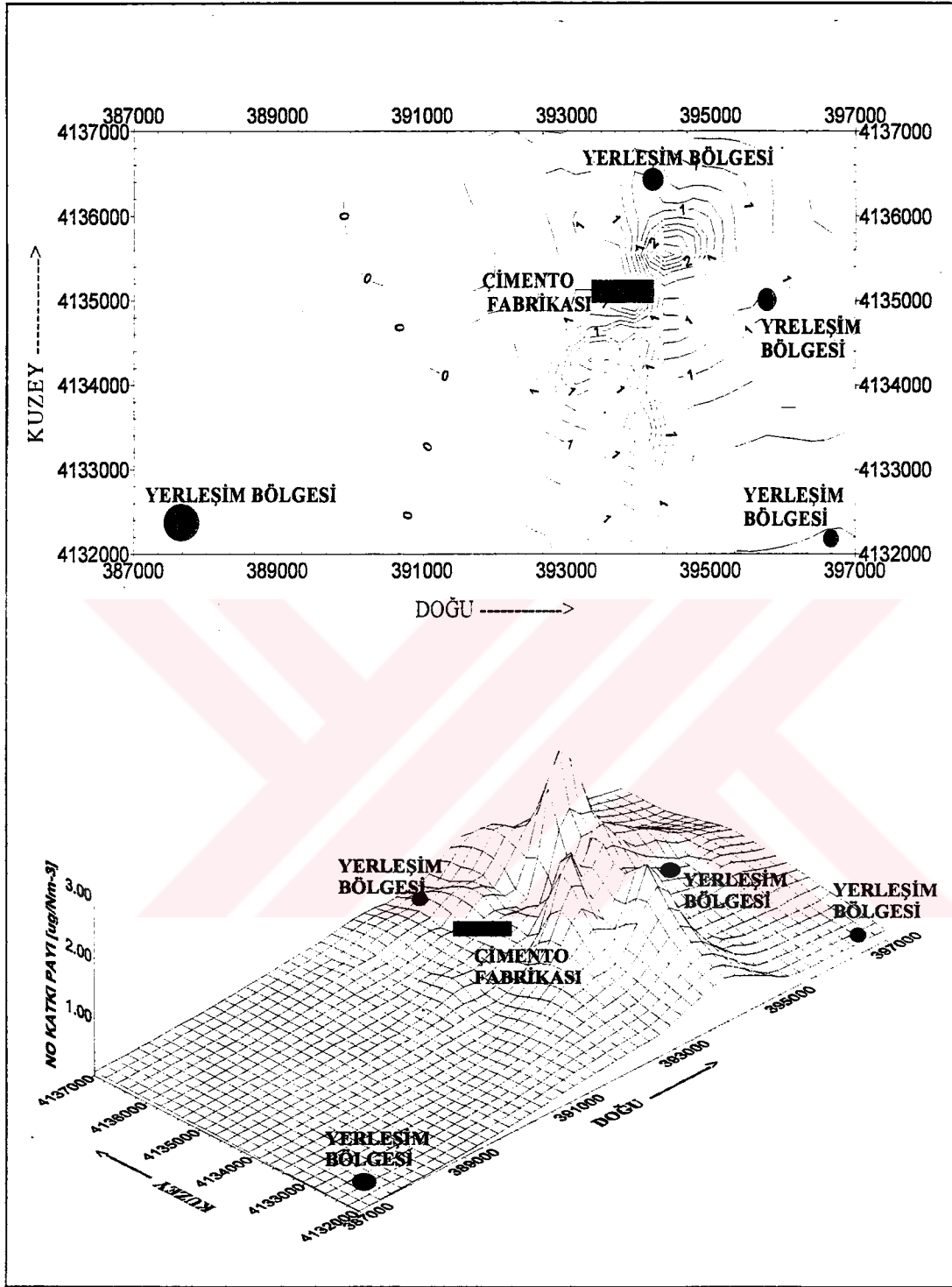
Seçilen fabrikalarda kaynak parametreleri ve bölgenin coğrafik-meteorolojik özellikleri kullanılarak Hava Kalitesi Modelleme Programı alıştırılmıştır. Program ıktıları, yıllık ortalamaları verecek şekilde düzenlenmiştir.

Model için gerekli meteorolojik veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan uzun dönem yıllık ortalama iklim verilerinden hazırlanmıştır. Karışım yükseklikleri (mixing height) Ek F'de verilen diyagram yardımıyla belirlenmiştir. Fabrikalar çevresinde topografya incelenerek 1/25000'lik bir haritada 250 m aralıklarla belirlenen alandaki yükselteler okunarak topografya verileri oluşturulmuştur. Seçilen alanlardaki özel alıcıların yükselteleri ve konumları ayrıca da girilmiştir.

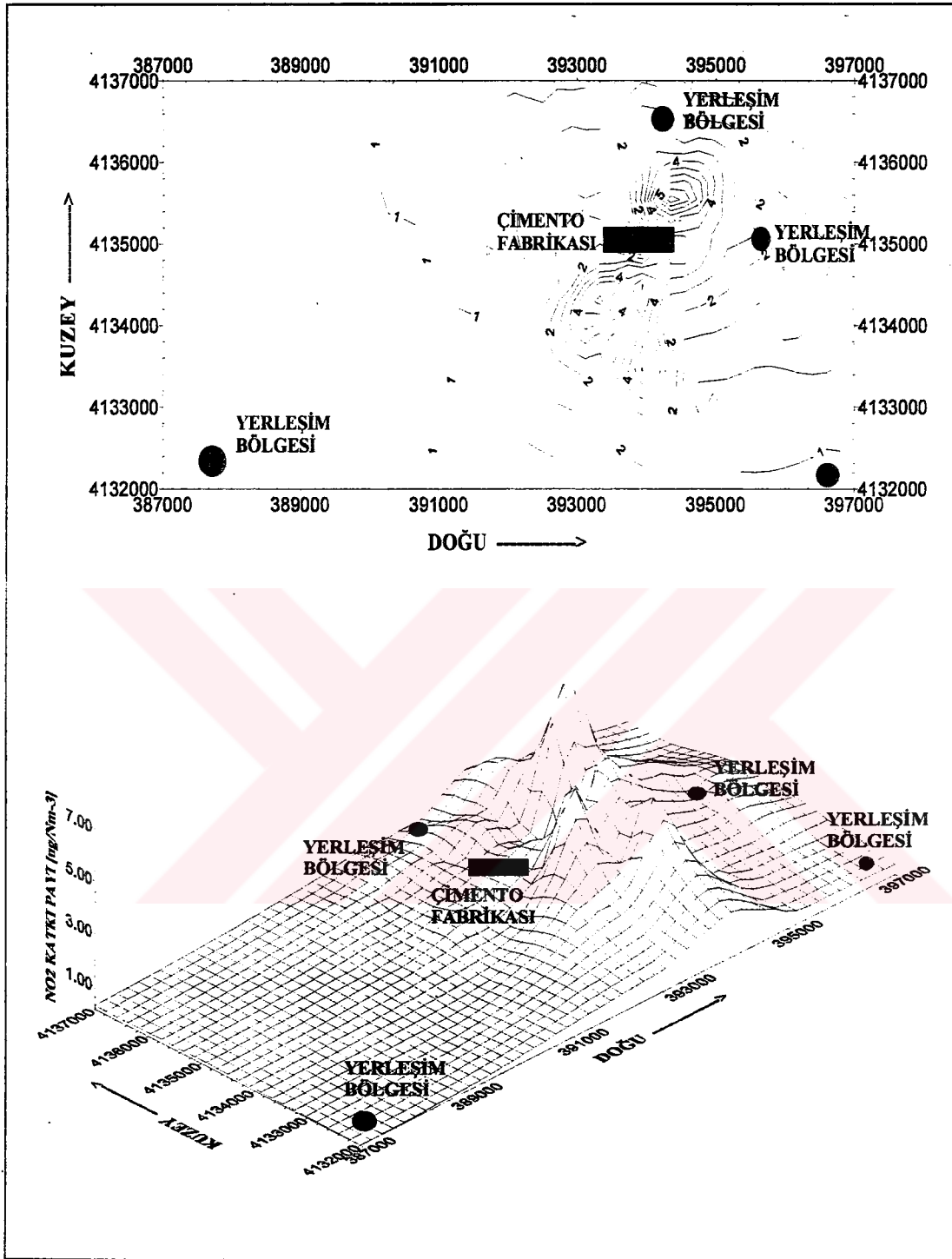
şekil 8.4 'de Doğu Anadolu' daki imento fabrikası için (Mardin imento Fabrikası) Hava Kalitesi Model Programından elde edilen yıllık ortalama NO emisyonları dağılımları iki boyutlu ve üç boyutlu olarak görülmektedir. şekil 8.5' de aynı fabrika için NO₂ emisyonlarının dağılımını iki ve üç boyutlu olarak görülmektedir.

Batı Anodulu' daki imento fabrikası için (Bursa imento Fabrikası) Hava Kalitesi Model Programından elde edilen NO ve NO₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri şekil 8.6 ve şekil 8.7' de, Orta Anodulu' daki imento fabrikası için (Eskişehir imento Fabrikası) Hava Kalitesi Model Programından elde edilen NO ve NO₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımlarının iki ve üç boyutlu grafikleri de şekil 8.8 ve şekil 8.9' de görülmektedir.

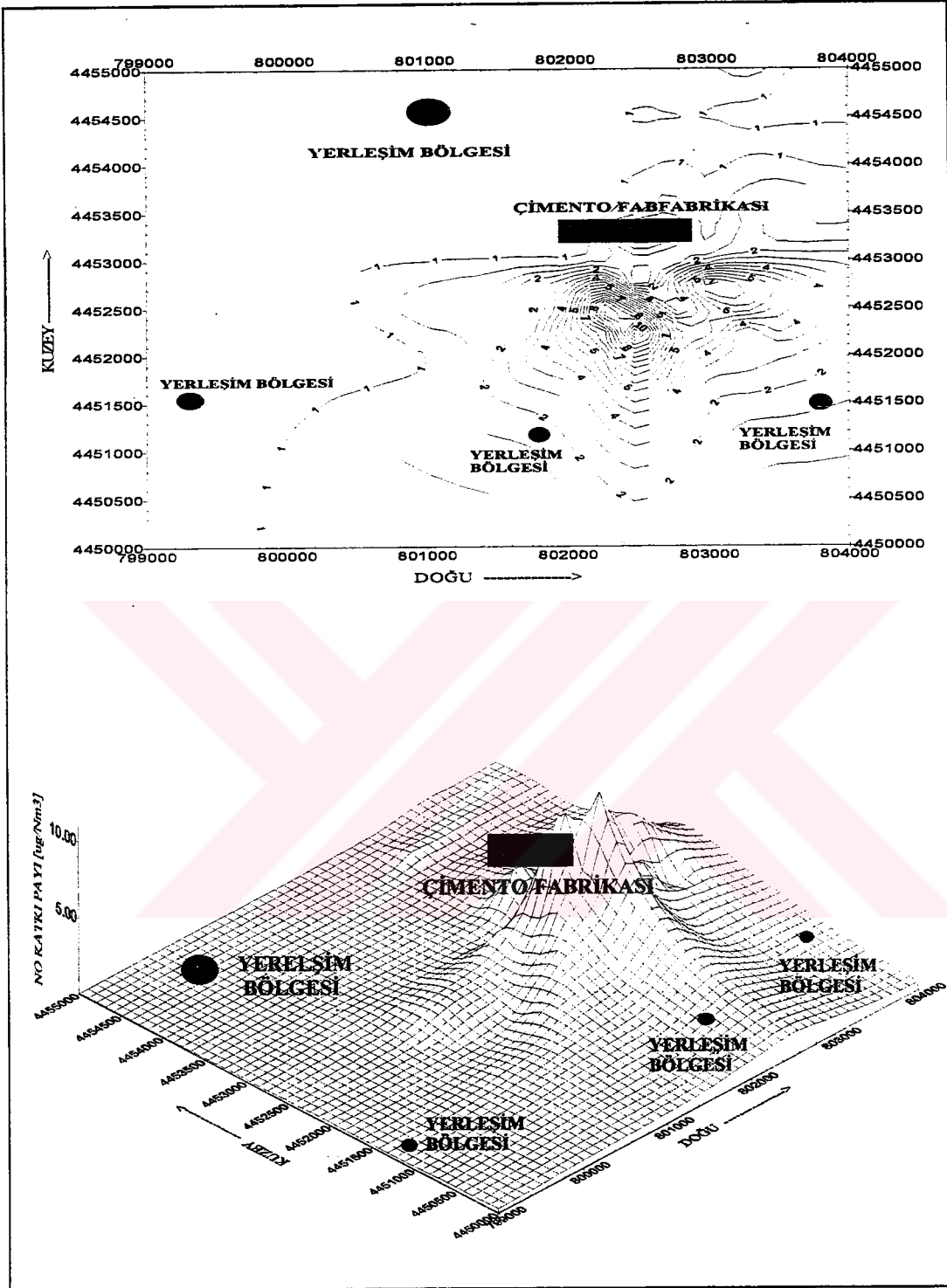
Doğu, Batı ve Orta Anadolu' daki imento fabrikalarının NO ve NO₂ emisyonlarının yıllık ortalama dağılımları Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği'ne göre irdelendiğinde, sınır değerlerin oldukça altında olduğu görülmektedir. Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği'nde uzun vade sınır değerleri, NO için 200 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ve NO₂ için 100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ olarak belirtilmektedir.



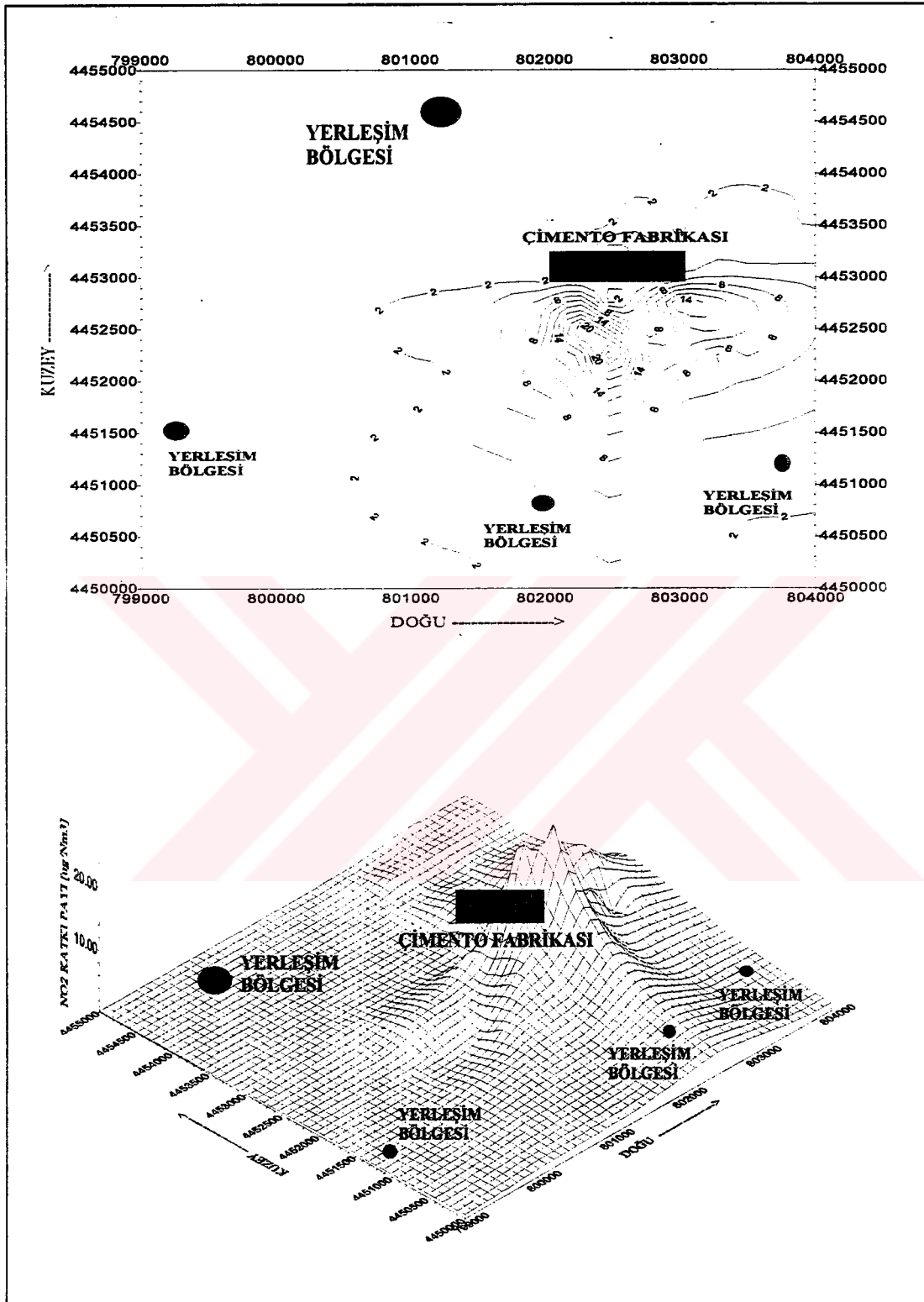
Şekil 8.4 Doğu Anadolu' daki Çimento Fabrikasının NO Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri



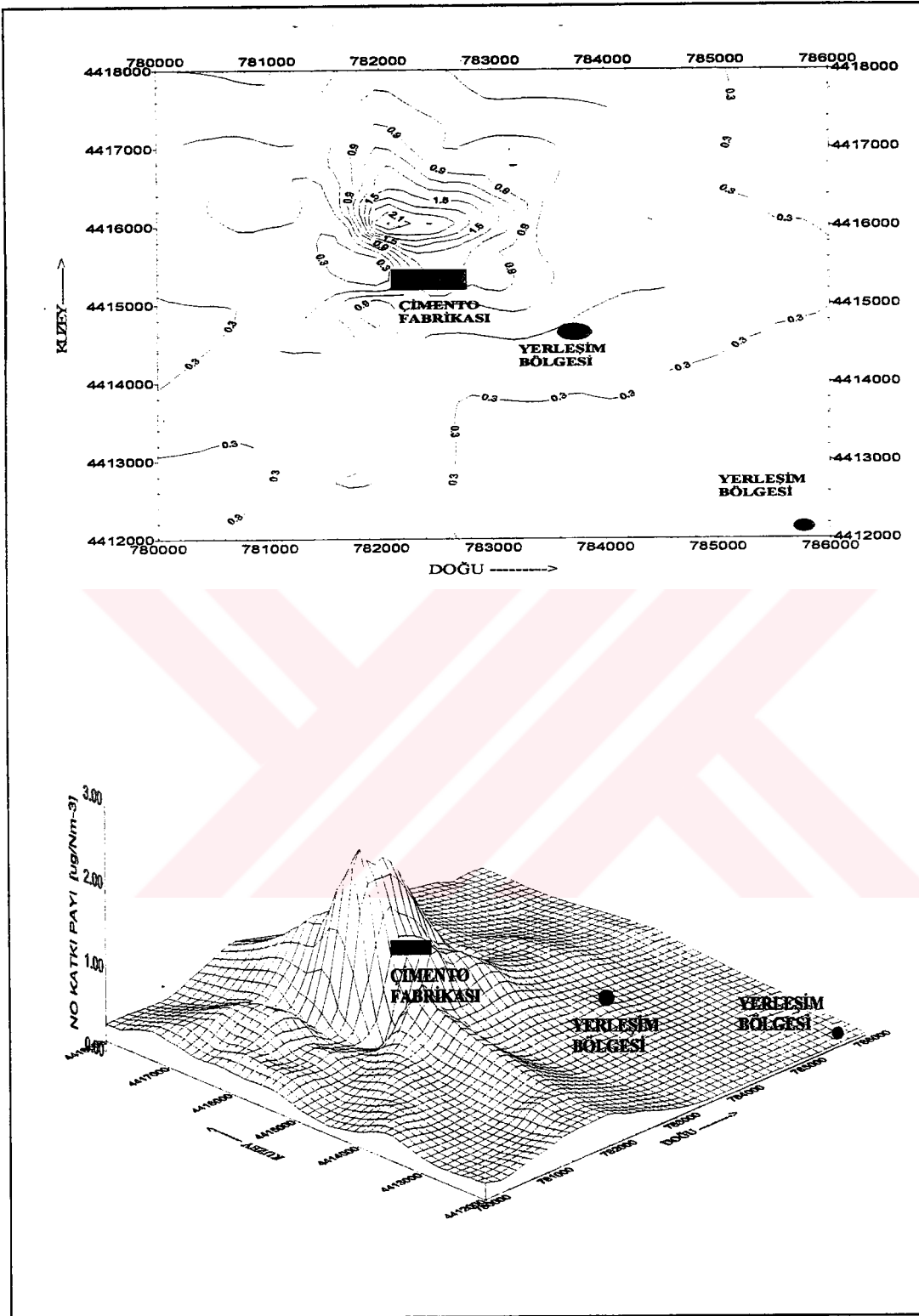
Şekil 8.5 Doğu Anadolu' daki Çimento Fabrikasının NO_2 Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri



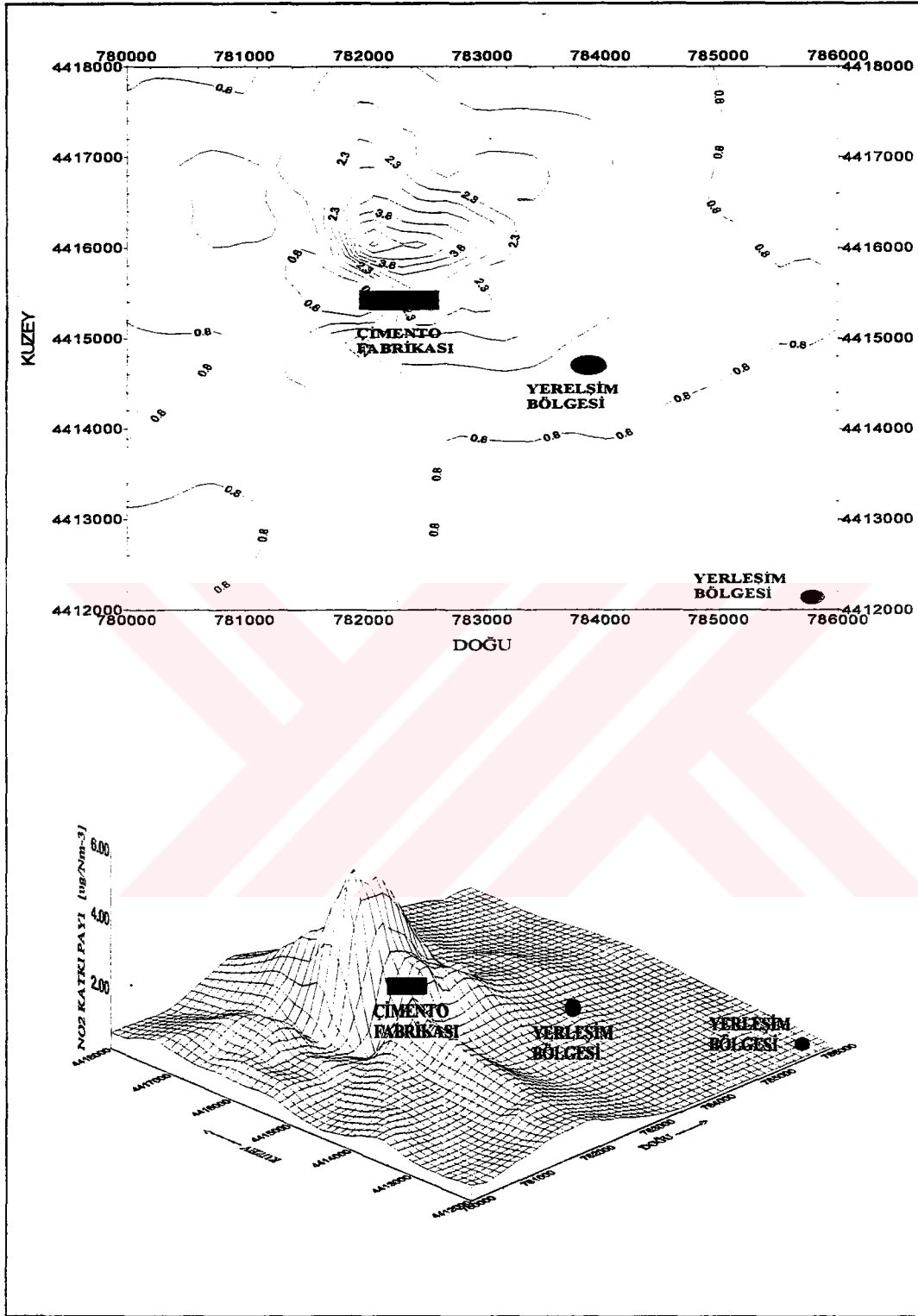
Şekil 8.6 Batı Anadolu' daki Çimento Fabrikasının NO Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri



Şekil 8.7 Batı Anadolu' da Çimento Fabrikasının NO_2 Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri



Şekil 8.8 Orta Anadolu' da Çimento Fabrikasının NO Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri



Şekil 8.9 Orta Anadolu' daki Çimento Fabrikasının NO_2 Emisyonlarının Yıllık Ortalama Dağılımlarının İki ve Üç Boyutlu Grafikleri

Seçilen imento fabrikalarının NO ve NO₂ emisyonlarının yıllık ortalama hava kirlenmesine katkı değerleri incelendiğinde; fabrika civarında belirlenen konsantrasyon değerlerinin H.K.K.Y.'de belirlenen sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir. Çimento fabrikaları tek bir tesis olarak düşünüldüğünde hava kalitesine katkı değerleri oldukça küçüktür. Aynı bölgede başka büyük kirletici tesislerin veya kaynakların bulunması bölgesel kirliliği arttıracaktır.

Grafikler genel olarak incelendiğinde; fabrikaların 1 km çapı içerisinde kalan alanların, NO ve NO₂ emisyonlarından en fazla etkilendikleri diğer alanların ise kirlilikten etkilenmedikleri söylenebilir.

8.3 COğRAFİK VE METEOROLOJİK şARTLARIN HAVA KALİTESİ MODELİNE ETKİSİ

Batı Anadolu'da seçilen bir imento fabrikasının (Nuh imento Fabrikası), NO₂ emisyonlarının hava kalitesine etkileri, bu bölümde öncelikle NO₂ emisyonlarının hava kalitesine katkı değerleri fabrikanın orijinal coğrafi ve meteorolojik verilerine göre incelenmiştir. Tablo 8.4' de bu fabrikanın NO₂ emisyon kaynaklarının özellikleri ve emisyon miktarları verilmektedir.

rnek seçilen imento fabrikasının iki boyutlu ve üç boyutlu topografik haritası ve bölgeye ait etkin rüzgar yönlerini gösteren rüzgar gülü şekil 8.10' da verilmektedir. Çimento fabrikasının orijinal coğrafi ve meteorolojik verileriyle elde edilen NO₂ emisyonlarının yıllık ortalama katkı değerleri iki boyutlu ve üç boyutlu grafiksel olarak şekil 8.11' de görülmektedir. Yine orijinal verilerle model programının çalıştırılmasıyla bölgede yıllık ortalama olarak elde edilen en yüksek beş konsantrasyon değeri Tablo 8.5' de verilmektedir.

Tablo 8.4 İncelenen Çimento Fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) Emisyon Kaynakları ve Parametreleri

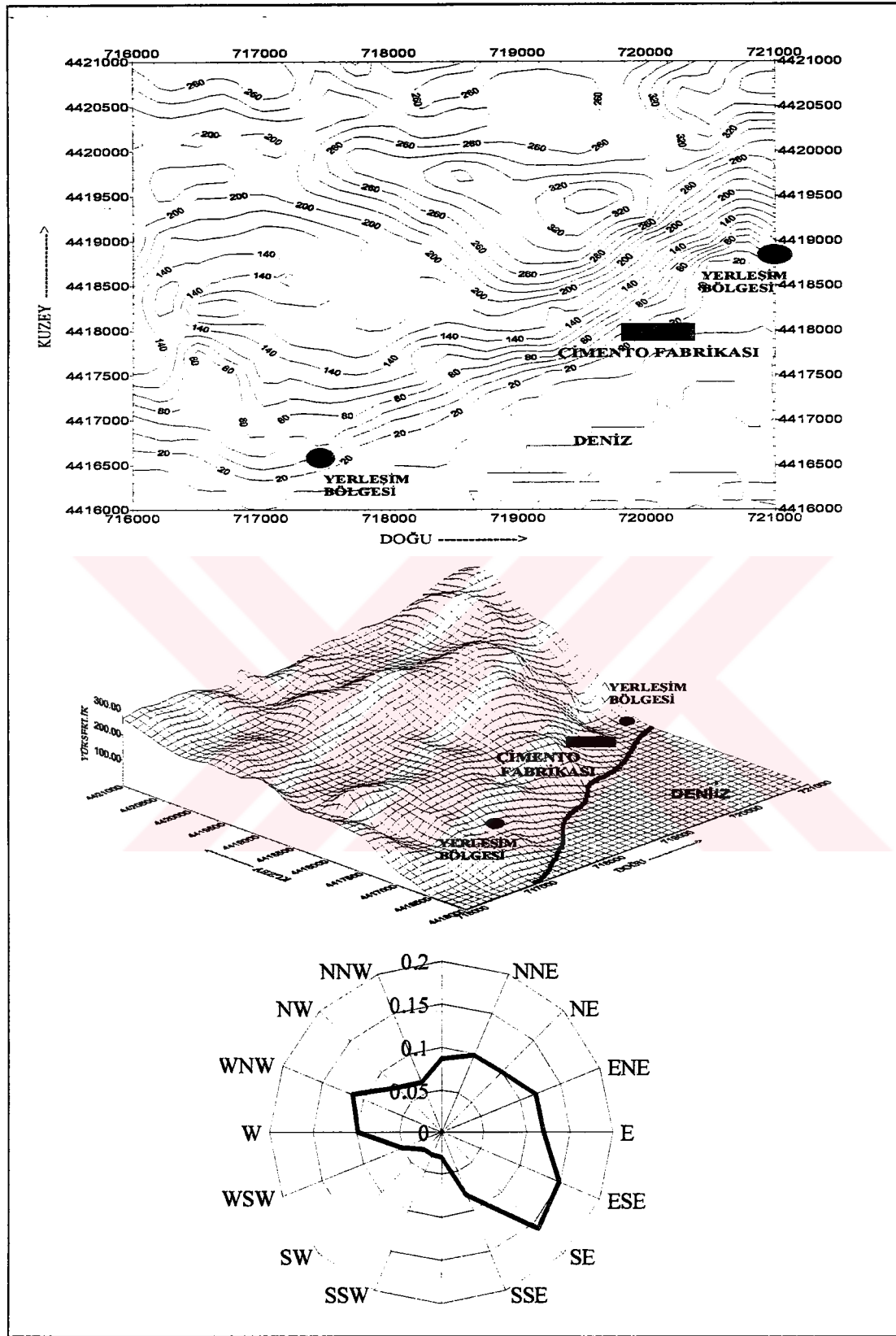
No	Baca Adı	Gaz hızı (m/s)	Sıcaklık (K)	NO ₂ Emisyonu (g/s)	Baca çapı (m)	Baca yüksekliği (m)
1	Döner Fırın Bacası -2-	13.0	406.8	65.97	3.000	66
2	Döner Fırın Bacası -1-	21.2	387.6	65.45	2.600	57
3	Kömür Değirmeni Bacası -1-	2.7	369.4	0.83	1.200	41
4	Kömür Değirmeni Bacası -3-	9.6	373.0	4.93	1.200	41
5	Kömür Değirmeni Bacası -2-	1.1	366.2	0.55	1.200	41
6	Kömür Değirmeni Bacası -4-	9.2	359.0	5.86	1.100	45
7	Buhar Kazanı Bacası -1-	0.9	365.5	0.03	1.02	10
8	Buhar Kazanı Bacası -2-	1.5	434.5	0.05	0.777	10

Örnek olarak seçilen çimento fabrikasının NO₂ emisyonu verileri kullanılarak coğrafi ve meteorolojik birkaç parametrenin (sıcaklık, karışım yüksekliği) değişimi ile model sonuçlarının orjinal topografik ve meteorolojik parametreler ile hesaplanan değerlere göre değişimi incelenmiştir.

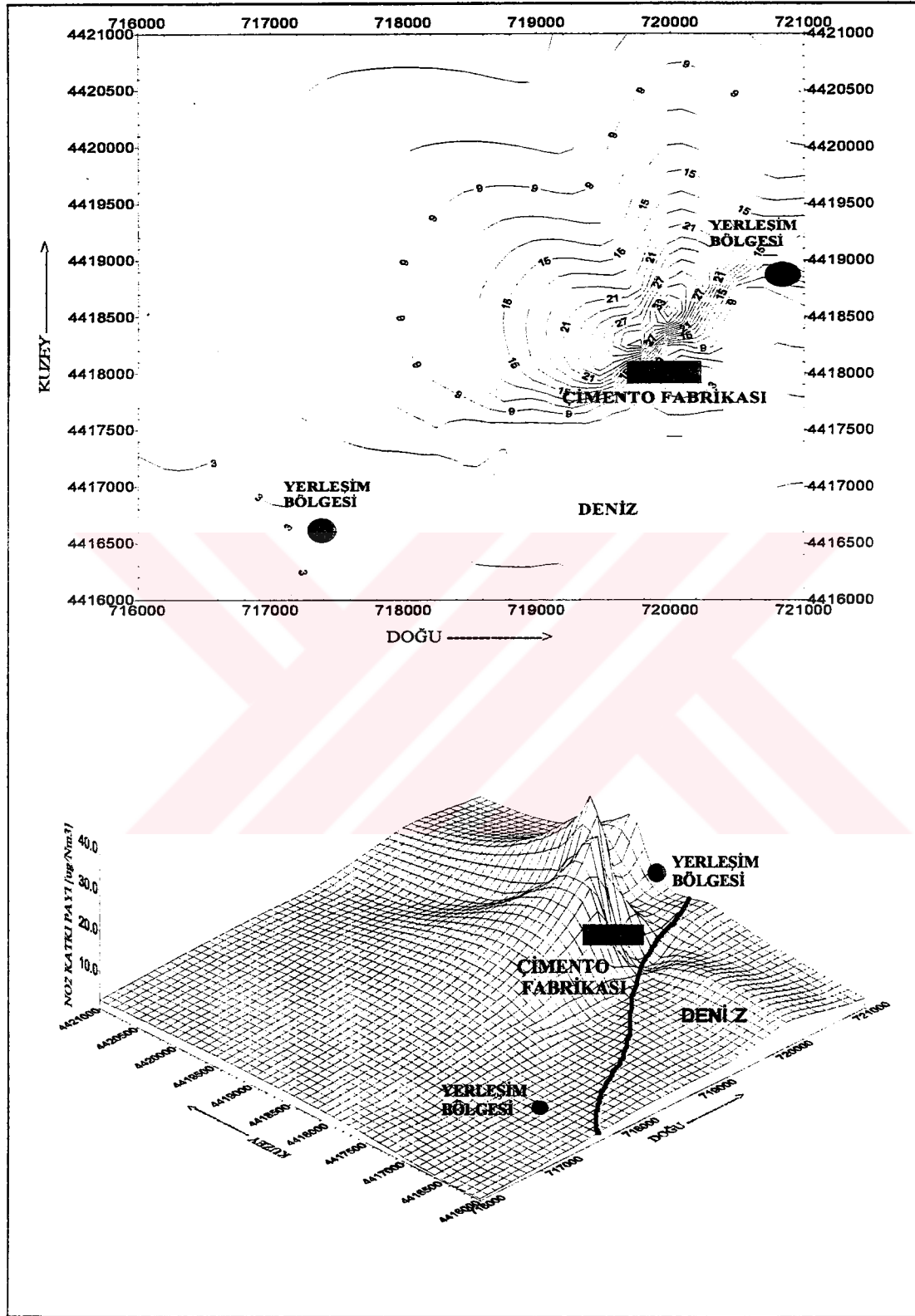
Şekil 8.10' da topografik yapısı verilen çimento fabrikası, deniz kenarında ve arkasında dağlar bulunan bir topografik bölgede kurulmuştur. Çimento fabrikasının üzerinde kurulu arazi düz plato olarak düşünülerek, model programı bu seçilen topografik verilere göre çalıştırılmış ve bölgede elde edilen en yüksek beş konsantrasyon değeri Tablo 8.6' da, sonuçların grafiksel değişimi Şekil 8.12' de gösterilmiştir.

Tablo 8.5 Çimento Fabrikasının Orijinal Coğrafi ve Meteorolojik Verileriyle Bölgede Model Programı Sonucu Elde Edilen En Yüksek Beş NO₂ Konsantrasyonu ve Koordinatları

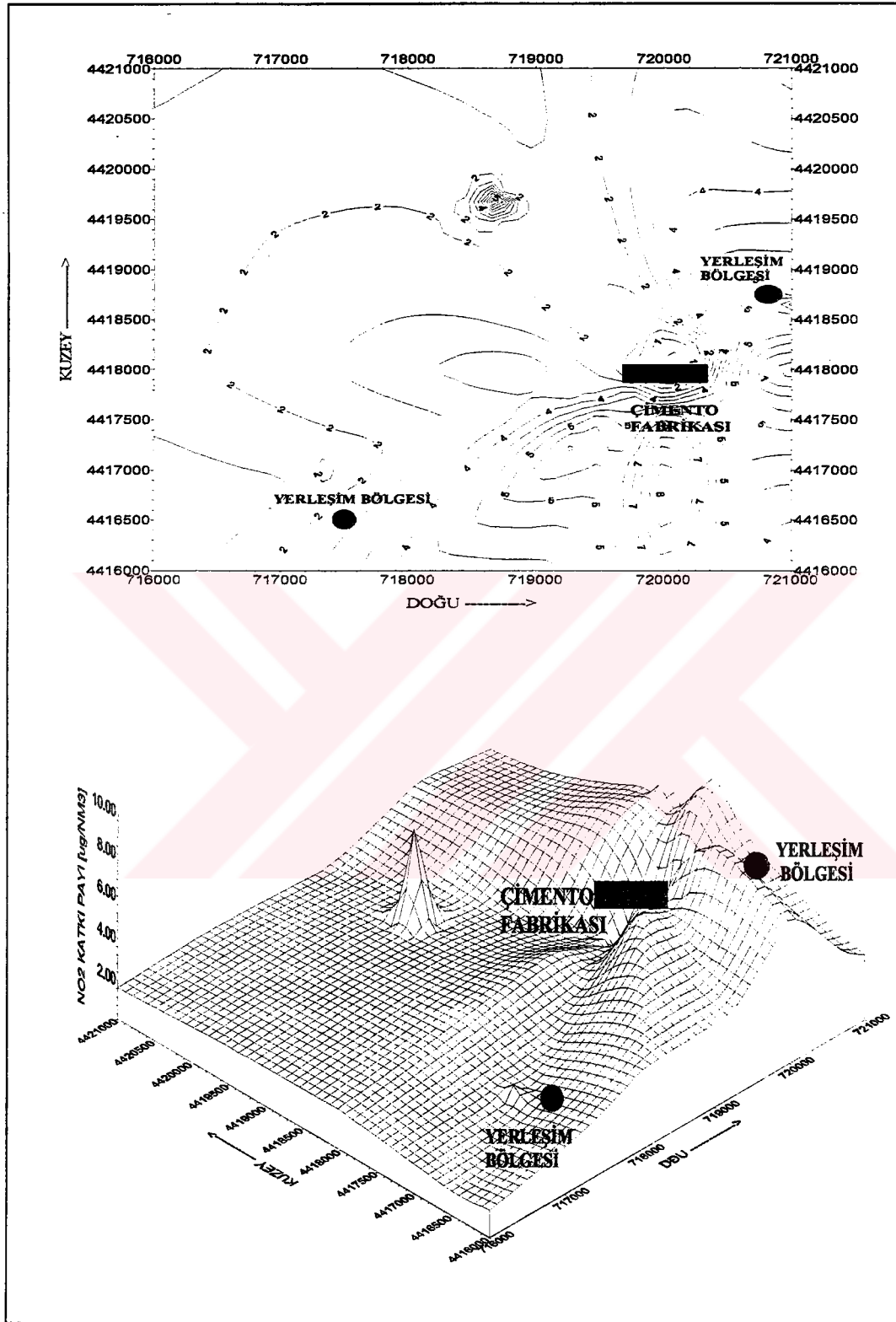
No	Konsantrasyon (µg/m ³)	Koordinatlar (X -Y)
1	41.9	720000-4418500
2	37.0	719750-4418250
3	31.4	720000-4418750
4	27.5	720250-4418750
5	26.4	719500-4418250



Şekil 8.10 İncelenen Çimento Fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) Topografik Haritaları ve Bölgeye Ait Rüzgar Gücü



Şekil 8.11 İncelenen Çimento Fabrikasının (Nuh Çimento Fabrikası) Orjinal Coğrafi ve Meteorolojik Verilerinin Model Sonuçları



Şekil 8.12 Topografik Yapısı Düz Bir Plato Şeklinde Kabul Edilen Çimento Fabrikasının (Nuh Çimento Fab.), NO_2 Emisyonunun Hava Kalitesine Etkisinin İki ve Üç Boyutlu Grafiksel Gösterilişi.

Tablo 8.6 Topografik Yapısı Düz Bir Plato Şeklinde Kabul Edilen Çimento Fabrikasının (Nuh Çimento Fab.), NO₂ Emisyonundan Dolayı Elde Edilen En Yüksek Beş Konsantrasyon Değeri ve Koordinatları

	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koordinatlar (X - Y)	En Yüksek Konsantrasyonlar Bazında Orjinal Sonuçlara Göre Ortalama Değişim (%)
1	8.6	720000-4417000	74 (-)
2	8.5	720000-4416750	
3	8.3	718700-4419700	
4	8.0	720000-4416500	
5	7.9	720000-4417250	

Hava kalitesi model programı, meteorolojik iki parametrenin (sıcaklık, karışım yüksekliği) değiştirilmesiyle, seçilen çimento fabrikası için yeniden çalıştırılmıştır. İncelenen çimento fabrikası (Nuh Çimento fabrikası) Batı Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Orijinal meteorolojik veriler (ortalama sıcaklık değerleri) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan bültenden alınmıştır. Model programında fabrikanın emisyon değerleri ve orijinal topografik verileri kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri daha soğuk bölge kabulü yapılarak (Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait meteorolojik veriler kullanılarak) program çalıştırılmış, bu kabule göre bölgede elde edilen en yüksek NO₂ konsantrasyonları Tablo 8.7' de verilmiştir.

Tablo 8.7 İncelenen Fabrikanın Daha Soğuk İklim Şartlarında Olan Bir Bölgede Kurulu Olduğu Kabul Edilerek, Model Programı İle Bölgede Belirlenen En Yüksek Beş NO₂ Konsantrasyonu

No	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koordinatlar (X - Y)	En Yüksek Konsantrasyonlar Bazında Orjinal Sonuçlara Göre Ortalama Değişim (%)
1	40.6	720000-4418500	3 (-)
2	35.9	719750-4418250	
3	30.6	720000-4418750	
4	26.7	720250-4418750	
5	25.6	719500-4418250	

Hava kalitesi Modelleme Programlarında önemli meteorolojik parametrelerden biri, atmosferik karışım yüksekliğidir (mixing height). Bu parametrenin değişimiyle model programının çıktılarındaki konsantrasyon değişimleri incelenmiştir. Orijinal karışım yükseklikleri, aylık bazda günün belirli saatlerindeki rüzgar hızları ve bulutluluk oranları kullanılarak. Ek F'de verilen grafik yardımıyla belirlenmiştir.

Karışım yükseklikleri önemli bir meteorolojik parametredir, ülkemizde karışım yüksekliğinin belirlendiği meteoroloji istasyonu oldukça azdır, sadece 7 noktada belirlenme yapılabilmektedir. Karışım yüksekliğinin ölçülemediği durumlarda ampirik eşitlikler ve grafikler yardımıyla belirlenebilmektedir. Çalışmalarımızda minimum (100 m) ve maksimum (5000 m) olarak seçilen iki farklı karışım yükseliği parametresi için model programı çalıştırılmış ve bölgede elde edilen en yüksek NO₂ konsantrasyonları Tablo 8.8 ve Tablo 8.9' da gösterilmiştir.

Tablo 8.8 Maksimum Bir Karışım Yükseklikliği (5000 m) Seçilerek İncelenen Fabrikanın Model Programı İle Bölgede Belirlenen En Yüksek Beş NO₂ Konsantrasyonu

No	Konsantrasyon (µg/m ³)	Koordinatlar (X -Y)	En Yüksek Konsantrasyonlar Bazında Orjinal Sonuçlara Göre Ortalama Değişim (%)
1	42.4	720000-4418500	2 (+)
2	36.9	719750-4418250	
3	31.8	720000-4418750	
4	28.3	720250-4418750	
5	27.4	720000-4419000	

Tablo 8.9 Minimum Bir Karışım Yükseklikliği (100m) Seçilerek İncelenen Fabrikanın Model Programı İle Bölgede Belirlenen En Yüksek Beş NO₂ Konsantrasyonu

No	Konsantrasyon (µg/m ³)	Koordinatlar (X -Y)	En Yüksek Konsantrasyonlar Bazında Orjinal Sonuçlara Göre Ortalama Değişim (%)
1	38.2	720000-4418500	7 (-)
2	30.9	719750-4418250	
3	29.9	720000-4418750	
4	26.9	720250-4418750	
5	25.8	720000-4419000	

Hava kalitesi model programı incelenen fabrika için, değişik coğrafik parametreyle çalıştırıldığında; orijinal topografik yapısına göre elde edilen konsantrasyon dağılımlarına kıyasla, konsantrasyonlarda yaklaşık ortalama %74 oranında azalma görülmüştür. İncelenen fabrika etrafında çeşitli yükseltiler bulunan bir topografik yapıya sahiptir. Yükseltiler konsantrasyon dağılımını etkilemektedir.

Meteorolojik parametrelerden ortalama sıcaklıkların değişimiyle, orijinal sıcaklıklardan daha soğuk bir bölge için model programı çalıştırıldığında.

konsantrasyon dağılımlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Sıcaklık değerlerinin değişimiyle bölgede elde edilen maksimum konsantrasyonlarda ortalama %3' lük bir azalma görülmektedir.

Hava kalitesi model programı iki farklı karışım yüksekliği alınarak çalıştırıldığında, karışım yüksekliğinin maksimum seçilmesiyle, konsantrasyonlar orijinal verilere göre %2 artmakta, karışım yüksekliği minimum seçildiğinde konsantrasyonlar %7' azalmaktadır.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişmekte olan ülkemizde çimento endüstrisi elli yıla yakın bir süredir, anahtar sektörlerden birisi olma özelliği taşımaktadır. Çimento endüstrisi kirletici özelliği yüksek sektörlerden biri olarak bilinmekle birlikte, çimento fabrikalarının çevresel etkileri yereldir ve toplam çevre kirliliği içersindeki payları oldukça düşüktür.

Çimento endüstrisindeki hava kirliliğini yaratan konvansiyonel parametreler; partiküler madde, azot oksitler ve karbon monoksittir. Çalışmalarımızda Türkiye' deki çimento fabrikalarının yarattığı hava kirliliğinin boyutları incelenmiş ve örnek olarak seçilen fabrikalarda partiküler madde, NO₂, CO ve SO₂ emisyon faktörleri belirlenmiştir. Emisyon faktörlerinin klinker üretim kapasitesi, üretim prosesi, fabrika yaşı ve coğrafik bölgelere göre değişimleri incelemiştir.

Örnek fabrikaların partiküler madde, NO_x ve CO emisyonlarının yıllık, aylık, günlük ve saatlik değişimleri ölçülmüştür.

Doğu, Batı ve Orta Anadolu Bölgesi' nde seçilen üç çimento fabrikasında, Hava Kalitesi Model Programı yardımıyla yıllık ortalama NO₂ emisyonlarının dağılımı belirlenmiştir. Kullanılan Hava Kalitesi Modelleme Programı' nın temel girdileri olan topografya ve meteorolojik şartların değişimiyle konsantrasyon dağılımındaki değişim belirlenmiştir.

Genel olarak çalışmamızdaki sonuçları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

1-Türkiye' deki çimento fabrikalarının üretim kapasitesi arttığında toz emisyon faktörleri genel olarak azalmaktadır. Bu değişim, fabrikaların yaşlarını da gözönüne alarak değerlendirildiğinde, genç ve orta yaşlı fabrikalarda üretim kapasitesi artıkça, toz emisyon faktörünün arttığı, yaşlı fabrikalarda kapasite artımıyla toz emisyon faktörünün değişmediği gözlenmiştir. CO emisyon faktörlerinin, üretim kapasitesi ile değişim göstermediği, NO_x emisyon faktörlerinin, kapasitenin artmasıyla arttığı belirlenmiştir.

2-Emisyon faktörlerinin değişimi üretim prosesi ile birlikte değerlendirildiğinde, toz emisyon faktörleri, kuru sistemle üretim yapan fabrikalarda, yaş sistemle üretim yapan

çimento fabrikalara oranla oldukça yüksektir. NO_2 emisyon faktörlerinin proses tipine bağlı olarak değişmediği belirlenmiştir. CO emisyon faktörlerinin proses tipi ile değişimi incelendiğinde, yaş prosesle üretim yapan fabrikalarda, kuru ve yarıyaş sisteme göre daha düşük bulunmuştur.

3-Çimento endüstrisindeki emisyon faktörleri, ülkemizde coğrafi bölgelere göre değişim göstermektedir. Toz emisyon faktörü en yüksek olan bölge Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi' dir. Toz emisyon faktörü en düşük bölge ise Marmara Bölgesi' dir. Bu durum endüstrinin gelişmiş bölgelerinde çimento fabrikalarındaki modernizasyonun daha iyi olduğunu göstermektedir. Doğu ve Güneydoğu anadolu Bölgelerinde deki fabrikaların toz emisyon faktörlerini düşürmesi için modern toz tutma sistemlerini kullanmaları gerekmektedir.

4-Seçilen bir çimento fabrikasının yıllık, aylık, günlük ve saatlik emisyonlarının incelenmesi sonucunda, emisyonların değişimine etki eden birçok parametrenin var olduğu gözlenmiştir. Toz emisyonunun değişimi elektrofiltrelerin veriminden kaynaklanmaktadır. Elektrofiltrenin veriminin değişimi, işletme şartlarına bağlıdır.

Aynı fabrika için NO_x emisyonlarının miktarı da, zaman periyodu boyunca işletme şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. CO emisyonları, yanmaya bağlı olarak değişim göstermektedir. Hem yakıt ekonomisi, hem de elektrofiltrelerin güvenliği açısından CO emisyonlarına dikkat edilmelidir. Bu da büyük oranda yakıt ve hava oranının ayarlarıyla sağlanabilmektedir.

5-Doğu, Batı ve Orta Anadolu Bölgesi' de seçilen üç çimento fabrikasının NO ve NO_2 emisyonlarının yıllık ortalama hava kalitesine etkileri, Hava Kalitesi Model Programı yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda fabrikaların yaklaşık 500-1000m mesafe uzağındaki noktalarda maksimum konsantrasyon değerleri bulunmuştur. Bu değerlerin Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği' ndeki uzun vade sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

6-Hava Kalitesi Model Programının temel girdisi olan topografya ve meteorolojik verilerin değişimi, seçilen fabrika üzerinde incelenmiştir. Sonuç olarak, deniz kenarında, arkası dağlarla kaplı bir arazide olan fabrikanın, düz bir ovada olduğu

varsayılarak yıllık konsantrasyon dağılımları çıkarılmış ve düz bir arazide kurulduğunda, şu andaki bölgede elde edilen yıllık ortalama maksimum konsantrasyon değerinden yaklaşık %74 oranında daha düşük bir konsantrasyon değeri elde edilmiştir. Aynı fabrika verileri için iklim şartlarının değişimi incelenmiş, fabrikanın daha soğuk bir bölgede kurulması durumunda, yıllık konsantrasyon dağılımındaki değişimin fazla olmadığı görülmüştür. Maksimum ve minimum karışım yükseklikleri seçilerek model programı çalıştırıldığında, maksimum karışım yüksekliği değerleri için fabrikanın orijinal sonuçlarından yaklaşık %2 oranında sapma göstermektedir. Minimum karışım yüksekliği girildiğinde sapma %7' ye kadar ulaşmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] **KURUSAKIZ, K.** Çimento Endüstrisinde Çevre Kirliliği Önleme ve Kontrol Yöntemleri, Çevre Uzmanlık Tezi, T.C. Çevre Bakanlığı, (1994).
- [2] **TAŞKIN, C.** Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara,(1990).
- [3] **ÖZDEMİR, B.** Çimento Teknolojisi, Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş., Ankara, (1991).
- [4] **ALL FIRED UP-BURNING HAZARDOUS WASTE**, The Combustion Research Institute, A Division of Environmental Toxicology International (ETI), (1992).
- [5] **ÇATALTAŞ, A.İ.** Kimyasal Proses Endüstrileri, İnkilap Aka Basımevi, s 223-236, İstanbul, (1983).
- [6] **ÖZDEMİR, H.** Enerji Kökenli SO₂ Emisyonlarının İncelenmesi ve Hava Kalitesine Etkilerinin Modellenmesi: Gebze Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,(1995)
- [7] **M.TIRIS., E. KALAFATOĞLU., H. OKUTAN.,** Hava kirliliği kaynakları ve Kontrolü TÜBİTAK-M.A.M Yayını, Kocaeli, (1993)
- [8] **GÖRMEK.G.** Hava Kirliliği Modellenmesi ve Gebze İçin SO₂ Azaltım Stratejilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1995)
- [9] **MÜEZZİNOĞLU, A.** Hava Kirliliği Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, İzmir, (1987)
- [10] **ÇİMENTO SANAYİİNDE ÇEVRE KORUNMASI**, Seminer Notları. Türkiye Çimento Müstahzarları Birliği, Ankara, (1989)
- [11] **TÜRKİYE ÇİMENTO SANAYİİ'NİN ÇEVREYE YAKLAŞIMI**, Seminer Notları, Türkiye Çimento Müstahzarları Birliği, Ankara, (1992)
- [12] **ÇİMENTO VE ÇEVRE** , Çitosan, Ankara, (1993)

- [13] **BOUSCAREN, M.R. CORINAIR Inventory, Default Emission Factors Handbook, Second Edition, Commission of The European Communities, Paris,(1992).**
- [14] **AIR FACILITY SUBSYSTEM, EPA-Doc 450/4-90-003, Research Triangle Park, NC, March (1990).**
- [15] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-01, Emissions From Wet Proses Cement Kiln And Clinker Cooler At Maule Industries, Inc.,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [16] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-03, Emissions From Wet Proses Cement Kiln And Clinker Cooler At Ideal Cement Company,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [17] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-04, Emissions From Wet Proses Cement Kiln And Finish Mill System At Ideal Cement Company,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [18] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-05, Emissions From Wet Proses Cement Kiln At Dragon Cement Company,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [19] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-06, Emissions From Wet Proses Clinker Cooler And Finish Mill System At Ideal Cement Company,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [20] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-07, Emissions From Wet Proses Cement Kiln At Giant Portland Cement, USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [21] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-15, Emissions From Wet Proses Cement Kiln At Oregon Portland Cement, USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [22] **EPA , ETB TEST NO: 71-MM-02, Emissions From Wet Proses Raw Mill And Finish Mill System At Ideal Cement Company,USEPA, Research Triangle Park, NC, March (1972).**
- [23] **EKİNCİ,E., MUNLAFALIOĞLU,İ.,TIRIS,M.,PEKİN,A.V.**
Characterization of Cement Plant in Turkey, Atmosferic Environment, Vol. 29, Nowember (1996).
- [24] **ELEKTRO FİLTRELERİN VERİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER,**
Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayını.T.Ç.M.B.. Ankara. 1995.

- [25] **ÖNAL, E.** Elektrostatik Filtre, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1988).
- [26] **PEKİN, A. V.** Çimento Endüstrisinde Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, T.M.M.O.B. İnşaat ve Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, (1995).
- [27] **KALAFATOĞLU, E., GÖZMEN, T., ÖRS, N., TIRIS, M., ERENCEK, E.** Hava Kirliliği Modellenmesi, TÜBİTAK-M.A.M, Gebze, (1994).
- [28] **BREEZE WINDOWS**, Getting Started With ISCST3 and ISCLT3, Information Manual, Trinity Consultants, Inc., USEPA, Research Triangle Park, NC, September (1995).
- [29] **USER'S GUIDE FOR THE INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3)**, Dispersion Models, Vol. 1- User Instructions, USEPA, Research Triangle Park, NC, September (1995).
- [30] **USER'S GUIDE FOR THE INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3)**, Dispersion Models, Vol. 2, USEPA, Research Triangle Park, NC, September (1995).
- [31] **SAKAR, R.**, Duman Gazı İçerisindeki Toz Miktarının Optik Yolla Sürekli Ölçümü, Çimento Bülteni, Cilt.24, sayı.240, T.Ç.M.B., Ankara, (1987).
- [32] **KALAFATOĞLU, E., ÖRS, N., GÖZMEN, T., SAİN, S., MUNLAFALIOĞLU, İ.** Air Pollution Contribution of Some Cement Plants in Turkey, Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scale, Proceedings of the 10th Regional IUAPPA Conference, İstanbul, September 23-26, (1997).

EKLER

EK A Çimento Endüstrisinde Elektro Filtre İle Toz Emisyonu Azaltma Yönteminin Ekonomik Analizi.

Örnek olarak kapasitesi 260 ton/saat olan bir çimento fabrikasının toz tutma sistemi olan elektrofiltrenin kullanımıyla sarfettiği elektrik enerjisinin maliyeti ile filtre devre dışı kaldığı durumda kaybettiği hammaddenin maliyeti arasındaki ekonomik analiz aşağıda çıkarılmıştır.

Kullanılan hammadde miktarı	: 260 ton/saat
1 kg klinker üretimi için gerekli hammadde miktarı (teorik)	: 1.54 kg
1 kg klinker üretimi için beslenen hammadde miktarı	: 1.78 kg
Hammaddenin atık gazlarla taşınma oranı (%)	: 15.6
Atık gazlarla taşınan hammadde miktarı	: 40.56 ton/saat
Elektrofiltre çalışmadığı durumda dışarı atılan hammadde (Elektrofilter çalışmadığı durumda atık gazla gelen hammaddenin %60'ının dışarı atıldığı kabulü ile)	: 24.33 ton/saat
Hammaddenin maliyeti (Aralık 1996)	: 210.000 TL/ton
Elektrik enerjisi birim maliyeti (Aralık 1996)	: 6.600 TL/kWh
Elektrofiltre çalıştığında sarfedilen elektrik miktarı	: 100.000 kWh/ay
Elektrofiltrenin sarfettiği elektrik maliyeti	: 916.666 TL/saat
Dışarı atılan hammaddenin maliyeti (Hammadde %10 oranında nem içermektedir)	: 5.677.000 TL/saat

EK B

Tablo B.1 Türkiye' deki Çimento Fabrikalarının Yıllık Üretim Kapasiteleri.

Fabrikalar	Yıllık Üretim (ton)		Optimum Klinker Kapasitesi (ton)
	Klinker	Çimento	
Adana	1 495 800	1 222 300	1 370 000
Adıyaman	301 530	364 500	590 000
Akçimento	1 820 000	2 059 200	1 905 000
Akkayseri	-	355 400	-
Aslan Çimento	930 000	1 153 082	1 190 000
Aşkale	281 294	339 000	330 000
Bartın	250 700	302 213	150 000
Baştaş	624 710	599 628	610 000
Batı Çim	1 400 109	1 701 079	1 320 000
Batı Söke	180 082	412 458	165 000
Bolu	962 000	875 000	1 240 000
Bursa	787 000	995 500	840 000
Çanakkale	1 792 000	2 004 900	1 650 000
Çimentaş	1 520 000	1 412 000	1 320 000
Çimsa	1 463 000	1 248 200	1 830 000
Denizli	552 000	629 700	595 000
Elazığ	319 300	204 000	360 000
Ereğli	-	202 000	-
Ergani	358 000	201 155	580 000
Eskişehir	440 000	509 250	460 000
Gaziantep	417 015	543 055	575 000
Göлтаş	904 057	870 687	1 140 000
Gümüşhane	-	98 981	-
Kars	203 400	182 790	250 000
Konya	487 000	617 165	825 000
Kurtalan	246 185	204 917	590 000
Ladik	521 500	557 000	580 000
Lalapaşa	471 600	520 000	590 000
Mardin	500 000	386 660	595 000
Nuh	1 301 000	1 856 000	1 320 000
İskenderun	-	704 696	-
Oysa Niğde	414 050	350 846	500 000
Öztüre	-	68 430	-
Set Afyon	242 607	386 960	435 000
Set Anadolu	349 790	522 610	465 000
Set Ankara	653 718	594 363	1 030 000

Tablo B1 Devamı

Fabrikalar	Yıllık Üretim		Optimum Klinker Kapasitesi
	Klinker	Çimento	
Set Balıkesir	286 200	377 525	265 000
Set Trakya	611 913	638 549	610 000
STFA Doğal	-	135 231	-
Şanlı Urfa	317 074	265 058	570 000
Trabzon	332 200	410 572	330 000
Ünye	560 000	625 659	560 000
Van	154 100	183 547	215 000
Y. Çorum	457 000	311 300	480 000
Y. Lafarge	-	292 469	-
Y. Nevşehir	-	269 823	-
Y. Sivas	346 000	279 000	415 000
Y. Yozgat	625 600	395 000	660 000
Toplam	24 940 008	31 365 751	28 185 000

EK C

Tablo C.1 Türkiye' deki Çimento Fabrikalarının Proses Tipi ve Yaşları.

Fabrikalar	Yaşı	Proses Tipi	Fabrikalar	Yaşı	Proses Tipi
Adana	39	Kuru	Göлтаş	27	Kuru
Adıyaman	13	Kuru	Gümüşhane	5	Öğütme,Paket
Afyon	39	Yarıyaş	İskenderun	19	Öğütme,Paket
Akçimento	27	Kuru	Kartal	68	Kuru
Akkayseri	4	Öğütme,Paket	Kdz. Ereğli	4	Öğütme,Paket
Ankara	70	Kuru	Kars	20	Kuru
Aşkale	25	Kuru	Konya	41	Kuru
Balıkesir	38	Kuru	Kurtalan	12	Kuru
Bartın	34	Yaş	Ladik	13	Kuru
Başıtaş	26	Kuru	Lalapasa	4	Kuru
Batı Anadolu	28	-	Mardin	21	Kuru
Batı Söke	34	Yarıyaş	Nuh	27	Kuru
Bursa	27	Kuru	Oysa Niğde	32	Kuru
Bolu	20	Kuru	Öztüre	1	Öğütme,Paket
Çanakkale	16	Kuru	Pınarhisar	38	Yaş
Çimentaş	43	Kuru	Sivas	53	Kuru
Çimsa	24	Kuru	STFA Doğal	-	Kuru
Çorum	42	Yarıyaş	Şanlı Urfa	10	Kuru
Darıca	85	Kuru	Trabzon	29	Kuru
Denizli	8	Kuru	Ünye	21	Kuru
Elazığ	37	Yarıyaş	Van	27	Kuru
Ergani	12	Kuru	Y. Yozgat	23	Kuru
Eskişehir	40	Kuru	Y. Lafarge	4	Öğütme,Paket
Gaziantep	35	Yarıyaş	Y. Nevşehir	4	Öğütme,Paket

EK D**Tablo D.1 Türkiye' deki Çimento Endüstrisi İçin Ortalama Emisyon Faktörleri.**

Birim	Toz	CO	NO ₂	SO ₂
kg/t klinker	0.610	2.933	1.070	0.101
kg/t çimento	0.337	1.609	0.596	0.060

EK E

Tablo E.1 Toz Emisyonları İçin Avrupa Topluluğu Limitleri.

Ülkeler	mg/m ³	Açıklama
Almanya	50	
Belçika	50-100	
Danimarka	250	
İspanya	250	
Fransa	250	
İngiltere	460 230 150 100	1967 öncesi kurulan fabrikalar için 1967-1979 arası 1979 sonrası
Yunanistan	150 100	1981 öncesi kurulan fabrikalar için 1982 sonrası kurulan fabrikalar için
İtalya		Toz tutucu cinsine bağlı olarak değişkenlik göstermekte
İrlanda	125	
Lüksemburg	50	
Hollanda	50	
Portekiz	150	
Türkiye	240 120 50	1986 öncesi kurulan tesisler için 1986 sonrası 1995 yılı sonrası kurulan yeni tesisler için

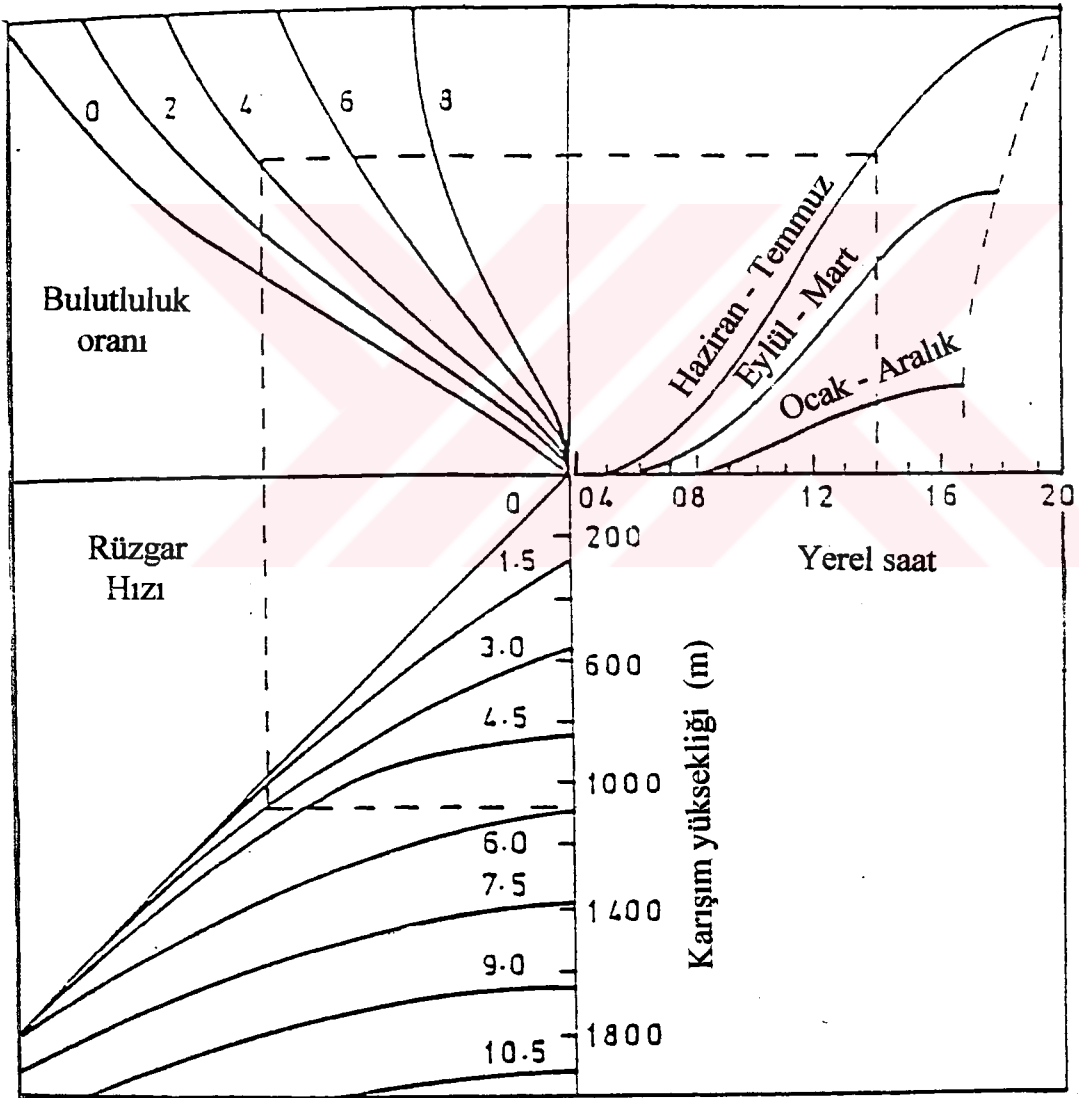
EK F

Tablo F.1 Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği, Hava Kalitesi Sınır Değerleri.

Kirletici	Birim	Uzun Vade Sınır Değer UVS	Kısa Vade Sınır Değer KVS
Kükürt dioksit, (kükürt trioksit dahil)			
-Genel	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	150	400
-Endüstri Bölgeleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	250	400
Karbon monoksit	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	10000	30000
Azot monoksit	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	200	600
Azot dioksit	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	100	300
Havada asılı partiküler madde (PM)			
-Genel	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	150	300
-Endüstri Bölgeleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	200	400
PM içinde kurşun ve bileşikleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2	-
PM içinde kadmiyum ve bileşikleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0.04	-
Çöken tozlar			
-Genel	[$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$]	350	650
-Endüstri Bölgeleri	[$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$]	450	800
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{gün}$]	500	-
Çöken tozlarda kadmiyum ve bileşikleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{gün}$]	7.5	-
Çöken tozlarda talyum ve bileşikleri	[$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{gün}$]	10	-
Hedef sınır değerler			
Yıllık aritmetik ortalama	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	60	-
Kış sezonu (Ekim-Mart) ortalaması	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	120	-
Maksimum 24 saatlik değer	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	150

EK G

Şekil G.1 Karışım Yükseklikleri (Mixing Height) Belirleme Grafiği



ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında İstanbul’ da doğdu. İlköğrenimini 1970-1975 yılları arasında tamamladı. 1975 yılında başladığı Eskişehir Cumhuriyet Ortaokulu’ ndan 1978 yılında mezun oldu. 1978 yılında başladığı Kabataş Erkek Lisesi’ ni 1981’ de bitirdi. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’ ne girdi ve 1985 Haziran döneminde mezun oldu. 1985-1986 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya-Metalurji Anabilim Dalı’ nda Yüksek lisansa başladı ve Haziran 1987’ de yüksek mühendis ünvanı aldı. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, Temel İşlemler Anabilim Dalı’ nda Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

