

**ESKİŞEHİR VE YAKIN ÇEVRESİNDE  
YÜZEY OZON DAĞILIMININ  
MM5-CAMx MODELLERİ  
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

Ozan Devrim YAY  
Doktora Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Ağustos – 2006

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.Proje No: 030247**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ozan Devrim Yay'ın "Eskişehir ve Yakın Çevresinde Yüzey Ozon Dağılımının MM5-CAMx Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Doktora Tezi 03.07.2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Doç. Dr. TUNCAY DÖĞEROĞLU	.....
Üye	: Prof. Dr. SERAP KARA	.....
Üye	: Prof. Dr. HÜRRIYET ERŞAHAN	.....
Üye	: Prof. Dr. SELAHATTİN İNCECİK	.....
Üye	: Prof. Dr. MUSTAFA KARA	.....

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

## ÖZET

### Doktora Tezi

## ESKİŞEHİR VE YAKIN ÇEVRESİNDE YÜZEY OZON DAĞILIMININ MM5-CAMx MODELLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Ozan Devrim YAY

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU  
2006, 122 sayfa

Bu tezde, atmosferik bileşenlerden yüzey ozonu oluşum mekanizmaları ve açık ortam derişimlerinin meteorolojik koşullarla, ozon öncülü bileşenlerle ve diğer atmosferik bileşenlerle ilişkisi Eskişehir ve çevresini kapsayan bir alan özelinde, hidrostatik olmayan MM5 ve CAMx modelleri yardımıyla incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, Eskişehir’de açık ortam ozon derişimleri ilk kez sürekli bir ölçüm sistemiyle belirlenmiştir. İkincil bir hava kirletici bileşen olan ozonun oluşumu hem insan kaynaklı hem de doğal kaynaklardan atmosfere salınan, başta azot oksitler ve uçucu organik bileşikler olmak üzere, kirleticilerin emisyon hızlarına bağlı olduğundan, model uygulaması için gerekli olan çalışma alanındaki emisyonlar hesaplanmış ya da önceki hesaplamalar gözden geçirilerek gerekli güncellemeler yapılmıştır. Doğal kaynaklardan salınan (biyojenik) uçucu organik bileşiklerin ozon oluşumuna katkısı nedeniyle Türkiye için ilk kez biyojenik uçucu organik bileşiklerin emisyon envanteri hazırlanmıştır.

Açık ortamda sürekli ozon ölçümleri ve model sonuçları, şehirdeki hakim rüzgar yönünün de etkisiyle bölgesel katkının, çalışma alanındaki ozon seviyeleri üzerinde önemli olabildiğini göstermektedir. Gözlenen sonuçlara göre, Eskişehir’de insan sağlığını olumsuz yönde etkilemesi beklenmeyen ve belirlenen limit değerlerin altında ozon derişimleri hakimdir ancak bitkilerin ozonun etkilerinden korunması için geliştirilen AOT40 limit değerleri aşılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Yüzey Ozon, Biyojenik Uçucu Organik Bileşikler, Hava Kalitesi Modellemesi, MM5, CAMx

## **ABSTRACT**

### **PhD Dissertation**

# **ESTIMATION OF THE DISPERSION OF SURFACE OZONE AT AND AROUND ESKİŞEHİR WITH THE USE OF MM5-CAMx MODELS**

**Ozan Devrim YAY**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tuncay DÖŐEROŐLU  
2006, 122 pages**

In this thesis, ozone formation mechanisms in the surface atmosphere and its relation with meteorological conditions, ozone precursors and other atmospheric constituents have been investigated in the city of Eskişehir and its surrounding with the help of the non-hydrostatic MM5 and CAMx models.

Within the framework of the study, ambient ozon concentrations in Eskişehir were measured for the first time on a continuous basis. Since ozone is a secondary atmospheric constituent-pollutant which is dependent on the amounts of emissions of gases- especially nitrogen oxides and volatile organic compounds- from both anthropogenic and natural sources, emissions in the study area, which are necessary for the model application, were calculated or reviewed. Because of the the role of volatile organic compounds from natural sources on ozone formation, the emission inventory of biogenic volatile organic compounds was prepared for the first time for Turkey.

The continuous ambient ozone measurements and the model results show that regional contribution can be important for ozone levels in the study area, considering also the prevailing wind direction. According to the observed results, ozone levels prevailing in Eskişehir are not expected to adversely affect human health and are below the related limit values but AOT40 limit values developed for the protection of vegetation from the effects of ozone are exceeded.

**Keywords:** Tropospheric Ozone, Biogenic Volatile Organic Compounds, Air Quality Modelling, MM5, CAMx

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde pek çok kişinin emeği vardır. Onlar olmadan bu çalışmanın gerçekleşmesi olası değildi.

Titizliği ve sabrıyla her zaman yol gösterici olan, birlikte çalışmalarımızın uzun süre devam etmesini umduğum danışmanım Doç Dr. Tuncay Döğeroğlu'na,

Engin bilgisi ve ufuk açıcı önerileriyle her zaman yanımda olan Prof Dr. Serap Kara'ya,

Tez çalışması boyunca önemli katkıları ve uyarılarıyla tezin her aşamasında gelişmesine yardımcı olan Prof Dr. Hürriyet Erşahan'a,

Değerli görüşleriyle çalışmaya katkı sunan, konuyla ilgili pek çok önemli uluslararası toplantı düzenleyen ve bunlara katılımımı destekleyen Prof Dr. Selahattin İncecik'e,

Çalışmanın önemli bir bölümünü Selanik Üniversitesi Atmosfer Fiziği Laboratuvarında yürütmemi sağlayan Dr Dimitris Melas'a,

Uzun çalışma saatlerinde her zaman destekleri ve arkadaşlıklarıyla yanımda olan Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Yönetimi Grubu'ndan Y. Doç. Dr. Eftade Gaga'ya ve araştırma görevlileri Hicran Altuğ, Özlem Özden ve Barbaros Murat Köse'ye,

Hem sağladığı veriler hem de arkadaşlığıyla yanımda olan Anastasia Poupkou'ya,

Coğrafi Bilgi Sistemleri konusunda öğrendiklerimin önemli bir kısmını borçlu olduğum Doç Dr. Alper Çabuk'a ve arkadaşım Panagiotis Symeonidis'e,

Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde ve Selanik Üniversitesi Atmosfer Fiziği Laboratuvarında, bana destek olan tüm çalışma arkadaşlarıma,

Bu zor işin en zorlu günlerinde yanımda bulunup bana destek olan aileme, İsmimi sayfa kısıtı nedeniyle burada anamadığım tüm dostlarıma ve sevdiklerime,

büyük teşekkür borçluyum.

Ozan Devrim Yay

Ağustos 2006

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Yüzey Ozon.....	3
2.2. VOC'ler ve Ozon Oluşumu.....	7
2.3. Troposferde Ozon Oluşumunun Temel Kimyası .....	8
2.4. Modelleme Çalışmaları .....	13
2.5. Ozon Oluşumu ve Modellemesi ile İlgili Literatür Araştırması .....	15
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>17</b>
3.1. Çalışma Alanı.....	17
3.2. Açık Ortam Ozon Ölçümleri.....	17
3.3. MM5 Meteorolojik Modeli .....	22
3.4. CAMx Kimyasal Modeli.....	23
3.5. Eskişehir ve Çevresinde Antropojenik Emisyonlar .....	32
3.6. Biyojenik VOC Emisyon Envanteri.....	37
3.6.1. Biyolojik VOC Emisyon Modeli .....	38
3.6.2. Kullanılan verilerin kaynakları ve işlenmesi.....	40
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>45</b>
4.1. Antropojenik Emisyon Envanteri Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	45
4.2. Biyojenik Uçucu Organik Emisyon Envanterinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	46
4.3. Ozon Ölçüm Verilerinin ve MM5 Meteorolojik Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	53
4.4. AOT40 Değerleri .....	76
4.5. CAMx Kimyasal Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	77
4.6. Model Sonuçları ve Ölçümlerin Karşılaştırılması.....	89

<b>5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>93</b>
---	-----------

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>96</b>
------------------------	-----------

<b>EKLER.....</b>	<b>102</b>
-------------------	------------

EK-1. VOC'ler için Maksimum Tepkisellik Artışı değerleri.....	103
---	-----

EK 2. CAMx kontrol dosyasına örnek.....	105
---	-----

EK-3. Kullanılan bitki örtüsü verisetinden Türkiye toprakları içinde gözlenen gruplar ve toplam alana oranları .....	108
---	-----

EK-4. Biyojenik emisyonların hesabında kullanılan genel bitki grupları ve kullanılan emisyon faktörleri ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).....	112
--	-----

EK-5. Türlerle göre aylık yaprak yoğunluk değerleri ( $\text{g/m}^2$ ).....	114
---	-----

EK 6. İki Eylül Kampüsü'nde günlük ortalama ozon derişimlerinin aylara göre değişimi.....	116
--	-----

EK 7. 5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki meteorolojik değişkenler .....	120
---	-----

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

2.1.	NO <sub>x</sub> /VOC oranının ozon seviyesine etkisi.....	11
3.1.	a) Eskişehir kent merkezi ve etrafındaki topografyanın eş yükselti eğrileriyle gösterimi (deniz seviyesinden yükseklik (m) )	
	b) Eskişehir kent merkezi ve çevresinin yükseklik haritası (deniz seviyesinden yükseklik (m)).....	18
3.2.	Eskişehir kent merkezi, önemli noktasal kaynaklar ve sürekli ozon ölçümünün gerçekleştirildiği noktanın konumu.....	19
3.3.	Çalışmada kullanılan metodoloji.....	21
3.4.	Modelleme alanının konumu (Modellemede nesting özeliğiyle kullanılacak büyük ve küçük gridin konumları).....	25
3.5.	Modelleme alanındaki küçük gridin ayrıntılı konumu.....	26
3.6.	CAMx arazi kullanımı sınıflandırmasına göre arazi kullanımının dağılımı .....	31
3.7.	a) Şehirler arası taşınım gerçekleştirildiği yollara ait bir örnek	
	b) Aynı örnekte CBS yardımıyla, yolların her bir grid hücrelerine denk gelen parçasının ayrı bir vektör eleman olarak tanımlanması.....	35
3.8.	Biyojenik VOC emisyonlarının (düzeltme faktörlerinin) sıcaklık ve PAR değerleriyle ilişkisi.....	43
4.1.	Türkiye geneli için yıllık isopren emisyonları (kg/km <sup>2</sup> .yıl) .....	47
4.2.	Türkiye geneli için yıllık monoterpen emisyonları (kg/km <sup>2</sup> .yıl).....	47
4.3.	Eskişehir ve yakın çevresinde Temmuz ayının tipik bir gününde saat a) 14:00 ve b) 09:00'da isopren emisyonlarının dağılımı.....	50
4.4.	Eskişehir ve yakın çevresinde Temmuz ayının tipik bir gününde saat 14:00, 00:00, 06:00 ve 19:00'da monoterpen emisyonlarının dağılımı.....	51
4.5.	Ocak-Aralık 2005 döneminde aylık ortalama ozon derişimleri (µg/m <sup>3</sup> ).....	55
4.6.	Ocak-Aralık 2005 döneminde aylık maksimum ozon derişimleri (µg/m <sup>3</sup> ).....	55
4.7.	13 Haziran 2005 tarihinde ozon derişiminin değişimi (µg/m <sup>3</sup> ).....	56



4.8.	2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde ozon derişiminin değişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	56
4.9.	Eskişehir ve yakın çevresi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 3 saat aralıklarla).....	59
4.10.	Türkiye, Balkanlar ve Doğu Akdeniz Bölgesi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 6 saat aralıklarla).....	62
4.11.	Eskişehir'de bazı tipik günlere ait ozon derişimlerinin gün içindeki değişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	64
4.12.	5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerinde ozon derişimlerinin değişiminin rüzgar hızıyla ilişkisi.....	66
4.13.	5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde İki Eylül kampüsünde ölçülen ozon derişimleri.....	68
4.14.	Eskişehir ve yakın çevresinde MM5 modeli sonuçlarına göre 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (5 Ağustos 00:00'dan 7 Ağustos 00:00'a 3 saat aralıklarla .....	69
4.15.	2-3 Temmuz 2005 ve 5-6 Ağustos 2005 tarihlerine ait "ozon gülleri"....	72
4.16.	Pasif örnekleme sonuçlarına göre Eskişehir'de a) 2005 kış dönemi b) 2005 yaz dönemi ortalama ozon derişimlerinin dağılımı.....	75
4.17.	2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları.....	79
4.18.	5-6 Ağustos 2005 CAMx modeli sonuçları.....	85
4.19.	Model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) 1-4 Temmuz 2005 b) 3-6 Ağustos 2005.....	89
4.20.	Model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) 1-4 Temmuz 2005 b) 3-6 Ağustos 2005.....	90
4.21.	Küçük grid emisyonlarının sıfırlanması durumunda 3-6 Ağustos 2005 tarihlerindeki model sonuçlarının, ölçüm değerleriyle karşılaştırılması.....	91

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında ozon için belirlenen hedef değerler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	4
2.2. Türkiye’de, ABD’de, AB’de geçerli sınır değerler ile WHO tarafından önerilen ozon sınır değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	5
3.1. USGS Land Use/Land Cover System Legend veritabanındaki arazi kullanımı kategorilerinin CAMx kategorilerine göre yeniden sınıflandırılması.....	30
3.2. Termik santraller için $\text{NO}_x$ emisyon faktörleri.....	33
3.3. Termik santraller için $\text{SO}_2$ ve NMVOC emisyon faktörleri.....	33
3.4. Şehirlerarası ulaşımdan kaynaklı emisyon hesaplarında kullanılan emisyon faktörleri ( $\text{g}/\text{km}$ ).....	35
3.5. Eskişehir’de yanma kaynaklı emisyonlar (ton/yıl).....	37
4.1. Çalışma alanında yanmadan kaynaklı toplam emisyonlar (ton/yıl).....	46
4.2. Mayıs, Haziran, Temmuz 2005 için AOT40 değerleri.....	76

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler:

$\gamma$	: Emisyon hesabında PAR ve yaprak sıcaklığı için düzeltme faktörü
$\epsilon$	: Emisyon faktörü ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{st}^{-1}$ )
$\mu\text{g}$	: mikrogram
CO	: karbon monoksit
D	: Yaprak yoğunluğu ( $\text{g m}^{-2}$ : birim yeryüzü alanındaki kuru yaprak ağırlığı)
F	: Yaprak emisyonu ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{st}^{-1}$ )
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
O <sub>3</sub>	: Ozon
PM10	: Aerodinamik çapı $\leq 10 \mu\text{m}$ olan partiküler maddeler
SO <sub>2</sub>	: Kükürt dioksit

### Kısaltmalar:

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AOT40	: Accumulated Exposure Over a Treshold of 40 ppb (40 ppb sınırı üzerinde birikmiş maruziyet)
CAMx	: Comprehensive Air Quality Model with Extensions (Gelişmiş Hava Kalitesi Modeli)
CBM-IV	: Carbon Bond Mechanism - 4 (Karbon Bağ Mekanizması - 4)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINAIR	: Co-ordinated Information on the Environment in the European Community - AIR
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EC	: European Commission (Avrupa Komisyonu)
EPA	: Environmental Protection Agency (Amerikan Çevre Koruma Ajansı)
EMEP	: European Monitoring and Evaluation Programme
EOSB	: Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş.

FORTRAN	: Formula Translation (Formül Dönüştürme)
GLOBE	: Global Land One-km Base Elevation Project
HKKY	: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (İklim Değişimi üzerine Hükümetlerarası Panel)
KVS	: Kısa Vadeli Sınır Değeri
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MIR	: Maximum Incremental Reactivity (Maksimum Tepkisellik Artışı)
NCAR/ACD	: National Center for Atmospheric Research- Atmospheric Chemistry Division (Atmosferik Araştırmalar için Ulusal Merkez- Atmosfer Kimyası Bölümü)
NCEP	: National Centers for Environmental Predictions (Çevresel Tahminler Ulusal Merkezler)
NMVOG	: Non-methane Volatile Organic Compounds (Metan dışı uçucu organik bileşikler)
O( <sup>1</sup> D)	: Uyarılmış haldeki oksijen atomu
O( <sup>3</sup> P)	: Temel haldeki oksijen atomu
OFP	: Ozone Forming Potential (Ozon Oluşturma Potansiyeli)
PAR	: Photosynthetically Active Radiation (Fotokimyasal Olarak Aktif Radyasyon)
ppb	: Parts per billion (milyarda bir parça)
PSU/NCAR	: Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research
SAPRC99	: State Air Pollution Research Center 1999 (Devlet Hava Kirliliği Araştırma Merkezi)
TOMS	: Total Ozone Mapping Spectrometer
TUV	: Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiation Model (Troposferik Morötesi ve Görünür Radyasyon Modeli)
UAM	: Urban Airshed Model (Kentsel Hava Kalitesi Modeli)
USGS	: United States Geological Survey (Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları)
UTC	: Coordinated Universal Time (Koordine Evrensel Zaman)

UV	: Ultra violet (Mor ötesi)
UVS	: Uzun Vadeli Sınır Değeri
VOC	: Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

## 1. GİRİŞ

Hava kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü araştırmalarının gelişimi boyunca, SO<sub>2</sub> ve partikül madde gibi, “geleneksel” diye nitelendirilebilecek kirleticilerin neden olduğu kirliliğın önlenmesi konusunda büyük yol katedilmiştir. Özellikle gelişmiş ölkelerde, bu kirleticilerle ilgili bilgi birikiminin hava kalitesi yönetimi uygulamalarıyla birleşmesi sonucu, bu kirleticilerin kontrolü önemli ölçüde sağlanmış, SO<sub>2</sub> ve partikül maddenin sinerji etkisi gibi sorunlar kısmen de olsa ortadan kalkarak gündemden düşmüştür.

Hava kirliliği alanında bir süredir yürütölen çalışmalar, ozon (O<sub>3</sub>) üzerinde yoğunlaşmıştır. Ozonu hava kalitesi çalışmalarında önemli bir konu haline getiren özelliği kuvvetli bir yükseltgen olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle, belirli seviyelerin üstünde troposferde bulunduğunda hem insan sağlığına hem de bitkilere zarar veren bir hava bileşenidir. Bitkilerin ozona hassasiyetleri daha yüksektir ve bitkilerin korunması amacıyla belirlenen sınır değerler daha düşüktür. Yüzey ozonu oluşumu, hâlâ tam olarak çözülememiş olan karmaşık atmosferik tepkimelere bağlıdır. Bu nedenle, ozonun oluşumunu ilgili diğer tepkimelerle birlikte ele almak çoğunlukla zorunlu olmaktadır.

Bu tez çalışmasında,

- ozon ve diğer fotokimyasal bileşenlerin karmaşık oluşum mekanizmasına dayalı bir hava kalitesi modelleme sistemi (meteorolojik ve fotokimyasal modeller ile bu modellerin girdilerinin hazırlanabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi ve bilgisayar programlarının entegrasyonu) yardımıyla Eskişehir yöresinde fotokimyasal tepkimelerin sonuçlarının açıklanmasına katkıda bulunulması,
- yer seviyesi ozonun derişiminin meteorolojik koşullar ve ozon öncülü bileşenlerin derişimlerindeki değişkenliğe bağlı olarak belirlenmesi,
- önemli bir ikincil kirletici olan ozonun ve öncüllerinin Türkiye’de bugüne dek yetersiz sayıda gerçekeştirilmiş olan ölçümlerine katkıda bulunulması,

- kimyasal mekanizmanın daha iyi anlaşılabilmesiyle gelecekteki olası ölçüm programlarına yön gösterici olunması,
- Eskişehir ve yöresinde yüzey ozonun seviyelerinin belirlenmesi ve bu seviyelerin oluşum mekanizmalarının anlaşılması ve
- Eskişehir bölgesinde ozon oluşumunu kontrol eden öncelikli faktör ya da faktörleri belirleyerek, gelecek için hedeflenen hava kalitesi değerlerine ulaşabilmek amacıyla esas alınacak hava kalitesi yönetimi çalışmalarına katkıda bulunulması

amaçlanmıştır.

Eskişehir yöresinde sürekli ozon ölçümleri ilk kez bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş ve yine bu yörede yüzey ozonun atmosferik dağılımının modellenmesi yönünde çalışmalar yürütülmüş ve ozon oluşumunda en önemli role sahip bileşenlerden olan uçucu organik bileşiklerin (VOC: Volatile Organic Compounds) biyogenik kaynaklı emisyonlarının Türkiye için ilk envanteri hazırlanmıştır. Ayrıca, bölgede daha önce gerçekleştirilmiş olan emisyon envanteri çalışmaları ele alınarak güncellenmiş ve seçilen modelleme alanındaki diğer önemli emisyonlar da hesaplanmıştır.

## 2. GENEL BİLGİ

### 2.1. Yüzey Ozon

Bugün için bilinen bir gerçek, troposferik ozon oluşumuna neden olan en önemli birincil kirleticilerin azot oksitler ( $\text{NO}_x$ :  $\text{NO} + \text{NO}_2$ ) ve uçucu organik bileşikler olduğudur. Güneş ışığının da etkisiyle gerçekleşen ve zincirleme reaksiyonlarla devam eden fotokimyasal bir süreçle troposferde ozon oluşumu gerçekleşir. Reaksiyonların gerçekleşmesini sağlayan ya da hızlandıran etken güneş ışığı olduğundan, yaz aylarında bu sorun daha belirgin hale gelmektedir.

Ozon, kuvvetli bir yükseltgen olmasından dolayı, insanlar üzerinde özellikle solunum sistemine zarar verici olumsuz etkiler gösterir. Ayrıca, ozonun hayvanlar ve bitkiler yanında malzemeler üzerine olumsuz etkileri de bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı hemen her ülkede açık ortam havasında ozon için belli sınır değerler konmuştur. Türkiye'de Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde (HKKY, 1986) ozon (fotokimyasal oksitleyiciler) için Uzun Vadeli Sınır (UVS) değeri bildirilmemiş, ancak 1 saatlik ortalama sınır değeri olarak  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  konmuştur. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan ve revizyonu tamamlanarak yakın zamanda yürürlüğe girmesi beklenen Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği Taslağı'nda (http-1) ise gerek ozon gerekse ozon öncülü bileşenler çok daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1997 yılında ulusal hava kalitesi standartlarında 1 saatlik ortalama değer  $0.12 \text{ ppm}$  (yaklaşık  $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) olarak belirlenmiştir. 1997 yılında EPA 8 saatlik ortalama değer olarak  $0.08 \text{ ppm}$  (yaklaşık  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) önermiş ancak ulusal standard olarak kabul edilmemiştir. Bir saatlik ortalama değer daha sonra  $0.08 \text{ ppm}$ 'e indirilmiştir. Bunun nedeni, insanlar üzerinde maruziyet çalışmaları sonucunda, olumsuz etkilerin görülmeye başladığı en düşük değer bu olduğunun tespit edilmesidir (http-2). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ozon için öngörülen sınır değer ise 8 saat için  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür (WHO, 2000).

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan ve henüz taslak halinde bulunan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği



genel olarak ülke mevzuatının Avrupa Birliği mevzuatı ile uyumunu sağlamak amacıyla hazırlanmıştır ve çoğunlukla Avrupa Birliği tarafından kabul edilmiş olan (EC, 1999) hedef değerleri içermektedir. Bu taslakta, gelecekte Türkiye hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak, önemli hava kirletici bileşenler için limit değerler, hedef değerler, uzun vadeli hedef değerler, değerlendirme, bilgilendirme ve uyarı eşikleri belirlenmiştir. Ülkemizde, ozon ölçümleri henüz her kentte yapılamadığı ve yeterli sayıda veri bulunmadığı için, limit değere ulaşılacak tarihler görece daha ileri tarihler olarak atanmıştır. Ayrıca, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10, kurşun ve CO bileşenleri için geçiş dönemi uzun vadeli ve kısa vadeli standartlar belirlenmiş olmasına rağmen, ozon için bu tür geçiş dönemi standartları belirlenmemiştir. Ozon için belirlenen 2020 yılı hedef sınır değerleriyle uzun vadeli hedef değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Türkiye, ABD ve Avrupa Birliği’nde ozon için belirlenen ve şu anda geçerli olan sınır değerler ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen sınır değerler Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.1.** Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında ozon için belirlenen hedef değerler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (http-1)

Hedef	Parametre	Hedef değer [2020] için	Uzun vadeli hedef
İnsan sağlığının korunması	Bir takvim yılında azami günlük 8 saat ortalama	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerü üç yıllık ortalama alındığında bir takvim yılı başına 25 günden daha fazla süre boyunca aşılmayacaktır	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bitkilerin korunması	AOT40 (Mayıs ayından Temmuz ayına kadar 1 saatlik değerlerden hesaplanır)	Beş yıllık ortalaması 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{st}$	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{st}$

**Çizelge 2.2.** Türkiye’de, ABD’de, AB’de geçerli sınır değerler ile WHO tarafından önerilen ozon sınır değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (HKKY 1986; http-9; WHO 2000)

	<b>1 saatlik ortalama</b>	<b>8 saatlik ortalama</b>	<b>24 saatlik ortalama</b>
Türkiye (HKKY)	240		
Türkiye (HKDYY taslağı)	180 (bilgi eşiğı) 240 (uyarı eşiğı)	120 (2020 yılı hedefi)	
ABD (EPA)	240	160	
AB	200 (bitkileri koruma eşiğı) 180 (bilgi eşiğı) 360 (uyarı eşiğı)	110 (sağlık koruma eşiğı)	65 (bitkileri koruma eşiğı)
WHO		120	

Ozonun insan sağlığına etkisinin yanında belki daha da önemli sayılabilecek etkisi bitkiler üzerindedir. Bitkilerin ozona maruziyet karşısında dayanıklılıkları daha düşüktür. Bitkilerin ozona maruziyetinin ölçüsü olarak en yaygın kullanılan terim AOT40'dir (Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Ozon derişiminin 40 ppb değerini aştığı her saat için, derişim değeri ile 40 ppb arasındaki farkların toplamı olarak tanımlanır. Ozona maruziyetin bugün için en geçerli göstergelerinden olsa da, 40 ppb değeri kesin bir kritik sınır değeri olarak düşünülmemelidir. Dünya Sağlık Örgütü, atmosferik kirleticiler için sınır değerler önerirken AOT40 kriterini kullanmış ancak farklı bitki türleri için farklı sınır değerler belirlemiştir. Buna göre altı ay boyunca beş saatlik AOT40 değerleri bitki türüne göre 0.2-10 ppm.st ( $4000-20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{st}$ ) değerleri arasında olmalıdır (WHO, 2000).

Ozona maruziyetin bitkiler üzerinde etkisinin bir göstergesi olan AOT40'a benzer şekilde, insanların maruziyetinin göstergesi olarak AOT60 da tanımlanmıştır. Ancak insan sağlığını koruma amaçlı sınır değerler bu kriter yerine derişimlerle ifade edilmektedir. Yine de, yer seviyesi ozon derişimlerinin insan sağlığına etkisinin bir göstergesi olarak AOT60'a atıf yapan çalışmalar mevcuttur (Donev ve ark, 2002).

Ozonun troposferdeki en önemli yükseltgeyicilerden biri olması nedeniyle, bu bileşenin yüksek seviyelerinin insan ve bitki sağlığı ile eşyalar üzerinde olumsuz etkileri vardır. İnsan sağlığına olumsuz etkisi çoğunlukla solunum yollarına verdiği zararlarla belirginleşen ozon, yükseltgeyici özelliği nedeniyle eşya üzerinde de aşındırma ve ağartma gibi etkilere yol açmaktadır. Ozona hassasiyet düzeyi en düşük olan grup ise bitkilerdir. Ozonun yükseltgeyici özelliği bitkiler üzerinde özellikle yapraklara verilen zararlar somutlaşır ve bitki üzerindeki bu etkiler, insan sağlığı için zararlı kabul edilen seviyelerden daha düşük seviyelerde ortaya çıkar. Ozonun insan sağlığı ve bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri anlaşıldıktan sonra, özellikle gelişmiş ülkelerde, ozon oluşumunda öncelikli etken olan VOC ve NO<sub>x</sub>'in gelecekteki seviyelerini düşürebilmek için, bu kirleticilerin oluşumunu azaltacak eylem planları hazırlanmıştır. Gelecek için planlanan NO<sub>x</sub> ve VOC azaltmalarının ozon derişimlerini nasıl etkileyeceğini bugünden tahmin etmenin en etkin yolu olarak fotokimyasal hava kirliliği modellerinin kullanımı görülmektedir.

Troposferik ozonun doğrudan etkileri yanında bir başka önemli özelliği de iklim değişikliğine olan etkisidir. Ozonun varlığının, CO<sub>2</sub> ve halokarbonlar gibi sera gazlarının sera etkisi potansiyellerini yaklaşık %8 arttırdığı sanılmaktadır (Commission of the European Communities 1999).

Ozonun arka plan (background) seviyesi genellikle 0.04 ppm (80 µg/m<sup>3</sup>) kabul edilmekle birlikte (Blanchard ve Stoeckenius 2001), bu seviyenin sabit bir değer olarak kabul edilmesi doğru olmamaktadır. Örneğin İsveç'te, diğer ülkelerden taşınım yüzünden, arka plan ozon düzeyleri bile AB sınır değerlerini aşmaktadır.

Konunun dünyada kazandığı öneme ve mevzuatta maksimum saatlik sınır değeri verilmiş olmasına rağmen, Türkiye'de kentlerdeki ozon seviyeleri düzenli olarak ölçülmemektedir ve önemli bir veritabanı bulunmamaktadır. Akademik amaçlı yapılan kimi ölçümler (Topcu ve ark. 2001) ve bazı büyük illerde (Ankara, İstanbul, Bursa) az sayıdaki istasyonda gerçekleştirilen ölçümler dışında kentlerde sürekli olarak yapılan ozon ölçümleri bulunmamaktadır.

Türkiye'de arka plan ozon seviyelerinin incelendiği çalışmalar çok azdır. Bununla birlikte, Türkiye'ye komşu Yunanistan ve Bulgaristan gibi ülkelerde

yapılan çalışmalar (Donev ve ark. 2002) bu konuda bir fikir edinmek açısından göz önünde bulundurulabilir.

## 2.2. VOC'ler ve Ozon Oluşumu

Ozon oluşumunda önemli bir role sahip olduğu bilinen VOC'ler hem doğal hem de antropojen kaynaklardan yayılmaktadır. VOC'lerin doğal kaynakları ormanlar, tarım arazileri, kırsal alan ve tundralardır. Antropojen kaynakları ise motorlu taşıt araçları, fosil yakıt kullanan sabit kaynaklar, endüstriyel süreçler, düzensiz katı atık depolama alanları, kanalizasyon sistemleri, atıksu arıtma tesisleri, bazı tüketici ürünleri ve kapalı ortamdaki insan etkinlikleridir (Atasoy 2001).

Kesin bir genelleme yapmak doğru olmamakla birlikte, kent ortamlarında ozon oluşumu çoğunlukla VOC miktarı ile kısıtlıdır. Gelecekteki ozon azaltım hedeflerine ulaşabilmek için hem NO<sub>x</sub> hem de VOC emisyonlarının azaltılması gerektiği açık olsa da, ozon oluşumunun kentlerde çoğunlukla VOC miktarı ile sınırlanması ve VOC'lerin tepkimelerinin NO<sub>x</sub> ile karşılaştırıldığında çok daha karmaşık olması nedeniyle önemli sayıda çalışmada VOC'lerin reaksiyonları ve ozon oluşumuna katkıları incelenmiştir. Bu bölümde bu çalışmalardan bazılarında değinilmektedir.

Kentlerdeki ozon oluşumunun incelendiği çoğu çalışmada, kentlerde antropojenik VOC'lerin biyojenik olanlara göre çok daha baskın olması nedeniyle yalnızca antropojen VOC'lerin etkisi incelenirken, kimi çalışmalarda taşınan hava kütleleri ya da kentlerdeki bitki örtüsü nedeniyle biyojenik VOC'lerin de göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmaktadır.

Antropojen ya da biyojenik kaynaklı çok sayıda VOC bulunmakla birlikte her VOC'nin ozon oluşturma potansiyeli farklıdır. VOC'lerin ozon oluşturma potansiyelini ifade etmek için en sıklıkla başvurulan ölçek Carter (1994) tarafından geliştirilen Maksimum Tepkisellik Artışı (MIR: Maximum Incremental Reactivity) parametresidir (EK-1). Bu parametrelere ve diğer çalışmalara (örn. Chang ve ark. 2001) göre ozon oluşumunda etkisi en büyük olan VOC'ler isopren,

formaldehit, benzen, toluen, ksilen, eten ve propen ile bütan ve pentenin çeşitli izomerleridir.

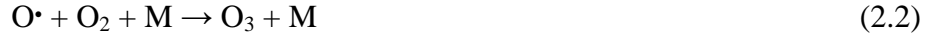
### 2.3. Troposferde Ozon Oluşumunun Temel Kimyası

Daha önce ifade edildiği gibi, ozon oluşumunda rol alan en önemli iki bileşen azot oksitler ve VOC'lerdir. Ozon ve fotokimyasal tepkimeler ile oluşan diğer ikincil kirleticilerin çok karmaşık bir yapıda olduğu akılda tutularak, ozonun NO<sub>x</sub> ve VOC ile olan ilişkisi çok basit olarak aşağıda özetlenmiştir.

NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> oluşumu arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gerçekleşir:



Burada  $h\nu$ , reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli ve güneş ışığı tarafından sağlanan uygun dalga boyundaki fotonun enerjisidir. 2.1 reaksiyonuyla oluşan tek atomlu oksijen daha sonra, aşağıdaki reaksiyonla ozon oluşumuna neden olur:



Burada M, yüksek enerjili O atomundan dolayı açığa çıkan fazla enerjiyi uzaklaştıran başka bir molekül (genellikle N<sub>2</sub> ya da O<sub>2</sub>) ya da bu tepkimenin oluşmasına olanak sağlayan bir aerosol yüzeyidir.

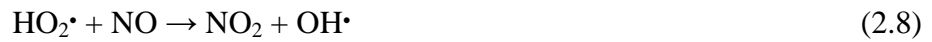
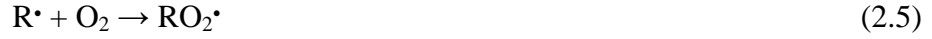
Yukarıdaki reaksiyonlarda ozon oluşmakla birlikte, ortamdaki NO'nun bir kısmı da NO<sub>2</sub>'ye yükseltgenme sırasında ozonun harcanmasını sağlar:



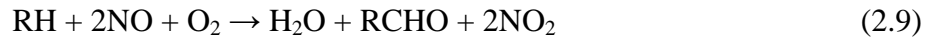
Böylece, O<sub>3</sub>, NO ve NO<sub>2</sub> arasında bir denge oluşur.

Yukarıdaki tepkimelerin VOC'lerin varlığı olmadan gerçekleştiğine dikkat edilmelidir. VOC'lerin varlığı durumunda, ozonun harcanmasını sağlayan (2.3) tepkimesi yerine NO'nun bir kısmının NO<sub>2</sub>'ye dönüşümü VOC'lerin etkisiyle

gerçekleşir. Bu durumda ise NO ile tepkimeye giremeyen O<sub>3</sub> birikmeye başlar. Oluşacak tepkimeler VOC'nin türü ve yapısına göre farklılıklar gösterir. Alkanların (RH), troposferik ozon oluşumuna neden olan tepkimeleri şu şekilde özetlenebilir.



(2.4), (2.5), (2.6), (2.7) ve (2.8) tepkimeleri toplandığında VOC ve NO arasındaki tepkime şu şekilde gerçekleşmiş olur:



Burada R, herhangi bir alkil grubu olabilir. Tepkimelerin başlamasında rol alan OH radikali troposferdeki arkaplan tepkimeleri ve diğer fotokimyasal tepkimeler (ozonun fotolizi, nitroz asidin fotolizi, HO<sub>2</sub> radikallerinin NO ile tepkimesi, vb.) nedeniyle yeterli miktarda bulunmaktadır ve troposfer kimyasındaki en önemli yükseltgenlerdendir.

Alkenlerin, VOC'ler içinde, ozon oluşumunda en önemli rolü oynadıkları bilinmektedir (EK-1). (2.4) tepkimesinde, bir alkanla OH radikalinin tepkimesinde, alkandan ayrılan bir hidrojenin su molekülü oluşturmasıyla tepkimelerin başladığı görülmektedir. Alkenler söz konusu olduğunda ise, hidrojen kopması, OH ile tepkimenin %5'den az kısmını oluşturur (Seinfeld ve Pandis, 1998). Baskın olan tepkime ise, OH'ın alkendeki çift bağa eklenmesidir. Bu eklenme sonucu başlayan ve çeşitli radikallerin olduğu tepkimeler boyunca NO'nun NO<sub>2</sub>'ye dönüşümü gerçekleşir. Eten-OH tepkimesi ile başlayan mekanizmanın (Seinfeld ve Pandis, 1998), net tepkimesi şu şekilde verilir:

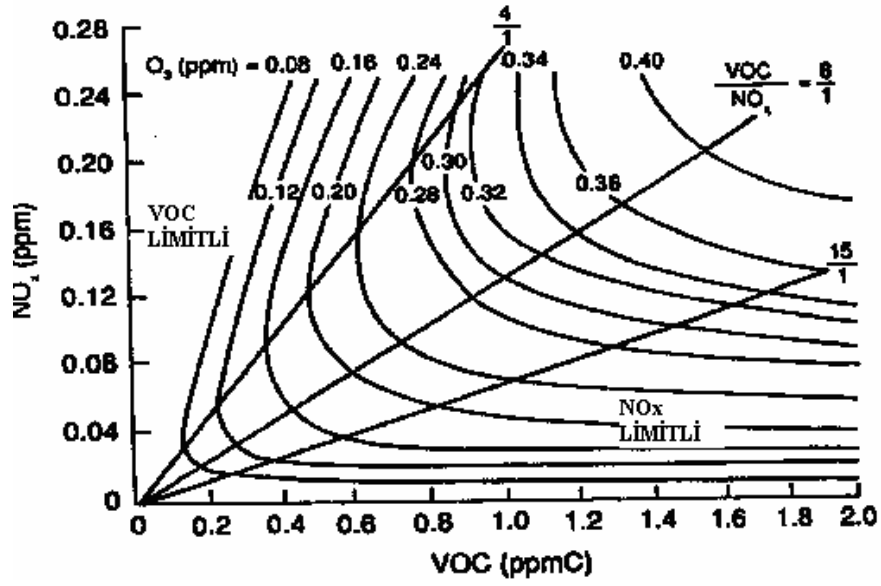


(2.9) ve (2.10) dikkat çeken nokta, OH radikalının katalizör durumunda olması ve bu tepkimelerden tükenmeden çıkmasıdır. Bu nedenle tek bir OH radikali çok sayıda ozon molekülünün oluşumuna neden olabilmektedir.

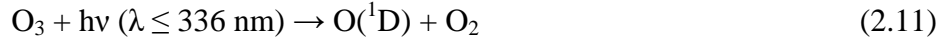
Meydana gelen tepkime serileri çok farklı ve karmaşık olmakla birlikte, pek çok diğer organik molekülün (bunlara doğal bitki örtüsünden kaynaklanan biyojenik organikler de dahildir), ozon oluşumuna katkısının temelinde, çoğunlukla doymamış olan ve çift bağlar içeren bu bileşiklerin çift bağlarına OH radikalının eklenmesi sonucu meydana gelen radikallerin, ozonun yükseltgeyici rolünü üstlenerek ve onun önüne geçerek ozonun troposferde birikmesine neden oluşu yatmaktadır.

Görüldüğü gibi, ozon seviyelerini belirleyen en önemli atmosferik bileşenler azot oksitleri ile uçucu organik bileşiklerdir. Bu bileşen gruplarının atmosferik derişimlerinin oranı, ozon oluşumunun anlaşılması ve ozon azaltımına yönelik çalışmaların izleyeceği yol açısından önemlidir. Şehir atmosferinde, çoğunlukla, NO<sub>x</sub> emisyonları daha yüksektir. Bu durumda, VOC emisyonlarının NO'nun yükseltgenmesi sürecine girişimi belli bir süre sonra etkisini yitirecektir ve NO<sub>x</sub>'ler ile ozon arasında bir denge konumuna yaklaşılabilecektir. Bu durum, VOC-limitli (VOC limited) rejim olarak tanımlanır çünkü VOC emisyonlarındaki herhangi bir değişiklik, bahsedilen NO<sub>x</sub>-ozon dengesini etkilemeye başlayacaktır. NO<sub>x</sub> emisyonları çoğunlukla antropojenik etkinliklere bağlı olduğundan, şehirlerden uzaklaştıkça NO<sub>x</sub>/VOC oranı düşmeye başlar. Bu rejim ise NO<sub>x</sub>-limitli (NO<sub>x</sub> limited) olarak tanımlanır. Şekil 2.1'de de görülebileceği gibi, böylesi bir rejimde VOC miktarındaki bir artışın ozon seviyelerine etkisi çok düşükken, NO<sub>x</sub> seviyelerindeki bir artış, ozonda da önemli oranda artışa neden olacaktır. VOC-limitli rejimlerde de bunun tersi geçerlidir.

Ozonla birlikte troposferdeki en önemli yükseltgen OH radikalıdır. Ozonun troposferdeki önemli etkilerinden biri de OH radikalının oluşumuna olan katkısıdır. Antropojenik kaynaklara uzak alanlarda OH'in en önemli kaynağı, ozonun elektronik olarak uyarılmış haldeki O(<sup>1</sup>D)'a fotolizi ardından su buharıyla verdiği tepkimedir (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000):



Şekil 2.1. NO<sub>x</sub>/VOC oranının ozon seviyesine etkisi (Nevers, 1995)



Görüldüğü gibi O(<sup>1</sup>D)'nin verdiği tek tepkime OH radikali üretimi değildir. Ozonun fotoliziyle oluşan uyarılmış oksijen atomlarının bir kısmı su buharı ile tepkime sonucu OH radikali oluştururken, bir kısmı da enerjisini kaybederek temel haldeki oksijen atomuna ( O(<sup>3</sup>P) ) dönüşür. Oluşan bu oksijen atomu daha sonra moleküler oksijenle birleşerek tekrar ozon üretir. Bu nedenle troposferdeki su buharı miktarının da troposfer fotokimyasında önemli bir yeri vardır.

Daha önce de belirtildiği gibi, OH radikallerinin, kirli atmosferdeki en önemli kaynakları nitröz asidin fotolizi, hidrojen peroksitin fotolizi ve HO<sub>2</sub> - NO tepkimesidir.





Tepkime (2.16)'da, atmosferdeki önemli bir diğer yükseltgen olan HO<sub>2</sub> radikali görülmektedir. HO<sub>2</sub> radikalinin kaynağı, diğer tepkimelerden kaynaklanan H ya da HCO'nun O<sub>2</sub> ile olan tepkimesidir.



Bu nedenle, formaldehitin ve diğer aldehitlerin fotolizi, HO<sub>2</sub>'nin önemli kaynaklarıdır.



Burada verilmiş olan tepkimeler bir özet niteliğindedir. Troposferde aynı anda süren pek çok farklı tepkime yukarıdaki tepkimelere girişim yapar. Örneğin NO<sub>2</sub>'nin OH ile tepkimesi sonucu nitrik asit oluşumu, NO<sub>2</sub>'yi ozon oluşumu döngüsünden çıkarır:



Görüldüğü gibi, ozon oluşumunda, güneş enerjisinin etkisiyle gerçekleşen fotolitik tepkimelerin önemi büyüktür. Fotolitik tepkimelerin hızını belirleyen diğer etkenlerin (coğrafi konum vb.) yanında atmosferdeki partikül miktarı da yer almaktadır. Atmosferdeki partiküller, güneş ışınlarının saçılımı, yansımaları ve absorplanmasına etki ettiklerinden, troposferdeki etken güneş ışını miktarını da etkiler. Partiküllerin troposferik kimyadaki bir diğer rolü de, bazı tepkimelerin gerçekleşmesini kolaylaştıran yüzeyleri oluşturmaları ve uyarılmış haldeki bazı atom ve moleküllerin enerjisini absorblayarak, tepkimelerin bir basamağından sonrakine geçişte meydana gelebilecek olasılıkları belirlemeleridir.

## 2.4. Modelleme Çalışmaları

Atmosferik bir bileşenin herhangi bir noktadaki derişimini belirlemenin en güvenilir yolu, geliştirilmiş standart yöntemlerden biriyle ölçümünü gerçekleştirmektir. Ancak, atmosferik bileşenlerin çoğunun bu ortamda tepkimeleri sürdürüyor olması yanında her ölçüm yönteminin maliyeti ve gerektirdiği emek, istenen ölçümün istenen her noktada ve her an için yapılmasını çok güç ya da olanaksız kılmaktadır. Bu nedenle, ölçümlerin gerçekleştirileceği noktalar, ait olduğu bölgeyi olabildiğince iyi temsil edecek şekilde ve belli kriterlere göre seçilir. Yine de, atmosferik bileşenlerin uzaysal (spatial) dağılımını ayrıntılı olarak ölçüm yoluyla belirlemek her koşulda mümkün olmamaktadır. Pasif örnekleyicilerle analiz, uzaysal dağılımı belirlemek için ekonomik çözümler arasında yer alsa da, bu yöntemle ayrıntılı zamansal değişimler gözlenememektedir. Bu durumda, hava kalitesi belirleme ve yönetiminde devreye giren etkin araçlardan biri modelleme yaklaşımı olmaktadır. Hava kalitesini belirleyen etkenlerin çok sayıda olmasına ve çok karışık mekanizmalar içermesine rağmen, bu etkenlerin ve mekanizmaların en önemli sayılabilecek olanları ile ilgili önemli bulgular elde edilmiş ve hava kalitesini belirleyen atmosferik fiziksel ve kimyasal mekanizmaların önemli bir bölümü açıklanabilmiştir. Bugüne dek açıklanabilmiş olan bu fiziksel ve kimyasal mekanizmaların matematiksel modellerinin geliştirilmesi ve ilgili çözümlerin hızlı bir şekilde üretilmesini sağlayan bilgisayarların varlığı sayesinde bazı modeller geliştirilebilmiş ve bu modellerin, hava kalitesini gerçeğe oldukça yakın kestirebildiği pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Elbette hiçbir modelin gerçeği %100 doğrulukla kestirebilmesi beklenemez. Ancak sözü edilen mekanizmalardaki belirsizliklerin giderilebilmesi için çalışmalar sürekli devam etmekte ve yeni bulgularla, modellerin içerdiği mekanizma ve modeller sıklıkla güncellenmektedir.

Ozon oluşumuna olan ilgi ve onunla birlikte gelen planlama stratejileri nedeniyle son yıllarda literatürde çok sayıda çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmalarda çok farklı modeller ya da model bileşimleri kullanılmakta ve farklı modellerin sonuçlarının birbirleriyle ve ölçülen ozon seviyeleriyle karşılaştırıldığı çalışmalar bulunmakla birlikte (Blanchard ve Stoeckenius 2001), güvenilirliği

üzerinde en çok birleşilen ve öne çıkan iki model olarak Urban Airshed Model (UAM) (Ziomas ve ark. 1998, Varinou ve ark. 1999, Allen ve ark. 1998) ve Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) (Kumar ve Lurmann 1997, Andreani-Aksoyoglu ve ark. 2001) görülmektedir.

Pek çok açıdan benzerlik gösteren UAM ve CAMx modellerinin ortak özellikleri çok ölçekli, üç boyutlu fotokimyasal grid modelleri olmaları, kentsel ya da bölgesel ozon modellemesi çalışmalarında ve kontrol stratejisi planlamalarında kullanılabilmesidir.

Özellikle kentsel ozon oluşumun modellenmesi söz konusu olduğunda UAM ve CAMx modellerinin çoğunlukla birbirlerine ve ölçüm yoluyla elde edilen verilere yakın sonuçları verdiği görülmüştür (Blanchard ve Stoeckenius 2001, Kumar ve Lurmann 1997). Ancak bazı çalışmalarda, bölgesel ölçekte ozon oluşumu modellendiğinde CAMx modelinin daha doğru sonuçlar ürettiği savunulmaktadır (Andreani-Aksoyoglu ve ark. 2001).

CAMx, bir grid modelidir ve her grid hücresinde modellenen prosesler emisyon, dispersiyon, kimyasal reaksiyonlar ve kuru ve yağ çökeltmedir. CAMx'in temel denklemi Euler süreklilik denklemidir ve denklem dahil edilecek her kimyasal bileşen için çözülür. Nested grid özelliği sayesinde, geniş bölgeleri incelerken büyük gridler kullanılırken, kentsel bölgelerde ayrıntılı analiz için daha küçük gridler kullanılabilir. Genel denklem, Euler denklemi olmakla birlikte, bir grid hücresi içindeki büyük kaynakların hücre içindeki büyümesi Lagrange modülü ile çözülür (CAMx User's Guide 2005).

CAMx modelindeki kimyasal reaksiyon mekanizmaları, Carbon Bond Mechanism version 4 (CBM-IV) ve SAPRC99 mekanizmaları üzerine kuruludur. Her iki mekanizma da çok sayıda reaksiyonu, reaksiyon hız sabitleri ile birlikte içermektedir (CBM-IV: 96 reaksiyon; SAPRC99: 184 reaksiyon). Kullanılış amacı ya da giriş verisine göre bu reaksiyonların yalnızca istenenleri dahil edilebilme, istenirse yeni reaksiyonlar tanımlanabilmektedir.

## 2.5. Ozon Oluşumu ve Modellemesi ile İlgili Literatür Araştırması

Ozon ve fotokimyasal dumanı oluşturan diğer ikincil fotokimyasal kirleticilerin ( $H_2O_2$ , HONO,  $N_2O_5$ , HCHO,  $CH_3OOH$  vb.) oluşumuyla ilgili kimyasal süreçler Jenkin ve Clemitschaw (2000) ve Seinfeld ve Pandis (1998) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Hanna ve ark. (2001) UAM-V fotokimyasal grid modelini kullandıkları ve giriş verisindeki belirsizliklere bağlı olarak, modellenen ozon derişimi belirsizliklerini inceledikleri çalışmalarında, ozon derişimindeki belirsizliklerin en çok  $NO_2$  fotoliz hızındaki belirsizliklere bağlı olduğunu belirtmiştir. Etkili olan diğer parametreler ise rüzgar hızı ve yönü, bağıl nem, bulutluluk, biyojenik VOC emisyonlarıdır. Model bulgularından çıkan ilginç bir sonuç ise, hedeflenene ek %50  $NO_x$  indiriminin gelecek derişimlerini azaltmada etkili olacağı, fazladan %50 VOC indiriminin etkili olmayacağıdır.

Benzer sonuçlar, Yarwood'un (2001) çalışmasında da gözlenmiştir. Bu çalışmaya göre, hedeflenen yıl göz önüne alındığında VOC/  $NO_x$  Duyarlılık Testleri sonucunda %50  $NO_x$  indiriminin koşullara göre %25'e varan ozon azaltım etkisi görülürken %50 VOC indirimi en fazla %4'lik bir azalma sağlamaktadır. Bu sonuçlar, CAMx fotokimyasal modelinin kullanılması sonucunda elde edilmiştir.

Barna ve ark.'nın (2001) modelleme çalışmasında ise, yalnızca VOC azaltımı ya da VOC ve  $NO_x$  indiriminin ozonu azalttığı görülürken, yalnızca  $NO_x$  azaltımının ozonu arttırdığı görülmüştür. Bu çalışmada MM5, Calmet ve Calgrid'den oluşan bir modelleme sistemi kullanılmıştır.

Clapp ve Jenkin (2001) İngiltere'de, açık ortam  $O_3$ ,  $NO_2$  ve NO düzeylerini  $NO_x$ 'in fonksiyonu olarak incelemiştir. Verili bir yerleşimde OX (oksitleyici:  $O_3$  ve  $NO_2$  toplamı) düzeylerinin  $NO_x$ 'a bağlı olan ve olmayan iki bileşeni olduğunu söylemektedirler. İlk bileşen bölgeseldir ve bölgesel arka plan  $O_3$ 'ü belirlemektedir. İkincisi ise yerel bir bileşendir ve birincil kirliliği oluşturmaktadır. Bu sonuç, kent dışlarında  $NO_x$ 'in, kentlerde ise VOC'nin ozon oluşumunu kontrol ettiği yönündeki görüşü desteklemektedir.

Ziomas ve ark.'nın (1998) UAM modelini kullandıkları çalışmalarında 36 farklı olası VOC ve  $NO_x$  azaltım senaryosu incelenmiş, genel sonuç olarak, ozon

oluşumunu azaltma stratejisinin NO<sub>x</sub>'dan çok VOC emisyonlarında bir azaltmayı öncelikli olarak ele alması gerektiği sonucuna varılmıştır.

MacDonald ve ark. (2001) 1996 Paso del Norte Ozone Study'den elde ettikleri verinin analizi sonucunda, yüksek ozon derişiminin öncelikli nedenleri olarak yüksek yer seviyesi sıcaklığı, az bulutla birlikte güçlü güneş ışığı, hafif yüzey rüzgarları ve sabah saatlerinde yer seviyesinde ozon öncüllerinin yüksek derişimi, ve konvektif sınır tabakasının yavaş gelişimi gibi koşulları ve bunların birleşik etkisini belirtmiştir.

Varinou ve ark. (1999) atmosferik model RAMS ve fotokimyasal model UAM'i birlikte kullandıkları çalışma sonucunda biyojenik emisyonlar gözönüne alındığında hesaplanan ozon derişimlerinde önemli bir artış olduğunu belirtmiştir. Bu fark, etkili bir bölgesel düzey taşınımın görüldüğü günlerde daha da belirginleşmektedir.

Kentlere, kent dışından taşınan hava kütleleriyle birlikte gelen biyojenik VOC'lerin yanında, kentlerdeki ağaçlandırma çalışmaları nedeniyle kent içlerinde oluşan biyojenik VOC emisyonlarının da önemli olabileceği Benjamin ve Winer (1998) tarafından belirtilmiş ve kentsel ağaçlar ve diğer bitkiler için ozon oluşturma potansiyelleri (OFP: Ozone forming potential) hesaplanmıştır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

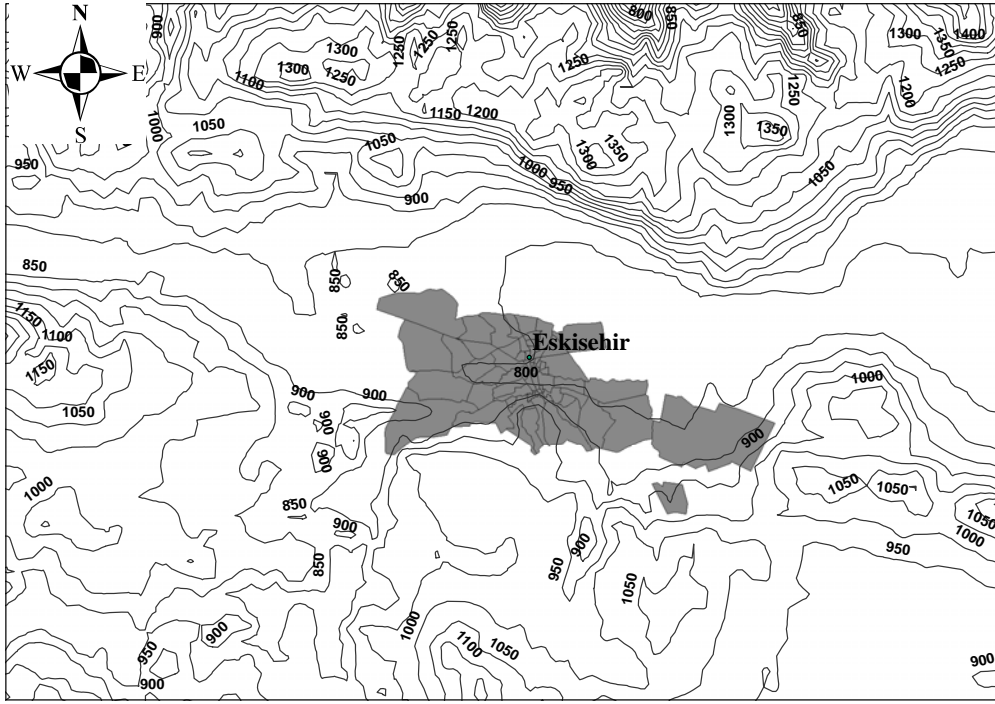
Bu bölümde, çalışma alanı kısaca tanıtılmış, çalışma alanında yürütülen ozon ölçümleri, kullanılan meteorolojik ve kimyasal modeller ile modelleme çalışmasının girdisi olan emisyon verilerinin derlenişi, ele alınışı ve hesaplanmasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

#### **3.1. Çalışma Alanı**

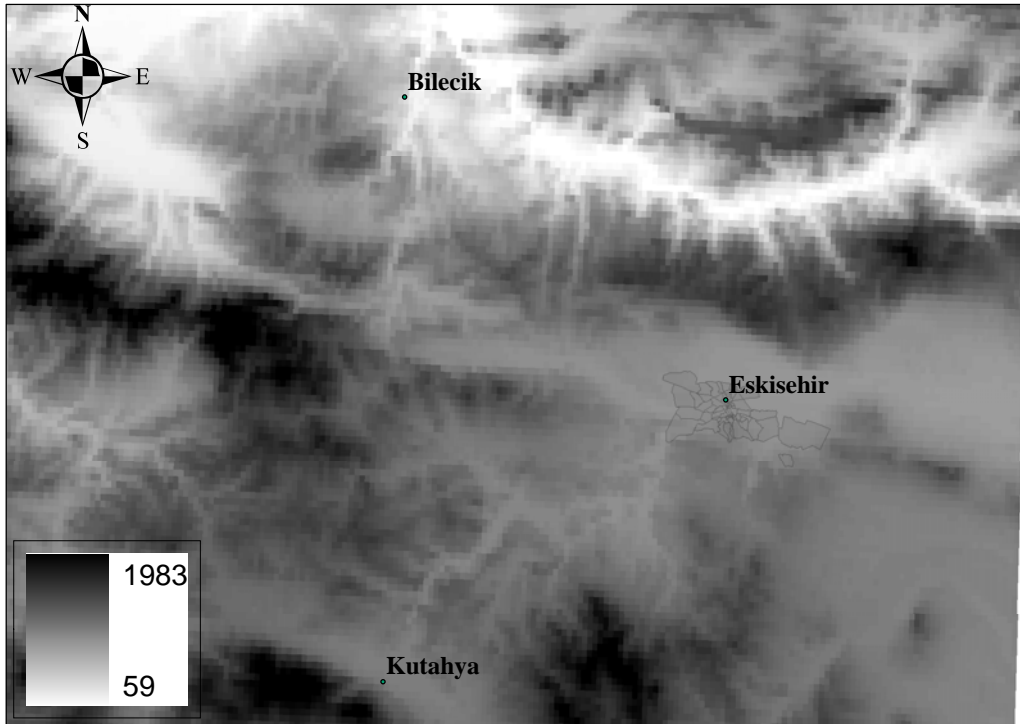
Çalışmanın meteorolojik ve kimyasal modelleme aşamalarında kullanılan tüm gridler göz önüne alındığında çalışma alanı Balkan ülkeleri ve Türkiye'nin batısını kapsasa da, bu kapsam aslen modellerdeki sınır koşullarındaki belirsizliği azaltma işlevi taşımaktadır. Çalışmanın odağında olan ve sonuçları itibariyle asıl ilgilenilen alan, Eskişehir kent merkezini de kapsayan ve ozon oluşumunun bölgesel niteliğinin de izlenebileceği şekilde seçilen bir bölgeden (Şekil 3.1) oluşmaktadır. Eskişehir ili ve özellikle merkez ilçesi, coğrafi ve iklimsel özellikler açısından Ege-Marmara-İç Anadolu bölgeleri için bir geçiş noktası özelliğindedir. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 800 m olan kentin batı ve kuzey yönündeki dağlar, bu mevsimsel geçişin ve bölgedeki kütleli hava hareketlerinin öncelikli belirleyicileri arasındadır.

#### **3.2. Açık Ortam Ozon Ölçümleri**

Bu tez kapsamında Eskişehir ilindeki ilk sürekli ozon ölçümleri de gerçekleştirilmeye başlamıştır. Ekim 2004'de Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusunda çalıştırılmaya başlayan cihazdan Ocak 2005'ten itibaren düzenli veri depolanmaktadır. Bu geçen süre içinde sürekli ozon ölçümlerinin 15 dakikalık ortalamaları saklanmaktadır.

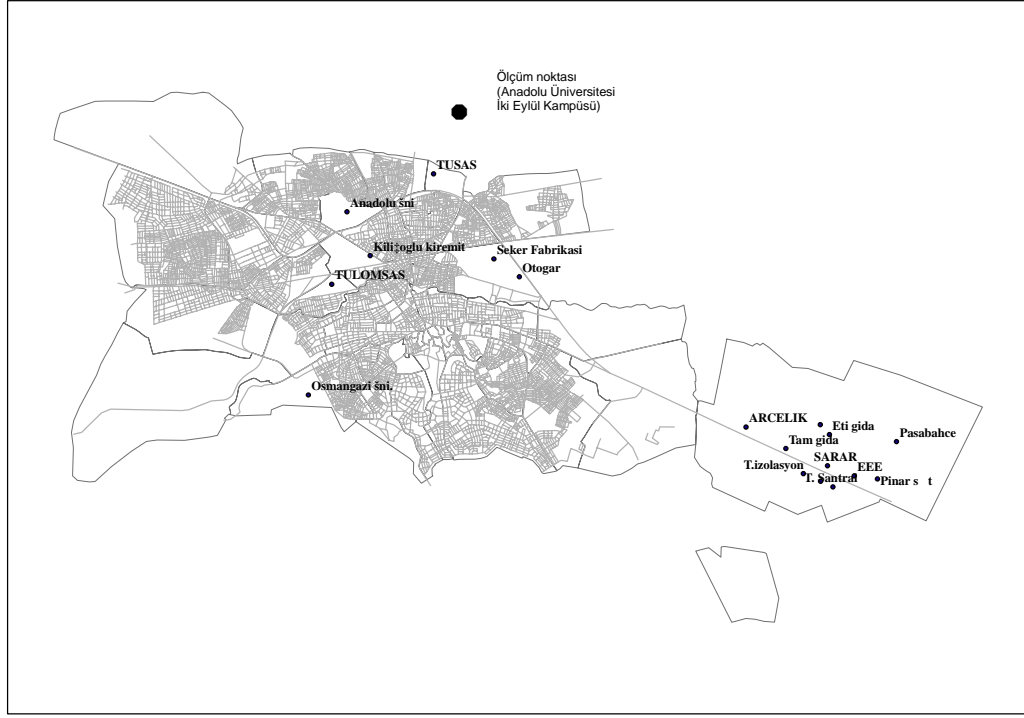


a)



b)

**Şekil 3.1** a) Eskişehir kent merkezi ve etrafındaki topografyanın eş yükselti eğrileriyle gösterimi (deniz seviyesinden yükseklik (m) )b) Eskişehir kent merkezi ve çevresinin yükseklik haritası (deniz seviyesinden yükseklik (m) )



**Şekil 3.2.** Eskişehir kent merkezi, önemli noktasal kaynaklar ve sürekli ozon ölçümünün gerçekleştirildiği noktanın konumu

Sürekli ölçümlerinin gerçekleştirildiği Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu, Eskişehir ilinin kuzeyinde, kent merkezine görece yakın bir konumda, yarı kentsel yarı kırsal bir alandadır (Şekil 3.2). Ozon mevsimi olan ilkbahar ve yaz aylarında hakim rüzgar yönünün kuzey-kuzeybatı-batı olması nedeniyle, şehirden kaynaklanan emisyonlara çoğunlukla maruz kalmayan ölçüm noktasının, Eskişehir için resmi meteorolojik verileri üreten DMİ meteoroloji istasyonuyla aynı kampus içinde ve oldukça yakın bulunması nedeniyle, ölçüm sonuçlarının meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmesi konusunda güvenilirliği arttıran avantajları da mevcuttur.

Ozon ölçümlerinde EPA onaylı (EQOA-0206-148) standart bir yöntem olan UV absorpsiyon yöntemiyle çalışan O342M model Environnement S.A. marka sürekli ozon analizörü kullanılmıştır. Ölçümlerin güvenilirliğinin kontrolü için cihaza harici sıfır filtresi ve dahili ozon jeneratörü eklenmiştir. Dahili ozon jeneratörü, kalibre edilmiş olduğu sabit bir değerde ozon üreterek cihazın iki nokta kalibrasyonunun yapılmasını sağlamaktadır. Cihazın sıfır ve span

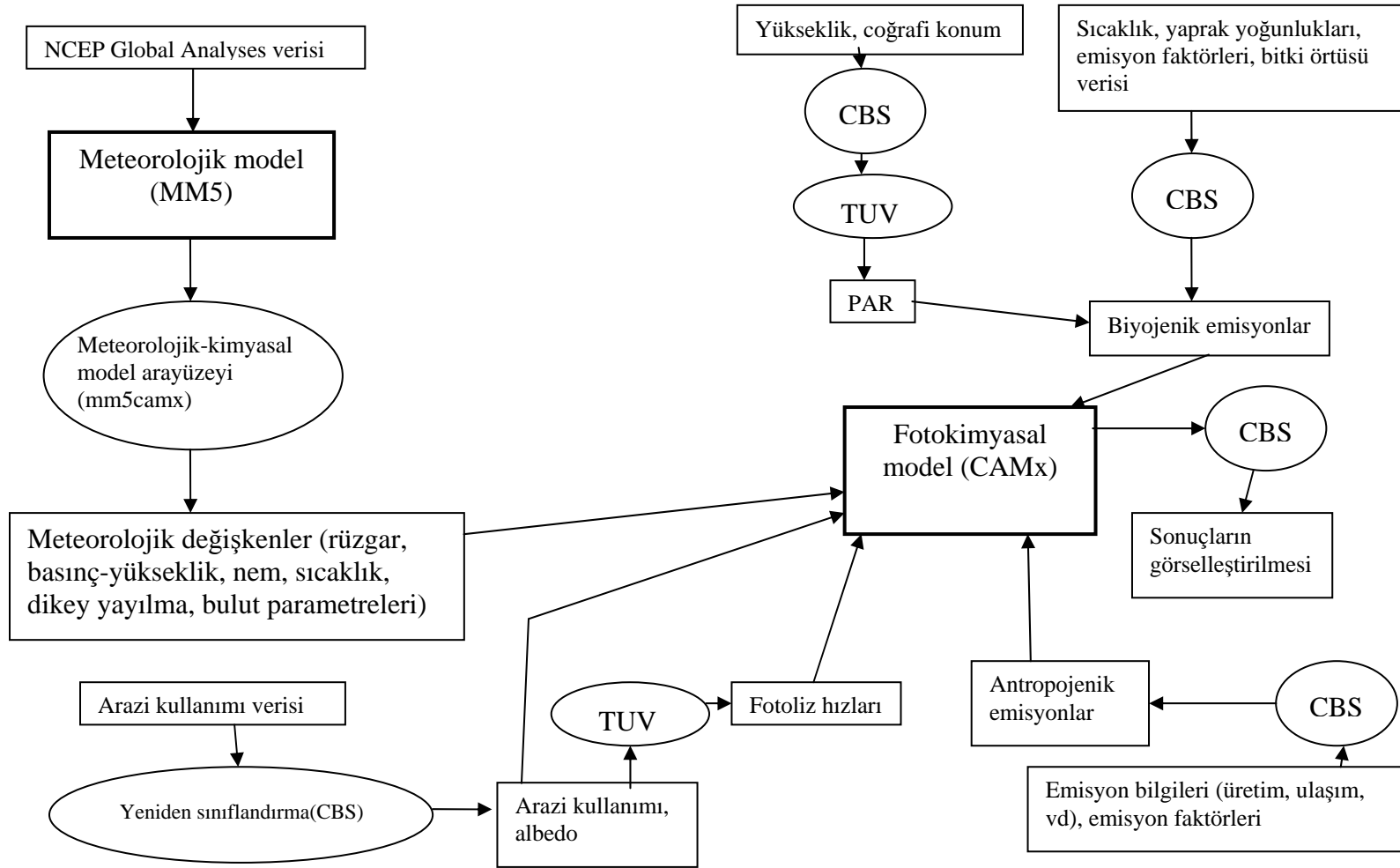


kontrolleri (aktif karbon ve MnO<sub>2</sub> yardımıyla ozondan arındırılmış havanın ve ozon jeneratörü tarafından üretilen ozonun değerlerinin olası sapmalarının kontrolleri) günlük ve otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın ilk aşamalarında açık ortam ozon derişimlerinin belirlenmesi için standart KI yöntemiyle de ölçümler gerçekleştirilmiştir (Canbaz, 2003; Çokgürses ve ark., 2003). Ancak sürekli ölçüm yapılması için elverişli olmayan bu yöntem oldukça emek yoğun bir süreçtir. Bu yöntemle gerçekleştirilen bazı ölçümlerde, daha sonra otomatik ozon analizörünün ölçüm sonuçlarında da gözlenen günlük değişimler gözlenebilmiştir. Ancak, genelde elde edilen sayısal sonuçlar gerçekçi olmayacak şekilde düşük çıkmıştır. Diğer bir deyişle, analiz sonuçlarında standart bir hata mevcuttur. Bu hatanın olası nedenleri, atmosfer havası ile analiz çözeltisi arasındaki temasının etkin gerçekleşmemesi, örnekleme sistemindeki olası kaçaklar ve gaz sayacının kalibrasyonundan kaynaklanan hatalar olarak düşünülebilir.

Bahsedilen KI yöntemiyle ve daha sonra otomatik ozon analizörü ile yapılan ölçümler dışında Eskişehir yöresi için ozonun ve NO<sub>2</sub>'nin pasif örnekleme yöntemiyle ölçüldüğü bir çalışma da gerçekleştirilmiştir (Özden, 2005). Sözü edilen çalışma kapsamında geliştirilen pasif örnekleme cihazlarıyla, Eskişehir kent merkezinin altı farklı noktasında Ocak 2004-Haziran 2006 ayları arasında NO<sub>2</sub>, Kasım 2004-Haziran 2006 ayları arasında ozon ölçümleri gerçekleştirilmiş, geliştirilen örnekleme cihazlarıyla birlikte ticari olarak satılan pasif örnekleme cihazlarıyla de zaman zaman paralel örnekleme yapılmıştır. Pasif örnekleme cihazlarıyla yürütülen çalışmada kış aylarındaki ortalama ozon derişimi 29 µg/m<sup>3</sup>, yaz aylarındaki ortalama ozon derişimi 40 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Bundan sonraki bölümlerde, çalışma kapsamında, ozon seviyelerinin model yardımıyla incelenmesinde kullanılan yöntemden bahsedilmektedir. Kullanılan metodoloji Şekil 3.3'te özetlenmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan metodoloji

### 3.3. MM5 Meteorolojik Modeli

Hava kalitesini belirleyen en önemli etkenler arasında meteorolojik koşullar yer aldığından, hava kalitesi modellemesinin zorunlu girdilerinden olan meteorolojik değişkenlerin, zamansal ve uzaysal olarak ayrıntılı değişimlerini belirlemek için bir meteorolojik modelin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, dünyada pek çok örnek uygulaması bulunan MM5 modelleme sistemi kullanılmıştır. MM5 ismiyle bilinen PSU/NCAR (Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research) orta ölçek (mesoscale) modeli, alan kısıtlı (limited-area), hidrostatik olmayan (nonhidrostatik), yer takipli (terrain-following), bir modeldir ve orta ölçekli, atmosferik karışımı tahmin etmekte kullanılan bir modeldir. Model, farklı ön ve son işlem (pre- and post-processing) programları tarafından desteklenmekte ve bu programlarla birlikte MM5 modelleme sistemi olarak adlandırılmaktadır (NCAR, 2005).

MM5 modelinin çok katmanlı ağ örgüsü özelliğinden yararlanılmış, model iki yönlü katmanlaştırma (two-way nesting) kullanılarak ve üç alan (domain) oluşturularak çalıştırılmıştır. Büyük domain, Balkan bölgesini ve Türkiye orta ve batı kısmını kapsayan ve 18 km x 18 km boyutunda kare örgülü ağlardan, ikinci ve üçüncü alanlar ise Eskişehir ve çevresini kapsayan ve sırasıyla 6 km x 6 km ve 2 km x 2 km boyutunda kare örgülü ağlardan oluşan alanlar olarak tasarlanmıştır. Model, 18:00 UTC saatinden başlayıp 78 saat süreyle, meteorolojik değişkenlerin saatlik ortalama değerlerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Modelin başlangıç ve sınır koşullarını sağlamak için NCEP Global Analyses verileri kullanılmıştır. NCEP Global Analyses veritabanı, meteorolojik istasyonlardan alınan verilerin interpolasyonu ile oluşturulmuş, görece düşük çözünürlüklü meteorolojik verileri içermektedir. MM5 modeli çalıştırılırken, her domain için, 33'er sigma seviyesinden oluşan aynı dikey yapılandırma kullanılmıştır. Sigma seviyesi, dikey bir koordinat skalası olup, basınç seviyesinin gerçek yer seviyesi basıncına oranını ifade etmektedir.

### 3.4. CAMx Kimyasal Modeli

Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) modeli, üç boyutlu ve katmanlaştırılmış gridlerden (nested grids) oluşan bir grid sisteminde, troposferdeki bileşenler için süreklilik denkleğini çözerek kirleticilerin emisyonlarını, dağılımlarını, kimyasal tepkimelerini ve giderimlerini simüle eder. Genel denklem şu şekilde verilir (CAMx User's Guide, 2005):

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_i}{\partial t} = & -\nabla_H \cdot V_H c_i + \left[ \frac{\partial(c_i \eta)}{\partial z} - c_i \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \right] + \nabla \cdot \rho K \nabla (c_i / \rho) \\ & + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{kimya}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{emisyon}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{giderim}} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Çoğu fotokimyasal modellerde bulunan ortak özelliklere ek olarak CAMx'i tercih edilen modeller arasında bazı özellikleri takip eden paragraflarda özetlenmiştir:

İki yönlü (two-way) nested grid yapısı: Katmanlaştırma özelliği sayesinde, yüksek çözünürlüklü bilginin sağlanmasına gerek olmayan geniş bir alan üzerinde modeli çalıştırırken daha küçük bir alanda, daha ince örgülü ağ yapısı sayesinde daha yüksek çözünürlükte veriyle çalışılabilmektedir.

Esnek katmanlaştırma: Bu özellik sayesinde modelin simüle ettiği zaman içinde istenen zaman aralıklarında yüksek çözünürlüklü bilginin devre dışı bırakılarak, yalnızca büyük örgülü ağ sistemiyle çalışarak bilgisayar zamanından tasarruf sağlanabilir (örneğin modelin kararlı hale gelmesi için gerekli "ısınma" (spin-up) süreci sırasında yalnızca büyük örgülü ağ sisteminin çözünürlüğünde çalışarak, ilerleyen saatler için istenilen bölge için daha yüksek çözünürlüklü veriler sisteme dahil edilebilir).

Fotokimyasal ve gaz fazı kimyası mekanizması seçimi: Kullanıcı Karbon Bağlı IV Mekanizmasının (CB-IV) dört versiyonu ya da SAPRC mekanizmasının 1999 versiyonu arasında seçim yapabilir. SAPRC99, güncellenmiş bir mekanizma alternatifi olarak sisteme dahil edilmiştir. Pek çok çalışmada tepkime kamarası

verisiyle mekanizma test edilmiş olup, VOC'lerin gruplandırılması için (lumping) CB-IV'den farklı bir yaklaşım kullanılmaktadır (CB-IV'de karbon bağlarına bağlı yapılar gruplandırılırken (lumped structure mechanism) SAPRC99'da moleküllerin gruplandırılması (lumped molecule mechanism) söz konusudur). Yani CB-IV mekanizmasında tüm moleküllerin ayrı ayrı tanımlanması yerine pek çok organik bileşiğin, karbon bağlarının (olefin, parafin, vb.) sayısı ile ifade edilmesi söz konusudur.

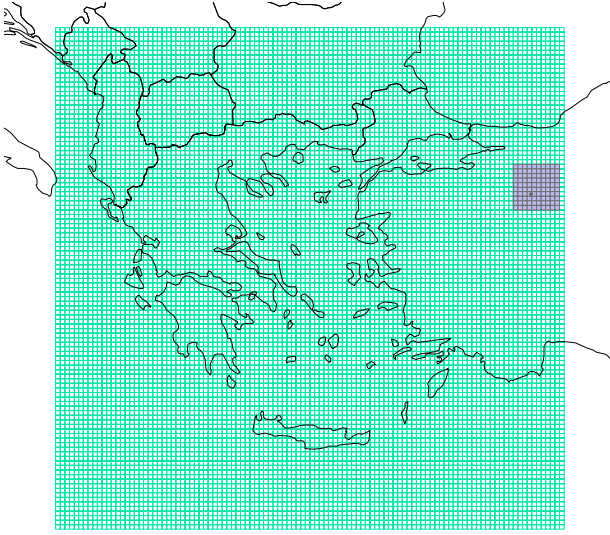
Bu çalışmadaki kimyasal model uygulamasında CAMx Mechanism 3 olarak adlandırılan kimyasal mekanizma kullanılmıştır. Bu mekanizma, ilk önce, CB-IV mekanizmasının, radikal-radikal sonlanma tepkimelerinin bölgesel modellenmenin gerektirdiği şekilde gözden geçirilmesi, daha sonra da isopren kimyasının güncellenmesi sonucu oluşturulmuştur (CAMx User's Guide, 2005). Bu mekanizma daha sonra reaktif klor kimyası (Mechanism 1) ile aerosol ve cıva kimyasını (Mechanism 4) da içerek şekilde güncellenmiş olsa da, söz konusu bileşenlerle ilgili bir emisyon envanteri bulunmaması nedeniyle bu mekanizmaların kullanımı bu çalışmada tercih edilmemiştir.

Bulut etkilerinin fotoliz hızına etkisinin ayrıntılandırılması: TUV modeliyle entegrasyon sayesinde, bulutların varlığında fotoliz hızlarının bulutluluğun etkisi altında tekrar hesaplanması mümkün olmaktadır.

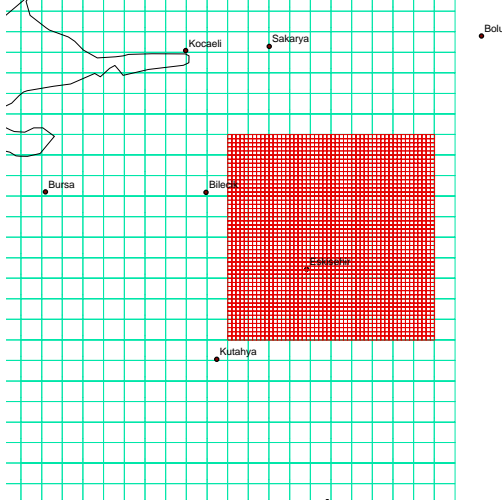
Modelleme alanını seçerken birbirini kısıtlayan iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlardan birisi, ozon oluşumunun bölgesel özelliği nedeniyle ilgililenen alan üzerinde etkili olabilecek olabildiğince fazla önemli kaynağı dahil etme isteği, diğeri ise model alanı genişledikçe emisyon bilgilerinde artması olası belirsizlik miktarıdır. Modelleme alanı fazla küçük tutulduğunda, önemli kaynakların dahil edilememesinin yanında bir başka önemli sorun da sınır koşullarındaki belirsizliklerin tüm model alanı üzerinde artan etkisidir. Elde başka bir veri bulunmadığı durumda, modelleme alanının sınırlarındaki koşulların genellikle bazı tipik değerlere eşit olduğu varsayılmaktadır. Bu çalışmada bu sorunu aşabilmek için, kimyasal modelde nesting özelliği kullanılmıştır. Bu özellik, dışta daha düşük çözünürlüklü büyük bir grid ile içte daha yüksek çözünürlüklü küçük bir gridin tasarlanmasına dayalıdır. Büyük grid olarak, mevcut bir çalışmadaki (Poupkou ve ark., 2004) ağ verileri kullanılarak, çok daha

geniş bir alanda emisyonlar tanımlanmış, böylece Eskişehir'i kapsayan küçük gridin sınır koşulları için varsayımlar yapmak yerine, sınır koşullarının da model tarafından meteoroloji ve emisyon verilerine bağlı olarak hesaplanması sağlanmıştır.

Modelleme alanı olarak seçilen alan, birim hücre boyutları 10 km x 10 km olan 1100 km x 1100 km boyutlarında (1210000 km<sup>2</sup>) büyük grid ile birim hücre boyutları 2 km x 2 km olan 100 km x 100 km boyutlarında (10000 km<sup>2</sup>) küçük gridten oluşan bir grid sistemiyle tanımlanmıştır (Şekil 3.4). Gridin tasarlanmasında, önemli emisyon kaynakları ve yaz aylarındaki hakim rüzgar yönü göz önünde bulundurularak, Eskişehir il merkezini gridin merkezine yerleştirmek yerine, batı-kuzey-kuzeybatı yönündeki emisyonları dahil edebilmek amacıyla, Eskişehir il merkezi gridin güneydoğu kesiminde kalacak şekilde bir tasarım tercih edilmiştir (Şekil 3.5). Modelleme alanının Eskişehir dışındaki başka illeri de kısmen kapsayacak şekilde seçilmesinin nedeni, ozon oluşumunda bölgesel etkilerin olası katkıları olacağından, bölgesel ölçekte önemli sayılacak nokta ve alan kaynakları da hesaba katabilmektir.



**Şekil 3.4.** Modelleme alanının konumu (Modellemede nesting özelliğiyle kullanılan büyük ve küçük gridin konumları)



**Şekil 3.5.** Modelleme alanındaki küçük gridin ayrıntılı konumu

Model girdilerinin kaynakları ve işlenmesine ait bilgiler takip eden paragraflarda verilmektedir.

CAMx modelinin çalıştırılabilir (executable) dosyası, uygun bir FORTRAN derleyicisi ile hazırlanır. Kişisel bilgisayarda çalıştırılacak UNIX tabanlı işletim sistemlerinde (çoğunlukla Linux) genellikle Portland Group Fortran® (pgf) ya da Intel® derleyicileri tercih edilmektedir. Bu çalışma için pgf derleyici kullanılmıştır.

Programın çalıştırılması için hazırlanan kontrol dosyasında, çalıştırılabilir dosyanın ve çıktılarının bilgisayarda saklanacağı konum gibi bilgiler girilir. Modelin çalışması sırasında gerekli bilgiler (modelleme alanının tanımı, grid sayısı, ince gridlerin ana gride göre konumu-büyüklüğü, modelleme süresi, emisyonlar, fotoliz hızları, vb.) “CAMx.in” adı verilen bir dosya adı altında girilir. Bu dosyanın adının değiştirilmesi, modelin kaynak kodlarında değişiklik yapmak şartıyla olası olsa da önerilmemekte ve bu dosya her zaman “CAMx.in” adıyla hazırlanmaktadır. Çalışma sırasında kullanılan kontrol dosyalarına bir örnek EK 2’de verilmiştir. Kontrol dosyası içinde “CAMx.in” dosyasının hazırlanması da sağlanmaktadır. Kontrol dosyasında konumu tanımlanan verilerden emisyonlarla ilgili ayrıntılı bilgi diğer bölümlerde verildiğinden bu başlık altında anlatılmamıştır. Programın yapısına göre ASCII ya da ikili (binary) yapısında

hazırlanması gereken veriler, “CAMx.in” dosyasındaki sırasıyla şu şekilde özetlenebilir:

**Kimyasal Parametreler:** Bu girdi dosyasının içeriği, daha önce bahsedilen kimyasal mekanizma seçeneğine bağlıdır. Bu dosyada, modelleme sırasında dahil edilecek bileşenler, fotolitik olan ve olmayan tepkimeler, tepkime türleri ve dereceleri gibi bilgiler verilir. Seçilen standart mekanizmalara ait dosyalar modelle birlikte sağlanmakta ancak araştırmacıların kendi mekanizmalarını tanımlamalarına ya da mevcut mekanizmalar üzerinde değişiklikler yapmasına olanak sağlanmaktadır.

**Fotoliz Hızları:** Fotoliz hızları, seçilen kimyasal mekanizmadaki tüm fotolitik tepkimeler için dört değişkene (ozon kolonu, albedo, pus, yer seviyesinden yükseklik) bağlı olarak mekanizmada yer alan tüm fotolitik tepkimeler için verilir. Model geliştiricileri tarafından, fotoliz hızları dosyasının hazırlanması için TUV modelinin kullanılması önerilmektedir.

**Başlangıç koşulları, sınır koşulları, en üst seviye derişimleri:** Modelin başlangıç anı için her grid elemanına ait başlangıç hava kalitesi değerleri ve modelleme alanının sınırlarına ait hava kalitesi değerleri ile modelleme hacminin en üst seviyesindeki sınıra ait derişim değerlerinin verilmesi gerekmektedir. Ölçüm verilerinin her zaman elde edilmesi olası olmadığından, modelleme çalışmalarında sık başvuru alan bir yöntem, bu veriler için bazı tipik değerlerin ya da arka plan değerlerinin kullanılmasıdır. Bu yaklaşım, modellemenin ilk zaman basamaklarında yanlış sonuçlara neden olabilese de, 24 saatlik bir “ısınma” aşamasından sonra, sınır koşulları ve başlangıç koşullarından kaynaklanan hataların en aza indiği bilinmektedir (Blanchard ve Stoeckenius, 2001). Bu çalışmada da sınır ve başlangıç koşulları için bazı arka plan değerleri kullanılmıştır. Bundan kaynaklanan hataları en aza indirmek üzere, modelleme için bir “ısınma (spin-up)” süresi başa eklenerek, toplam 4 günlük simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İlk güne ait model sonuçları, yorumlarda kullanılmamıştır. Bu çalışmada kullanılan nested grid özelliği sayesinde, yüksek çözünürlüklü küçük gride ait sınır koşulları sabit varsayılmak yerine, modelin her zaman basamağında büyük grid değerlerinden hesaplanarak güncellenmektedir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, küçük gride dört yönde tampon hücre sıra ve sütunları



eklenir. Örneğin bu çalışmada sonuçları sunulan 50x50 boyutlarındaki küçük grid için aslında 52x52 boyutlarında bir grid tanımlanmış, tampon hücreler için de gerekli tüm veriler (meteorolojik parametreler, arazi kullanımı, vb.) girilmiştir. Modelin her zaman basamağında, tampon hücreler için hava kalitesi değerleri, çakışık olduğu büyük hücrenin değerlerine göre program tarafından doldurulur. Model sonuçları değerlendirilirken ise, tampon hücrelere ait değerler göz ardı edilir.

**Albedo – pus - ozon kolonu:** Fotolitik tepkimelerin dahil edildiği bir model çalışmasında, fotoliz hızları yer yüzeyinin yansıtma özelliğine, atmosferin geçirgenliği ve saçma özelliğine ve ozon kolonu yoğunluğuna bağlı olacağından, bu tip bir çalışmada yer yüzeyinin UV albedo değeri, pus (haze) ve ozon kolonu yoğunluğu değerlerinin verilmesi gerekir. Bu verinin hazırlanması için kullanılan programın girdileri; arazi kullanımı bilgileri ve TOMS verisetinden (http-8) elde edilebilen günlük ozon kolonu değerleridir. CAMx girdisi olan albedo, yalnızca yer yüzeyiyle ilişkili UV albedosudur. CAMx modeli kapsamında albedo değerleri 0.04 (su yüzeyi) ile 0.08 (kentsel ve kurak alanlar) arasında değişmektedir. Ancak, eğer modelin çalıştırılacağı zaman diliminde karla kaplı alanlar mevcutsa, bu alanlar için daha yüksek albedo değerleri verilebilmektedir. Karla kaplı yüzeylerin yansıtma etkisi çok daha büyük olduğundan, program geliştiriciler tarafından önerilen albedo değeri 0.5'dir (CAMx User's Guide, 2005). Bu çalışmada incelenen tarihler yaz aylarına denk geldiğinden, karla kaplı alan yoktur ve albedo değeri 0.04 ile 0.08 arasında değişmektedir.

**Nokta kaynaklar:** CAMx ve diğer hava kalitesi modellerindeki grid yaklaşımı, bir grid içindeki tüm emisyonların o gride eşit olarak dağıldığı zorunlu varsayımını beraberinde getirir. Ancak özellikle yüksek emisyonlara sahip nokta kaynakların gridin her bir sınırına etkisi ayrı olabileceğinden, önemli nokta kaynakların bacasından çıkan dumanın grid içine dağılımı için Plume-in-Grid (grid içinde duman) modülü geliştirilmiştir. Çalışma alanındaki nokta kaynaklara ait ayrıntılı bilgiye (baca uzunluğu, çapı, baca gazı sıcaklığı vb.) sahip olunmadığından, isteğe bağlı olan bu modül bu çalışmada kullanılmamıştır.

**Arazi kullanımı:** Yukarıda da belirtildiği üzere yer yüzeyindeki arazi kullanım şekli, yansıtma ve ona bağlı başka etkenleri belirleyeceği için, arazi kullanımı verisi,modelin zorunlu girdileri arasındadır.

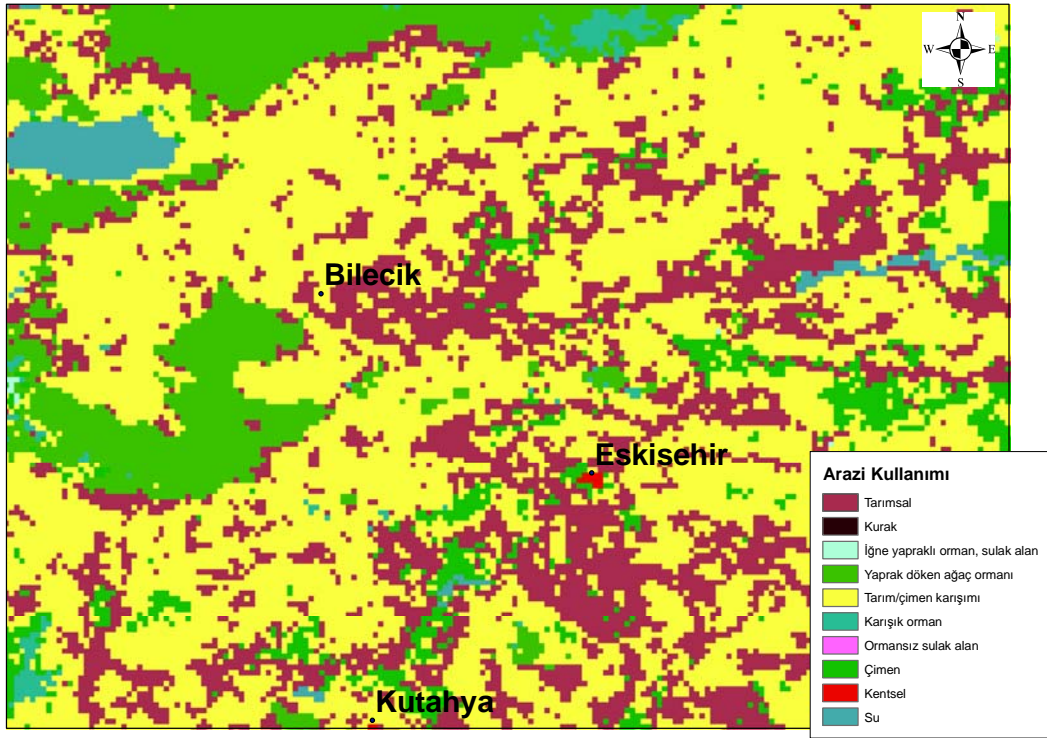
Kullanım amacına ve ulaşılabilir veriye bağlı olarak farklı arazi kullanım sınıflandırmaları ve verisetleri mevcuttur. Bu çalışmaya ait alan kullanımına ait veriler için “USGS Land Use/Land Cover System” veritabanı kullanılmıştır. CAMx modelleme sisteminde arazi kullanımı 11 sınıfta toplanmıştır. Uydu verisine dayalı USGS Land Use/Land Cover System Legend arazi kullanımı veritabanında ise toplam 24 sınıflandırma mevcuttur. Bu nedenle tüm arazi kullanım verisi, en uygun CAMx sınıflandırmasına göre, bu çalışma kapsamında yeniden tanımlanmıştır. USGS Land Use/Land Cover System Legend arazi kullanımı veritabanındaki arazi kullanımı kategorilerinin, CAMx kategorilerine göre yeniden sınıflandırılması Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, USGS sınıflandırmasında yer alan tundra vb. arazi kullanımı gruplarının, CAMx sınıflandırmasındaki en yakın kategori olan çimen kategorisine dahil edilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmiştir. Yeniden sınıflandırma işleminde genel yaklaşım, belli bir CAMx sınıflandırmasına en yakın USGS kategorilerinin bir araya toplanmasıdır. CAMx sınıflandırmasında yer alan “kayalık” arazi sınıflandırmasına yakın bir USGS sınıflandırması bulunmadığından, aslında 24 farklı USGS kategorisinin, toplam 10 CAMx kategorisine indirgenmesi söz konusudur. Çizelge 3.1 esas alınarak belirlenen yani sınıflandırmaya göre arazi kullanımı verilerinin değiştirilmesi, CBS kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.

Bu sınıflandırmaya göre hazırlanan arazi kullanımı haritalarına ait bir örnek, Şekil 3.6’da görülmektedir. Buna göre Eskişehir çevresinde arazi kullanımında çoğunlukla tarımsal ve otlak alanı ile bunların karışımı ağırlıktadır.

CAMx modelinin çalışmasında zorunlu girdilerden biri olan arazi kullanım verisi, aynı zamanda bir başka zorunlu girdi olan albedo-pus-ozon kolonu verisinin hazırlanmasında da kullanılır.

**Çizelge 3.1.** USGS Land Use/Land Cover System Legend veritabanındaki arazi kullanımı kategorilerinin CAMx kategorilerine göre yeniden sınıflandırılması

CAMx Kategori Numarası	CAMx Arazi Kullanım Kategorisi	USGS Kategori Numarası	USGS Arazi Kullanım Kategorisi
1	Kentsel (Urban)	1	Kentsel ve Yapılaşmış Alan (Urban and Built-Up Land)
2	Tarımsal (Agricultural)	6	Tarım/Orman Mozaiği (Cropland/Woodland Mosaic)
3	Çimen (Rangeland)	7	Çimen (Grassland)
		8	Çalılık (Shrubland)
		9	Çalılık/Çimen Karışımı (Mixed Shrubland/Grassland)
		10	Savana (Savanna)
		20	Bitkisel Tundra (Herbaceous Tundra)
		21	Tahtalık tundra (Wooded Tundra)
		22	Karışık tundra (Mixed Tundra)
		23	Çıplak Tundra (Bare Ground Tundra)
4	Yaprak döken ağaç ormanı (Deciduous forest)	11	Yaprak döken geniş yapraklı ağaç ormanı (Deciduous Broadleaf Forest)
		12	Yaprak döken iğne yapraklı ağaç ormanı (Deciduous Needleleaf Forest)
5	İğne yapraklı ağaç ormanı, sulak alan (Coniferous forest, wetland)	18	Tahtalık sulak alan (Wooded Wetland)
		14	Herdem yeşil iğne yapraklı ağaç ormanı (Evergreen Needleleaf Forest)
6	Karışık orman (Mixed forest)	13	Herdem yeşil geniş yapraklı ağaç ormanı (Evergreen Broadleaf Forest)
		15	Karışık orman (Mixed Forest)
7	Su (Water)	16	Su kütleleri (Water Bodies)
		24	Kar/Buz (Snow or Ice)
8	Kurak-verimsiz arazi (Barren land)	19	Verimsiz ya da seyrek bitki örtülü (Barren or Sparsely Vegetated)
9	Ormansız sulak alanlar (Non-forested wetlands)	17	Bitkisel sulak alan (Herbaceous Wetland)
10	Tarım/çimen karışımı (Mixed agricultural/range)	2	Kuru alan, tarımsal alan ve otlak (Dryland Cropland and Pasture)
		3	Sulu tarım alanı ve otlak (Irrigated Cropland and Pasture)
		4	Kuru alan, sulu tarım alanı ve otlak karışımı (Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture)
		5	Tarımsal alan/çimenlik mozaiği (Cropland/Grassland Mosaic)
11	Kayalık (Rocky, with low shrublands)	-----	-----



Şekil 3.6. CAMx arazi kullanımı sınıflandırmasına göre arazi kullanımının dağılımı

**Meteorolojik veriler:** Model için zorunlu girdi olan meteorolojik verilerden basınç-yükseklik, rüzgar hızının yatay bileşenleri, sıcaklık, su buharı derişimi, bulut parametreleri ve dikey yayılıma (diffusivity) ait saatlik bilgiler her dikey seviyedeki her grid için verilir. Bulut parametrelerine ait dosya hem yaş/kuru çökeltme hesaplarında kullanılan bilgiyi, hem de dolaylı olarak yağmur miktarının hesaplanmasında kullanılan yağış su içeriği (precipitation water content) bilgisini içerir. Meteorolojik verilerin hazırlanması için MM5 modelinden yararlanılmıştır.

**Emisyon verileri:** Emisyon bilgisi verilecek olan her bileşen için saatlik emisyon değerleri, tüm gridler için ve yalnızca yer seviyesi için verilir. Emisyonların hesaplanmasına ait bilgiler diğer bölümlerde anlatılmaktadır.

Sözü edilen tüm verilerin ana grid için sağlanması zorunludur. Başlangıç ve sınır koşulları yalnızca ana grid için verilirken, albedo-pus-ozon verisi, arazi kullanımı verisi, meteorolojik veriler ve emisyon verisinin ana grid dışındaki küçük gridler için olanı zorunlu olmayıp isteğe bağlıdır. Bu çalışmada, küçük gride ait tüm veriler sağlanmıştır.

### 3.5. Eskişehir ve Çevresinde Antropojenik Emisyonlar

Emisyon envanterinin hazırlanmasında dikkat edilecek noktalar, nokta ve alan kaynaklarla ilgili mümkün olan en güncel veriye ulaşmak, coğrafi konumlarını doğru tanımlamak, saatlik ayrıntılı emisyon bilgileri mevcut olmayan kaynaklar için saatlik değişimle ilgili varsayımlarda aylık-günlük-saatlik değişimleri, tatil günleri vb. etkenleri göz önünde bulundurmak gibi başlıklardan oluşmaktadır.

Modelleme için küçük gride dahil edilen antropojenik emisyonlar, EMEP/CORINAIR (2004) Emisyon Envanteri Kitabında belirtilen emisyon kategorilerine göre aşağıda özetlenmiş ve emisyon faktörleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Enerji ve enerji dönüşüm endüstrisinde yanma (Grup 1): EMEP/CORINAIR tarafından önerilen emisyon faktörleri dışında, modelleme alanına giren termik santraller için önerilen/hesaplanan emisyon faktörlerine de rastlanmıştır. Ne var ki, bulunan bu farklı referanslarda önerilen emisyon faktörleri birbirinden oldukça farklıdır. EMEP/CORINAIR tarafından derlenen termik santraller emisyon faktörlerinden başka, Kıncay ve Öztürk (2003) ve EÜAŞ (2005) tarafından önerilen emisyon faktörleri de literatürde bulunmaktadır.. Kıncay ve Öztürk (2003) ve EÜAŞ (2005) tarafından verilen emisyon faktörleri, ölçüm sonuçlarına dayalı emisyon faktörleri olduğu için gerçeğe yakın sonuçlar vermeleri beklenen bir sonuç olmakla birlikte bu iki kaynak tarafından verilen değerler arasındaki bazı önemli farklar da (özellikle SO<sub>2</sub> emisyon faktörleri için) emisyon envanteri ile ilgili belirsizlik kaynaklarından birini oluşturmaktadır.

EÜAŞ'den aylık net ve brüt elektrik üretim değerleri elde edilebildiğinden, üretilen birim enerji başına emisyon değerleri kullanılabilir.

Adı geçen termik santrallerin konumlarının ince gride dahil olmayıp büyük grid içinde yer alması nedeniyle, burada bahsedilen emisyon faktörlerine dayalı emisyon hesapları kullanılmamıştır. Büyük gridin büyük için EMEP emisyon

verileri kullanılmıştır. Termik santrallere ait emisyon değerleri de bu verilere dahildir.

Modelleme alanında ve çevresinde yer alan termik santraller için önerilen farklı emisyon faktörleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir

**Çizelge 3. 2.** Termik santraller için NO<sub>x</sub> emisyon faktörleri

Santral	Emisyon faktörleri (kg/MWh)		
	Kıncay (2003)	EÜAŞ (2005)	EMEP/CORINAIR (2004)
Seyitömer	2.32	0.738	2,610 <sup>a</sup>
Tunçbilek <sup>b</sup>	2.57	2.113	2,610 <sup>a</sup>
Orhaneli	4.44	0.932	2,610 <sup>a</sup>
Bursa CC	0.28	0.140	0.612 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Herhangi bir önleyici tedbir olmadığı durumda

<sup>b</sup> Kıncay toplam emisyonları verirken, EÜAŞ'ın iki ünite için verdiği emisyon faktörlerinin ortalamasıdır

**Çizelge 3.3.** Termik santraller için SO<sub>2</sub> ve NMVOC emisyon faktörleri\*

Santral	Emisyon faktörleri (kg/MWh)		
	SO <sub>2</sub> Kıncay (2003)	SO <sub>2</sub> EÜAŞ (2005)	NMVOC EMEP/CORINAIR (2004)
Seyitömer	25.59	6.530	0.108
Tunçbilek	31.88	4.813	0.108
Orhaneli	1.91	0.763	0.108
Bursa kombine çevrim	0.04	0.022	0.018

\* Kıncay ve EÜAŞ tarafından önerilmiş NMVOC emisyon faktörleri mevcut değildir. SO<sub>2</sub> emisyonları, kullanılan yakıt cinsine bağlı olduğundan EMEP/CORINAIR tarafından birim enerji üretimi başına SO<sub>2</sub> emisyon faktörü önerilmemektedir

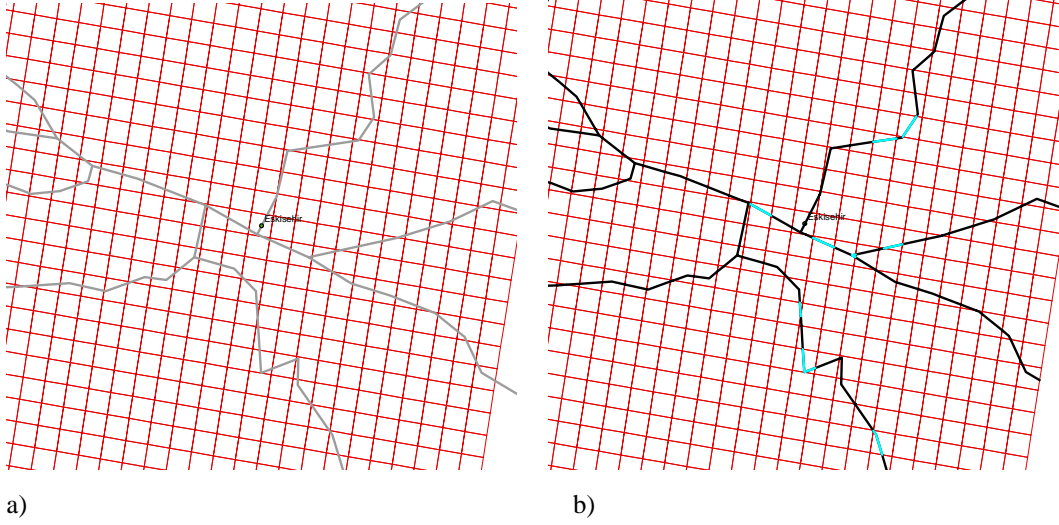
### Taşıt kaynaklı emisyonlar (Grup-7)

Şehirlerarası taşımadan kaynaklanan emisyonlar: Çalışmanın bölgesel özelliği ve Eskişehir'in, Bozüyük, Bursa, Kocaeli, Sakarya gibi hem nüfus hem de sanayi açısından yoğun bölgelere ulaşımında düğüm noktası olması özelliği nedeniyle, şehirlerarası yollardaki araçlardan kaynaklanan emisyonlar hesaplanarak model girdileri arasında değerlendirilmiştir. Konutsal ısınma kaynaklı emisyonların ozon mevsimi olan yaz aylarında mevcut olmaması nedeniyle, taşıt kaynaklı emisyonların önemi artmaktadır. Tüm kirletici sınıflar için emisyon envanterinin hazırlanmasının çok güç olduğu durumda, İstanbul şehri için Anteplioğlu (2001) yaz aylarında troposferik ozonun öncüllerinin en önemli kaynağı olduğu düşüncesiyle yalnızca trafik kaynaklı emisyonları kullanarak troposferik ozon modelleme çalışması gerçekleştirmiştir.

Şehirlerarası taşıma ve ulaşımdan kaynaklanan emisyon envanterinin hazırlanmasında esas girdi olarak Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2003 Yılı Trafik Hacim Haritası Kitabı (2004) alınmıştır. Bu çalışmada modellemenin 2005 yılı için gerçekleştirilecek olmasından dolayı, daha önceki yıllara ait araç sayımları kullanılarak 2005 yılı araç sayıları 2003 araç sayımlarından yararlanılarak ekstrapolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır.

Şehirlerarası ulaşım kaynaklı emisyonların hesabında kullanılan asıl araç Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'dir. Çalışma alanındaki şehirlerarası yollar sayısal ortama taşınmıştır. Daha sonra, kimyasal model için kullanılacak olan grid sistemi ile şehirlerarası yol tabakaları üst üste bindirilerek, CBS'nin özellikleri kullanılarak şehirlerarası yolların her bir parçasının her bir grid hücresi içinde kalan kısmı ayrı bir eleman olarak tanımlanarak ilgili hesaplar gerçekleştirilmekte, böylece ulaşım kaynaklı emisyonların her bir grid hücresi için ayrı hesaplanması mümkün olmaktadır (Şekil 3.7).

Şehirlerarası ulaşım kaynaklı emisyonların hesabında kullanılan emisyon faktörleri, CORINAIR emisyon faktörleri içinden, araç türlerinin EURO-I standardında olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Farklı araç türleri için, şehirlerarası ulaşımdaki yasal azami hızda seyahat ettikleri varsayımıyla, bu hızlar için emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 3.4'te özetlenmiştir.



**Şekil 3.7. a)** Şehirler arası taşınım gerçekleştirildiği yollara ait bir örnek

**b)** Aynı örnekte CBS yardımıyla, yolların her bir grid hücreğine denk gelen parçasının ayrı bir vektör eleman olarak tanımlanması

Şehir içi trafik ve ulaşım kaynaklı emisyonlar: Çalışma alanının, sonuçları itibariyle en önemli kısmı olan Eskişehir ilinin şehir içi taşıma ve ulaşım bilgileri hakkında Çınar'ın (2003) çalışması önemli veriler sunmaktadır. Diğer yerleşimlere ait benzeri ayrıntılı bir trafik bilgisi mevcut olmadığından, bu yerleşimlerdeki şehir içi ulaşım kaynaklı emisyon değerleri, ait olduğu alana eşit olarak dağıtılmıştır

**Çizelge 3.4.** Şehirlerearası ulaşım kaynaklı emisyon hesaplarında kullanılan emisyon faktörleri (g/km)

	CO	NO <sub>x</sub>	VOC
Otomobil	1.708	0.423	0.067
Otobüs	1.777	4.090	0.858
Kamyon	1.777	4.090	0.858
Treyler	1.950	8.252	0.965



Çınar'ın (2003) çalışmasında kullanılan yöntem ve araç sayımlarının mevcut olduğu ana arterler için ayrı yürütülen hesaplamaların sonucuna göre, Eskişehir kent merkezinde trafik kaynaklı SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının %17'si, VOC ve CO emisyonlarının %22'si ana arterlerden kaynaklanmaktadır. Benzeri şekilde ana arter sayımlarının mevcut olmadığı illerde emisyonların eşit dağılımından kaynaklanan bazı hatalar kaçınılmaz olarak bulunacaktır. Çınar'ın (2003) çalışmasında bu hataları en aza indirmek için her mahalle için günlük seyahat miktarları göz önüne alınarak, emisyonlar bu değerlere göre ağırlıklı olarak mahallelere dağıtılmıştır.

CORINAIR tarafından Türkiye özelinde belirtilen araç emisyon faktörleri bulunmadığından, Çınar (2003) tarafından geliştirilen yöntemle hesaplanan araç emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Sanayide yakmadan ve üretimden kaynaklanan emisyonlar (Grup 2. Endüstriyel olmayan yakma tesisleri, Grup 3. Üretim endüstrisinde yakma, Grup 5. Üretim süreçleri): Taşıt emisyonlarından ve termik santral gibi önemli nokta kaynaklardan sonra ozon oluşumuna katkıda bulunabilecek önemli nokta ve alan kaynaklar, sanayide yanma ya da kaçaklar sonucu meydana gelen emisyonlardır. Taşıt emisyonlarında yaşanan sorun bu alanda da geçerli olup, Eskişehir merkeze ait ayrıntılı emisyon bilgilerine rağmen, diğer illerdeki sanayi emisyonlarına ait sağlıklı değerlere ulaşamamıştır. Sanayi kaynaklı emisyonlara yerel kaynaklardan ulaşamadığı durumlarda, EMEP emisyon verilerine başvurulmuştur. Selanik Üniversitesi Atmosferik Fizik Laboratuvarının da dahil olduğu bir proje kapsamında, EMEP emisyon envanterinde 50 km x 50 km'lik emisyon bilgileri downscaling yöntemiyle 10 km x 10 km'lik bir grid sistemine dönüştürülmüştür (Poupkou ve ark., 2004). Benzeri bir yöntemle, söz konusu emisyon envanterinin, bu çalışma kapsamına dahil olan kısmında downscaling yöntemi kullanılarak, sanayi emisyonları çalışmaya dahil edilmiştir.

Eskişehir kent merkezindeki sanayi kaynaklı emisyonlar için ise yine Çınar'ın (2003) çalışmasında hazırlanan ayrıntılı emisyon envanteri kullanılmıştır. Bu envantere Eskişehir Organize Sanayi Bölgesindeki emisyonların yanında, EOSB dışında kalan ancak önemli noktasal kaynaklar olarak tanımlanan bazı sanayi kuruluşlarının emisyonları da hesaplanmıştır. Çınar'ın (2003) çalışmasında

Eskişehir il merkezi için hesaplanan yanma kaynaklı emisyon hızları Çizelge 3.5'te özetlenmiştir.

Çınar'ın (2003) çalışmasında hazırlanan Eskişehir kent merkezi emisyon envanteri yalnızca toplam emisyonlar için değil, aylık değişimleri de inceleyecek şekilde hazırlanmıştır. Buna göre, ozon sorununun yaşandığı bahar ve yaz mevsimlerinde, yani konutsal ısıtma süreçlerinden kaynaklanan emisyonların ortadan kalktığı durumda, trafik kökenli kaynaklardan sonra en önemli emisyon kaynaklarının (özellikle NO<sub>x</sub> emisyonları için) sanayi sektöründe yanma kökenli emisyonlar olduğu görülmektedir.

### 3.6. Biyojenik VOC Emisyon Envanteri

Çalışma kapsamında, biyojenik VOC'lerin bölgedeki ozon oluşumundaki etkisinin de incelenebilmesi amacıyla bir emisyon envanteri çalışması yapılmıştır. Konunun Türkiye için yeni bir alan olması, daha önce gerçekleştirilmiş bir envanter çalışması bulunmaması, verilere erişim konusunda sıkıntılar yaşanması ve uydu verisine dayalı global veri setlerinin ulaşılabilir olması nedeniyle, yalnızca Eskişehir bölgesi için değil, tüm Türkiye için biyojenik VOC emisyon envanteri 1km x 1 km çözünürlükte hazırlanmıştır.

**Çizelge 3.5.** Eskişehir'de yanma kaynaklı emisyonlar (ton/yıl) (Çınar, 2003)

Kirletici kaynak	PM	SO <sub>2</sub>	CO	VOC	NO <sub>x</sub>
Evsel Isınma	741	1721	7601	139	636
Trafik	110	744	1214	235	1901
Endüstriyel amaçlı yakma ve diğer önemli nokta kaynaklar	30.1	2.4	331.5	30.9	527.6
<b>Toplam</b>	<b>881.1</b>	<b>2467.4</b>	<b>9146.5</b>	<b>404.9</b>	<b>3064.6</b>

Biyojenik VOC emisyonlarının güneş radyasyonu ve sıcaklıkla olan ilişkileri bilindiğinden (Guenther ve ark., 1993) ayrıntılı ve daha doğru bir emisyon envanteri için, mevsimlik ve saatlik değişimlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle yılın her ayının tipik bir gününe ait saatlik emisyon değerleri hesaplanmıştır. Kaynak olarak kullanılan pek çok çalışmaya benzer şekilde emisyon envanteri üç grup bileşen (isopren, monoterpenler, ve diğer VOC'ler) için hazırlanmıştır.

Diğer VOC'ler diye tanımlanan grup için belirsizlikler çok yüksek düzeydedir ve elde edilen değerlerin güvenilirliği çok düşüktür. Yalnızca genel bir fikir edinilmesi amacıyla hesaplar yürütülmekte ve bitki türlerinin çoğu için  $1.5 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  varsayılan emisyon faktörü kullanılmaktadır. Bu gruba çok fazla sayıda VOC türü dahil olduğundan, ilgili emisyon faktörlerindeki belirsizlik sorununun uzun süre devam edeceği tahmin edilebilir.

Bitkilerden açığa çıkan emisyonların mekanizmaları ve bitki metabolizması açısından önemleri hala tam olarak anlaşılamamakla birlikte isopren ve monoterpenlerin fotokimyasal tepkimelerdeki önemli rolü artık bilindiğinden bu bileşenlere ait emisyon faktörlerinin belirlenmesine ait ciddi çalışmalar yürütülmüştür ve gün geçtikçe, daha ayrıntılı ve yöresel çalışmalar artmaktadır (Levis ve ark. 2003; Para ve ark. 2004). Ülkemizde yetişen türlere özel bir çalışmaya ise rastlanmamıştır.

Monoterpen grubu bileşikler için çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu grubun farklı türleri birlikte temsil eden bir grup olması nedeniyle, gerek bu emisyon faktörlerinin belirlenmesinde gerekse de emisyon faktörü yardımıyla hesaplanmış monoterpen derişimlerinden her bir bileşenin derişimlerinin belirlenmesinde ayırma faktörlerine (split factors) ihtiyaç vardır.

### **3.6.1. Biyolojik VOC Emisyon Modeli**

Guenther ve ark. (1995) tarafından geliştirilen modelde belirli bir alandan kaynaklanan biyojenik VOC'lerin emisyonu, F yaprak emisyonunu, D yaprak yoğunluğunu,  $\epsilon$  emisyon faktörünü,  $\gamma$  gerçek koşullar (PAR ve yaprak sıcaklığı) için düzeltme faktörünü ifade edecek şekilde şu formülle hesaplanır:

$$F=D \varepsilon \gamma \quad (3.1)$$

Emisyonlar sıcaklık ve güneş radyasyonuna göre değiştiğinden, emisyon faktörü ( $\varepsilon$ ) genelde PAR değerinin  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ve yaprak sıcaklığının  $303.15 \text{ K}$  olduğu koşullara göre verilmektedir

**D (foliar density)- Yaprak yoğunluğu:** Yaprak yoğunluğu değerleri her bitki örtüsü türü için ve aylık olarak belirlenmiştir. Farklı bitki örtüsü türleri için yıl boyunca gözlenen en yüksek değerler literatürde bulunabilmektedir.

**$\varepsilon$  - Emisyon faktörü:** Hesaplamalarda kullanılan bitki örtüsü verisi pek çok grid noktasında karışık bitki örtüsü olarak verildiğinden, emisyon faktörleri de her ay için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bunun nedeni, farklı türlerin karışımından oluşan bir bitki örtüsünün aylık değişimler sergilemesidir. Özellikle yaprak döken ve dökmeyen türlerin bir arada bulunduğu durumlarda farklı aylar için farklı emisyon faktörleri belirlemek gerekmektedir.

**$\gamma$  - PAR ve yaprak sıcaklığı için düzeltme faktörü:** Daha önce de belirtilmiş olduğu gibi emisyon faktörleri belirli bir PAR değeri ve yaprak sıcaklığı için verilmiştir (Bu çalışmada çoğunlukla esas alınan CORINAIR dokümanları dahil pek çok kaynakta belirtilen emisyon faktörü değerleri  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR ve  $303.15 \text{ K}$  yaprak sıcaklığına göre normalize edilmiştir). Hesabın yapıldığı grid hücresindeki PAR değeri ve yaprak sıcaklığına göre emisyondaki değişimi hesaplamak gerekmektedir.

İstisnalar var olmakla ve bu istisnalara dikkat edilmesi gerekmektedir birlikte genel olarak isopren emisyonlarının sıcaklık ve ışığa bağlı olduğu, monoterenler ve diğer bileşiklerin emisyonunun yalnızca sıcaklığa bağlı olduğu söylenebilir (Guenther ve ark., 1995).

Sıcaklık ve ışığın etkili olduğu emisyonlarda (isopren ve bazı özel monoterenler)  $\gamma$  değeri şu şekilde verilmiştir:

$$\gamma = C_L * C_T \quad (3.2)$$

$C_L$ , PAR değerini  $C_T$  ise sıcaklık değerini içeren bir değişkendir. Her iki düzeltme faktörü de sıcaklık/PAR ile VOC emisyonları arasında eksponansiyel bir değişimi ifade etmektedir.

$$C_{L_{iso}} = \frac{\alpha C_{L1} L}{\sqrt{1 + \alpha^2 L^2}} \quad (3.3)$$

$$C_{T_{iso}} = \frac{\exp(C_{T1}(T - T_s) / RT_s T)}{1 + \exp(C_{T2}(T - T_M) / RT_s T)} \quad (3.4)$$

$C_{L_{iso}}$ : PAR ile ilişkili düzeltme faktörü

$C_{T_{iso}}$ : Sıcaklıkla ilişkili düzeltme faktörü

L: PAR akısı ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$T_s$ : Yaprak sıcaklığı (K)

$\alpha$ ,  $C_{L1}$ ,  $C_{T1}$ ,  $C_{T2}$ , T,  $T_M$ : sabitler

Yalnızca sıcaklığın etkili olduğu emisyonlarda (monoterpenler) ise  $\gamma$  değeri şu şekilde verilmiştir:

$$\gamma_{mts} = \exp(\beta * (T - T_s)) \quad (3.5)$$

$\beta$ : Ölçümlere dayalı ampirik sabit

### 3.6.2. Kullanılan verilerin kaynakları ve işlenmesi

Bitki Örtüsü türü: Biyojenik VOC emisyon envanterinin en önemli girdisi olan bitki türü bilgisi için USGS tarafından hazırlanan ve güncellenen Seasonal Land Cover Characterization veri seti kullanılmıştır (<http-4>). Söz konusu veri seti, uydu verilerinin yorumlanması ve mümkün olduğu yerde yerinde yapılan gözlemlerin bildirilmesiyle güncellenerek hazırlanan bir veri setidir.

Toplam 253 bitki örtüsü grubunu içeren bu veriseti içinde Türkiye sınırları dahilinde 138 grubun kapsandığı coğrafi bilgi sistemi kullanımıyla saptanmış ve bu türler için emisyon faktörleri belirlenmiştir. Bu 138 tür ve Türkiye içinde alansal dağılımları EK-3'teki çizelgede gösterilmiştir.

Sıcaklık: Bu çalışmada amaçlanan ortalama meteorolojik koşullardaki biyojenik VOC emisyonlarını hesaplamak olduğundan, 1981-1990 yılları arasındaki sıcaklık verilerinin her ay için maksimum ve minimum değerlerini 0.5° çözünürlükte içeren ve <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk> (<http-5>) adresinden ücretsiz temin edilebilen IPCC Data Distribution Centre Climate Baseline Download veriseti kullanılmıştır. Hazırlanan emisyon envanterinde her ay için saatlik verilere ihtiyaç duyulduğundan, günün 24 saatine dair sıcaklık değerlerini atamak için minimum sıcaklığın saat 06:00'da, maksimum sıcaklığın ise saat 14:00'de gözlemlendiği ve ara saatlerde sıcaklığın doğrusal olarak değiştiği varsayılmıştır. Maksimum ve minimum sıcaklıklar coğrafi bilgi sisteminde interpolate edilerek tüm çalışma alanı için sıcaklık verileri içeren raster veri üretilmiştir, ara saatlere ait sıcaklık verileri de coğrafi bilgi sistemi kullanılarak raster veri olarak üretilmiştir.

PAR (Photosynthetically Active Radiation: Fotokimyasal Olarak Aktif Radyasyon): Özellikle isopren emisyonlarını kontrol eden PAR verisini elde edebilmek için coğrafi bilgi sistemi ve The National Center for Atmospheric Research (NCAR)- Atmospheric Chemistry Division (ACD) tarafından geliştirilen TUV modeli kullanılmıştır (<http-6>).

TUV modeli, coğrafi konumu tanımlanmış olan bir noktada, değişik dalga boyunda ya da dalga boyu aralıklarındaki net radyasyonun hesaplanmasını sağlayan bir modeldir. PAR, CORINAIR belgelerinde “görünür bölge radyasyonunun yaklaşık olarak yarısı olarak tanımlanmıştır (EEA,2004). Gonzalez ve Calbo'nun (2002) çalışmasında ise PAR ve görünür bölge radyasyonu arasındaki oran ortalama olarak 1/1.99 olarak verilmiştir. Hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.

TUV modeli girdi olarak pek çok değişkene ihtiyaç duymaktadır. Tüm değişkenlerin verilen her nokta için elde edilmesi çok zor olduğundan, bazı

parametreler ( $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  kolonları (dikey profilleri)) için ortalama koşulları temsil eden literatür değerleri (yazılımın varsayılan değerleri) kullanılmıştır.

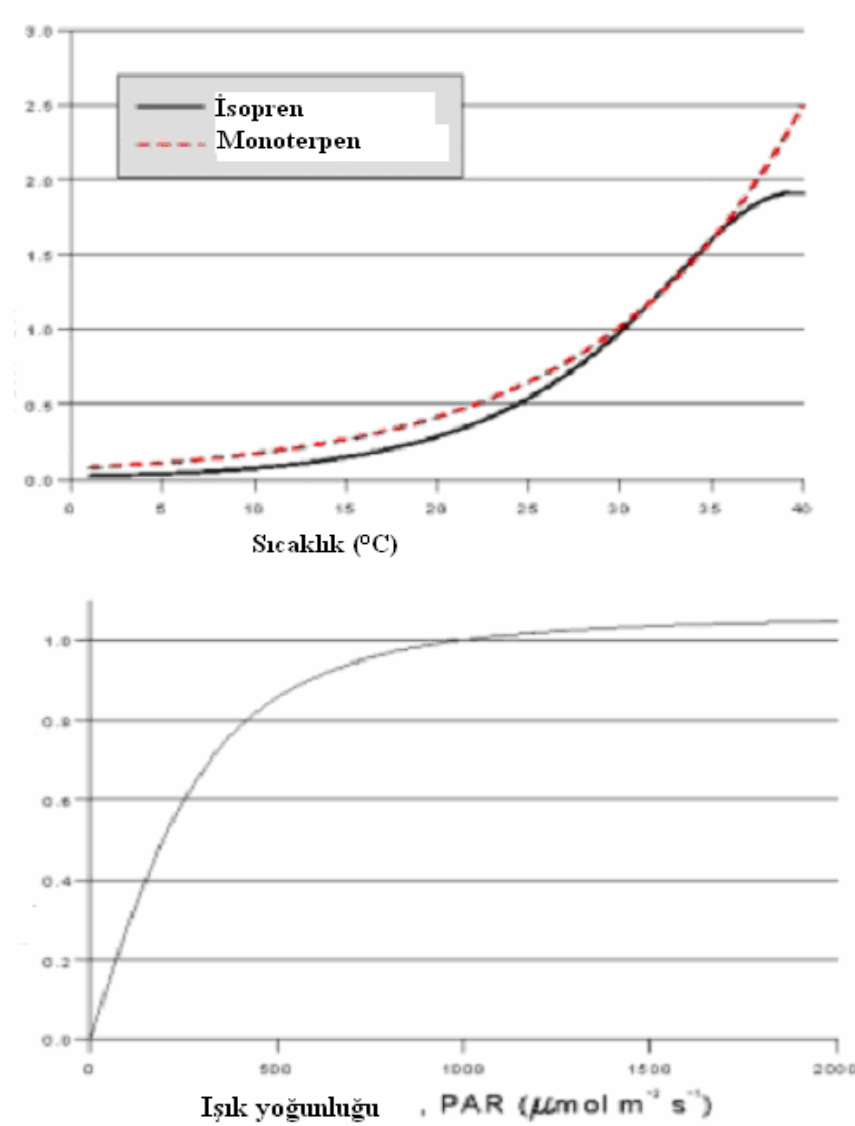
Biyojenik emisyon hesaplarında sıklıkla başvuru olan bir yol, toplam emisyon potansiyelini hesaplayabilmek amacıyla, tüm hesaplamaların açık (bulutsuz) koşullar için yapılmasıdır.

TUV modelinin zorunlu girdilerinden biri de radyasyon miktarının hesaplanacağı noktanın coğrafi konumu ve deniz seviyesinden yüksekliğidir (zenit açısının hesaplanabilmesi için). Yükseklik verileri için <http://www.ngdc.noaa.gov> (http-7) adresinden elde edilebilen ve yaklaşık 1 km ( $0.00833333^\circ$ ) çözünürlüğe sahip The Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) Project verisi kullanılmıştır. Coğrafi bilgi sistemi ve yazılan FORTRAN kodu ile TUV modeli için gerekli girdi verisi dosyası hazırlanmıştır. Sonuç olarak TUV modeli çalıştırılırken coğrafi konum ve yükseklik verileri girdi olarak kullanılmıştır. TUV modelinde kısmi bulutluk tanımlaması mümkün değildir, tam açık ve tam kapalı hava olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Bu nedenle her noktada bulutsuz koşullar için PAR değerleri hesaplanmıştır. Bu yaklaşımın nedeni maksimum emisyon potansiyelini hesaplayabilmektir. Ayrıca, isopren emisyonlarının önemli bölümünün yaz aylarında gözlemlendiği ve belli bir PAR değerinden sonra biyojenik emisyonların radyasyona duyarlılığının azaldığı PAR'a bağlı düzeltme faktörünün değişiminin azaldığı (Şekil 3.8) göz önünde bulundurulduğunda, bulutsuz koşullar varsayımının sonuçlarda büyük hatalara yol açmaması beklenmektedir (Symeonidis ve ark., 1999).

Emisyon faktörleri: Emisyon faktörlerinin seçiminde iki temel kaynaktan yararlanılmıştır. Bunlardan birincisi, Guenther ve arkadaşlarının (1995) -aynı çalışmada kaynak olarak gösterilen- Olson (1992) tarafından belirlenen ekosistem türleri içi derledikleri emisyon faktörleridir. İkinci temel kaynak ise EMEP CORINAIR tarafından yayımlanan emisyon faktörleridir (EEA 2004). Guenther ve arkadaşlarının (1995) çalışmasında daha çok genel türler için bilgi verilmiştir. CORINAIR dokümanlarında ise sık rastlanan türler için ayrıntılı değerler verilmiş, varsa Avrupa özelindeki bitki türleri için yapılmış çalışmaların sonuçları dahil edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle CORINAIR tarafından belirlenen emisyon faktörleri tercih edilmiştir. Tür içindeki özel cinsin bilindiği

durumlarda, her tür için ayrı çalışmalar sonucu geliştirilmiş olan emisyon faktörleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan emisyon faktörlerinin seçiminde kullanılan kaynaklar EK-4'teki çizelgede belirtilmiştir

Yaprak yoğunluğu: Yaprak yoğunlukları verileri için öncelikli olarak CORINAIR verileri kullanılmış, CORINAIR veritabanında gerekli bilgi bulunamadığında başka kaynaklardan yararlanılmıştır.



**Şekil 3.8.** Biyojenik VOC emisyonlarının (düzeltme faktörlerinin) sıcaklık ve PAR değerleriyle ilişkisi (EEA 2004)



Yaprak dökken ağaçlar ve tarımsal ürünlerin yaprak yoğunlukları yıl boyunca iklimsel değişikliklere ya da tarımsal etkinliğe bağlı olarak değişmektedir. Symeonidis ve arkadaşlarının (1999) varsayımı kullanılarak, yaprak dökken ağaçlar için Mayıs-Eylül aylarında literatürde verilen (maksimum) değerler, Ekim, Kasım ve Nisan aylarında maksimum yoğunluğunun yarısı, Aralık-Mart ayları için ise tüm yaprakların döküldüğü ve yaprak yoğunluğunun sıfır olduğu varsayılmıştır. Tarımsal alanlardaki yaprak yoğunluğunun aylık değişimlerinin varsayımları için, Selanik Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yapılan görüşmeler esas alınmıştır. Bazı ağaç türleri ve tarımsal ürünler için kullanılan yaprak yoğunluğu değerleri EK-5'teki çizelgede gösterilmiştir.

Kullanılan bitki örtüsü verisetinde çok sayıda karışık grup bulunduğundan, her bir grup için yaprak yoğunluklarının (ve emisyon faktörlerinin) belirlenmesi için bir yöntem kullanılmıştır. Farklı türlerin bir arada bulunduğu bitki örtüsü gruplarında türlerin söz konusu grid hücresi içinde alansal olarak eşit payda dağıldığı varsayılmıştır. Bundan sonra dikkat edilmesi gereken ise bir arada bulunan farklı türlerden hangilerinin o ay içinde hangi emisyonlara (isopren ya da monoterpen) sahip olduğudur. Isoprenler, monoterpenler ve diğer VOC'ler için farklı yaprak yoğunlukları ve emisyon faktörleri kullanılmıştır. Belli bir ay içinde, örneğin, isopren emisyonuna sahip birden fazla tür bulunduğu durumlarda o aya ait yaprak yoğunluğu için bu türlerin yaprak yoğunluklarının ortalaması kullanılmıştır. Emisyon faktörü ise türlerin yaprak yoğunluklarına bağlı ağırlıklı ortalama değeri olacak şekilde hesaplanarak bulunmuştur.

## 4. BULGULAR

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen antropojenik kaynaklı (trafik ve sanayi kaynaklı CO, NO<sub>x</sub> ve VOC) emisyon envanteri ile biyojenik uçucu organik emisyon envanterinin sonuçları, sürekli ozon ölçümlerine ait sonuçlar ve MM5-CAMx modeli sonuçları ile ilgili değerlendirmeler bu bölümde sunulmaktadır.

### 4.1. Antrpojenik Emisyon Envanteri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bölüm 3.5’de de açıklandığı gibi, Eskişehir il merkezi için Çınar (2003) tarafından hazırlanmış ayrıntılı bir emisyon envanteri mevcuttur ve söz konusu çalışmadaki emisyonlar bu tez çalışmasına girdi olmak üzere zamansal değişimleri hesaplandıktan sonra CBS kullanılarak grid sisteminde ait olduğu hücrelere dağıtılmıştır.

Bu tezdeki çalışma alanı Eskişehir il merkezi dışında kalan çevre alanı da kapsadığından, söz konusu alandaki diğer önemli emisyonlara ait verilere de ihtiyaç duyulmuştur. Model çalışması yalnızca yaz aylarına ait günleri kapsadığından, evsel ısınma kaynaklı emisyonlar hesaplanmamış, trafik ve sanayi kaynaklı emisyonlar hesaplara dahil edilmiştir. Yine model çalışmasında seçilen kimyasal mekanizmanın gereği olarak CO, NO<sub>x</sub> ve VOC emisyonları daha büyük önem taşıdığından, yalnızca bu üç bileşen grubu için emisyon hızları hesaplanmıştır.

Sanayi kaynaklı emisyonlarla ilgili ayrıntılı veriye doğrudan ulaşım mümkün olmadığından, başta Bozüyük olmak üzere, Eskişehir merkezi dışındaki önemli sanayi emisyonları için EMEP tarafından hesaplanan veriler kullanılmıştır.

Ozon oluşumundaki önemli katkısı nedeniyle, şehirlerarası ulaşımdan kaynaklı emisyonlar, Bölüm 3.5’de açıklanan yöntemle hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki toplam emisyonlar Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Bu çizelgedeki toplam emisyonlar yorumlanırken dikkat edilmesi gereken bir nokta, Çınar’ın (2003) çalışmasında Eskişehir merkezdeki evsel kaynaklı emisyonlar da hesaplanmış olmasına rağmen, bu tez çalışması kapsamında hesaplanan emisyonlara evsel kaynaklı olanların dahil edilmemiş olmasıdır.

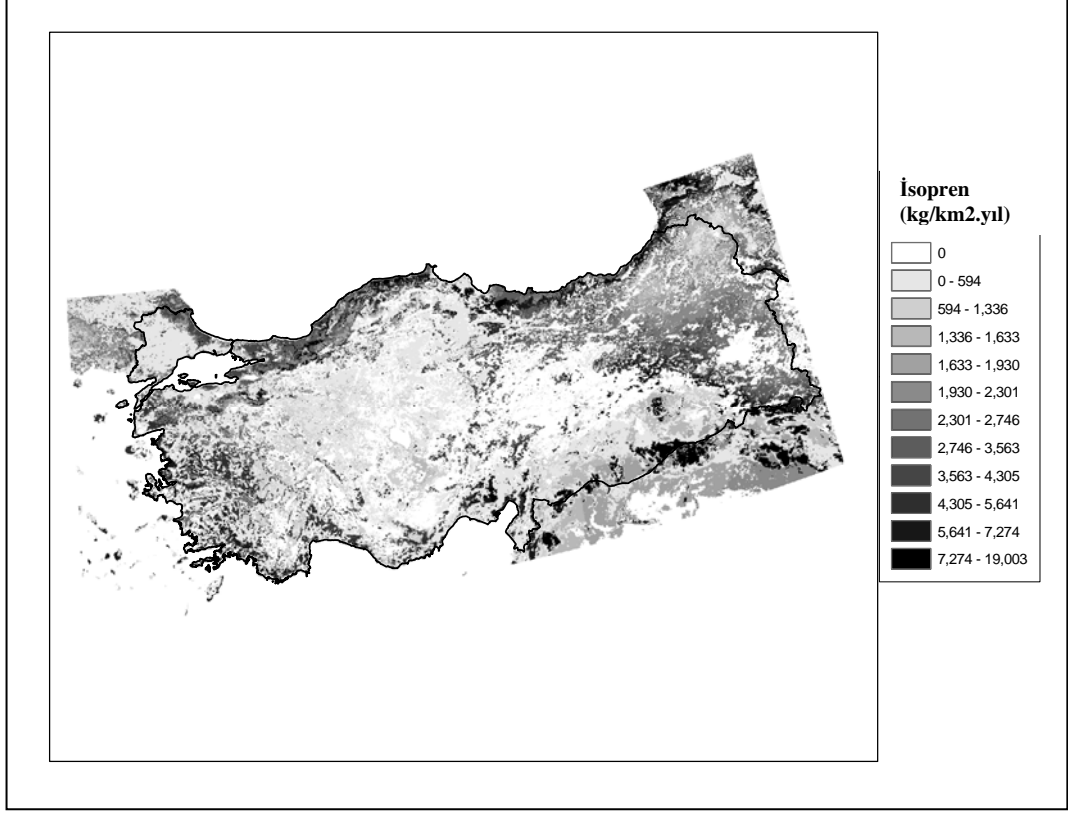
**Çizelge 4.1.** Çalışma alanında yanmadan kaynaklı toplam emisyonlar (ton/yıl)

Emisyon kaynağı	NO <sub>x</sub>	VOC	CO
<b>Eskişehir Merkez (Çınar 2003)</b>			
Toplam emisyonlar	3064	405	9146
Evsel ısınma dışındaki emisyonlar	2429	266	1545
<b>Eskişehir dışı</b>			
Sanayi kaynaklı	2731	1356	671
Trafik kaynaklı	2148	414	1644
Eskişehir dışı toplam	4879	1770	2315
<b>Çalışma alanı toplam</b>	<b>7943</b>	<b>2175</b>	<b>11461</b>
<b>Çalışma alanı toplam (evsel ısınma dışı)</b>	<b>7308</b>	<b>2036</b>	<b>3860</b>

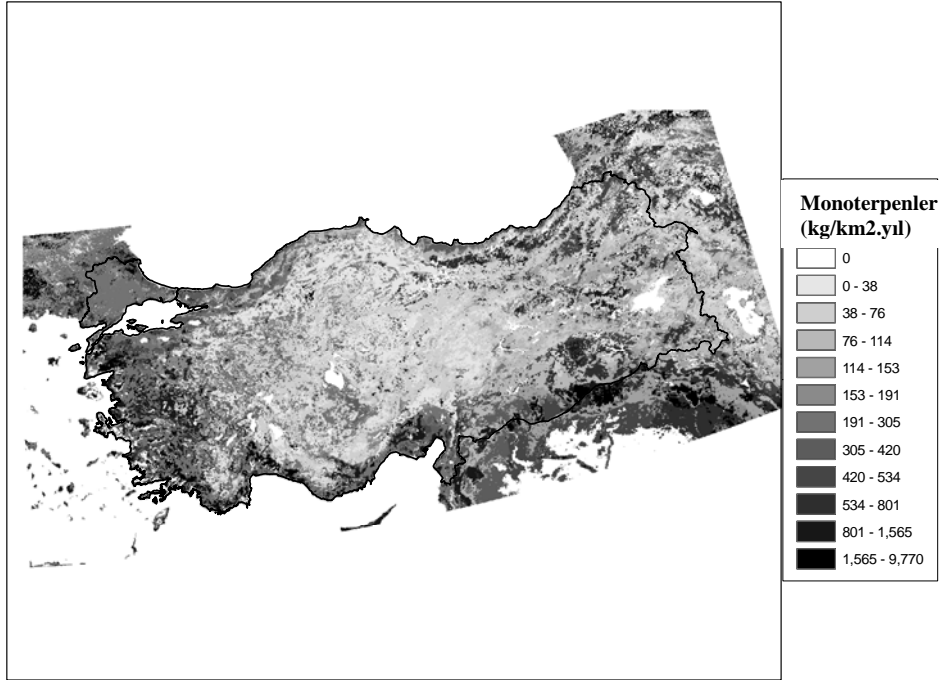
#### **4.2. Biyojenik Uçucu Organik Emisyon Envanterinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi**

İsoprenler, monoterpenler ve diğer VOC'ler için yılın her ayına ait bir gün için saatlik emisyonlar hesaplanmış ve CBS yardımıyla haritalar şeklinde sunulmuştur. Şekil 4.1'de gösterilen yıllık isopren emisyonları incelendiğinde isopren emisyonlarının yeşil örtünün fazla yaygın olmadığı iç kesimlerde düşük, yeşil ormanların yoğun olduğu Karadeniz'de ve sulu tarımın yaygın olduğu Ege ve Marmara bölgeleri ile Güneydoğu Anadolu'da yüksek olduğu gözlenmektedir. Yıllık monoterpen emisyonlarını gösteren Şekil 4.2 incelendiğinde ise, genel olarak monoterpen emisyonuna neden olan maki bitki örtüsünün hakim olduğu Ege ve Akdeniz bölgelerinde monoterpen emisyonlarının yüksek olduğu görülmektedir.

Farklı çalışmalarda kullanılan değerler ve varsayımlar nedeniyle, aynı alan için yürütülen çalışmalardan çok farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın isopren emisyonlarının sonuçları Simpson ve arkadaşlarının 1995 yılındaki çalışmasıyla karşılaştırıldığında bu çalışmada hesaplanan değerlerin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Adı geçen çalışmada özetlenen model sonuçları dahi kendi içinde, kullanılan yöntemle göre çok farklılık göstermektedir.



Şekil 4.1. Türkiye geneli için yıllık isopren emisyonları (kg/km<sup>2</sup>.yıl)



Şekil 4.2. Türkiye geneli için yıllık monoterpen emisyonları (kg/km<sup>2</sup>.yıl)

Söz konusu çalışmada Türkiye'den Nisan-Eylül aylarındaki isopren emisyonları en fazla 400 kton olarak gösterilirken bu çalışmanın sonuçlarına göre bu değer 1090 kton'dur. Bu farkın nedenlerinin:

- Simpson ve arkadaşlarının çalışmasında kullanılan bitki örtüsü gruplarının çok daha genel gruplar olması, bu çalışmada ise daha ayrıntılandırılmış gruplar kullanılması
- Aradan geçen seneler boyunca çok daha fazla ve ayrıntılı çalışmalar sonucu kabul edilen emisyon faktörü değerlerinin değişmiş olması (özellikle meşe ağaçlarından kaynaklanan isopren emisyonlarının sanılandan daha yüksek olduğu sonraki yıllarda anlaşılmış ve emisyon faktörleri gözden geçirilmiştir)
- Çalışmalar arasındaki çözünürlük farkı (bu çalışmada 1km x 1km çözünürlük kullanılmıştır)

olduğu düşünülebilir.

Türkiye için toplam emisyonlar hesaplandığında bulunan değer 1131 kiloton/yıl olup, bu değer Nisan-Eylül ayları arasındaki toplam 1090 kton'luk emisyon değerine yakındır. İsoopren emisyonlarının yaz aylarında daha yüksek olan güneş radyasyonu ve yaprak yoğunluğuyla olan ilişkisi ve isoprenin çoğunlukla yaprak döken ağaçlardan salındığı bilindiğinden, bu beklenen bir sonuçtur.

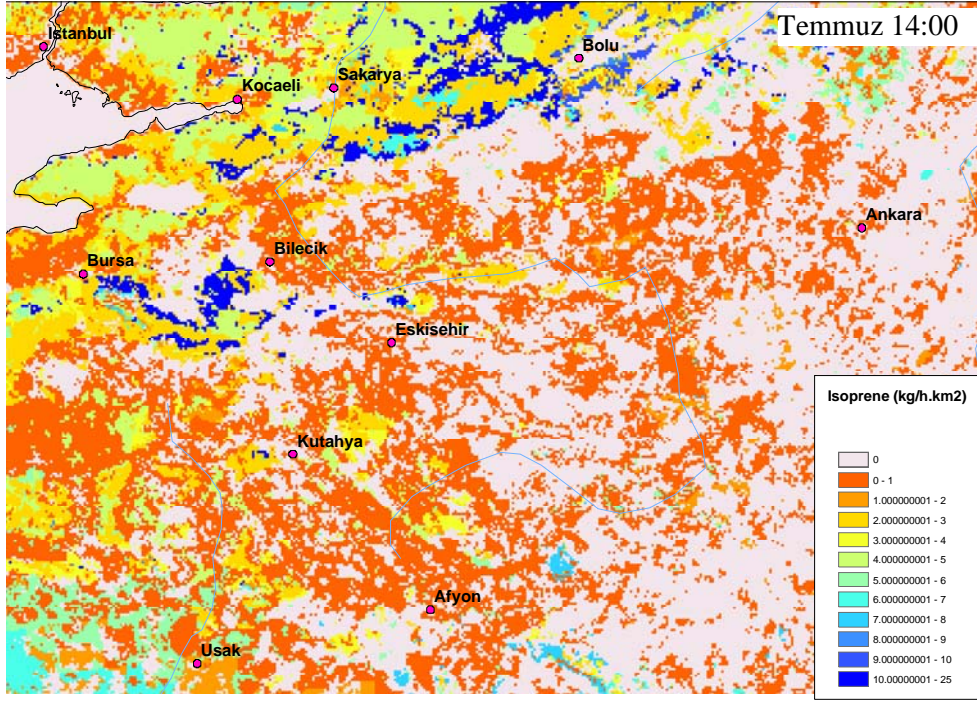
Hesaplanan monoterpen emisyon değerlerinin EMEP CORINAIR tarafından hesaplanan değerlere görece daha yakın olduğu söylenebilir. EMEP CORINAIR emisyon envanteri rehberinde Avrupa ülkelerinden kaynaklanan biyojenik VOC emisyonlarının yalnızca orman kaynaklı olanları belirtilmiştir. Bu çalışmada hesaplanan yıllık toplam 224 kiloton monoterpen emisyon değerinin, CORINAIR tarafından yalnızca orman kaynaklı emisyonlar olarak verilen yıllık 175 kiloton monoterpen emisyonu değeriyle uyum içinde olduğu söylenebilir. CORINAIR'ın orman kaynaklı yıllık isopren emisyon değeri yalnızca 213 kilotondur ve bu değer, bu çalışmada hesaplanan yıllık toplam 1131 kiloton değerinden çok düşüktür. İsoopren emisyonlarının çoğunlukla ormanlardan kaynaklandığı da düşünüldüğünde bu fark daha da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, uydu verisinden kaynaklanan olası hatalar gibi bir dezavantajın

yanında, türlere göre ayrıntılandırılmış bitki örtüsü gruplandırmaları sayesinde daha spesifik emisyon faktörlerinin atanması gibi bir avantaj da bulunmaktadır.

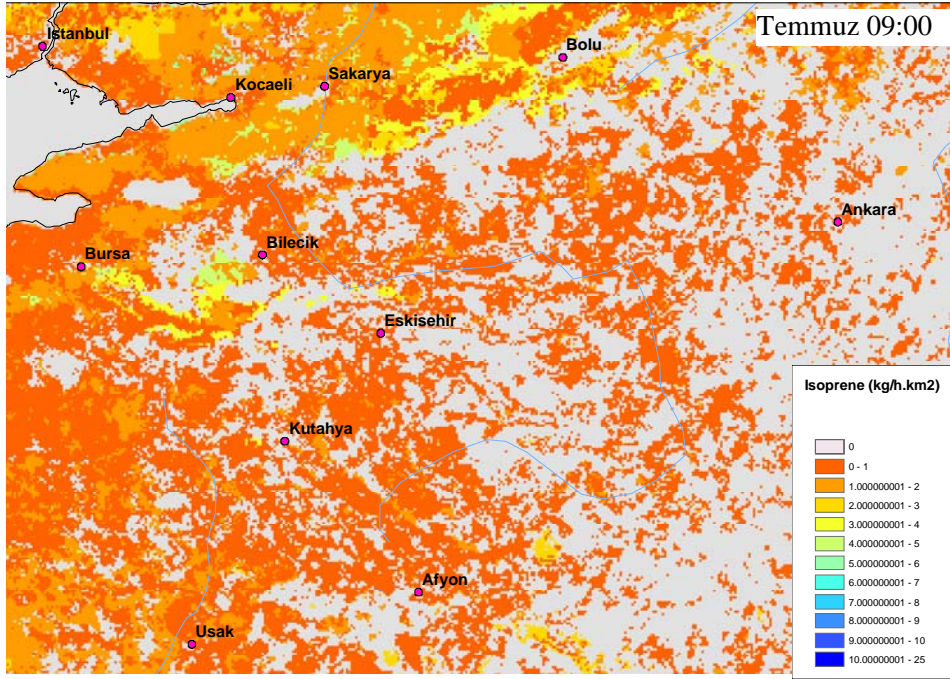
Eskişehir ve çevresindeki emisyonları gösteren haritalar incelendiğinde ise, bölgenin genelde tahıl ağırlıklı tarımsal bitki örtüsü nedeniyle yüksek emisyonlara çok fazla rastlanmadığı görülmektedir. Ancak kuzeybatıda Uludağ ve kuzeyde Sakarya havzasından kaynaklanan yüksek isopren emisyonları dikkat çekmektedir. Belirli meteorolojik koşullarda (fotokimyasal tepkimelerin asıl olarak gözleendiği bahar-yaz aylarında Eskişehir'deki hakim rüzgar yönünün kuzey-kuzeybatı olduğu bilinmektedir) bu yüksek isopren emisyonlarının ozon oluşumuna neden olan bölgesel süreçlerde etkili olması beklenebilir.

İsopren ve monoterpen emisyonlarının gün içindeki değişimlerine örnek olarak Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de Temmuz ayına ait bir günün değişik saatlerinde Eskişehir ve çevresindeki emisyonların dağılımı gösterilmiştir. İsopren emisyonları güneş ışığının varlığında gerçekleştiğinden gece saatlerindeki isopren emisyonları sıfıra eşittir. Biyojenik emisyonların maksimuma ulaştığı 14:00'teki isopren emisyonlarının dağılımı incelendiğinde Eskişehir ili ve yakın çevresinde, orman nüfusunun fazla olmaması nedeniyle isopren emisyonlarının da çok yüksek olmadığı görülmektedir. Ancak Eskişehir'in kuzeyinde Sakarya vadisi ile kuzeybatısındaki Uludağ ve diğer ormanlık bölgeler nedeniyle oldukça yüksek isopren emisyonlarının varlığı görülmektedir. Hakim rüzgar yönünün kuzey ve batılı rüzgarlar olduğu düşünüldüğünde, bu yüksek isopren emisyonlarının Eskişehir'de gözlenen ozonun oluşumuna katkıda bulunması beklenmektedir. Sıcaklığın ve güneş radyasyonunun henüz yüksek değerlere ulaşmadığı erken saatlerde emisyon değerlerinin de henüz düşük olduğu görülmektedir.

Aynı bölgede monoterpen emisyonlarını gösteren şekil incelendiğinde ise, emisyonların, bölgedeki bitki örtüsüne de bağlı olarak (çoğunlukla tarımsal alan ya da bodur bitkiler) daha yüksek olduğu, ancak Sakarya vadisi ile Uludağ çevresinde yine yüksek emisyonlar olduğu görülmektedir. İsopren emisyonlarından farklı olarak monoterpen emisyonlarının yalnızca sıcaklığa bağlı olması nedeniyle, günün her saatinde monoterpen emisyonlarının devam ettiği ve gece-gündüz emisyon farklarının isoprende olduğu kadar büyük olmadığı görülmektedir.

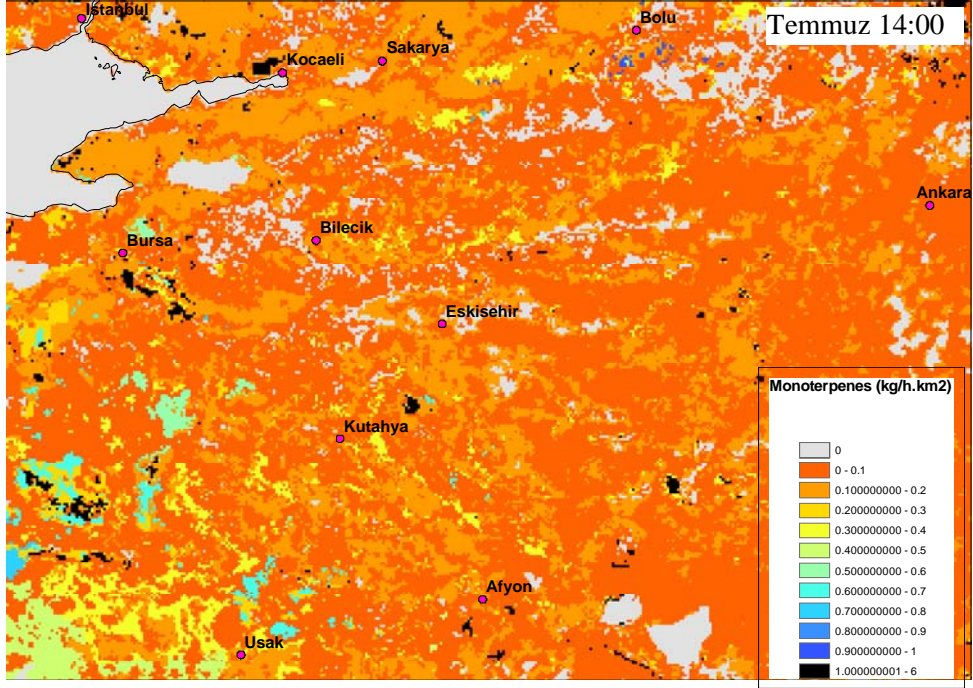


a)

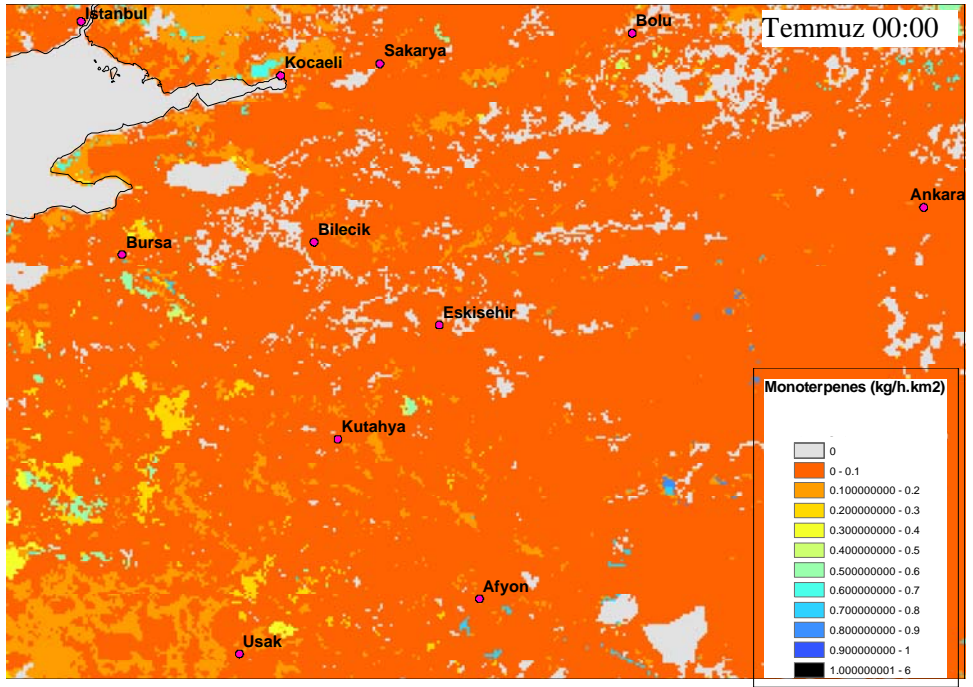


b)

Şekil 4.3. Eskişehir ve yakın çevresinde Temmuz ayının tipik bir gününde saat a) 14:00 ve b) 09:00'da isopren emisyonlarının dağılımı



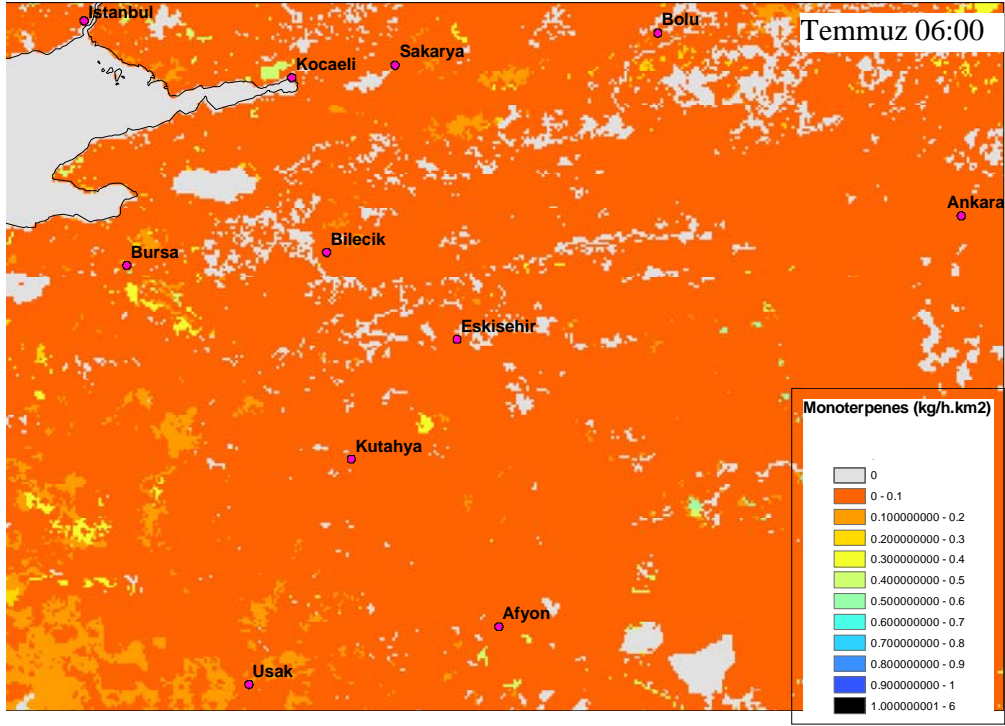
a)



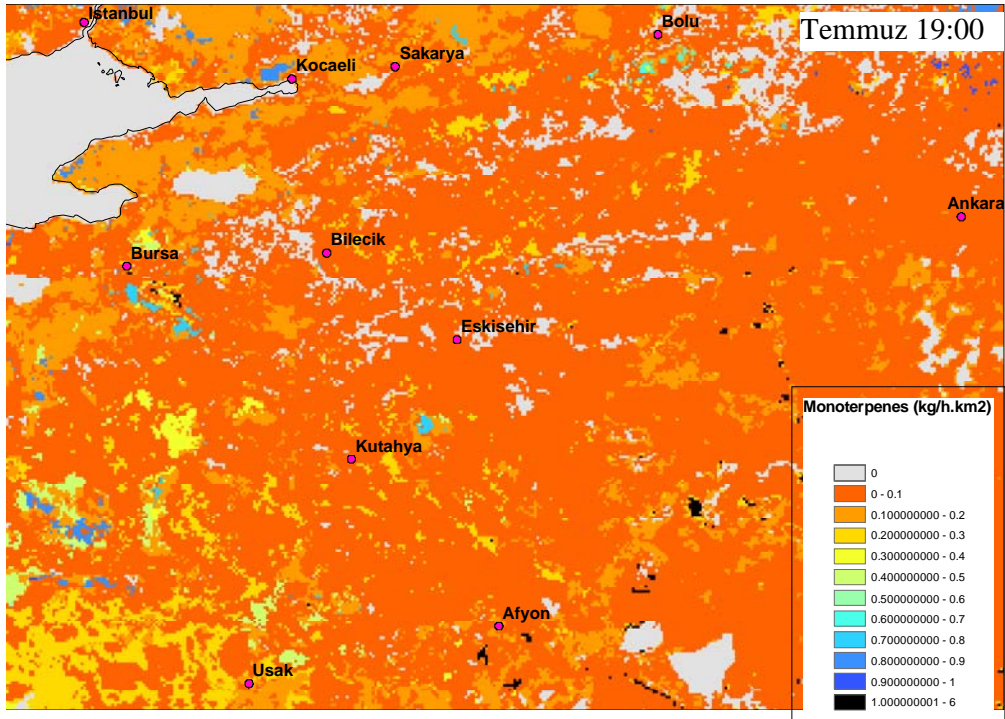
b)

**Şekil 4.4.** Eskişehir ve yakın çevresinde Temmuz ayının tipik bir gününde saat 14:00, 00:00, 06:00 ve 19:00'da monoterpen emisyonlarının dağılımı





c)



d)

Şekil 4.4. (Devam) Eskişehir ve yakın çevresinde Temmuz ayının tipik bir gününde saat 14:00, 00:00, 06:00 ve 19:00'da monoterpene emisyonlarının dağılımı

Monoterpen emisyonlarının gece de devam ediyor olması gerçeği nedeniyle, gece boyunca atmosferde depolanan monoterpenlerin, özellikle gündüz fotokimyasal etkinliğin de artmasıyla ozon oluşumunda önemli bir role sahip olması beklenebilir.

Biyojenik VOC emisyon envanterinin tezdeki çalışma alanı olan Eskişehir ve çevresindeki kısmında yıllık isopren emisyonları 6058 ton, monoterpen emisyonları da 1920 ton olarak hesaplanmıştır. Aynı alandaki toplam antropojenik VOC emisyonlarının 2175 ton/yıl olduğu düşünüldüğünde, biyojenik emisyonların VOC bütçesindeki öneminin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Benzeri sonuçlar Atasoy'un (2001) çalışmasında da gözlenmiş ve biyojenik emisyonların Eskişehir'de, antropojenik olanlardan çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

### **4.3. Ozon Ölçüm Verilerinin ve MM5 Meteorolojik Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Bu doktora çalışmasıyla ilişkili proje kapsamında çalışmaya başlayan ozon monitörü ile Eskişehir ilinde ilk kez sürekli yüzey ozon derişimi verileri toplanmaya başlamıştır.

Cihazın veri toplamaya başlamasından bu yana, cihazın kurulu olduğu İki Eylül Kampusu'nda sınır değerleri aşan ozon derişimlerine rastlanmamıştır. Ekim 2004'ten bu yana rastlanan en yüksek 15 dakikalık ortalama değer  $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak kaydedilmiştir. Yine de sürekli ozon verilerinin günlük değişimi ilginç yorumlara açık görünmektedir.

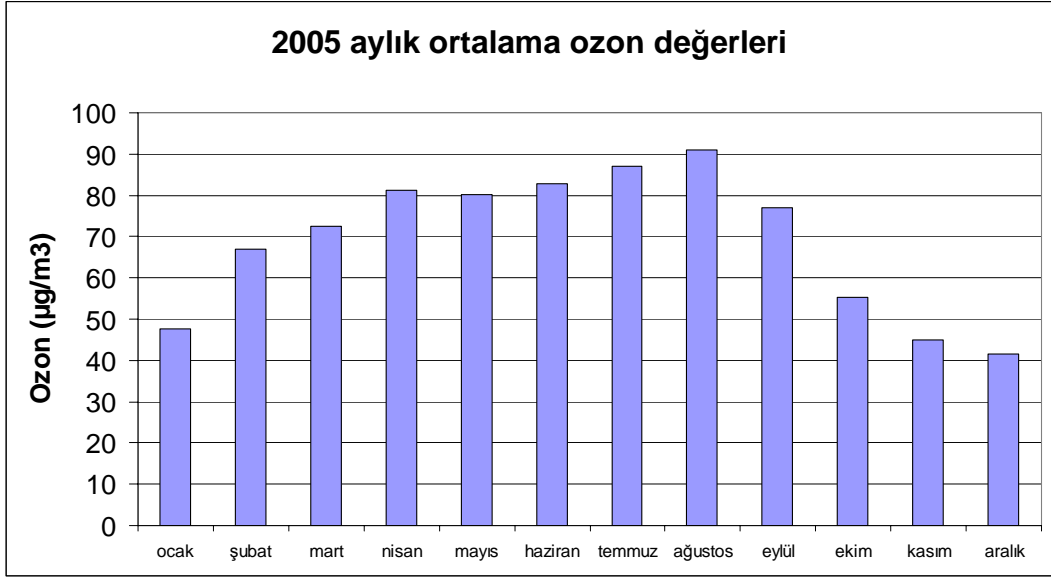
Ocak-Aralık 2005 döneminde sürekli olarak kaydedilen ozon değerlerinin aylık ortalamaları Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu şekle göre Nisan ayından itibaren aylık ozon derişimleri  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinde ve üzerindedir. Kaydedilen en yüksek aylık ortalama derişim Ağustos ayında  $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en düşük aylık ortalama derişim ise Ocak ayında  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

Şekil 4.6'de her ay için aylık maksimum ozon derişimleri, EK 6'da her ay için günlük ortalama ozon derişimleri gösterilmiştir. Bu şekillere göre, yıl boyunca aylık ortalama ozon derişimleri arasındaki farkın beklenenden az olduğu söylenebilir. Şubat-Eylül dönemi boyunca aylık ortalamaların en yüksekği ile en

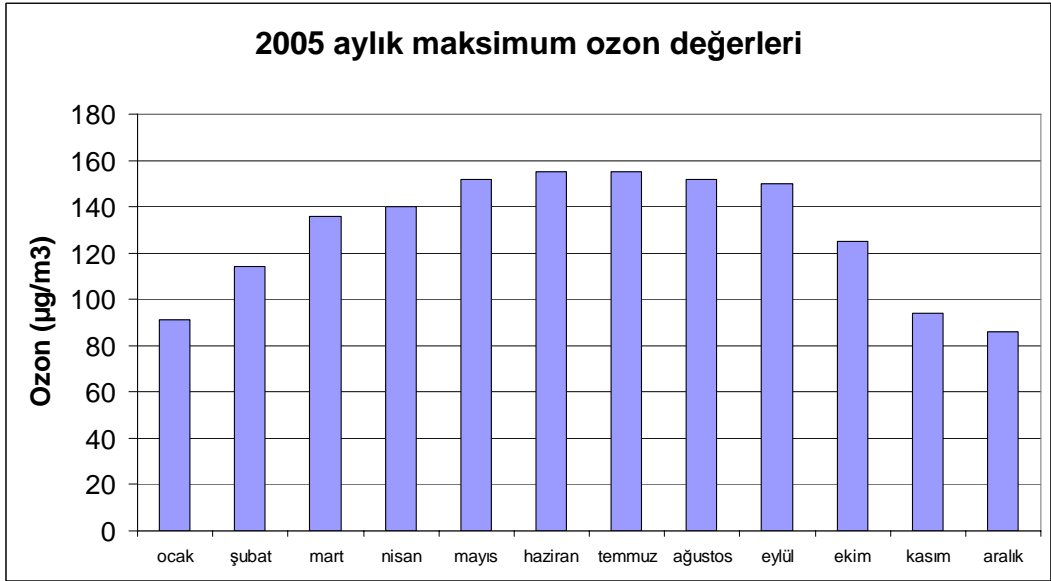
düşüğü arasındaki fark yalnızca  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\sim 12$  ppb) olarak gerçekleşmiştir. Aylık maksimum ozon derişimleri arasındaki fark da çok büyük değildir. Bu iki gerçek, ölçüm yapılan noktanın yarı kentsel-yarı kırsal özelliğini yansıtmaktadır. Ozon mevsiminde şehirden kaynaklanan emisyonların etkisinin yeterince gözlenmemesi nedeniyle ve bu ölçüm verilerinin de incelenmesiyle yılın ayları boyunca çok büyük değişimler göstermeyen bölgesel bir katkının varlığının ölçüm noktasında daha etkili olduğu fikri tekrar gündeme gelmektedir. Bu şekillerde dikkat çeken bir başka nokta ise, Haziran ve Temmuz aylarındaki günlük ortalama ozon derişimlerinin, diğer aylara göre daha küçük bir aralıkta değişmesidir. Diğer aylarda minimum ve maksimum ortalamalar arasında  $50-60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fark gözlenirken, Haziran ve Temmuz aylarında bu fark  $30-40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kadardır

Ölçümlerde ilk olarak dikkat çeken bir nokta, ölçümlerin gerçekleştirildiği pek çok günde, daha önce ıslak yöntemlerle gerçekleştirilen ölçümlerde gözlenen günlük değişimin gözlenmiş olmasıdır. Daha önceki ölçümlerde de dikkat çeken bir gözlem, ozonun günlük değişimi eğrisindeki ikili tepe noktasıdır. Pek çok gün, ya öğlen ve akşam olmak üzere ikili tepe noktası ya da akşam saatlerine doğru gözlenen gecikmiş bir tepe noktası dikkat çekmektedir. Bu konu, Çokgürses ve arkadaşlarının (2003) çalışmasında, ölçüm noktasının, hakim rüzgar yönü nedeniyle şehirden kaynaklanan emisyonların alıcısı bir nokta olmayıp, daha uzak bölgelerden taşınımlar nedeniyle bir tür arka plan (background) ölçüm istasyonu olabileceği şeklinde yorumlanmıştı. Bu çalışma sonunda, meteorolojik model-kimyasal model bileşimi kullanılarak bu yorumun geçerliliği üzerine daha fazla yorum yapılabilmektedir. Bu konuyla ilgili iki örnek durum kısaca incelenecektir.

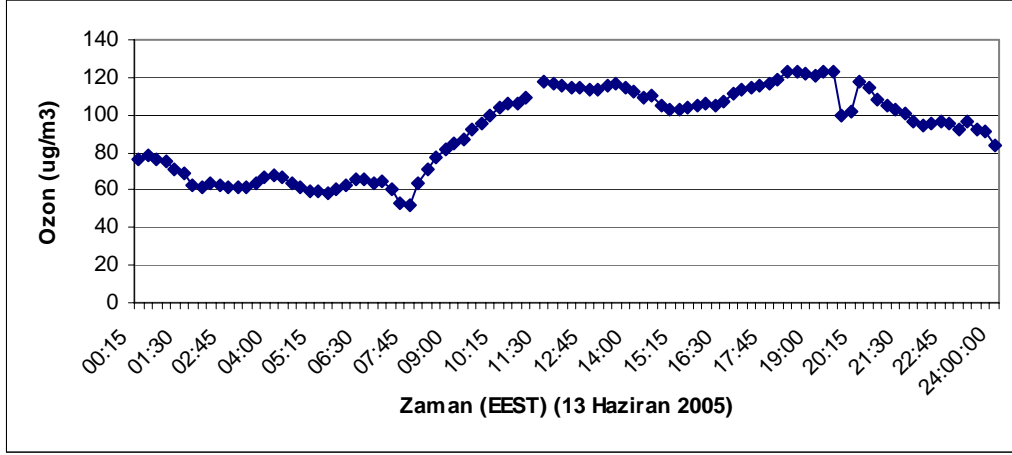
13 Haziran 2005 tarihine ait ozon verilerinin gün içindeki değişimi incelendiğinde, daha önce ıslak yöntemle gerçekleştirilen ölçümlerde de sıklıkla gözlenen ikili tepe noktasına rastlanmaktadır (Şekil 4.7). Bu güne ait meteorolojik koşullara bakıldığında, sabah saatlerinden öğlen saatlerine kadar çoğunlukla durgun ya da hafif kuzeydoğu rüzgarlarının hakim olduğu görülmektedir. Öğlen saatlerinden itibaren ise rüzgar yönü kuzeybatı-batıya dönerek şiddeti artmakta ve bulutlar gözlenmeye başlamaktadır. Bu durum ozon profili ile karşılaştırıldığında, öğlen saatlerine kadar yerel etkilerin daha baskın, öğleden sonra ise batı-kuzeybatı yönlerinden taşınımın daha etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir.



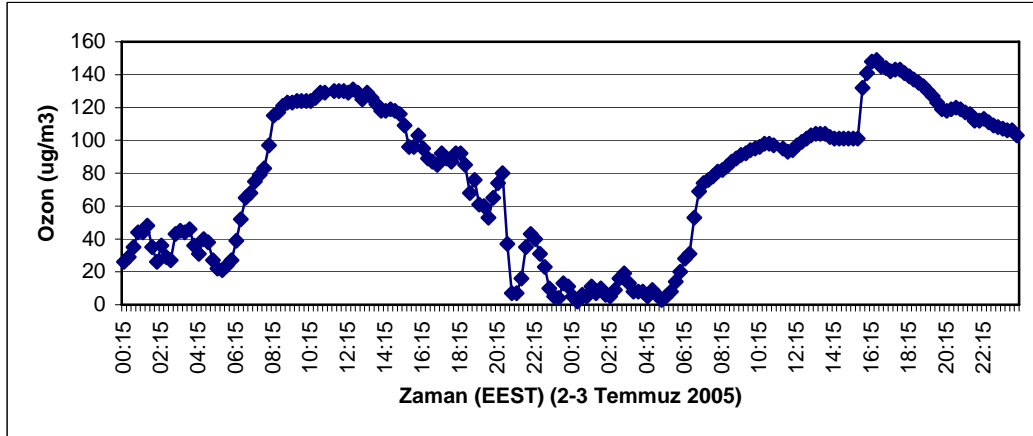
Şekil 4.5. Ocak-Aralık 2005 döneminde aylık ortalama ozon deşişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 4.6. Ocak-Aralık 2005 döneminde aylık maksimum ozon deşişimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 4.7. 13 Haziran 2005 tarihinde ozon derişiminin değişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 4.8. 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde ozon derişiminin değişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde gözlenen ozon derişimi incelendiğinde ise iki günde iki farklı eğilimin gözleendiği dikkat çekmektedir (Şekil 4.8). 2 Temmuz 2005 tarihinde ozonun günlük değişimi incelendiğinde antropojenik kaynakların etkisiyle öğle saatlerine kadar yükselen, öğleden sonra ise ozonu tüketici reaksiyonların başlamasıyla ve güneş radyasyonunun azalmasıyla düşen bir ozon derişimi profili görülmektedir. Öğlen saatlerine doğru yükselen ozon derişimleri öğleden sonra düşmekte, gece geç saatlerde, diğer günlerde gözlenmeyen çok

düşük değerlere kadar gerilemektedir. Bu güne ait meteorolojik koşullar incelendiğinde, batılı rüzgarların diğer günlere göre çok daha az gözleendiği, doğu ağırlıklı olmak üzere kuzey ve doğu yönleri arasında değişen rüzgarların hakim olduğu dikkat çekmektedir. Öğlene kadar açık olan gökyüzünde öğleden sonra bulutlanma ve zaman zaman yağmur gözlenmektedir. Bu nedenle, bu günün yukarıda bahsedilen 13 Haziran 2005 örneğiyle karşılaştırıldığında, yerel etkilerin çok daha baskın olduğu bir gün olduğu söylenebilir.

3 Temmuz 2005 tarihindeki ozon değişimi incelendiğinde ise başka bir ilginç gözleme rastlanmaktadır. 2005 yılı boyunca, ölçüm noktasında kaydedilen en yüksek derişimlerden birinin de ( $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gözleendiği bu günde öğleden sonra ani sayılabilecek bir değişim gözlenmektedir. 3 Temmuz 2005 gününe ait meteorolojik koşullarda dikkat çeken özellik ise saat 16:00 civarına kadar doğulu-güneydoğulu ağırlıklı esen rüzgarın bu saatte batılı rüzgarlara dönmesidir. Aynı saatte ozon derişimlerinde de belirgin bir değişim gözlenmiştir. Öğle saatlerine kadar açık olan gökyüzünde öğleden sonra bulutlar gözlenmesine ve akşam saatlerinde yağmura rastlanmasına rağmen gece yarısına kadar ozon derişimi ancak  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerine gerilemiştir. Bu gözlemler öğleden sonra yerel etkilerin yerini daha uzak kaynaklardan taşınımın aldığı destekler yöndedir.

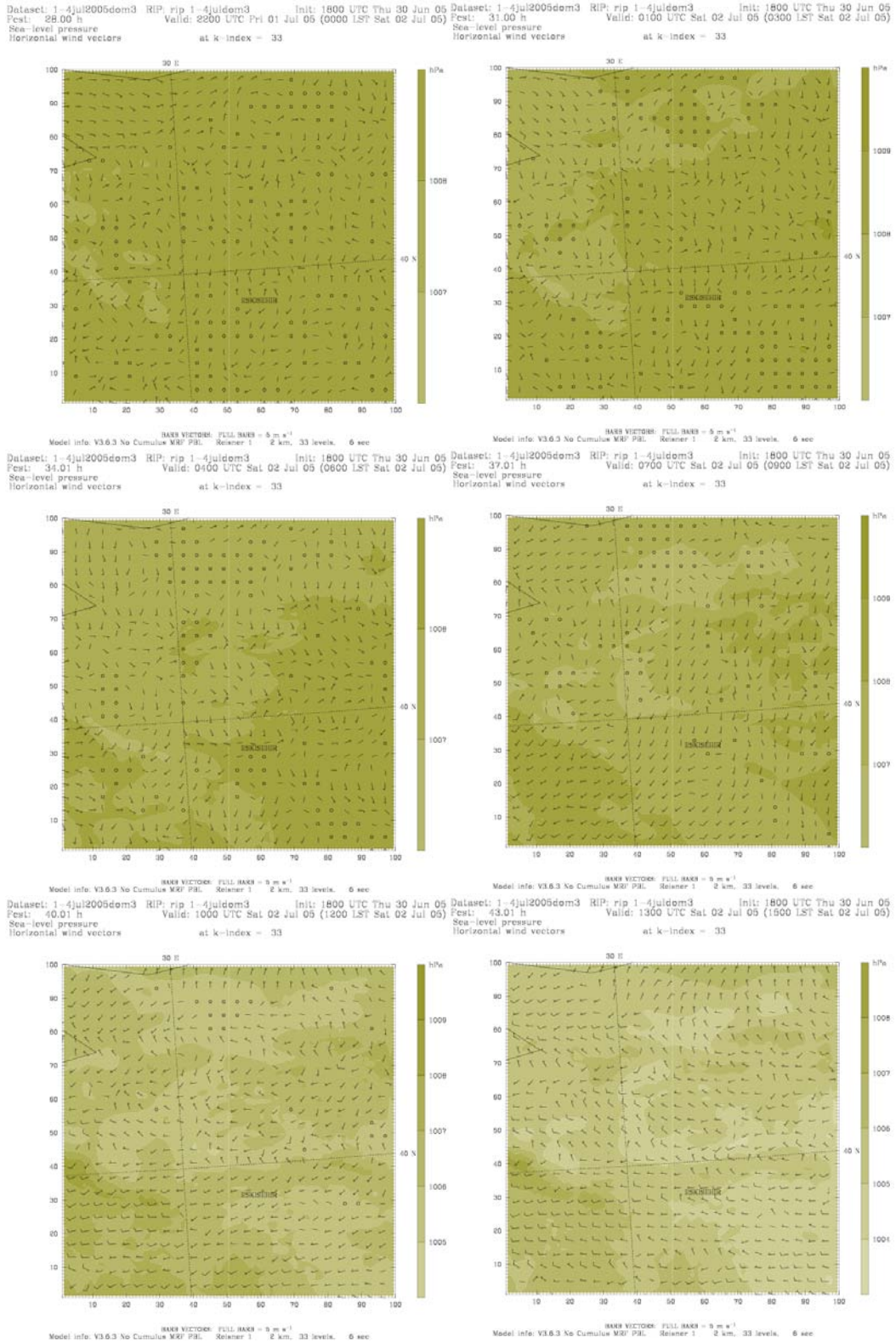
2-3 Temmuz 2005 tarihlerindeki bu eğilimi açıklamakta kullanılabilecek bir başka araç da MM5 modeli sonuçlarıdır. Söz konusu tarihlere ait MM5 sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.9), iki gün arasında farklar görülmektedir. 2 Temmuz tarihinde Eskişehir ve civarında daha çok yüksek basınç hakimken, 3 Temmuz tarihinde genellikle basıncın düştüğü ve batı-doğu yönünde bir basınç gradyanı oluştuğu gözlenmektedir. Bu durum, ozon oluşumunun, başka kaynaklarda da bahsedilen alçak basınç ile ilişkisini göstermektedir. Ayrıca rüzgar yönleri incelendiğinde, 3 Temmuz 2005 tarihinde rüzgar yönlerinde ani sayılabilecek bir değişim gözlenmektedir. Bu rüzgar yönlerinin batı ve kuzeybatı ağırlıklı olması da, ölçüm noktasında gözlenen artışın, ölçüm noktasının batısı ve kuzeybatısındaki uzak kaynaklardan taşınım ile ilişkili olduğu düşüncesini destekleyici yöndedir. Aynı tarihlerdeki meteorolojik koşullar daha geniş ölçekte incelendiğinde (Şekil 4.10), Orta Avrupa üzerinde bulunan alçak basıncın önce Ege Denizi'ne daha sonra da Anadolu'ya kaydığı ve kuzey-güney-batı

yönlerinden hava kütlelerinin Anadolu'nun batısına ve ortasına taşındığı gözlenmektedir.

Yaz aylarında ozonun gün içinde değişimi incelendiğinde, meteorolojik koşullara bağlı olarak birbirinden farklı günlük salınımlar dikkat çekmektedir. Ölçüm noktasının özel konumu da ozonun gün içindeki değişimlerinde önemli bir etkidir. Genel olarak, yaz aylarında hakim rüzgar yönü nedeniyle, kent kaynaklı emisyonların dahil olduğu atmosferik tepkimelerin sonuçlarının çoğunlukla ölçüm noktasında gözlenemediği söylenebilir. Rüzgarın kentten estiği durumlarda ise genellikle NO emisyonlarının ozonu tüketici etkisi nedeniyle ozon derişimlerinde bir düşüşe neden olduğu söylenebilir. Sözü edilen farklı günlük salınımları yorumlayabilmek için seçilen diğer bazı günlere ait ozon derişim değişimleri de incelenmiştir (Şekil 4.11).

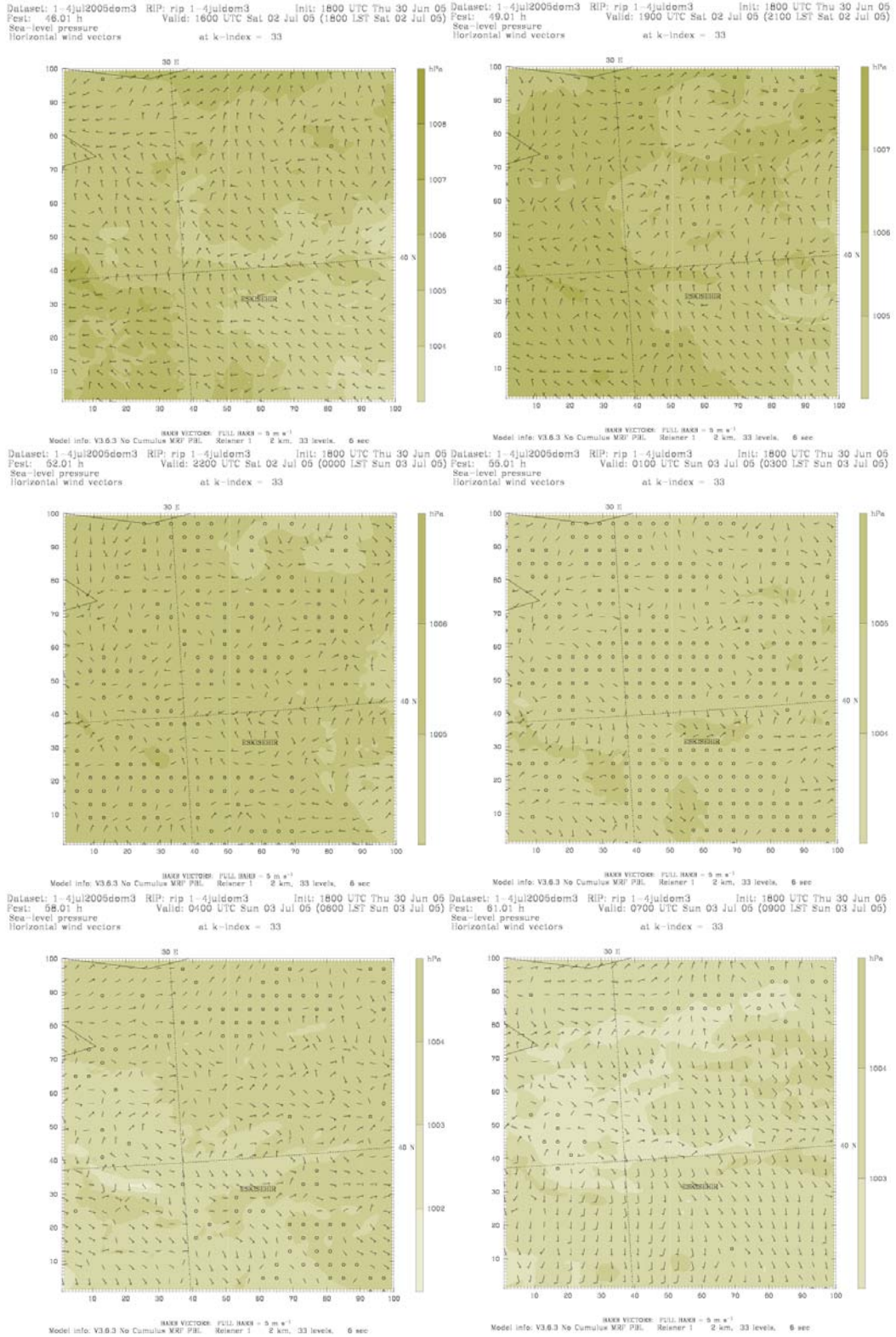
Seçilen tarihlerde gün içindeki ozon değişimini gösteren bu şekiller incelendiğinde, birbirini takip eden bazı günlerde tamamen farklı eğilimler gözleniyor olması, meteorolojik etkenlerdeki değişimlerin ozonun davranışındaki önemli etkisinin göstergesidir.

Yorumlanmak üzere seçilen örnek olaylardan birisi 5-6-7 Temmuz 2005 günlerinde ozon seviyelerinde görülen değişimlerdir. Şekil 4.12'de, bu tarihlerdeki ozon değişimi, rüzgar hızındaki değişimle birlikte gösterilmiştir. Bu şekillerden, ozon derişimleri ile rüzgar hızı arasında belirgin bir ilişki gözlenmemektedir.



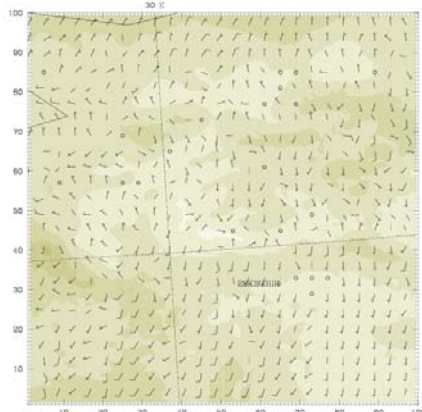
Şekil 4.9. Eskişehir ve yakın çevresi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 3 saat aralıklarla)





**Şekil 4.9. (Devam)** Eskişehir ve yakın çevresi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 3 saat aralıklarla)

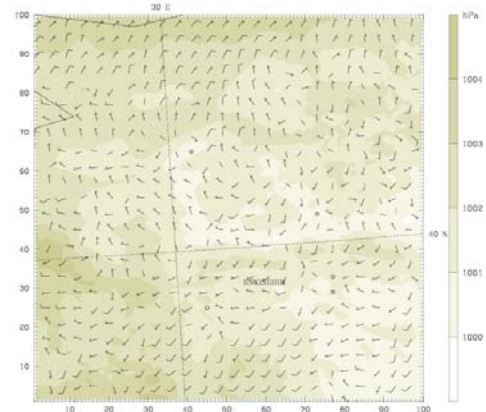
Dataset: 1-4jul2005dom3 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Fcst: 64.00 h Valid: 1000 UTC Sun 03 Jul 05 (1200 LST Sun 03 Jul 05) Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



Model info: V3.6.3 No Cumulus MIX PBL Relaxer 1 2 km, 33 levels, 6 sec

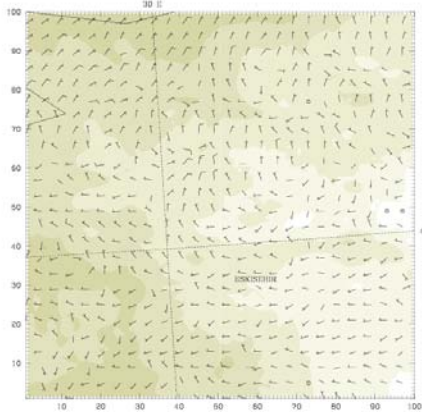
Dataset: 1-4jul2005dom3 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Fcst: 70.00 h Valid: 1600 UTC Sun 03 Jul 05 (1800 LST Sun 03 Jul 05) Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33

Dataset: 1-4jul2005dom3 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Fcst: 67.00 h Valid: 1300 UTC Sun 03 Jul 05 (1500 LST Sun 03 Jul 05) Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



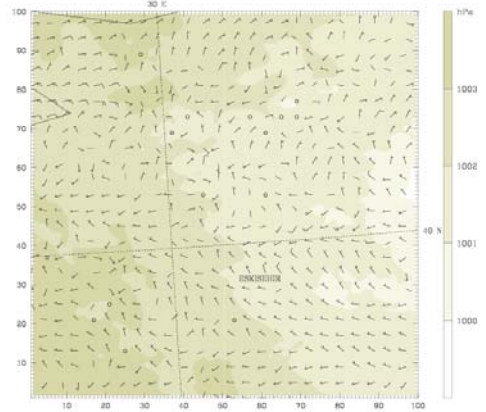
Model info: V3.6.3 No Cumulus MIX PBL Relaxer 1 2 km, 33 levels, 6 sec

Dataset: 1-4jul2005dom3 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Fcst: 73.00 h Valid: 1900 UTC Sun 03 Jul 05 (2100 LST Sun 03 Jul 05) Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33

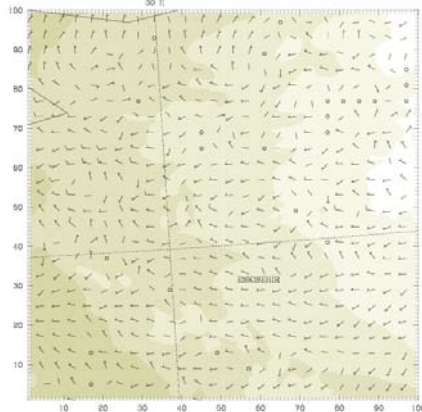


Model info: V3.6.3 No Cumulus MIX PBL Relaxer 1 2 km, 33 levels, 6 sec

Dataset: 1-4jul2005dom3 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Fcst: 76.00 h Valid: 2200 UTC Sun 03 Jul 05 (0000 LST Mon 04 Jul 05) Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



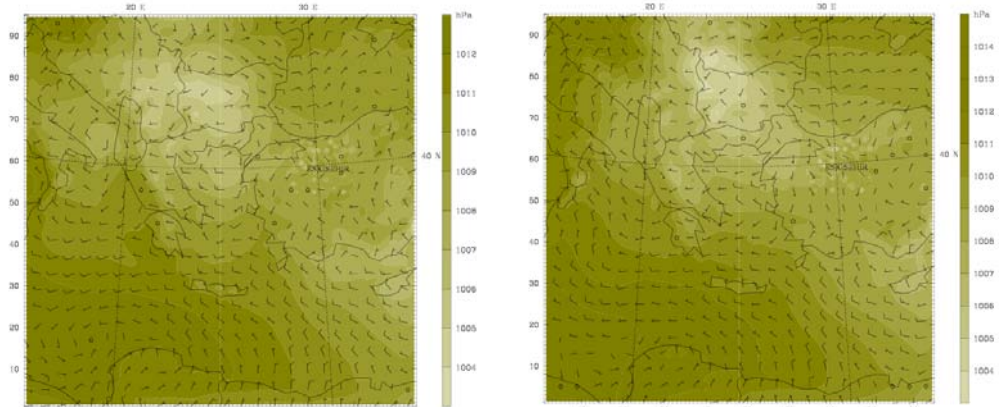
Model info: V3.6.3 No Cumulus MIX PBL Relaxer 1 2 km, 33 levels, 6 sec



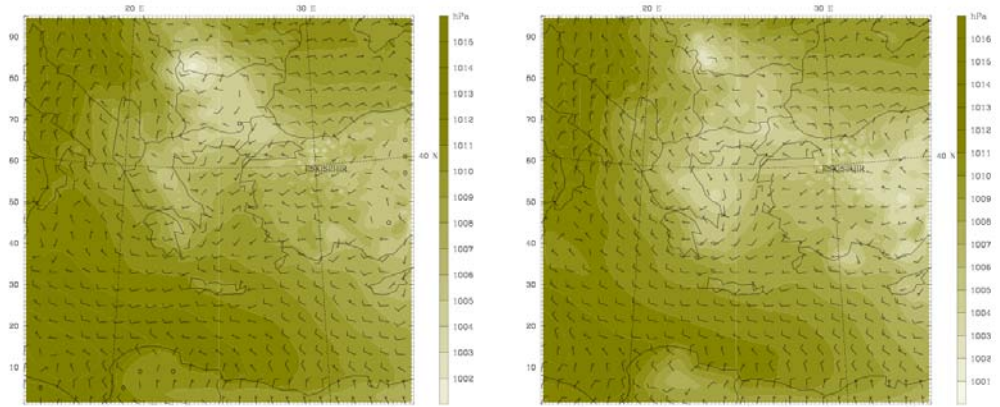
Model info: V3.6.3 No Cumulus MIX PBL Relaxer 1 2 km, 33 levels, 6 sec

**Şekil 4.9. (Devam)** Eskişehir ve yakın çevresi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 3 saat aralıklarla)

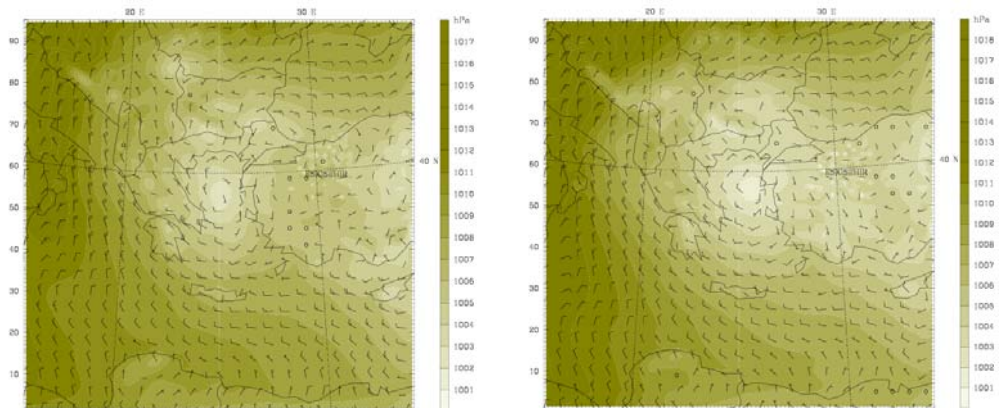
Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05  
 Pset: 28.00 h Valid: 2200 UTC Fri 01 Jul 05 (0000 LST Sat 02 Jul 05) Pset: 34.01 h Valid: 0400 UTC Sat 02 Jul 05 (0600 LST Sat 02 Jul 05)  
 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec  
 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05  
 Pset: 40.01 h Valid: 1000 UTC Sat 02 Jul 05 (1200 LST Sat 02 Jul 05) Pset: 46.01 h Valid: 1600 UTC Sat 02 Jul 05 (1800 LST Sat 02 Jul 05)  
 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



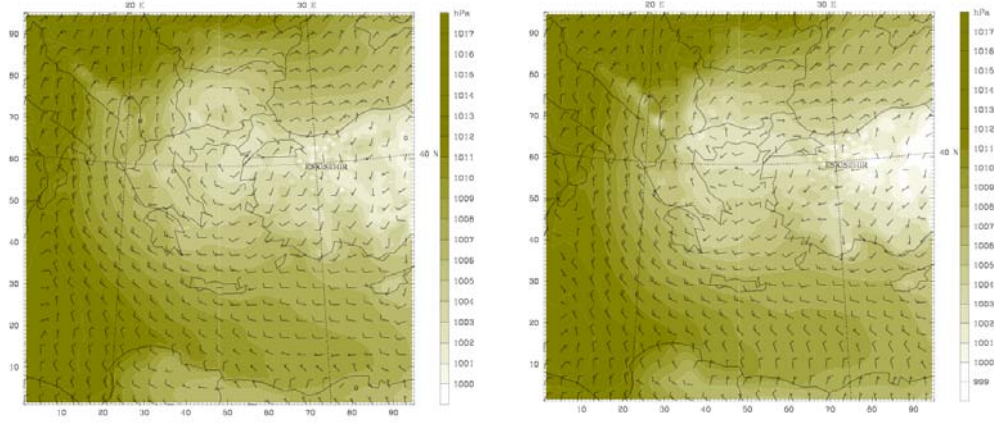
Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec  
 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05  
 Pset: 52.01 h Valid: 2200 UTC Sat 02 Jul 05 (0000 LST Sun 03 Jul 05) Pset: 58.01 h Valid: 0400 UTC Sun 03 Jul 05 (0600 LST Sun 03 Jul 05)  
 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33 Sea-level pressure Horizontal wind vectors at k-index = 33



Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec

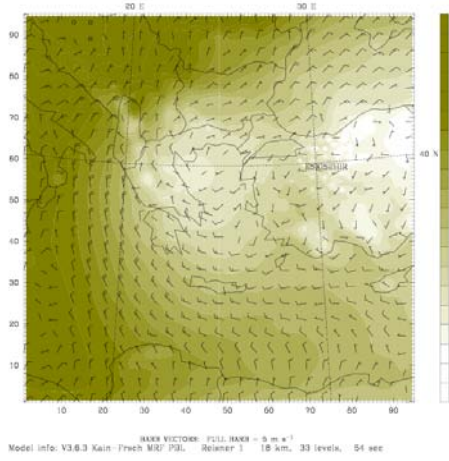
**Şekil 4.10.** Türkiye, Balkanlar ve Doğu Akdeniz Bölgesi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 6 saat aralıklarla)

Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05 Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05  
Fest: 04.00 h Valid: 1000 UTC Sun 03 Jul 05 (1200 LST Sun 03 Jul 05) Fest: 70.00 h Valid: 1800 UTC Sun 03 Jul 05 (1800 LST Sun 03 Jul 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Sea-level pressure at k-index = 33  
Horizontal wind vectors Horizontal wind vectors



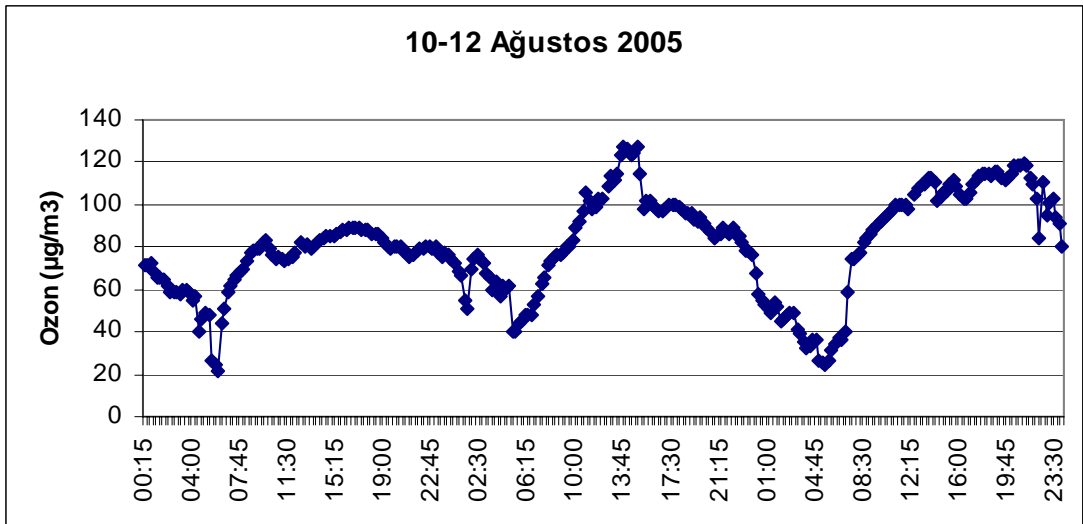
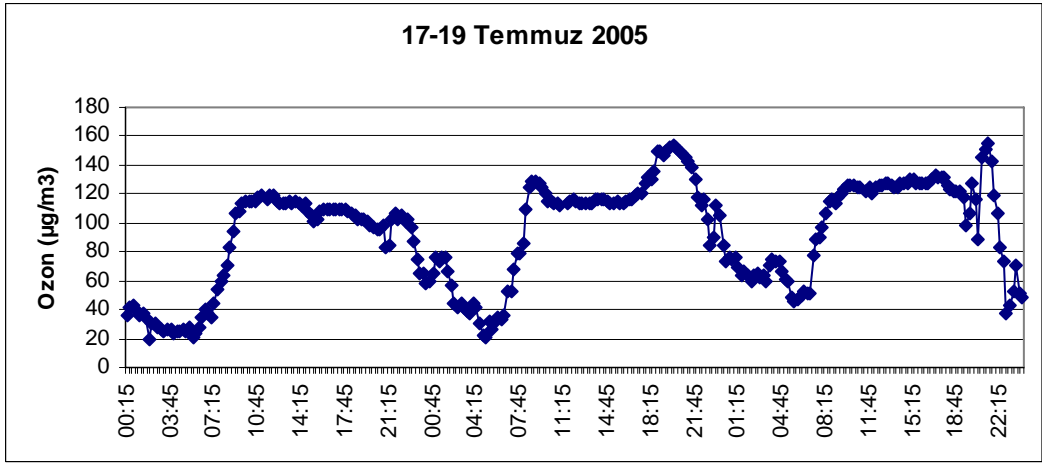
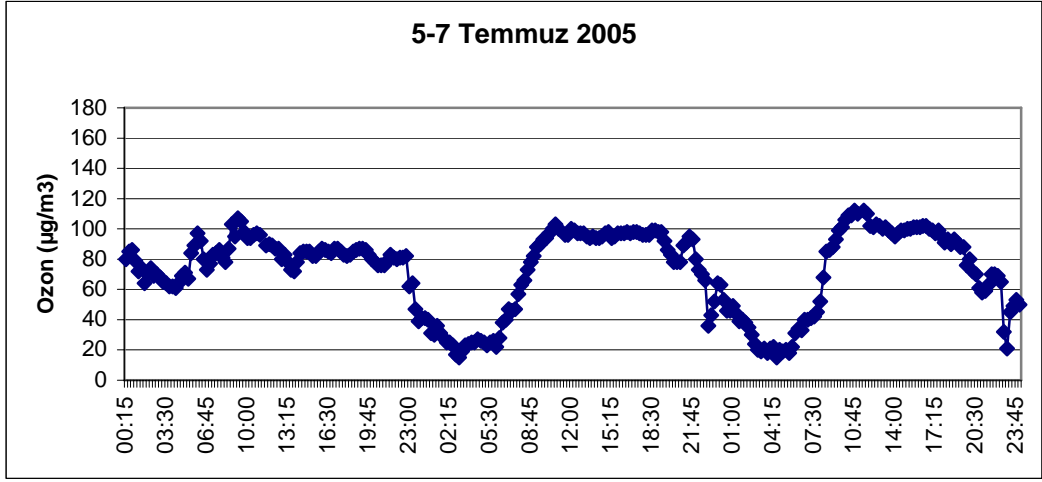
Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec  
Dataset: 1-4jul2005dom1 RIP: rip 1-4juld0m3 Init: 1800 UTC Thu 30 Jun 05  
Fest: 76.00 h Valid: 2200 UTC Sun 03 Jul 05 (0000 LST Mon 04 Jul 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33  
Horizontal wind vectors

Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec

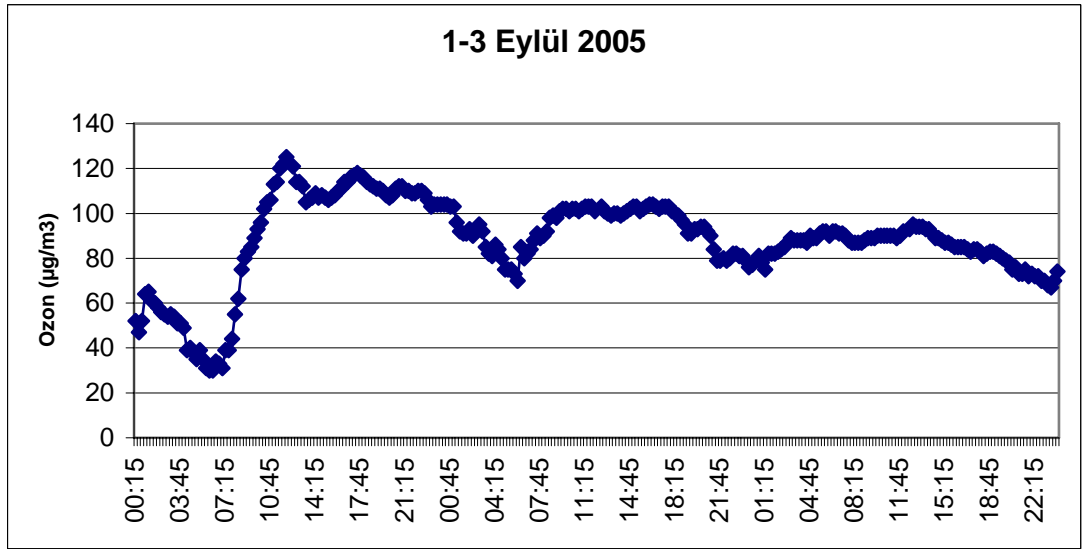
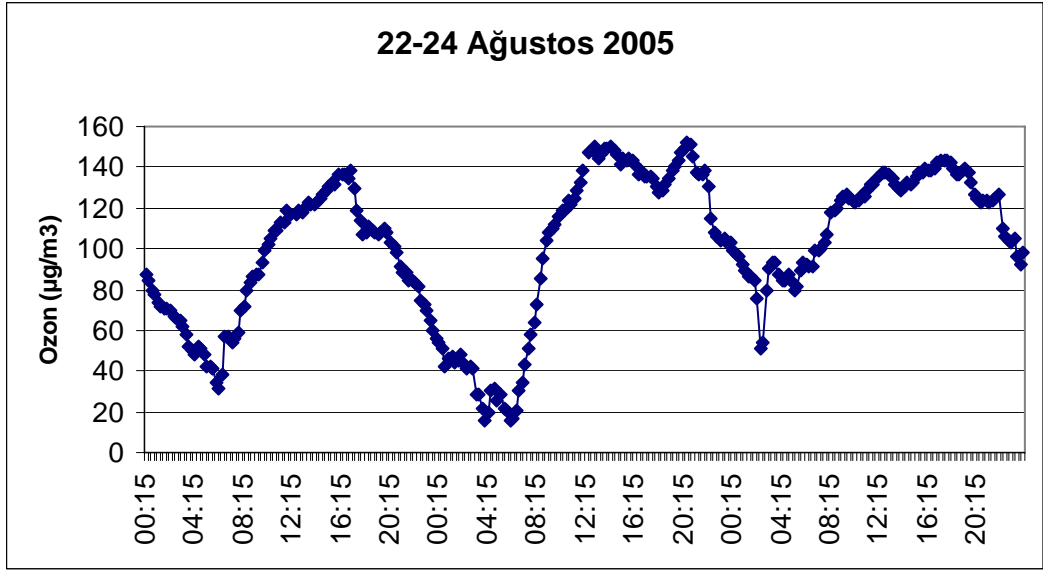


Model info: V3.6.3 Kain-Frac MRF PBL Relaxer 1 18 km, 33 levels, 54 sec

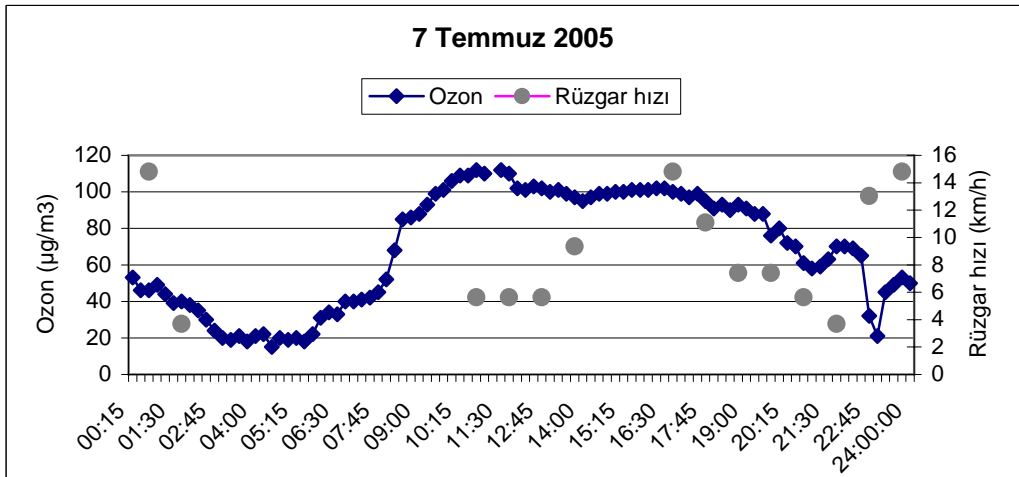
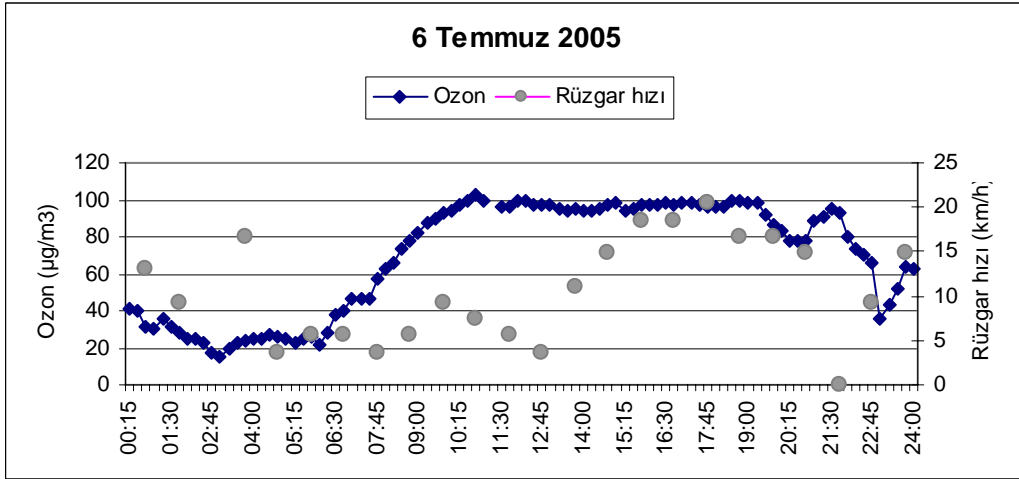
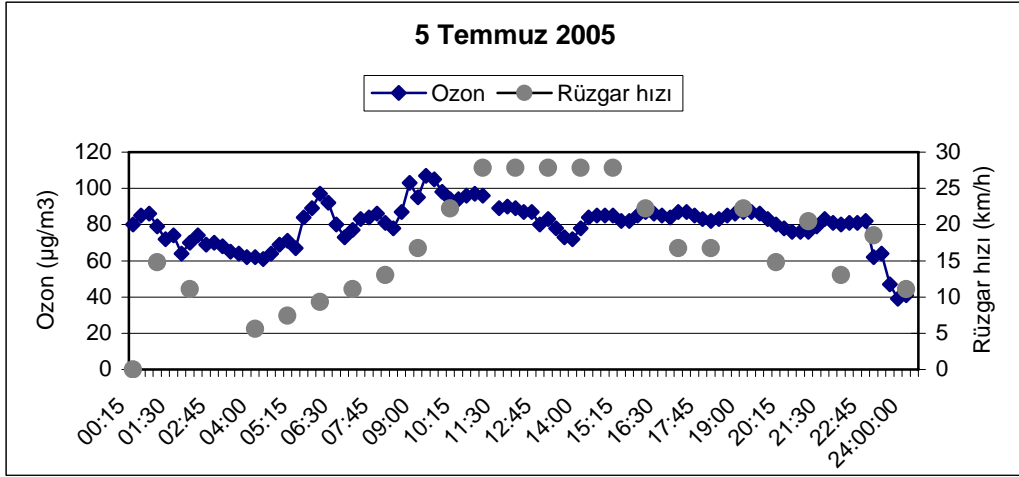
**Şekil 4.10. (Devam)** Türkiye, Balkanlar ve Doğu Akdeniz Bölgesi için MM5 modeli sonuçlarına göre 2-3 Temmuz 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (2 Temmuz 00:00'dan 4 Temmuz 00:00'a 6 saat aralıklarla)



**Şekil 4.11** Eskişehir’de bazı tipik günlere ait ozon derişimlerinin gün içindeki değışimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



**Şekil 4.11. (Devam)** Seçilen bazı tarihlere ozon derişimlerinin gün içindeki değışimleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 4.12. 5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerinde ozon derişimlerinin değişiminin rüzgar hızıyla ilişkisi

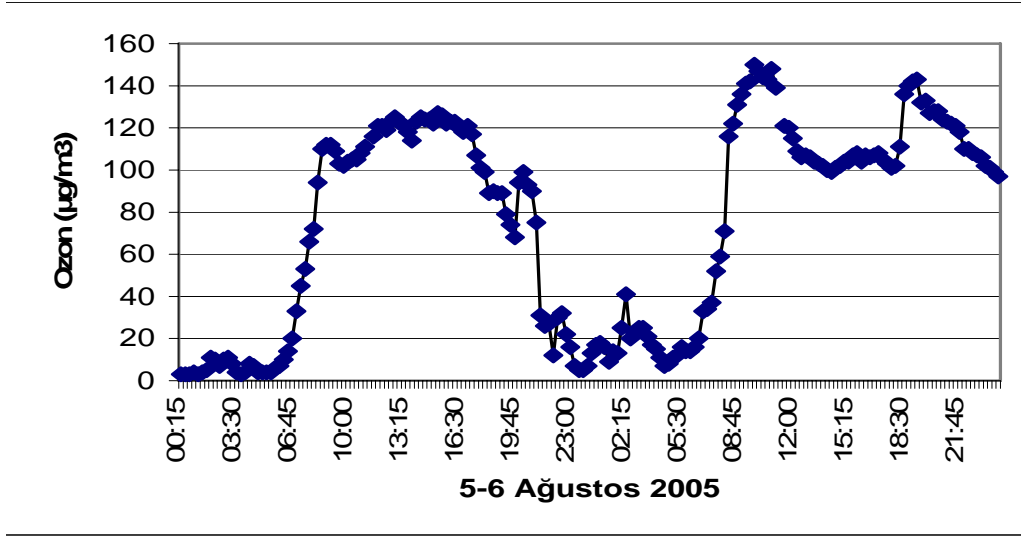
6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki benzer gün içi değişim ile 5 Temmuz 2005 arasındaki farklı görünümün nedeni olan asıl meteorolojik parametrenin rüzgar hızı olmadığı söylenebilir. Bu tarihlerdeki diğer meteorolojik değişkenler incelendiğinde, 5 Temmuz 2005 tarihinde gece geç ve gündüz erken saatlerde yağmur ve günün geri kalanında ise çoğunlukla bulutlu bir havanın hakim olduğu görülmektedir. İlginç olan, bu tarihteki ozon derişiminin takip eden günlerden genel olarak daha düşük olmayışı, ancak günlük salınımının, benzer rüzgar yönlerine rağmen, bu günü takip eden ve çoğunlukla açık gökyüzünün hakim olduğu 6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki günlük salınımdan farklı oluşu ve gün içindeki derişim farklarının daha az oluşudur. 5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki meteorolojik değişkenler EK 7’de özetlenmiştir.

Model uygulamaları yardımıyla incelen bir başka olay da 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde birbirini takip eden iki gün arasındaki ozon eğiliminin farkıdır.

Bu tarihlerdeki ozon derişimi değişimini gösteren Şekil 4.13 incelendiğinde 6 Ağustos 2005 tarihinde, bir önceki günden farklı olarak, ozon derişiminde akşam saatlerinde bir artış olduğu ve gece yarısına dek ancak 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  değerine düşebildiği görülmektedir.

Aynı tarihlere ait MM5 meteorolojik modeli sonuçları Şekil 4.14’te görülmektedir. Şekilde 6 Ağustos 2005 tarihinde Eskişehir ve çevresinde alçak basıncın hakim olduğu, akşam saatlerinde ise alçak basıncın doğuya doğru hareket ederek batı-doğu yönlü hava hareketlerine neden olduğu görülmektedir. Bu durum, daha önce incelenmiş olan 2-3 Temmuz 2005 tarihlerindeki gibi, ozon ile alçak basınç sistemi arasındaki ilişkiyi ve bu tür meteorolojik koşullarda batı yönündeki kaynaklardan taşınan ozonun sebep olduğu gecikmiş yüksek değerleri işaret etmektedir.





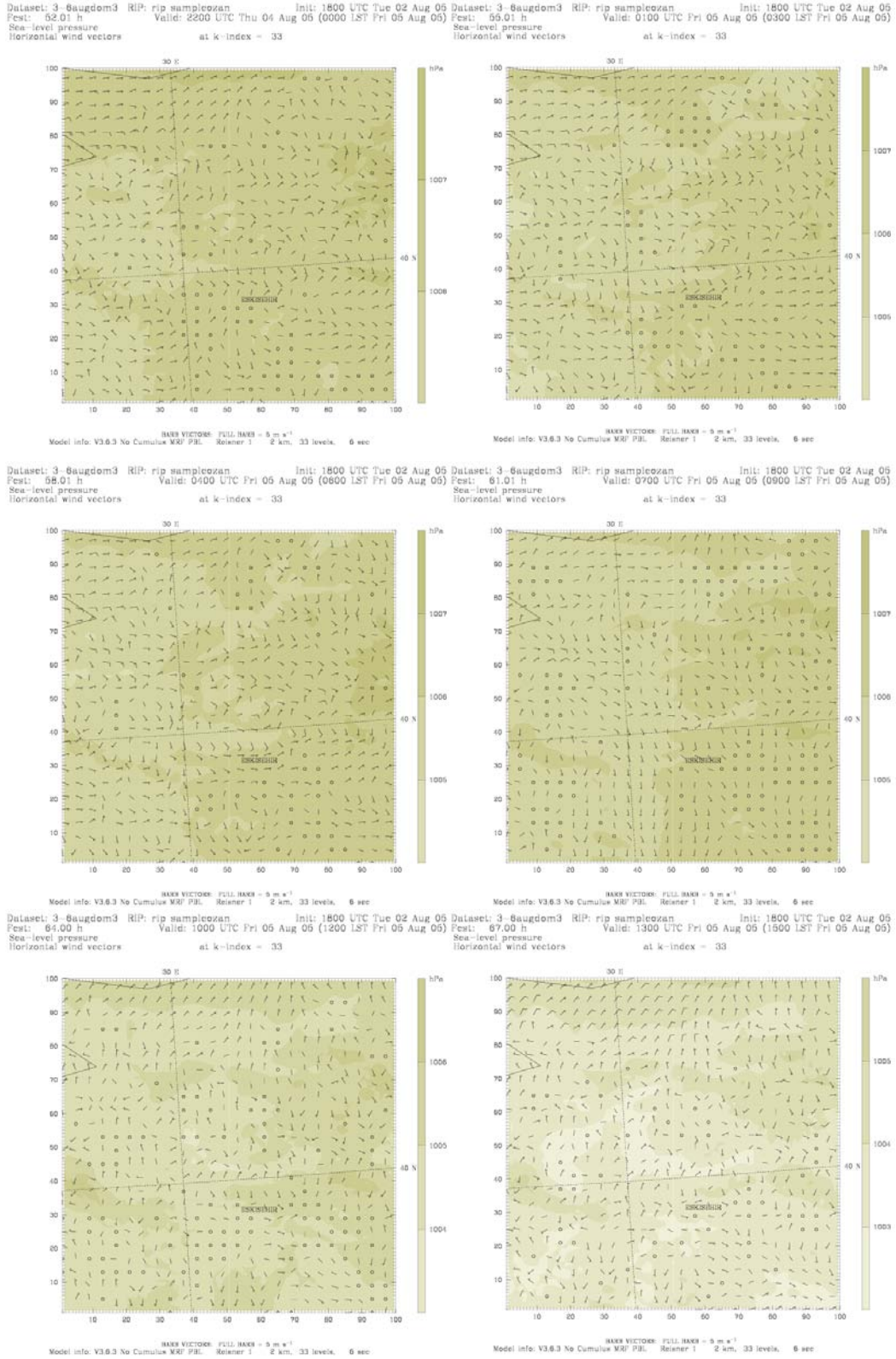
Şekil 4.13. 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde İki Eylül kampüsünde ölçülen ozon derişimleri

Atmosferik bir bileşenin derişimleri ve rüzgar yönleri arasındaki ilişkiyi incelenmekte kullanabilecek bir başka araç da “kirlilik gülü”dür. Rüzgar gülünün bir uyarlaması olan bu araçta, rüzgarın estiği her yön için esiş sıklığı ve kirleticinin rüzgarın estiği yöndeki derişimlerinin gruplandırılması gösterilir.

Buraya kadar farklı araçlarla incelenmiş olan 2-3 Temmuz 2005 ve 5-6 Ağustos 2005 tarihleri için “ozon gülleri” Şekil 4.15’te verilmiştir.

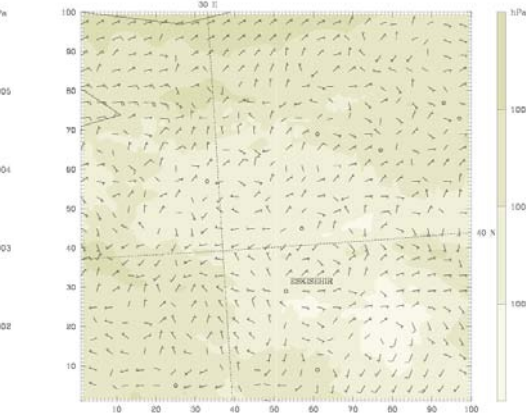
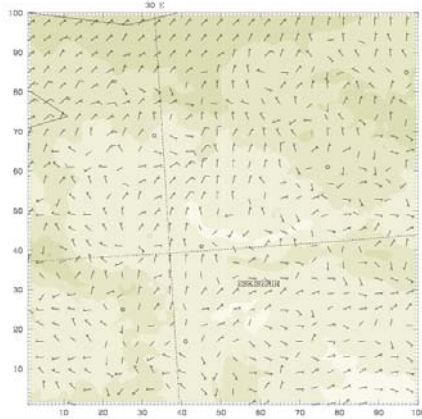
3 Temmuz 2005 tarihine ait ozon güllerinde dikkat çeken nokta, gün boyunca esiş sıklığı açısından doğulu rüzgarların daha fazla olmasına rağmen, batılı rüzgarların estiği durumlarda ozon seviyelerinin daha yüksek oluşudur.

5 Ağustos 2005 tarihinde doğulu rüzgarlar belirgin biçimde hakimdir ve ozon seviyeleri de yüksektir. Ancak 6 Ağustos günü kuzey rüzgarlarının estiği durumlarda ozon seviyeleri daha da yüksektir ve doğu rüzgarlarının hem sıklık açısından hem de ozon seviyeleri açısından önemini yitirdiği görülmektedir.



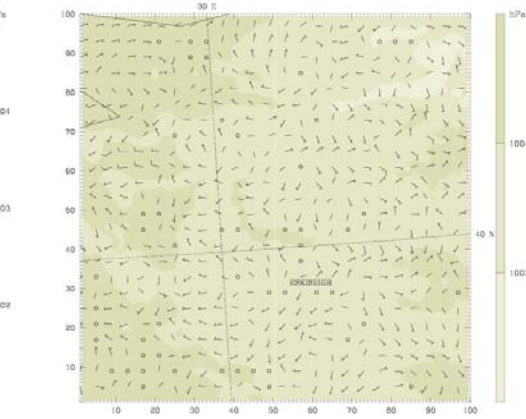
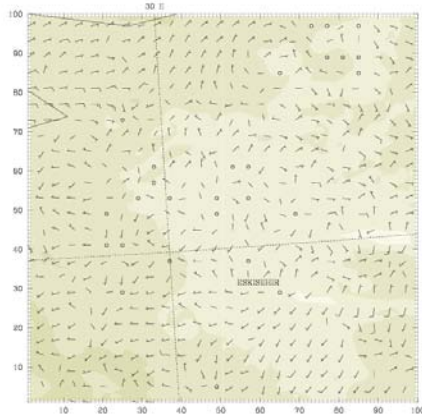
**Şekil 4.14.** Eskişehir ve yakın çevresinde MM5 modeli sonuçlarına göre 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (5 Ağustos 00:00'dan 7 Ağustos 00:00'a 3 saat aralıklarla)

Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 70.00 h Valid: 1800 UTC Fri 05 Aug 05 (1800 LST Fri 05 Aug 05) Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 73.00 h Valid: 1900 UTC Fri 05 Aug 05 (2100 LST Fri 05 Aug 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Sea-level pressure at k-index = 33  
Horizontal wind vectors Horizontal wind vectors



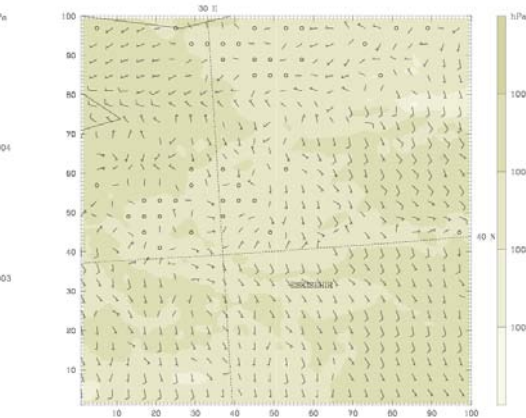
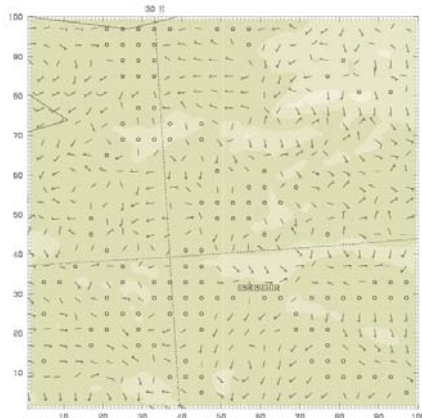
Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 76.00 h Valid: 2200 UTC Fri 05 Aug 05 (0000 LST Sat 06 Aug 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Horizontal wind vectors

Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 79.00 h Valid: 0100 UTC Sat 06 Aug 05 (0300 LST Sat 06 Aug 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Horizontal wind vectors



Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 82.00 h Valid: 0400 UTC Sat 06 Aug 05 (0600 LST Sat 06 Aug 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Horizontal wind vectors

Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
Dataset: 3-8augdom3 RIP: rip sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Pst: 85.00 h Valid: 0700 UTC Sat 06 Aug 05 (0900 LST Sat 06 Aug 05)  
Sea-level pressure at k-index = 33 Horizontal wind vectors

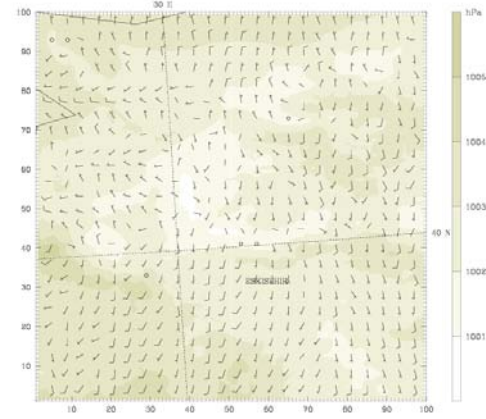
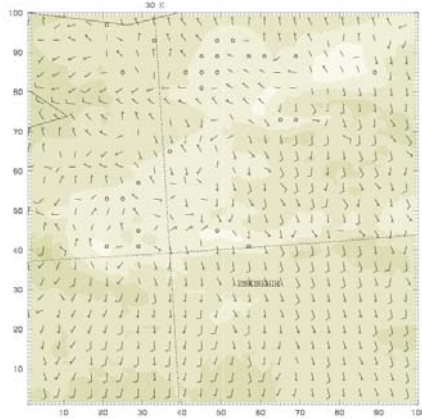


Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec

Model info: V3.6.3 No Cumulus MRF PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec

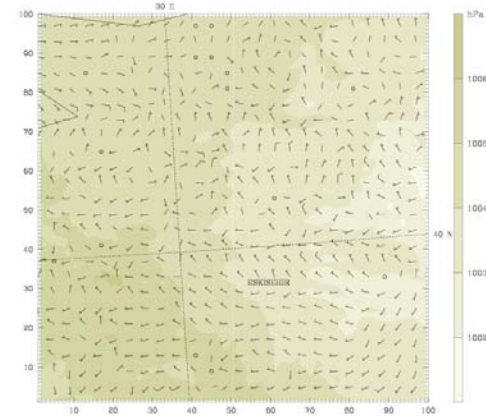
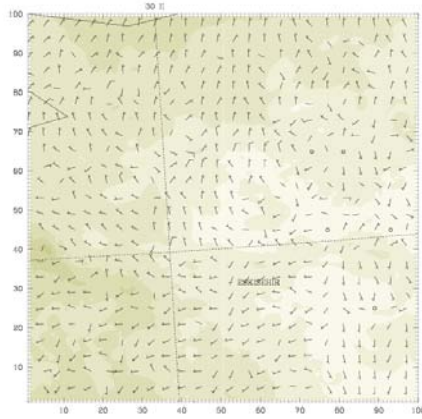
**Şekil 4.14. (Devam)** Eskişehir ve yakın çevresinde MM5 modeli sonuçlarına göre 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (5 Ağustos 00:00'dan 7 Ağustos 00:00'a 3 saat aralıklarla)

Dataset: 3-Baugdom3 RIP: rjp sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05 Dataset: 3-Baugdom3 RIP: rjp sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05  
 Post: 08:00 h Valid: 1000 UTC Sat 06 Aug 05 (1200 LST Sat 06 Aug 05) Post: 09:00 h Valid: 1300 UTC Sat 06 Aug 05 (1500 LST Sat 06 Aug 05)  
 Sea-level pressure at k-index = 33 Sea-level pressure at k-index = 33  
 Horizontal wind vectors Horizontal wind vectors



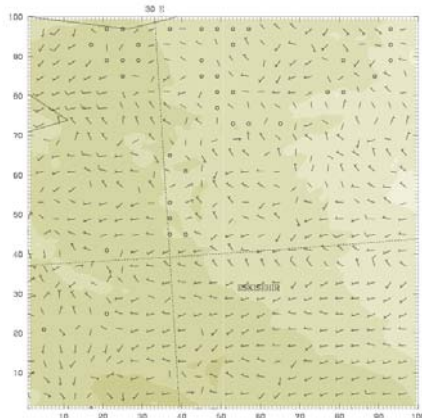
Model info: V3.6.3 No Cumulus MP/PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
 Dataset: 3-Baugdom3 RIP: rjp sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05  
 Post: 09:00 h Valid: 1600 UTC Sat 06 Aug 05 (1800 LST Sat 06 Aug 05)  
 Sea-level pressure at k-index = 33  
 Horizontal wind vectors

Model info: V3.6.3 No Cumulus MP/PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
 Dataset: 3-Baugdom3 RIP: rjp sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05  
 Post: 09:00 h Valid: 1900 UTC Sat 06 Aug 05 (2100 LST Sat 06 Aug 05)  
 Sea-level pressure at k-index = 33  
 Horizontal wind vectors



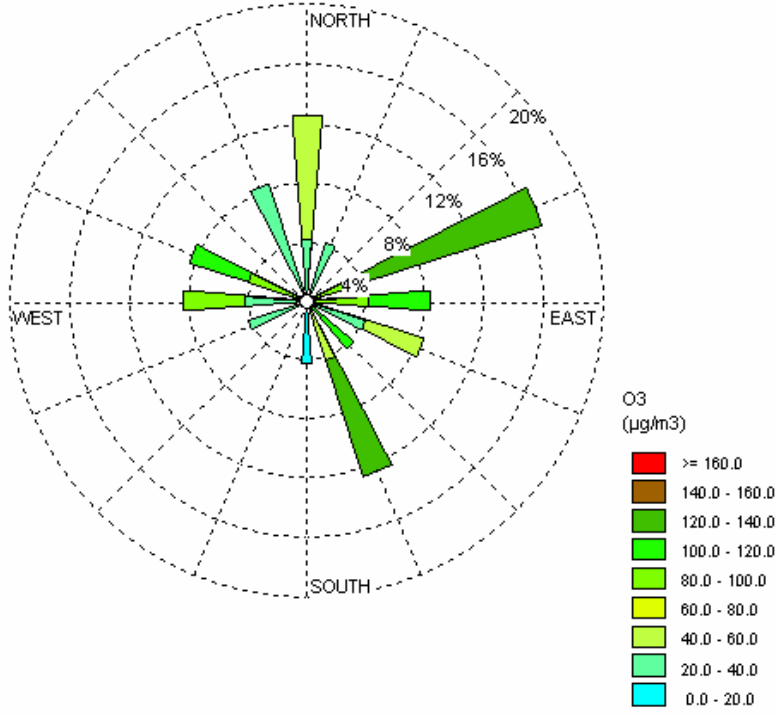
Model info: V3.6.3 No Cumulus MP/PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec  
 Dataset: 3-Baugdom3 RIP: rjp sampleozan Init: 1800 UTC Tue 02 Aug 05  
 Post: 10:00 h Valid: 2200 UTC Sat 06 Aug 05 (0000 LST Sun 07 Aug 05)  
 Sea-level pressure at k-index = 33  
 Horizontal wind vectors

Model info: V3.6.3 No Cumulus MP/PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec

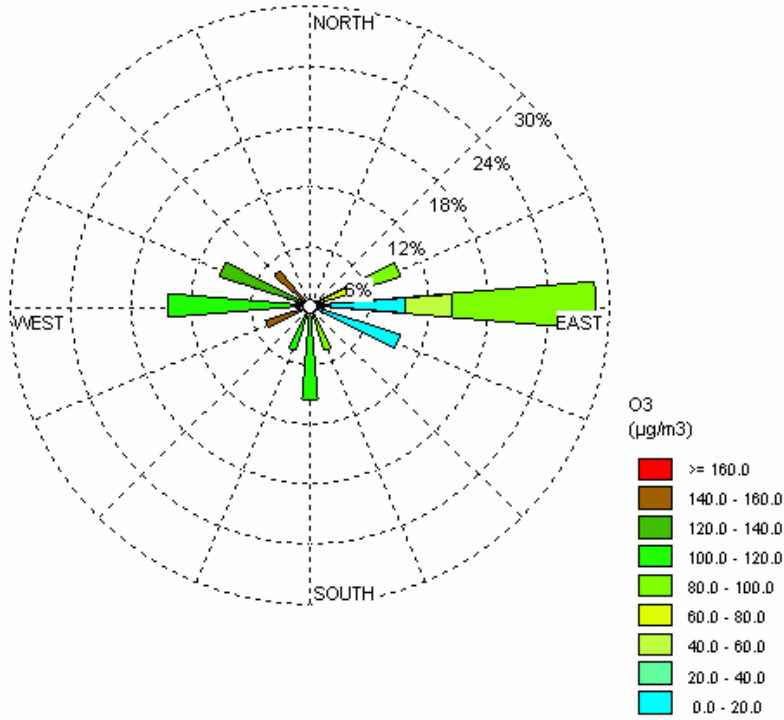


Model info: V3.6.3 No Cumulus MP/PBL Reiner 1 2 km, 33 levels, 6 sec

**Şekil 4.14. (Devam)** Eskişehir ve yakın çevresinde MM5 modeli sonuçlarına göre 5-6 Ağustos 2005 tarihlerinde basınç, rüzgar hızı ve yönü (5 Ağustos 00:00'dan 7 Ağustos 00:00'a 3 saat aralıklarla)

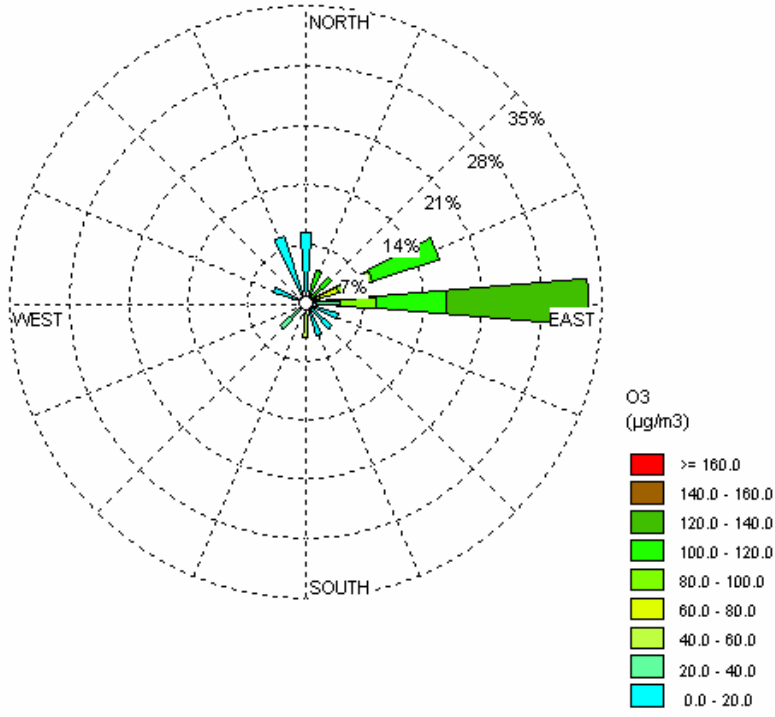


2 Temmuz 2005

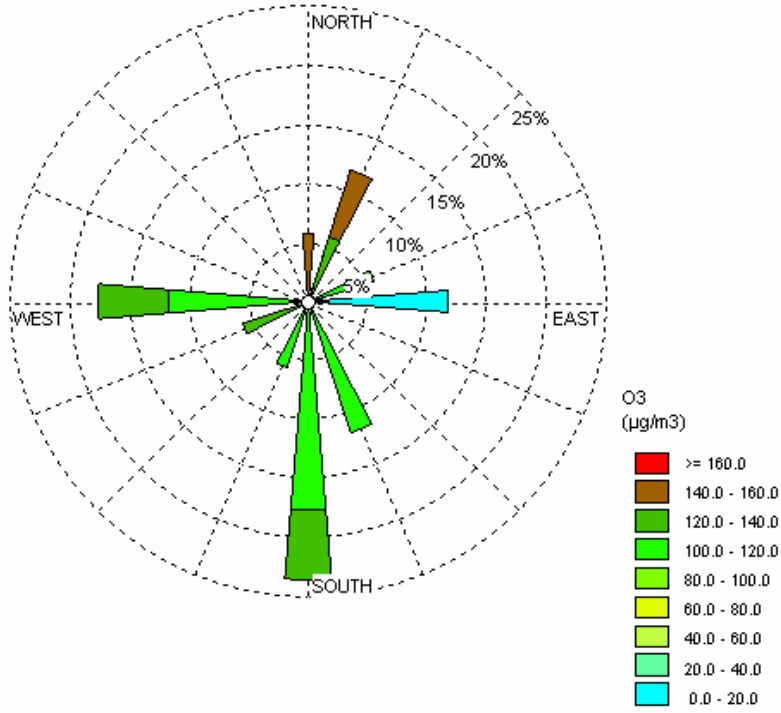


3 Temmuz 2005

Şekil 4.15. 2-3 Temmuz 2005 ve 5-6 Ağustos 2005 tarihlerine ait “ozon gülleri”



5 Ağustos 2005



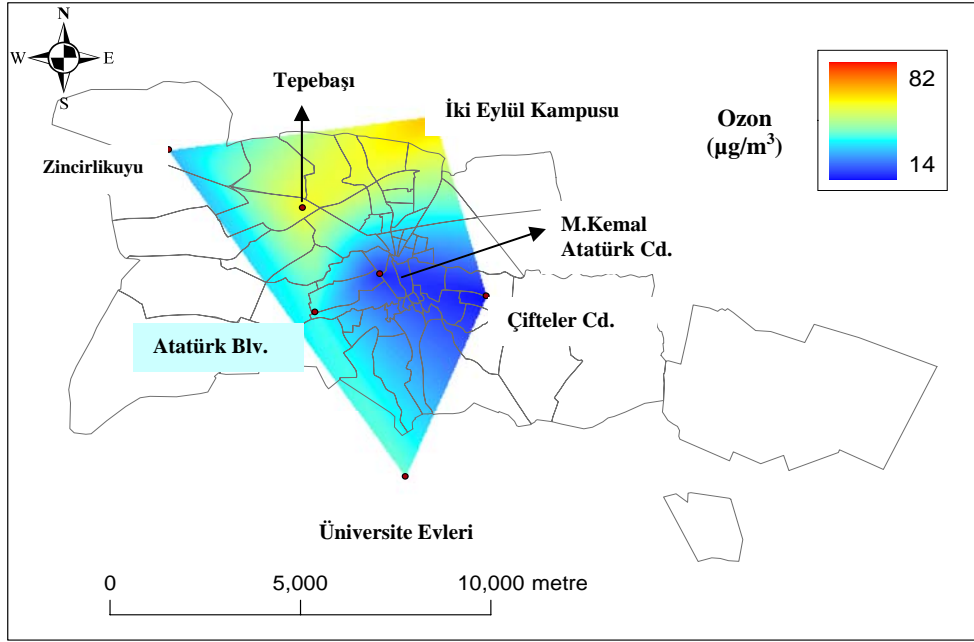
6 Ağustos 2005

Şekil 4.15. (Devam) 2-3 Temmuz 2005 ve 5-6 Ağustos 2005 tarihlerine ait “ozon gülleri”

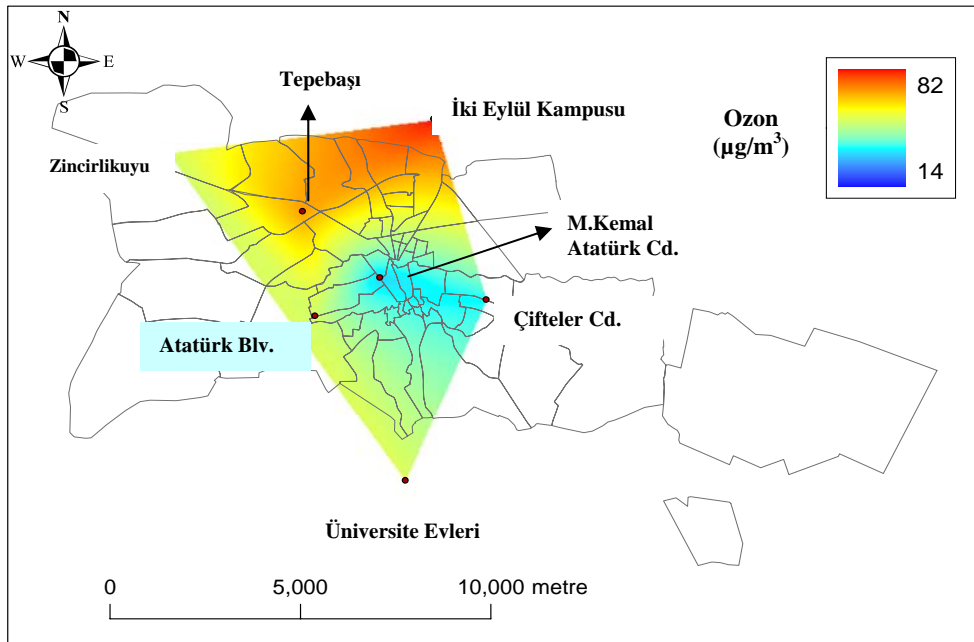
Bu tez çalışması kapsamında sürekli ozon ölçümleri yalnızca İki Eylül Kampüsü'nde gerçekleştirilebilmiştir. Bu nedenle şimdiye kadar tartışılan kentin yalnızca bir noktasındaki ölçüm verileridir. Sürekli ozon ölçümlerinin çok noktada gerçekleştirilmesi pahalı bir işlem olduğundan ve işletilmesi de sorunlu olabildiğinden, atmosferik bileşenlerin mekansal dağılımını belirlemenin ekonomik ve etkin bir yöntemi olarak pasif örnekleme sonrası laboratuvarında analiz öne çıkmaktadır.

Özden'in (2005) çalışmasında Eskişehir kent merkezinin değişik noktalarında pasif örnekleme ile ozon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16'da sonuçları görülen ve 2005 yılı boyunca 7 noktada gerçekleştirilen ölçümlerde, ozon derişimlerinin emisyonlarla ilişkisi açıkça görülmekte ve ozonun mekansal değişimi gözlenmektedir. Kent merkezindeki, özellikle trafik kökenli NO emisyonları nedeniyle ozon derişimleri düşükken, merkezden uzakta ozon derişimi artmaktadır. Pasif örnekleme sonucu İki Eylül Kampüsü'nden elde edilen değerler, sürekli ölçüm cihazının ürettiği verilerle uyumludur.

Hem kış hem de yaz ayları için gerçekleştirilen pasif örnekleme sonuçlarına göre, her iki mevsimde de ozonun yüksek ve düşük olduğu noktalar benzerdir ancak seviyelerde beklenen mevsimsel farklılıklar vardır. Güneş ışığı etkinliğinin ve sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında ozonda da artış gözlenmektedir. NO emisyonlarının yüksekliği nedeniyle ozonun en düşük seviyelerinin gözlendiği noktalar hem kış hem yaz aylarında, trafiği yoğun olduğu M. Kemal Atatürk ve Çifteler Caddeleri iken en yüksek seviyeler ise İki Eylül Kampüsü'nde gözlenmektedir.



a)



b)

**Şekil 4.16.** Pasif örnekleme sonuçlarına göre Eskişehir’de **a)** 2005 kış dönemi **b)** 2005 yaz dönemi ortalama ozon derişimlerinin dağılımı (Özden 2005)



#### 4.4. AOT40 Değerleri

Bu çalışmada, bitkilerin ozona maruziyetinin bir göstergesi olan AOT40 değerleri hesaplanmıştır. AOT40 kriteri ele alındığında, Eskişehir bölgesinde en azından bitkilerin korunması açısından bir sorun olduğundan bahsedilebilir. Yeni yönetmelik taslağı kapsamındaki AOT40 tanımına ve hedef değerlere bakıldığında, bu hedef değerlere ulaşabilmek için ozon kontrol stratejilerinin uygulanması gelecekte bir zorunluluk olarak görünmektedir. Yönetmelikte 2020 yılı için hedef AOT40 değeri (beş yıllık ortalama olarak)  $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$  olarak verilmektedir. Oysa yalnızca Temmuz ayındaki ölçüm sonuçları incelendiğinde ve yönetmelik taslağındaki AOT40 tanımına uyulduğunda (Mayıs ayından Temmuz ayına kadar yalnızca 8:00-20:00 saatleri arasındaki ozon derişimleri ele alındığında) AOT 40 değerinin yalnızca Temmuz ayı toplamı için  $10233 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$  olduğu görülmektedir. Yönetmelik tasarısındaki zaman aralığı göz ardı edilerek Temmuz ayına ait tüm veriler hesaba katıldığında Temmuz ayı AOT40 değeri  $12304 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$  olarak bulunmaktadır.

Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarına ait AOT40 değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Görüldüğü gibi, yeni yönetmelik taslağındaki tanıma göre Mayıs-Temmuz ayları arasındaki toplam AOT40 değeri 2005 yılı için  $27940 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer, yönetmelik taslağında belirtilen ve 2020 yılı hedef değeri olan  $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$  değerinin yaklaşık 1.5 katıdır. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğı tasarısında belirtilen uzun vadeli hedef değer ise  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$ ’dir.

**Çizelge 4.2.** Mayıs, Haziran, Temmuz 2005 için AOT40 değerleri

	<b>Tüm gün AOT40 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{st}</math>)</b>	<b>08:00-20:00 arası AOT40 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{st}</math>)</b>
Mayıs 2005	10672	8851
Haziran 2005	10348	8856
Temmuz 2005	12304	10233
<b>TOPLAM</b>	<b>33324</b>	<b>27940</b>

#### 4.5. CAMx Kimyasal Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eskişehir ve çevresindeki ozon seviyelerinin dağılımının incelenmesi amacıyla, seçilen bazı tarihler için CAMx fotokimyasal modeliyle hesaplamalar yapılarak sonuçlar haritalar halinde sunulmuştur. Farklı meteorolojik koşulların neden olduğu farklı ozon davranışlarını inceleyebilmek amacıyla, birbirini takip eden günlerde ozonun ölçülmüş olan değerlerinin gün içindeki değişimlerinin farklı olduğu tarihler seçilmiştir.

Daha önceki bölümde yalnızca ölçümün gerçekleştiği İki Eylül Kampüsündeki meteorolojik koşulları ile birlikte değerlendirilmiş olan 2-3 Temmuz 2005 tarihleri, incelenmek üzere seçilen tarihlere dendir. Yöntem bölümünde anlatılan nedenlerden dolayı (başlangıç ve sınır koşullarıyla ilgili varsayımlardan kaynaklanan hataların en aza indirilmesi) model, 2 Temmuz tarihinden itibaren sonuçların daha güvenilir olması beklentisiyle, 1 Temmuz tarihinden itibaren çalıştırılmıştır.

2-4 Temmuz 2005 tarihlerindeki ozon seviyelerinin dağılımı Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Bu tarihlere ait model sonuçlarının, MM5 meteorolojik modelinin de sonuçlarıyla birlikte genel bir değerlendirilmesi sonucu öne çıkan noktalar şu şekilde özetlenebilir:

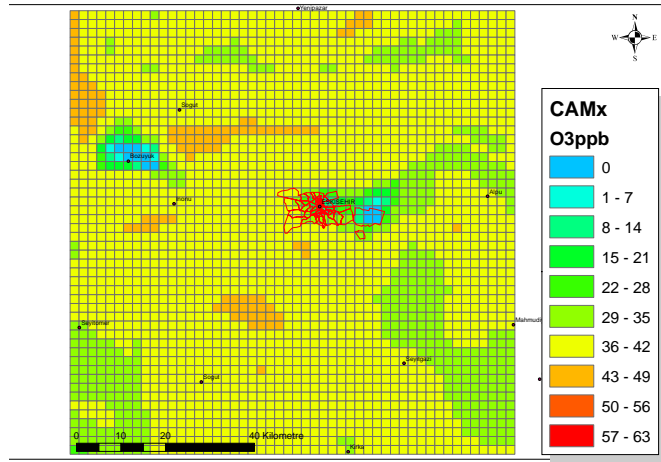
- Modellenen zamana ait aralık içindeki yüksek ozon seviyeleri sırasıyla; Eskişehir’in kuzeybatısı, kuzeyi ve batısında gözlenmektedir
- NO/NO<sub>2</sub> oranlarının yüksekliği nedeniyle Bozüyük ve Eskişehir kent merkezlerinde ve yakın çevresinde ozon seviyeleri oldukça düşüktür.
- Aynı nedenle, özellikle kuzey-kuzeydoğu-batı rüzgarlarının hakim olduğu gündüz saatlerinde Bozüyük ve Eskişehir’in doğusu ve güneyinde de, şehirden kaynaklanan NO kaynaklarının ozonu tüketmesi nedeniyle, ozon seviyeleri düşmektedir.
- Batılı-kuzeyli rüzgarlarla taşınımından sonra, yüksek ozon seviyelerinin ilişkili olduğu meteorolojik koşullar rüzgar hızlarının düşük ya da durgun olduğu koşullardır.

3 Temmuz 2005 tarihinde gözlenen ve daha önce tartışılmış olan meteorolojik koşullardaki ani sayılabilecek değişikliğin CAMx modelinin sonuçlarına etkisi de görülmektedir. Sözü edilen gün öğlen saatlerine kadar güneyli yönlerden esen rüzgar ozon seviyelerinde düşüşe neden olurken, öğleden sonradan itibaren kuzeybatı ve batı yönünden esmeye başlayan rüzgarlarla birlikte taşınan ozon, bölgenin kuzeybatısındaki ozon seviyelerini arttırmıştır. Ancak yine de bu artış ölçümlerde görülen yüksek değerlere ulaşmamaktadır. Bu durum ilerideki bölümlerde tartışılmaktadır.

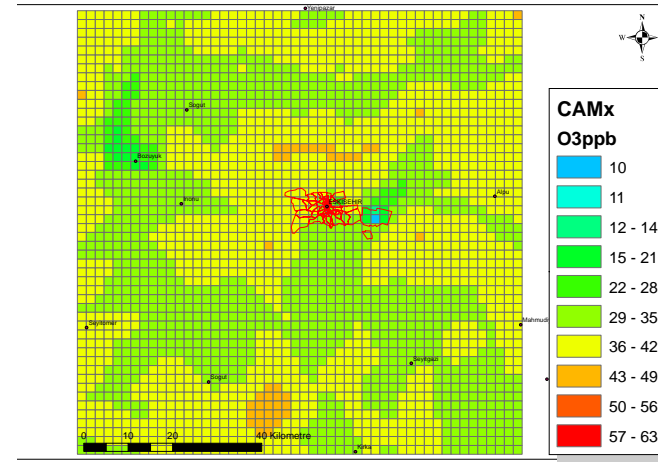
5-6 Ağustos 2005 tarihlerine ait model sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir. Daha önce ele alınan örneğe benzer şekilde, bu haritalar da önceki bölümde verilmiş olan meteorolojik model sonuçları ile birlikte incelendiğinde, güneyli ve doğulu rüzgarların düşük, kuzeyli ve batılı rüzgarların ise yüksek ozon değerleriyle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

Ele alınan örneklerde, yalnızca küçük ağdaki biyogenik emisyonlar çıkarılarak hesaplamalar da yapılmış, ancak model sonuçlarında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bunun en önemli iki nedeni, Eskişehir’in batısı ve kuzeybatısındaki önemli emisyon kaynaklarının yarattığı bölgesel etkinin, yerel etkilere baskın olması ve özellikle Eskişehir’in doğu ve güneyindeki arazi kullanımının, yüksek biyogenik emisyonlara neden olan ormanlar ve diğer bitki türleri yerine, düşük biyogenik emisyonlara neden olan tahıl üretimi benzeri tarımsal uygulamalar açısından daha yoğun olmasıdır.

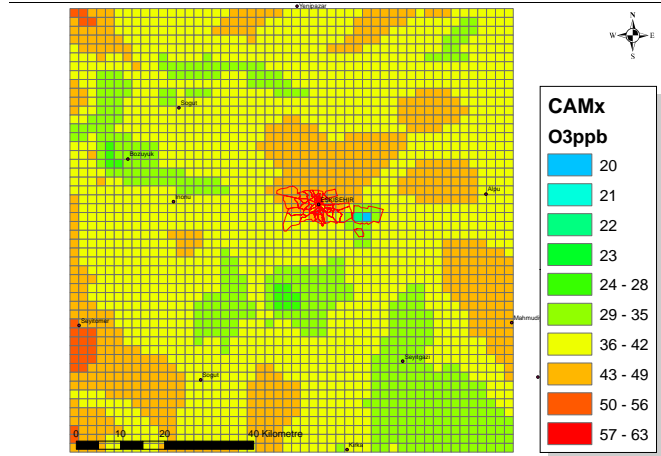
Modelleme çalışmaları ile ilgili genel bilgiler başlığında bahsedilen ve Clapp ve Jenkin (2001) tarafından vurgulanan, kirliliğin bölgesel ve yerel bileşenlerinin etkileri bu çalışmadaki model sonuçlarında da gözlenebilmiştir.



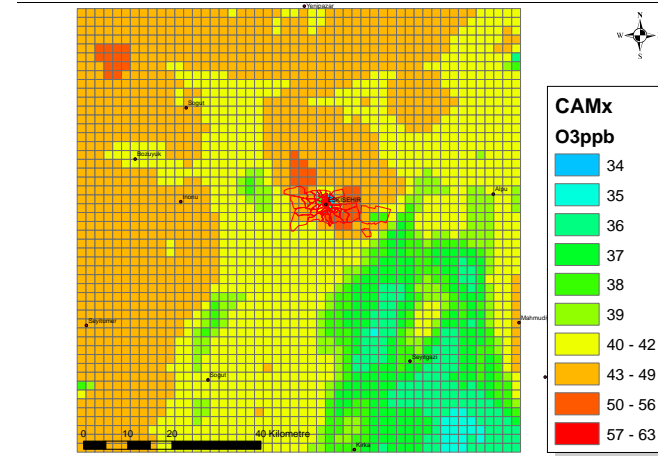
2 Temmuz 2005 00:00



2 Temmuz 2005 03:00

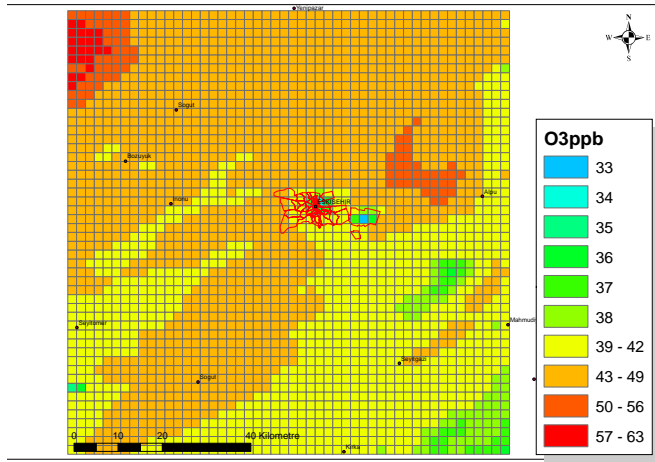


2 Temmuz 2005 06:00

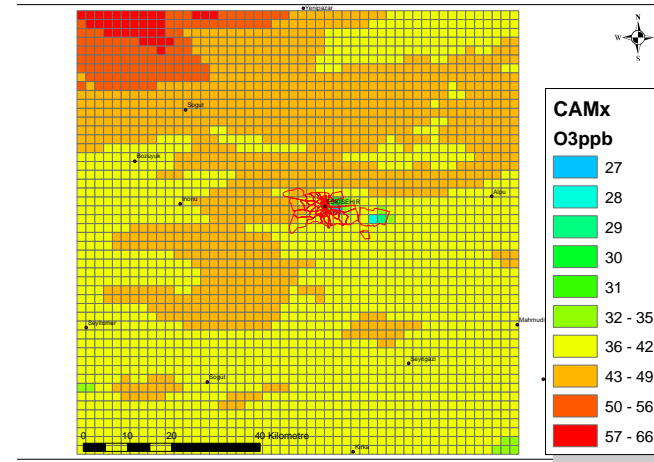


2 Temmuz 2005 09:00

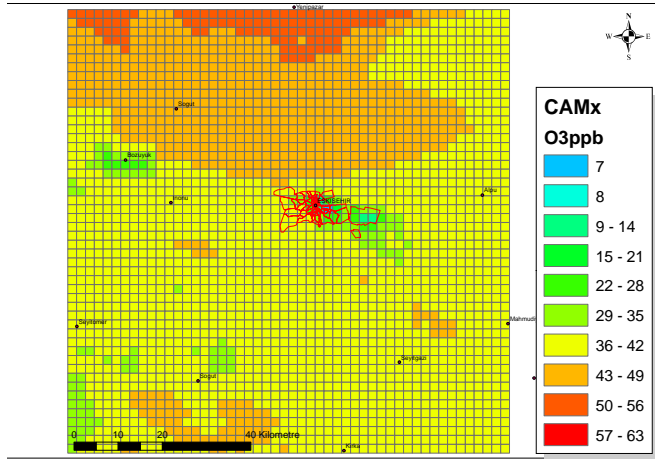
Şekil 4.17. 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları



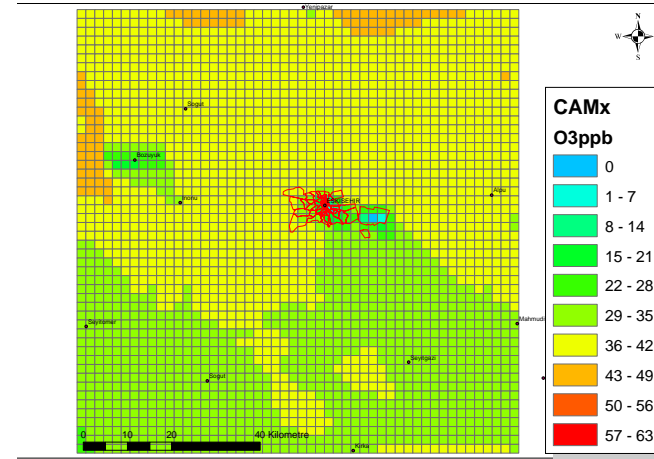
2 Temmuz 2005 12:00



2 Temmuz 2005 15:00

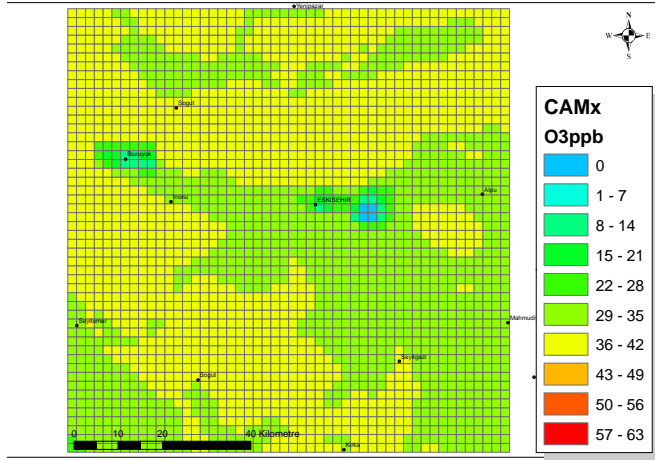


2 Temmuz 2005 18:00

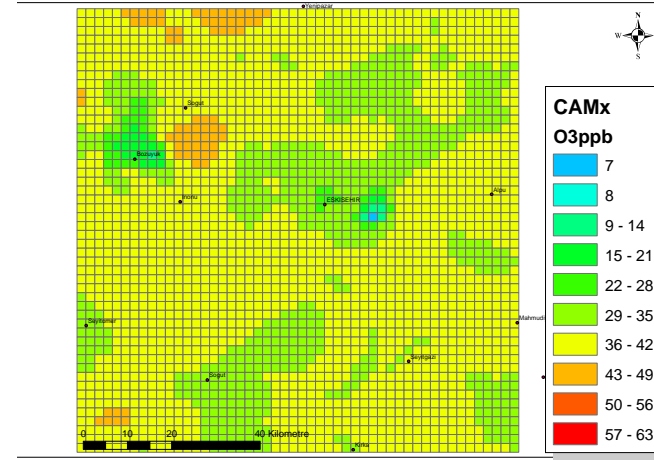


2 Temmuz 2005 21:00

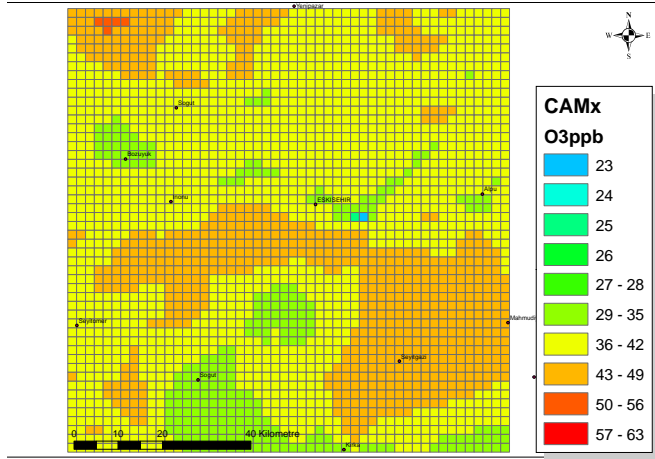
Şekil 4.17 (devam). 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları



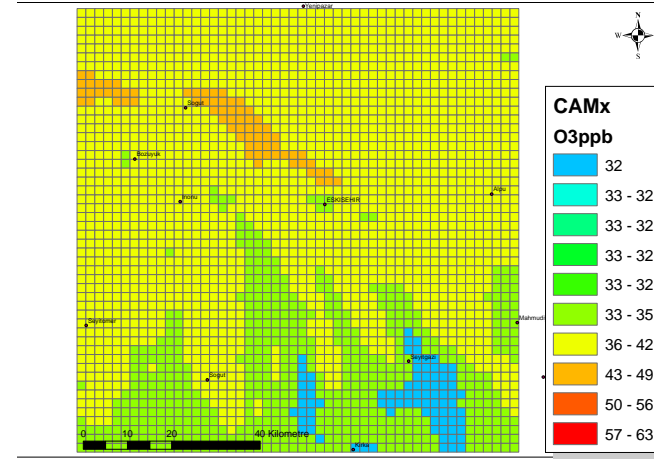
3 Temmuz 2005 00:00



3 Temmuz 2005 03:00

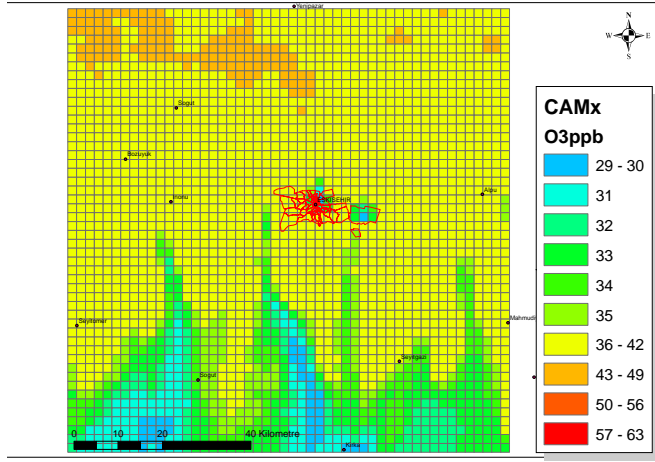


3 Temmuz 2005 06:00

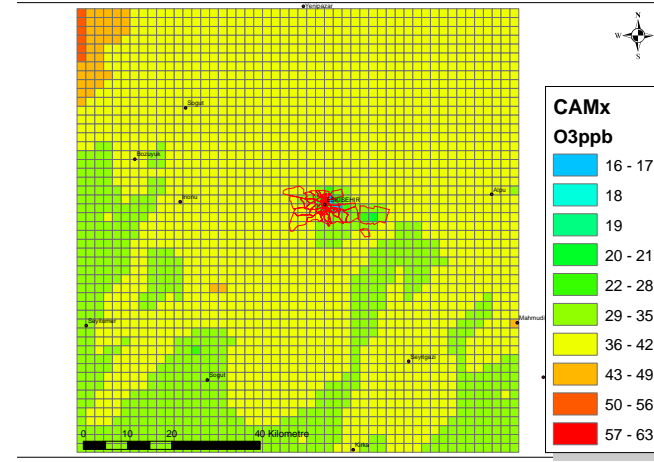


3 Temmuz 2005 09:00

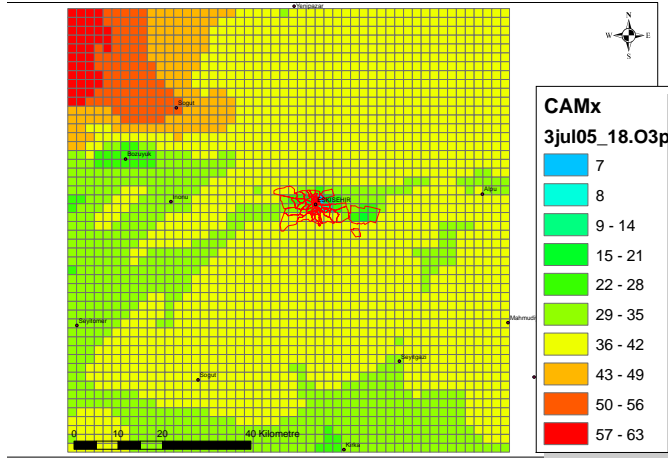
Şekil 4.17 (devam). 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları



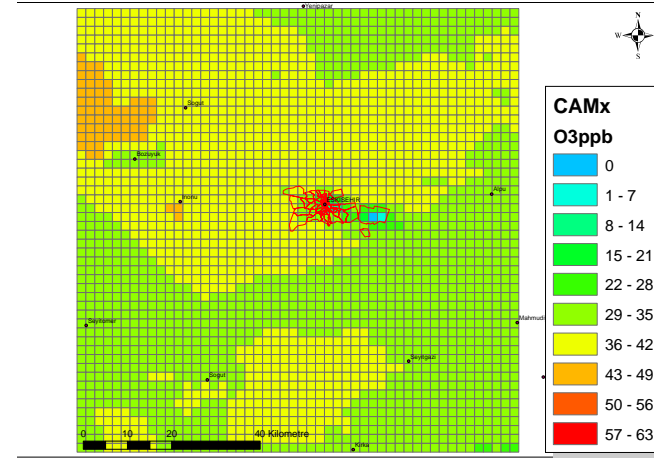
3 Temmuz 2005 12:00



3 Temmuz 2005 15:00

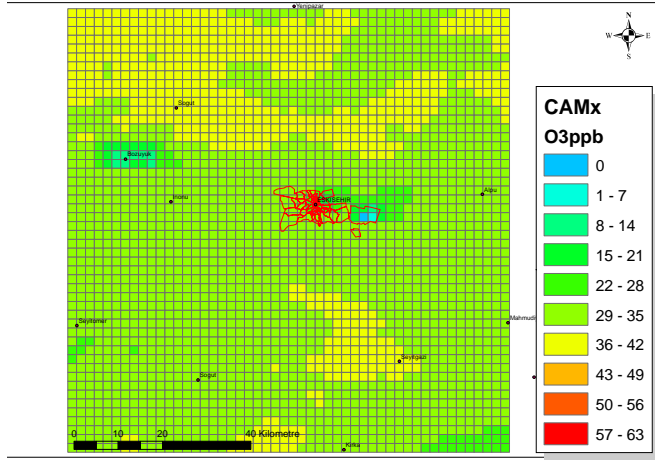


3 Temmuz 2005 18:00

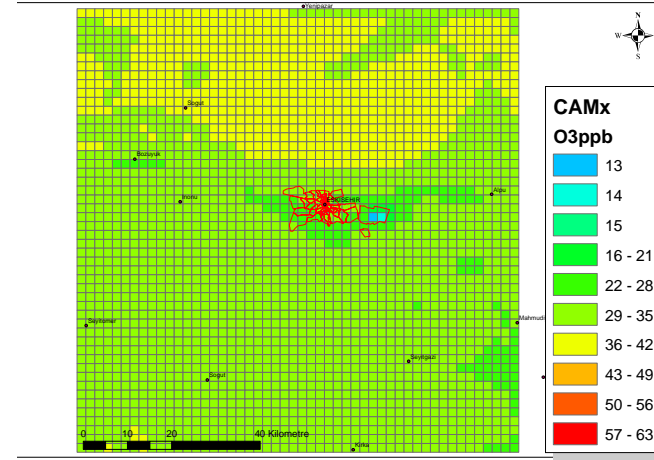


3 Temmuz 2005 21:00

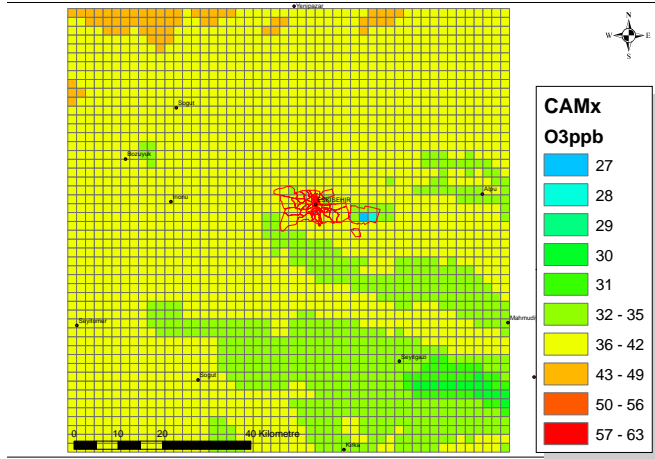
Şekil 4.17 (devam). 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları



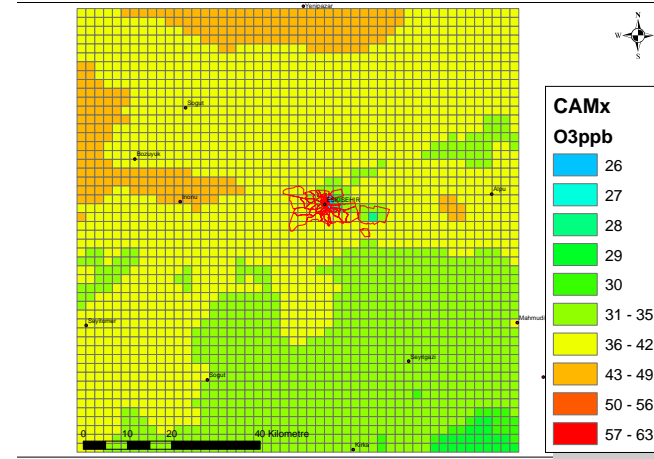
4 Temmuz 2005 00:00



4 Temmuz 2005 03:00



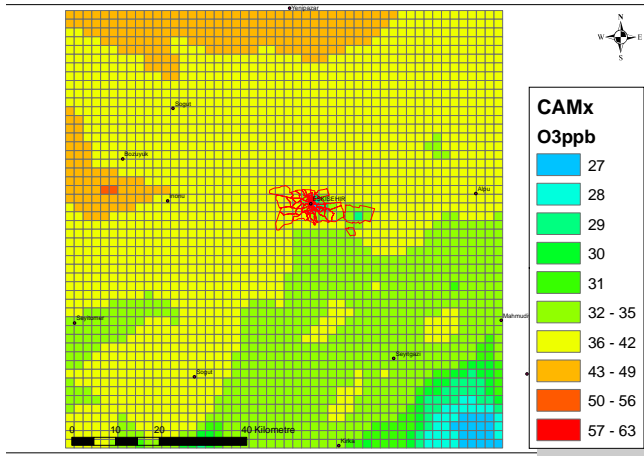
4 Temmuz 2005 06:00



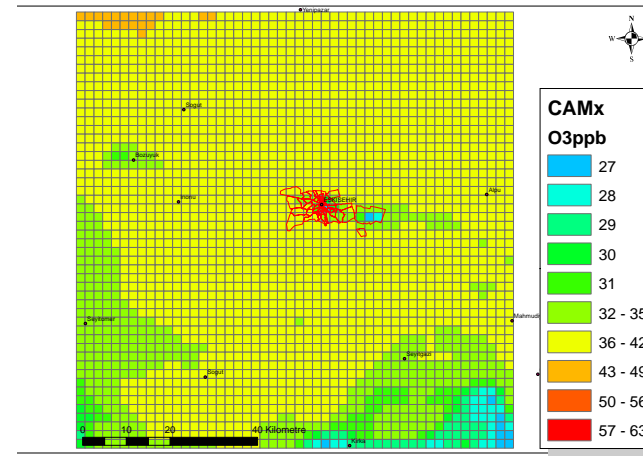
4 Temmuz 2005 09:00

Şekil 4.17 (devam). 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları

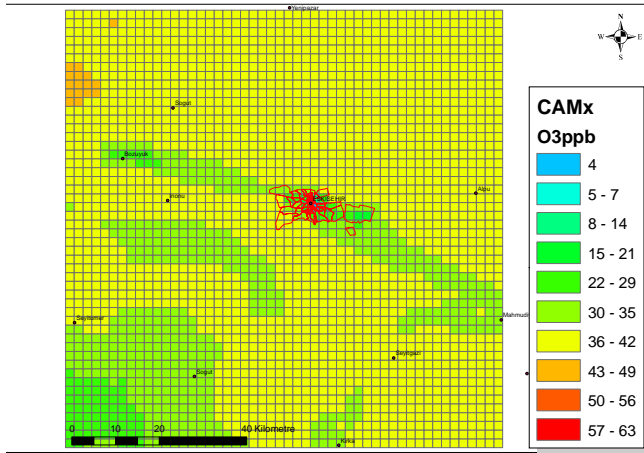




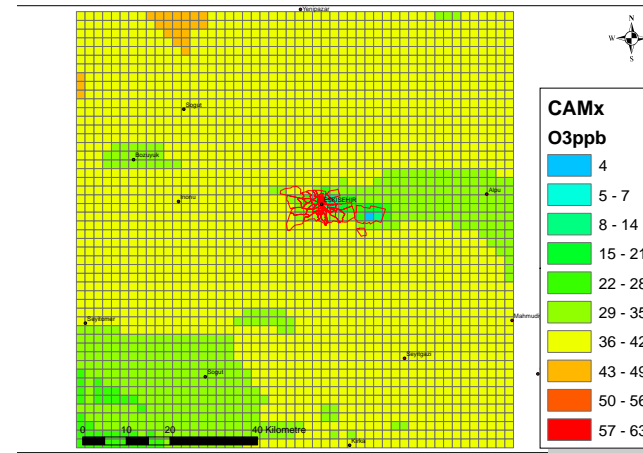
4 Temmuz 2005 12:00



4 Temmuz 2005 15:00

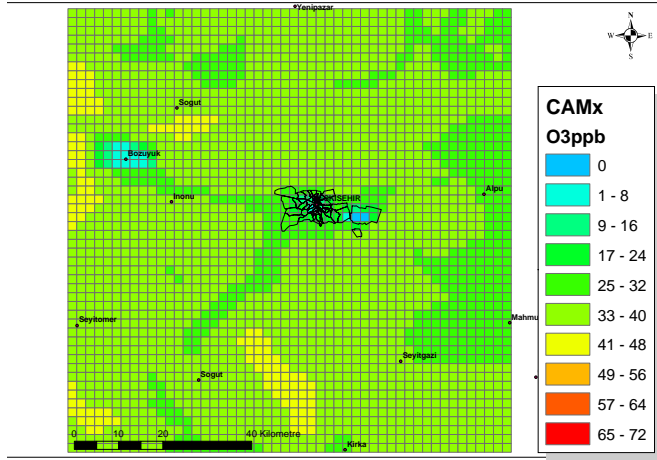


4 Temmuz 2005 18:00

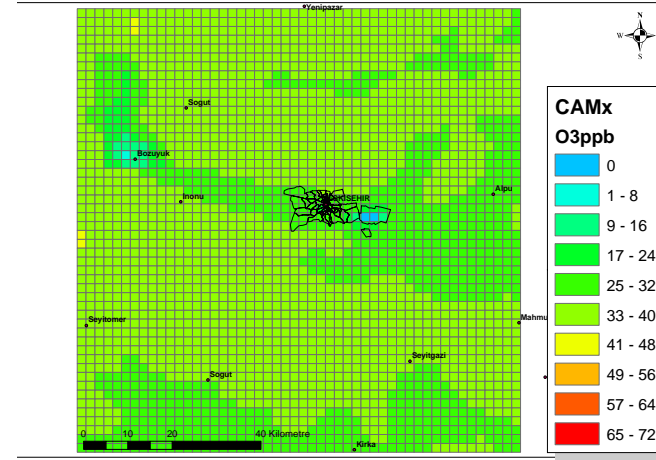


4 Temmuz 2005 21:00

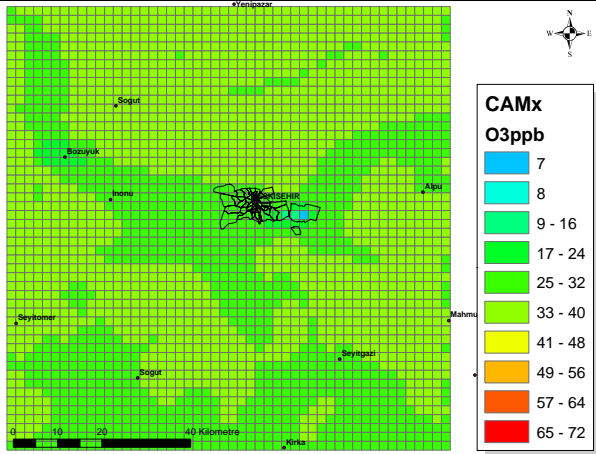
Şekil 4.17 (devam). 2-4 Temmuz 2005 CAMx modeli sonuçları



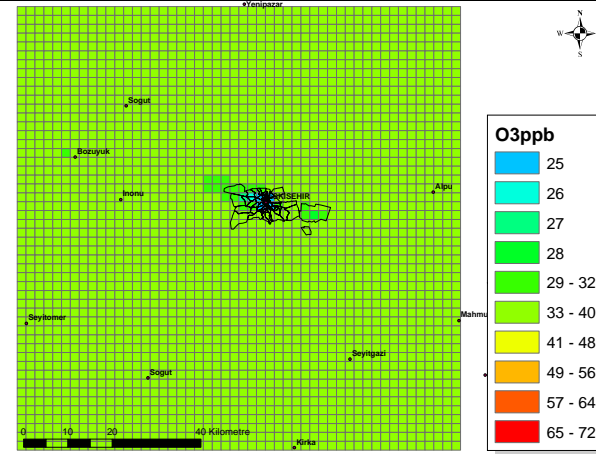
5 Ağustos 2005 00:00



5 Ağustos 2005 03:00

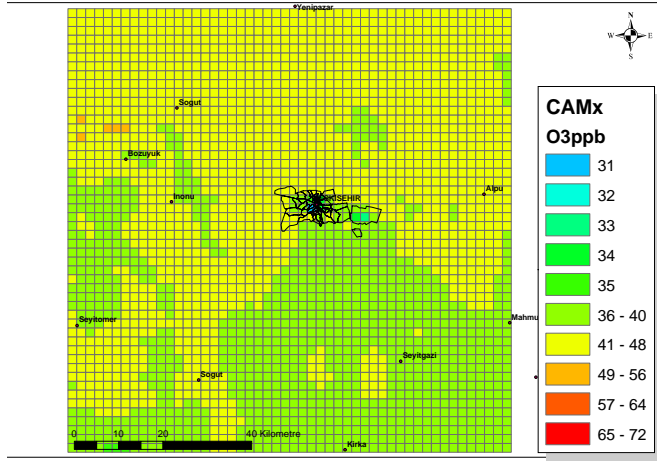


5 Ağustos 2005 06:00

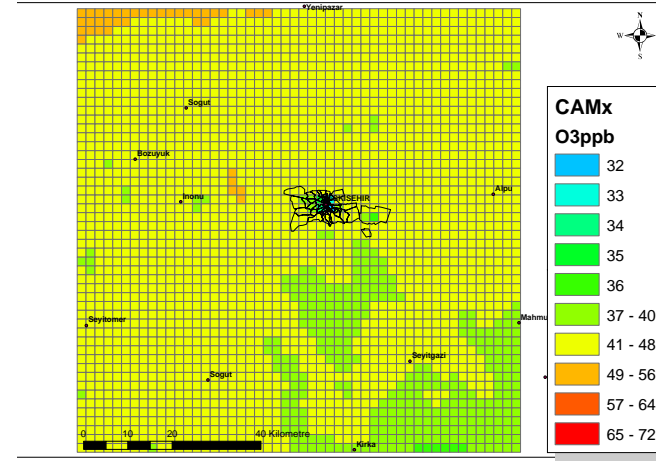


5 Ağustos 2005 09:00

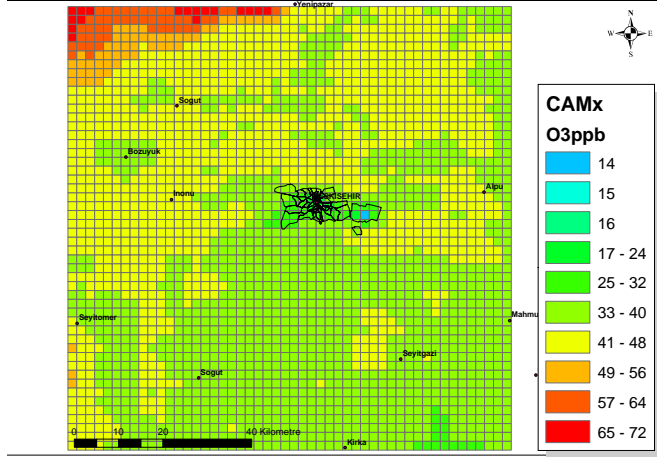
Şekil 4.18. 5-6 Ağustos 2005 CAMx modeli sonuçları



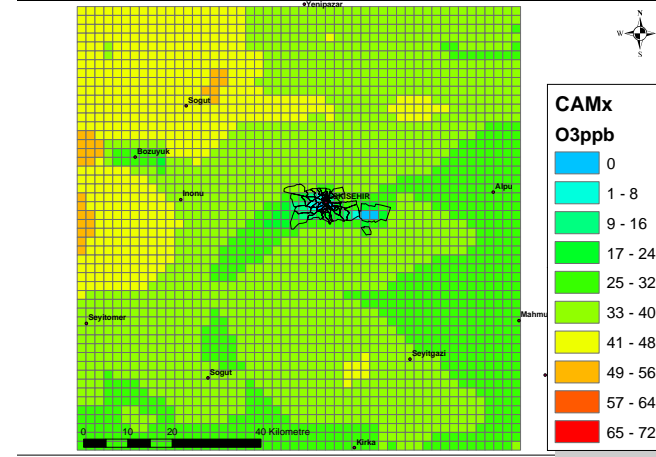
5 Ağustos 2005 12:00



5 Ağustos 2005 15:00

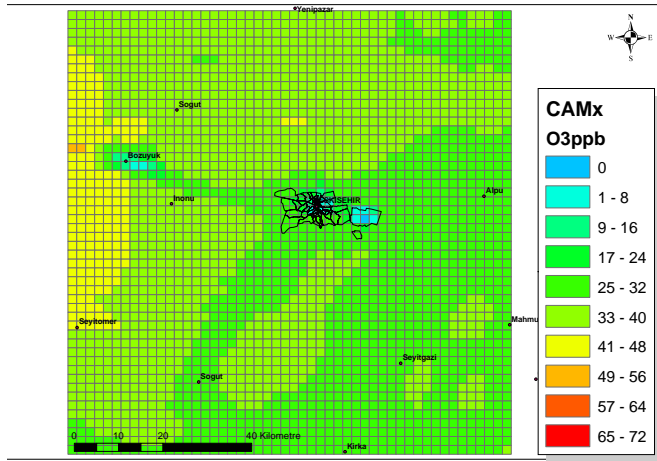


5 Ağustos 2005 18:00

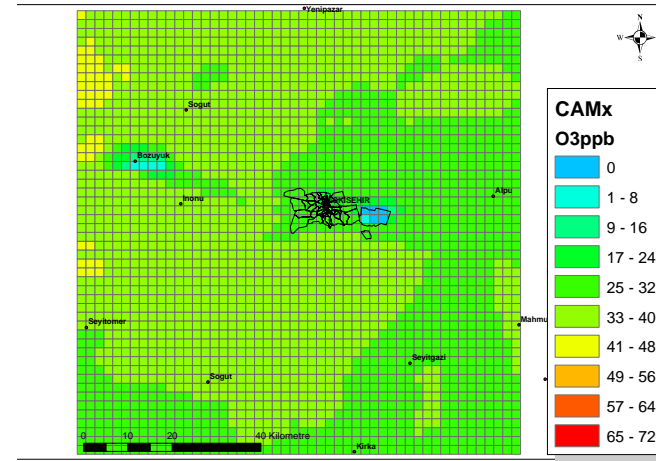


5 Ağustos 2005 21:00

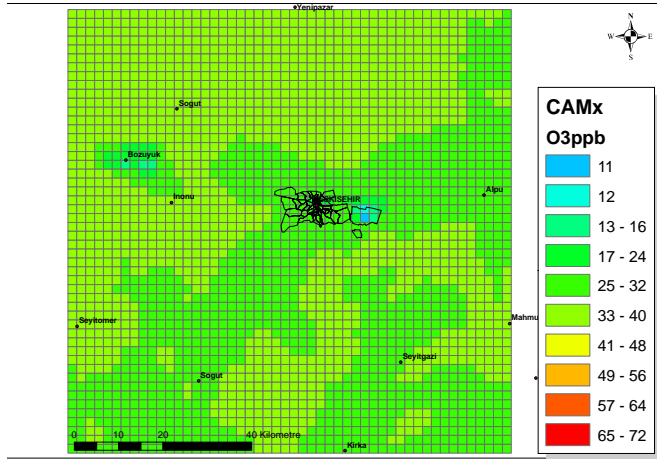
Şekil 4.18 (devam). 5-6 Ağustos 2005 CAMx modeli sonuçları



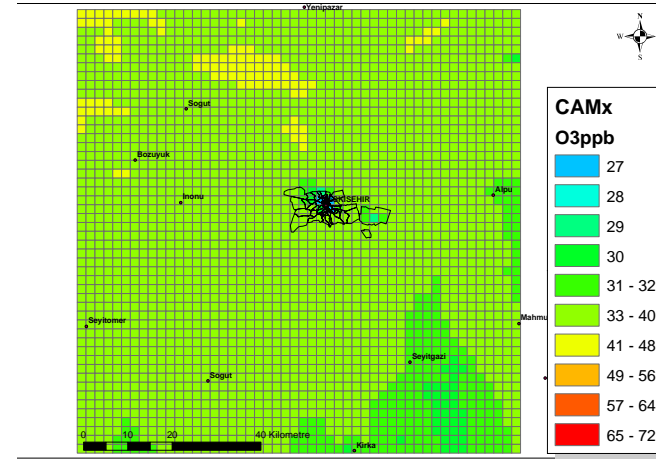
6 Ağustos 2005 00:00



6 Ağustos 2005 03:00

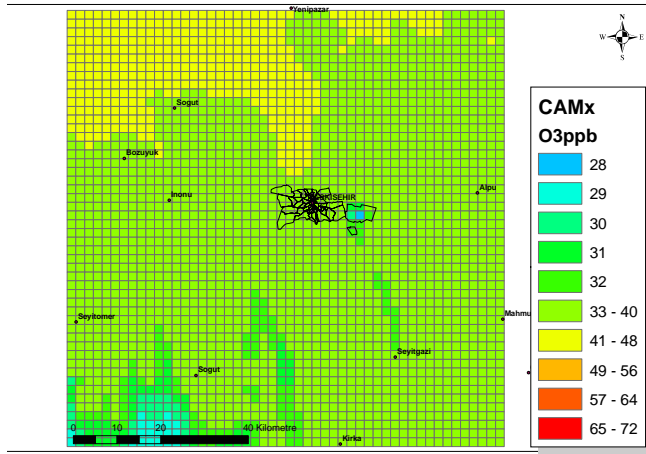


6 Ağustos 2005 06:00

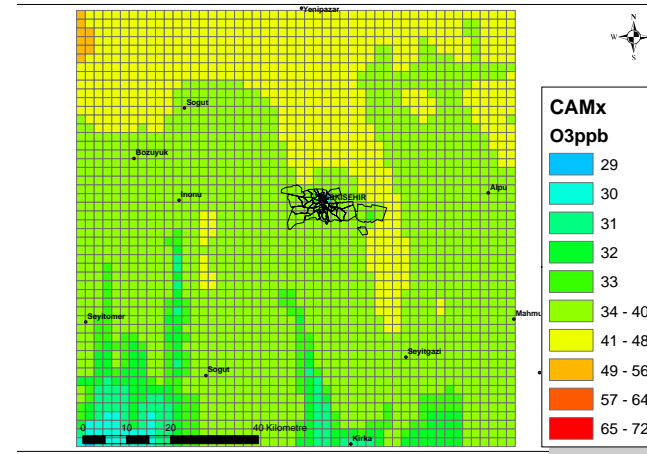


6 Ağustos 2005 09:00

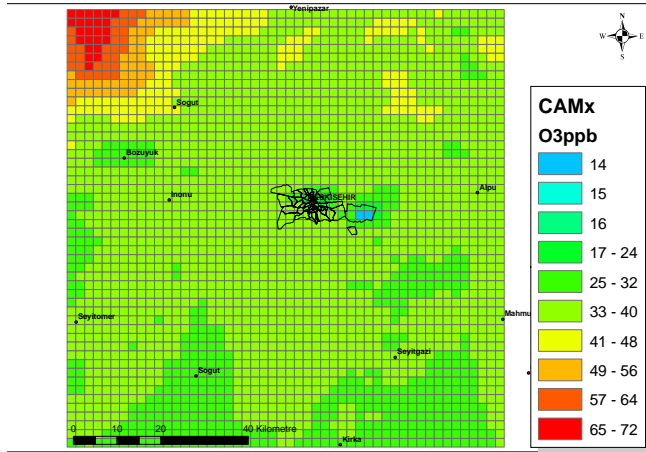
Şekil 4.18 (devam). 5-6 Ağustos 2005 CAMx modeli sonuçları



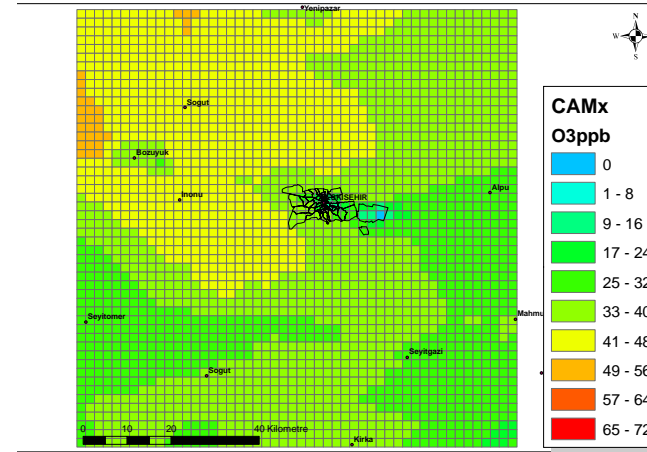
6 Ağustos 2005 12:00



6 Ağustos 2005 15:00



6 Ağustos 2005 18:00

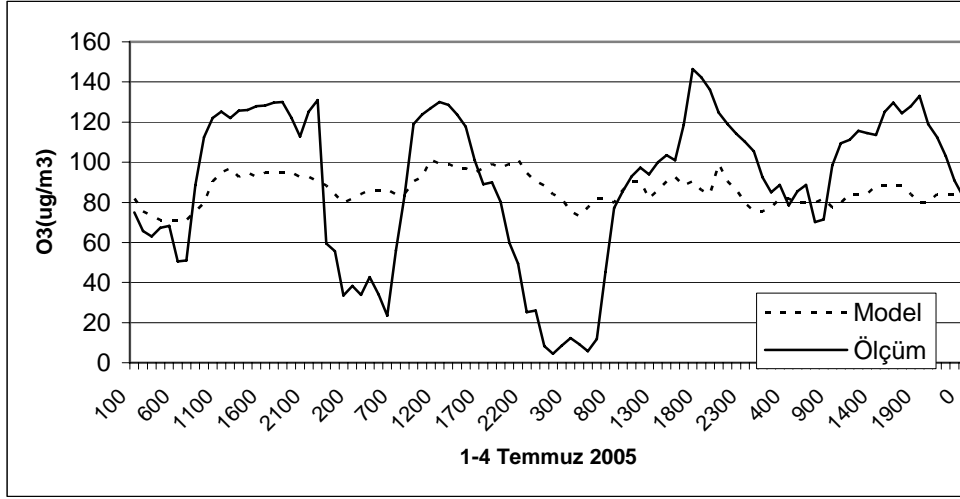


6 Ağustos 2005 21:00

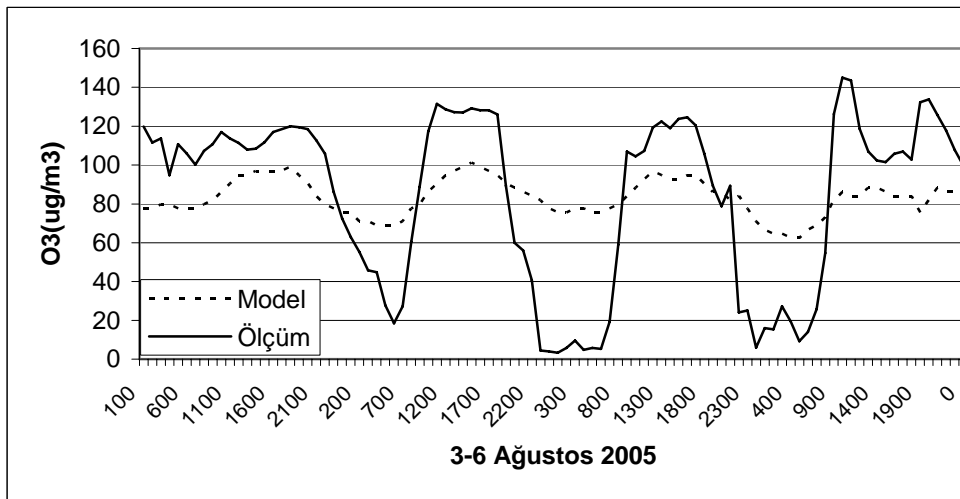
Şekil 4.18 (devam). 5-6 Ağustos 2005 CAMx modeli sonuçları

#### 4.6. Model Sonuçları ve Ölçümlerin Karşılaştırılması

Model performansının değerlendirilmesi için model sonuçları ile İki Eylül kampüsündeki sürekli ozon ölçümlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçümler arasında sayısal farklılıklar mevcuttur. Ölçüm sonuçları ile model sonuçları, ozonun iniş-çıkış eğilimlerinde çoğunlukla benzer olsa da, model sonuçlarının minimum-maksimum noktaları arasındaki farkların oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ölçümlerde gözlenen saatlik farklar model sonuçlarında gözlenmemektedir. 1-4 Temmuz 2005 ve 3-6 Ağustos 2005 tarihlerine ait karşılaştırmalar Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.

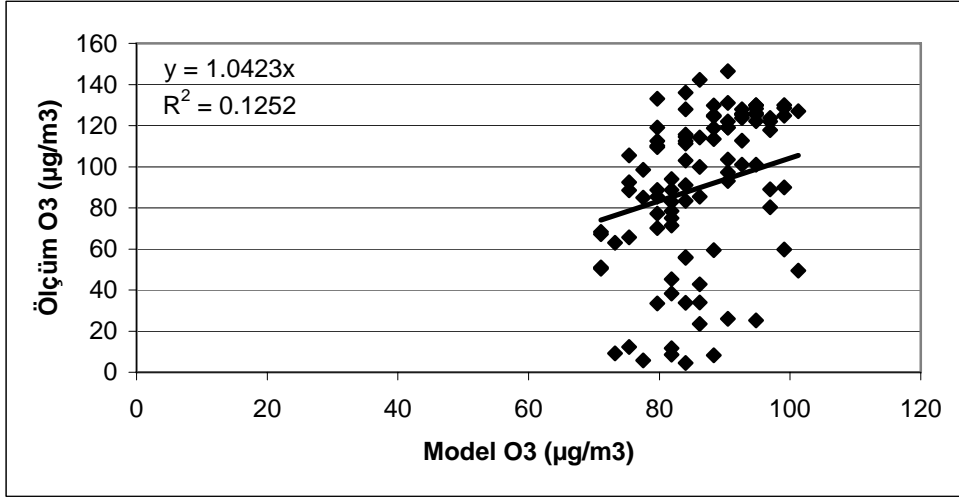


a)

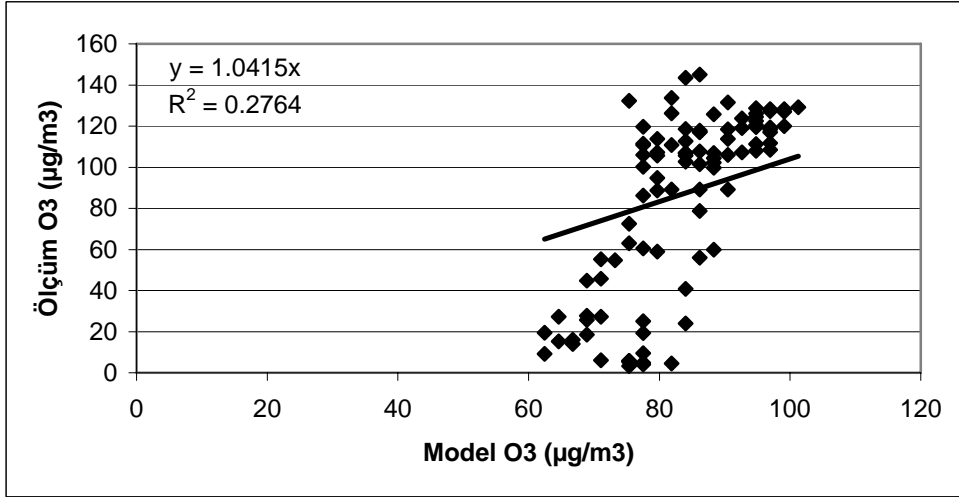


b)

Şekil 4.19. Model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) 1-4 Temmuz 2005 b) 3-6 Ağustos 2005



a)



b)

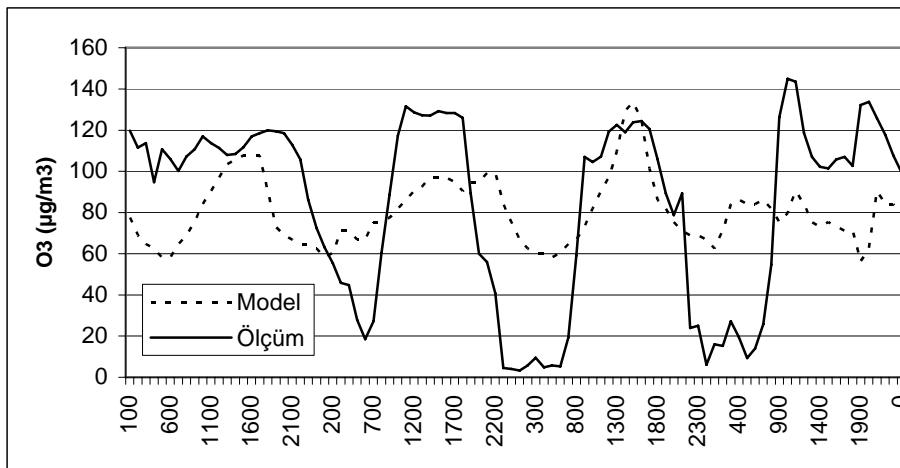
**Şekil 4.20.** Model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) 1-4 Temmuz 2005 b) 3-6 Ağustos 2005

Ölçüm ve model sonuçları arasındaki bu farkların eldeki bilgiler ve yöntem göz önüne alınarak olası açıklamaları şunlardır:

**Ölçüm noktasının konumu:** Daha önce de bahsedildiği gibi, kolay ulaşım ve güvenlik gibi nedenlerden dolayı, ölçümler ozon ölçümü için ideal bir nokta sayılamayacak olan İki Eylül Kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktasının şehre yakın hatta sınırında olması, ozon seviyelerinin meteorolojik koşullardaki mikro değişikliklere duyarlı olmasına neden olmaktadır. Meteorolojik ve kimyasal modellerde hesaplamalar 2 km x 2 km'lik grid hücreleri içinde aynı kabul

edilmektedir. Oysa özellikle rüzgar yönlerindeki küçük ölçekteki değişiklikler İki Eylül kampüsündeki değerleri değiştirmektedir.

Ölçüm noktasının kentten kaynaklı emisyonlara yakınlığına bağlanan bu açıklamayı destekleyebilecek bir grafik, Şekil 4.21’de görülmektedir. Bu şeklin Şekil 4.19.b’den farkı, 3-6 Ağustos 2005 tarihindeki ozon seviyelerinin CAMx modeli ile hesaplanması sırasında, küçük griden kaynaklı tüm emisyonların sıfırlanmış olmasıdır. Yani bu denemeye göre, Eskişehir’in de dahil olduğu küçük gride hiçbir emisyon olmadığı varsayılmıştır. Bu durumda, ozon seviyesi yalnızca meteorolojik koşullara ve büyük grid tarafından belirlenen sınır koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.21’de dikkat çeken nokta, 5 Ağustos 2005 tarihinde ölçüm ve model sonuçlarının uyumunun, belli bir saate kadar, Şekil 4.19.b’den daha iyi olmasıdır. Şekil 4.15’te verilmiş olan 5-6 Ağustos 2005 tarihlerindeki meteorolojik koşullar hatırlanacak olursa, 5 Ağustos 2005 tarihinde akşam saatlerine kadar, yaz aylarındaki genel eğilimden farklı bir görünüm dikkat çekmektedir ve doğu ve güney rüzgarları daha baskındır. Yani kent kaynaklı emisyonların ölçüm noktasındaki etkisi daha büyüktür. Kent kaynaklı emisyonlar hesaba katıldığı zaman, bu emisyonların model sonuçlarına etkisi, ozonun tüketilmesinden dolayı, ozonda azalmadır. Bahsedilen diğer model denemesinde ise emisyonlar göz ardı edildiği için, ozon seviyeleri daha yüksek bulunmaktadır.



**Şekil 4.21** Küçük grid emisyonlarının sıfırlanması durumunda 3-6 Ağustos 2005 tarihlerindeki model sonuçlarının, ölçüm değerleriyle karşılaştırılması



**Emisyon verisi:** Çoğu durumda ulaşılabilir olan emisyon bilgileri ya da emisyonların hesabında kullanılan bilgiler uzun zaman aralıklarının ortalaması şeklindedir (aylık, yıllık, vb.). Bu nedenlerle emisyonların aylık, günlük, saatlik değişimleri için çoğu durumda varsayımlar yapılmak ya da başka çalışmalardan alınan zamansal değişim profilleri kullanılmak zorunda kalmıştır. Bu da emisyonların saatlik değerlerindeki belirsizlikleri önemli ölçüde arttırmaktadır.

Emisyon verilerinin zamansal değişimlerin dışında bir başka sorun da kimi verilerin kendisi ile ilgili belirsizliklerdir. Önemli sanayi emisyonlarının bulunduğu Bozüyük için ayrıntılı veriye ulaşamadığından yıllık toplam EMEP emisyonlarından yararlanılmıştır. Bu emisyonların mekansal dağılımı için de varsayımlar yapılmıştır. Yine bölgesel ozon oluşumunda en önemli etkenlerden olması beklenen şehirlerarası taşıma kaynaklı emisyonların hesaplanmasında CBS tabanlı ayrıntılı bir yöntem kullanılsa da Karayolları Genel Müdürlüğü'nden elde edilen araç sayım verileri her bir devlet karayolu için bir yıla ait tek bir günlük toplam veri şeklindedir. Araç yoğunluklarının günlük-saatlik değişimleri için varsayımlar yapılmıştır. Ayrıca araç sayımları yalnızca otomobil-otobüs-kamyon-treyler grupları şeklinde sınıflandırıldığı için bu gruplar içinde eski-yeni model ayrımı yapılamamaktadır. Otomobillerin kendi içinde yakıt türüne göre bir ayrım mevcut olmadığından bu aşamada da varsayımlara başvurulmuştur.

**Emisyon faktörleri:** Özellikle taşıt kaynaklı emisyonların hesabında kullanılmak üzere ülkemizdeki araçlara özel ve kalite kontrolü yapılmış emisyon faktörleri konusunda bir sıkıntı vardır. Bu nedenle bu çalışmada da Çınar'ın (2003) çalışmasında olduğu gibi, CORINAIR'in genel amaçlı emisyon faktörlerinin kullanılması zorunlu olmuştur. Ayrıca biyogenik emisyonların hesabında uydu verisine dayalı arazi kullanımı verisinin kullanılması ve bazı türlerin alt türleriyle ilgili bilginin mevcut olmamasından (özellikle meşe türleri) kaynaklanan belirsizlikler vardır.

## 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Eskişehir ve yakın çevresinde yüzey ozon seviyelerini meteorolojik ve kimyasal modeller ile ilk kez belirlenmiştir. Hidrostatik olmayan MM5 meteorolojik model ile belirlenen meteorolojik değişkenler, CAMx kimyasal modeline girdi olarak kullanılmıştır. Model yardımıyla elde edilen bulgulara göre, yaz aylarındaki hakim rüzgarın da etkisiyle, Eskişehir ve yakın çevresinde yüzey ozonun yükselmesinde öncelikli olarak kuzey ve kuzeybatıdaki kaynaklar etkili olmaktadır. Rüzgar yönleri ile ozon seviyelerinin ilişkilerini gösteren kirlilik gülleri de benzeri bir sonuca işaret etmektedir. Meteorolojik ve kimyasal model sonuçlarının birlikte incelenmesi sonucunda, yüksek ozon seviyelerinin öncelikle alçak basınçla, sonra da durgun koşullarla ilişkili olduğu görülmektedir.

Çalışmanın modelleme aşamasında kullanılan çok katmanlı ağ örgüsü yaklaşımı, sınır koşullarının model sonuçları üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu nedenle, bundan sonraki çalışmalarda bölgelere ve yerleşimlere özel yüksek çözünürlüklü emisyon hesaplamaları yapılırken, daha düşük çözünürlüklü ancak ulusal düzeyde ve güncellenen bir emisyon envanterinin varlığı, sınır koşullarından kaynaklanan belirsizliklerin azaltılmasını sağlayacaktır.

Ozon oluşumuna katkıları bilinen ancak ülkemizdeki çalışmalarda bugüne dek göz ardı edilen biyogenik uçucu organik bileşiklerin emisyonları da hesaplanmış ve Türkiye için ilk kez biyogenik uçucu organik bileşiklerin emisyon envanteri hazırlanmıştır. Türkiye kaynaklı biyogenik VOC emisyonlarının, Guenther ve arkadaşlarının (1995) yöntemine göre ayrıntılı hesabı sonucunda, biyogenik VOC emisyonlarının daha önce bazı global modellerle hesaplanan değerlerden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, bundan sonra Türkiye kapsamında gerçekleştirilecek modelleme çalışmalarında, ozon oluşumuna olası katkıları nedeniyle biyogenik uçucu organik bileşiklerin girdi olarak eklenmesi daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Ozon derişimi verilerine ilişkin model sonuçları doğrudan ölçümlerle karşılaştırıldığında, sonuçların sayısal uyumu açısından ciddi sorunlar gözlenmektedir. Bunun nedenleri arasında ölçüm noktasının konumu yer almakla

birlikte, emisyon bilgilerindeki belirsizliklerin önemi de inkar edilemez. Ülkemizde ve bölgemizde emisyon envanterlerinin düzenli ve eşgüdüm içinde hazırlanması, önemli bir hava kalitesi yönetim aracı olan modellerin kullanımında güvenilirliğin artması için bir zorunluluk olarak görünmektedir.

Çalışma kapsamında sürekli ozon ölçümlerinin gerçekleştirildiği nokta şehrin kuzeyinde kaldığından ve yaz aylarında hakim rüzgar batı ve kuzey yönlerinden estiğinden, kentten kaynaklanan emisyonların ozon oluşumuna katkısı ölçüm noktasında tam olarak gözlenememiş, daha çok bölgesel katkıların etkisi incelenebilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda kentin mücavir alanının dışında ve kentin güneydoğusunda kalan en az bir noktada da ölçümler gerçekleştirilerek, kentten kaynaklanan emisyonların ozon artışına etkisinin izlenmesi gerekmektedir.

Eskişehir’de ilk kez gerçekleştirilen sürekli açık ortam ozon ölçüm sonuçları, Türkiye’nin şu anda geçerli olan mevzuatına göre insan sağlığının korunması amacıyla belirlenmiş olan sınır değerini aşılmadığını göstermektedir. Ancak, bugünkü ozon seviyelerine bakıldığında, Avrupa Birliği mevzuatı ile uyum çerçevesinde güncellenme çalışmaları devam eden ve yakın zamanda yürürlüğe girmesi beklenen yeni mevzuata göre belirlenen ve gelecek hedefleri olarak konan yeni ve daha düşük sınır değerlerinin aşılabileceği durumlarla karşılaşılacağı söylenebilir. Yürürlükte olan mevzuatta bitkilerin korunmasına yönelik sınır değerler belirtilmemektedir. Ancak sözü edilen yeni mevzuat çalışmalarında bitkilerin korunmasına yönelik olarak gelecekte sağlanması beklenen sınır değerler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında ölçülen ozon değerlerinin, yürürlüğe girmesi beklenen yönetmelikteki bitkilerin korunmasına yönelik sınır değerleri yaklaşık 1.5 katı olacak şekilde aştığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre, yer seviyesi ozon derişimlerinin azaltılabilmesi için ülkemizde ulusal ve yerel boyutlarda hava kalitesi planlarının hazırlanmasının ve ozonun öncülleri olan bileşenlerinin emisyonlarının azaltılması için çalışmaların yürütülmesinin bir gereklilik olduğu anlaşılmaktadır.

Bu bulgular sonucunda, gelecekte konuyla ilgili gerçekleştirilecek çalışmaların şu konulara yoğunlaşmasında fayda olacaktır:

- Tek noktada gerçekleştirilen ozon ölçümleri, hem ozonun bölgesel eğilimini anlamayı hem de model sonuçların yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bundan sonraki çalışmalar kapsamında ozonun daha fazla ve farklı özellikteki (kent içi, kent dışı, kırsal, yarı-kentsel, vb.) noktada sürekli ölçümü için gerekli altyapı hazırlanmalıdır.
- Türkiye’de emisyon envanterlerinin yetersizliği bilinen bir konudur. Model çalışmalarında en önemli belirsizlik kaynağının, emisyon bilgileri olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, hem ulusal hem yerel ölçekte düzenli ve doğru emisyon envanteri çalışmalarının gerçekleştirilmesi bir zorunluluk olarak görünmektedir.
- Eskişehir ve çevresinde ozonun oluşma ve bozulma mekanizmaları ile ozon seviyelerini belirleyen öncelikli etkenleri anlamak üzere, mevsimsel farkları da kapsayacak şekilde daha uzun dönemler için model çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Bu çalışmada, Türkiye’de biyogenik uçucu organik bileşik emisyon potansiyelini hesaplayabilmek amacıyla, klimatolojik verilere dayalı olarak ve genel meteorolojik koşullar için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki model çalışmalarında biyogenik uçucu organik bileşiklerin etkisini daha doğru belirleyebilmek için, gerçek meteorolojik koşullara bağlı emisyon hesaplarının yapılması faydalı olacaktır.
- Bu çalışmada elde edilen ilk bulgulara göre, bitkilerin ozona maruziyeti açısından sınır değerleri aşılmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda, ozon ölçümü-modellenmesi etkinliklerinin yanında, bitkilere olan olumsuz etkilerin de incelenmesinde fayda olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Allen, D., Russell, M. ve Ramon, R. (1998), *Urban Airshed Modeling for Central Texas*, Progress Report on Project No. 9870097500, Austin, Texas, November.
- Andreani-Aksoyoglu, S., Keller, J., Dommen, J. ve Prévot, A. S. H. (2001), “Modelling of Air Quality with CAMx: A Case Study in Switzerland”, *Proceedings of Second International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales*, 306-313, Istanbul, Turkey, 25-28 September.
- Anteplioglu, Ü. (2001), *İstanbul Bölgesinde Yüzey Ozonun Fotokimyasal-Dinamik Bir Modelle İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Atasoy, E. (2001), *Eskişehir'de Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Emisyon Potansiyellerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Barna, M., Lamb B. ve Westberg, H. (2001), “Modeling the Effects of VOC/NO<sub>x</sub> Emissions on Ozone Synthesis in the Cascadia Airshed of the Pacific Northwest”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, **51**, 1021-1034.
- Benjamin, M.T. ve Winer, A.M. (1998), “Estimating the Ozone-Forming Potential of Urban Trees and Shrubs”, *Atmospheric Environment*, **22**, 1352-2310.
- Blanchard, C. L. ve Stoeckenius, T. (2001), “Ozone Response to Precursor Controls: Comparison of Data Analysis Methods with the Predictions of Photochemical Air Quality Simulation Models”, *Atmospheric Environment*, **35**, 1203-1215.
- CAMx-Comprehensive Air Quality Model with Extensions (2005) *Version 4.20 User's Guide*, ENVIRON International Corporation, Novato, California.
- Canbaz, Ş. (2003), *Eskişehir'de Troposferik Ozon Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi*, Lisans Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye.

- Carter, W.P.L. (1994), "Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds", *Journal of the Air and Waste Management Association*, **44**, 881-899.
- Chang, C., Lo, J. ve Wang, J. (2001), "Assessment of Reducing Ozone Forming Potential for Vehicles Using Liquefied Petroleum Gas as an Alternative Fuel", *Atmospheric Environment*, **35**, 6201-6211.
- Clapp, L. J. ve Jenkin, M. E. (2001), "Analysis of the Relationship Between Ambient Levels of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and NO as a Function of NO<sub>x</sub> in the UK", *Atmospheric Environment*, **35**, 6391-6405.
- Commission of the European Communities (1999), *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Relating to Ozone in Ambient Air*, 99/0068 (COD), Brussels.
- Çınar, H. (2003), *Eskişehir için Hava Kirliliği Envanterinin ve CBS Destekli Hava Kirliliği Haritalarının Oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Çokgürses E.S., Yurtsever, D., Canbaz,Ş., Yay, O.D. ve Döğeroğlu,T. (2003), "Eskişehirde Ozon, azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerin atmosferik ölçümlerine ait ilk sonuçların değerlendirilmesi", *V.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, pp347-356, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara.
- Donev, E., Zeller, K. ve Avramov, A. (2002), "Preliminary Background Ozone Concentrations in the Mountain and Coastal Areas of Bulgaria", *Environmental Pollution*, **117**, 281-286.
- EC (European Commission) Ad-Hoc Working Group on Ozone Directive and Reduction Strategy Development (1999), *Ozone Position Paper*.
- EEA (European Environment Agency) (2004) *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition*,.
- EMEP/CORINAIR(2004), *Emission Inventory Guidebook*, 3rd ed., Technical report 30.
- EÜAŞ (2005), kişisel iletişim (Bilgi Edinme Kanunu çerçevesinde).

- Finlayson-Pitts B.J. ve Pitts, J. N. (2000), *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press.
- Gonzalez, J.A. ve Calbo, J. (2002), “Modelled and measured ratio of PAR to global radiation under cloudless skies”, *Agricultural and Forest Meteorology* **110**.
- Guenther, A., Hewitt, C., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., Harley, P., Klinger, L., Lerdau, M., McKay, W.A., Pierce, T., Scholes, B., Steinbrecher, R., Tallamraju, R., Taylor, J. ve Zimmerman, P. (1995), “A global model of natural volatile organic compound emissions”, *Journal of Geophysical Research* **10**.
- Guenther, A., Zimmerman, P., Harley, P., Monson, R. ve Fall, R. (1993), “Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluation and sensitivity analysis”, *Journal of Geophysics Research* **98**.
- Guenther, A., Zimmerman, P. ve Wildermuth, M. (1994), “Natural volatile organic compound emission rate estimates for U.S. woodland landscapes”, *Atmospheric Environment*, **1210**.
- Hanna. S.R., Lu, Z., Frey, H.C., Wheeler, N., Vukovich, J., Arunachalam, S., Fernau, M. ve Hansen., D.A. (2001), “Uncertainties in predicted ozone concentrations due to input uncertainties for the UAM-V photochemical grid model applied to the July 1995 OTAG domain”, *Atmospheric Environment*, **35**, 891-903.
- HKKY (Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği) (1986), *Resmi Gazete Sayı*: 19269.
- http-1 : [http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler1/hava\\_kcy.doc](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler1/hava_kcy.doc)
- http-2: [http://jan.ucc.nau.edu/~doetqpp/courses/env440/env440\\_2/lectures/lec41/lec41.htm](http://jan.ucc.nau.edu/~doetqpp/courses/env440/env440_2/lectures/lec41/lec41.htm)
- http-3 : <http://www.ccl.rutgers.edu/~ssi/thesis/thesis-node56.html>
- http-4 : <http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.asp>
- http-5 : [http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/asres/baseline/climate\\_download.html](http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/asres/baseline/climate_download.html)
- http-6 : <http://www.acd.ucar.edu/TUV/>
- http-7 : <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>
- http-8: <http://toms.gsfc.nasa.gov/>

http-9: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

Jenkin, M.E. ve Clemitshaw, K.C. (2000), "Ozone and Other Secondary Photochemical Pollutants: Chemical Processes Governing Their Formation in the Planetary Boundary Layer", *Atmospheric Environment*, **34**, 2499-2527.

Karayolları Genel Müdürlüğü (2004), *2003 Trafik Hacim Haritası ve Kitabı*.

Kıncay, O. ve Öztürk. R. (2003), "Thermal Power Plants in Turkey", *Energy Sources*, **25**.

Kumar, N. ve Lurmann, F.W. (1997), *Comparison of CAMx and UAM-V Model Performance for Two Ozone Episodes in the Eastern United States*, Final Report STI-996203-1733-FR prepared for Ohio Environmental Protection Agency Division of Air Pollution Control, Columbus, Ohio.

Lamb, B., Gay, D. ve Westberg, H. (1993), "A biogenic hydrocarbon emission inventory for the USA using a sample forest canopy model", *Atmospheric Environment*, **27A**.

Levis, S., Wiedinmyer, C., Bonan, G.B. ve Guenther, A. (2003), "Simulating biogenic volatile organic compound emissions in the Community Climate System Model", *Journal of Geophysical Research*, **108**.

Macdonald, C. P., Roberts, P. T., Main, H. H., Dye, T. S., Coe, D. L. ve Yarbrough, J. (2001), "The 1996 Paso del Norte Ozone Study: Analysis of Meteorological and Air Quality Data that Influence Local Ozone Concentrations", *The Science of the Total Environment*, **276**, 93-109.

NCAR National Center For Atmospheric Research/ Mesoscale And Microscale Meteorology Division (2005), *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3*.

Nevers, N., *Air Pollution Control Engineering*, Mc-Graw Hill (1995)

Özden, Ö, *Hava Kalitesinin Monitorlanmasında Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (2005).



- Parra, R., Gasso, S. ve Baldasano, J.M. (2004), “Estimating the biogenic emissions of non-methane volatile organic compounds from the northwestern Mediterranean vegetation Catalonia, Spain”, *Science of the Total Environment*, **329**.
- Poupkou, A., Symeonidis, P., Lisaridis, I., Pouspourika, E., Yay, O.D., Melas, D., Ziomas, I., Balis, D. ve Zerefos, C. (2004), “Compilation of an emission inventory for the purpose of studying the regional photochemical pollution in the Balkan Region”, *Quadrennial Ozone Symposium*, pp. 902-903, Kos-Greece.
- Seinfeld, J., Pandis, S. (1998), *Atmospheric Chemistry and Physics*, John Wiley & Sons, New York.
- Simpson, D., Guenther, A., Hewitt, N. ve Steimbacher, R. (1995), “Biogenic emissions in Europe 1. Estimates and uncertainties”, *Journal of Geophysical Research*, **100**.
- Symeonidis, P., Sanida, G., Ziomas, I. ve Kourtidis, K. (1999), “An estimation of the spatial and temporal distribution of biogenic non-methane hydrocarbon emissions in Greece”, *Atmospheric Environment*, **33**.
- Topcu, S., Antepioğlu, U. ve İncecik, S. (2001), “Surface Ozone Concentrations and its Relation to Wind Field in İstanbul”, *Proceedings of Second International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales*, 228-235, Istanbul, Turkey.
- Varinou, M., Kallos, G., Tsiligiridis, G. ve Sistla, G. (1999), “The Role of Anthropogenic and Biogenic Emissions on Tropospheric Ozone Formation over Greece”, *Phys. Chem. Earth*, **24**, 507-513.
- WHO (World Health Organization) Regional Office for Europe (2000), *Air quality guidelines for Europe ; second edition*, WHO regional publications. European series ; No. 91.
- Yarwood, G. (2001), *Final Report on the Ozone Modeling*, Agenda Item 5, NETAC Emissions Reduction Committee Meeting.

Ziomas, I. C., Tzoumaka, P., Balis, D., Melas, D., Zerefos, C. S. ve Klemm, O. (1998), "Ozone Episodes in Athens, Greece. A Modelling Approach Using Data from the MEDCAPHOT-TRACE", *Atmospheric Environment*, **32**, 2313-2321.

## **EKLER**

## EK-1. VOC'ler için Maksimum Tepkisellik Artışı değerleri (Carter 1994)

Bileşen Adı	Maximum Incremental Reactivity (MIR)		
	AIRS No.	g Ozon/ g C	mol Ozon/ mol C
Acetylene	43206	0.5	0.14
<b>Ethene</b>	<b>43203</b>	<b>7.4</b>	<b>2.16</b>
Ethane	43202	0.25	0.08
<b>Propene</b>	<b>43205</b>	<b>9.4</b>	<b>2.75</b>
Propane	43204	0.48	0.15
i-Butane	43214	1.21	0.37
<b>1-Butene</b>	<b>43280</b>	<b>8.9</b>	<b>2.6</b>
n-Butane	43212	1.02	0.31
<b>t-2-Butene</b>	<b>43216</b>	<b>10</b>	<b>2.92</b>
<b>c-2-Butene</b>	<b>43217</b>	<b>10</b>	<b>2.92</b>
3-methyl-1-butene	43282	6.2	1.81
i-Pentane	43221	1.38	0.41
1-Pentene	43224	6.2	1.81
n-Pentane	43220	1.04	0.31
<b>Isoprene</b>	<b>43243</b>	<b>9.1</b>	<b>2.58</b>
<b>t-2-pentene</b>	<b>43226</b>	<b>8.8</b>	<b>2.57</b>
<b>c-2-pentene</b>	<b>43227</b>	<b>8.8</b>	<b>2.57</b>
2-methyl-2-butene	43228	6.4	1.87
2,2-dimethylbutane	43244	0.82	0.25
<b>Cyclopentene</b>	<b>43283</b>	<b>7.7</b>	<b>2.19</b>
4-methyl-1-pentene	43234	3.0 <sup>c</sup>	0.87
Cyclopentane	43242	2.4	0.7
2,3-dimethylbutane	43284	1.07	0.32
2-methylpentane	43285	1.5	0.45
3-methylpentane	43230	1.5	0.45
2-methyl-1-pentene	43246	3.0 <sup>c</sup>	0.87
n-hexane	43231	0.98	0.29
t-2-hexene	43289	6.7	1.96
c-2-hexene	43290	6.7	1.96
Methylcyclopentane	43262	2.8	0.82
2,4-dimethylpentane	43247	1.5	0.45
Benzene	45201	0.42	0.11
Cyclohexane	43248	1.28	0.37
2-methylhexane	43263	1.08	0.32
2,3-dimethylpentane	43291	1.31	0.39
3-methylhexane	43249	1.4	0.42
2,2,4-trimethylpentane	43250	0.93	0.28
n-Heptane	43232	0.81	0.24
Methylcyclohexane	43261	1.8	0.53
2,3,4-trimethylpentane	43252	1.6	0.48
Toluene	45202	2.7	0.74
2-methylheptane	43960	0.96	0.29
3-methylheptane	43253	0.99	0.29
n-Octane	43233	0.6	0.18
Ethylbenzene	45203	2.7	0.75
<b>m&amp;p-Xylenes</b>	<b>45109</b>	<b>7.4<sup>d</sup></b>	<b>2.05</b>
styrene	45220	2.2	0.60
n-nonane	43235	0.54	0.16
Isopropylbenzene	45210	2.2	0.6
n-Propylbenzene	45209	2.1	0.58
<b>1,3,5-trimethylbenzene</b>	<b>45207</b>	<b>10.1</b>	<b>2.81</b>

VOC'ler için Maksimum Tepkisellik Artışı değerleri (Carter 1994) (Devam)

<b>1,2,4-trimethylbenzene</b>	<b>45208</b>	<b>8.8</b>	<b>2.45</b>
<b>1,2,3-trimethylbenzene</b>	<b>45225</b>	<b>8.9</b>	<b>2.6</b>
o-Xylene	45204	6.5	1.8
o-ethyltoluene	45211	5.3 <sup>c</sup>	1.48
m-ethyltoluene	45212	5.3 <sup>c</sup>	1.48
p-ethyltoluene	45213	5.3 <sup>c</sup>	1.48
m-diethylbenzene	45218	4.8 <sup>c</sup>	1.33
p-diethylbenzene	45219	4.8 <sup>c</sup>	1.33
n-Decane	43238	0.46	0.17
n-Undecane	43954	0.42	0.12
<b>Formaldehyde</b>	<b>43502</b>	<b>7.2</b>	<b>4.5</b>
Acetaldehyde	43503	5.5	2.52
Acetone	43551	0.56	0.23
Carbon Monoxide	42101	0.054	0.032
Methane	43201	0.015	0.005

MIR değeri formaldehite eşit ve daha büyük olan bileşenler koyu renkle gsterilmiştir.

## EK 2. CAMx kontrol dosyasına örnek

```
#!/bin/csh
#
# CAMx 4.20
#
setenv NCPUS 2
setenv MPSTKZ 128M
limit stacksize unlimited
#
set EXEC = "/home/ozan/camx/camx/CAMx_linux"
#
set OUTPUT = "/home/ozan/camx/run/01040705/cikti"
#
mkdir -p $OUTPUT
#
#if( ${RESTART} == "NO" ) then
#   set RESTART = "false"
#else
#   set RESTART = "true"
#endif
#
# --- CAMx.in dosyasinin hazirlanmasi
#
cat << ieof > CAMx.in

&CAMx_Control

Run_Message = Ozan Devrim Yay CAMx 1-4 Temmuz 2005'

!--- Model saatinin kontrolu ---

Time_Zone = -2, ! (0=UTC,5=EST,6=CST,7=MST,8=PST)
Restart = .false.,
Start_Date_Hour = 2005,07,01,0000, ! (YYYY,MM,DD,HHHH)
End_Date_Hour = 2005,07,04,2400, ! (YYYY,MM,DD,HHHH)

Maximum_Timestep = 15., ! minutes
Met_Input_Frequency = 60., ! minutes
Ems_Input_Frequency = 60., ! minutes
Output_Frequency = 60., ! minutes

!--- Harita projeksiyon parametreleri ---

Map_Projection = 'UTM', ! (LAMBERT,POLAR,UTM,LATLON)
UTM_Zone = 34,
POLAR_Longitude_Pole = , ! deg (west<0,south<0)
POLAR_Latitude_Pole = , ! deg (west<0,south<0)
LAMBERT_Center_Longitude = , ! deg (west<0,south<0)
LAMBERT_Center_Latitude = , ! deg (west<0,south<0)
LAMBERT_True_Latitude1 = , ! deg (west<0,south<0)
LAMBERT_True_Latitude2 = , ! deg (west<0,south<0)

!--- Ana (ilk) grid parametreleri ---

Number_of_Grids = 2,
```

## CAMx kontrol dosyasına örnek (Devam)

```
Master_Origin_XCoord = 309.834,      ! km or deg, SW corner of cell(1,1)
Master_Origin_YCoord = 3680.797,    ! km or deg, SW corner of cell (1,1)
Master_Cell_XSize   = 10.,          ! km or deg
Master_Cell_YSize   = 10.,          ! km or deg
Master_Grid_Columns = 110,
Master_Grid_Rows    = 110,
Number_of_Layers(1) = 5,
```

!--- İkinci grid ---

```
Nest_Meshing_Factor(2) = 5,        ! Relative to master grid
Nest_Beg_I_Index(2)   = 96,        ! Relative to master grid
Nest_End_I_Index(2)   = 105,       ! Relative to master grid
Nest_Beg_J_Index(2)   = 72,        ! Relative to master grid
Nest_End_J_Index(2)   = 81,        ! Relative to master grid
Number_of_Layers(2)   = 5,
```

!--- Model seçenekleri ---

```
Diagnostic_Error_Check = .false.,  ! True = will stop after 1st timestep
Advection_Solver       = 'PPM',    ! (PPM,BOTT)
Chemistry_Solver       = 'CMC',    ! (CMC,IEH,LSODE)
PiG_Submodel           = 'None',   ! (None,GREASD,IRON)
Probing_Tool           = 'None',   ! (None,OSAT,PSAT,GOAT,APCA,DDM,PA,RTRAC)
Chemistry               = .true.,
Dry_Deposition          = .true.,
Wet_Deposition         = .true.,
Staggered_Winds        = .true.,
Gridded_Emissions     = .true.,
Point_Emissions        = .false.,
Ignore_Emission_Dates = .true.,
```

!--- Çiktilar ---

```
Root_Output_Name      = '$OUTPUT/CAMx.200507',
Average_Output_3D     = .false.,
HDF_Format_Output     = .false.,
HDF_File_Root         = '',
Number_of_Output_Species = 25,
Output_Species_Names(1) = 'NO',
Output_Species_Names(2) = 'NO2',
Output_Species_Names(3) = 'O3',
Output_Species_Names(4) = 'PAN',
Output_Species_Names(5) = 'NXOY',
Output_Species_Names(6) = 'OLE',
Output_Species_Names(7) = 'PAR',
Output_Species_Names(8) = 'TOL',
Output_Species_Names(9) = 'XYL',
Output_Species_Names(10) = 'FORM',
Output_Species_Names(11) = 'ALD2',
Output_Species_Names(12) = 'ETH',
Output_Species_Names(13) = 'CRES',
Output_Species_Names(14) = 'MGLY',
Output_Species_Names(15) = 'OPEN',
Output_Species_Names(16) = 'PNA',
Output_Species_Names(17) = 'CO',
```

## CAMx kontrol dosyasına örnek (Devam)

```
Output_Species_Names(18) = 'HONO',
Output_Species_Names(19) = 'H2O2',
Output_Species_Names(20) = 'HNO3',
Output_Species_Names(21) = 'ISOP',
Output_Species_Names(22) = 'MEOH',
Output_Species_Names(23) = 'ETOH',
Output_Species_Names(24) = 'ISPD',
Output_Species_Names(25) = 'NTR',
```

!--- Girdi dosyaları ---

```
Chemistry_Parameters = '/home/ozan/camx/testcase/inputs/CAMx4.2.chemparam.3',
Photolysis_Rates     = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/photolysis.dat',
Initial_Conditions   = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/AIRGjul.bin',
Boundary_Conditions = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/boundarycon.bin',
Top_Concentrations  = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/topcon.in',
Albedo_Haze_Ozone   = '/home/ozan/camx/ahomap.v2/ahomapozan14jul.aho',
Point_Sources        = "",
Master_Grid_Restart = "",
Nested_Grid_Restart = "",
PiG_Restart          = "",
```

```
Landuse_Grid(1) = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/landusegrid1.luse',
Landuse_Grid(2) = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/landusegrid2.luse',
ZP_Grid(1)      = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.zp.in',
ZP_Grid(2)      = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.zp.in',
Wind_Grid(1)    = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.uv.in',
Wind_Grid(2)    = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.uv.in',
Temp_Grid(1)    = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.tp.in',
Temp_Grid(2)    = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.tp.in',
Vapor_Grid(1)   = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.qa.in',
Vapor_Grid(2)   = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.qa.in',
Cloud_Grid(1)   = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.cr.in',
Cloud_Grid(2)   = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.cr.in',
Kv_Grid(1)      = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain1.kv.in',
Kv_Grid(2)      = '/home/ozan/camx/mm5camx_v4.3/meteo/camx.domain3.kv.in',
Emiss_Grid(1)   = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/emisjulgrid1.bin',
Emiss_Grid(2)   = '/home/ozan/camx/run/01040705/inputs/emisjulgrid2.bin',
```

&

!-----

ieof

#

# --- Modelin calistirilmesi ---

#

\$EXEC

date



**EK-3. Kullanılan bitki örtüsü verisetinden Türkiye toprakları içinde gözlenen gruplar ve toplam alana oranları**

<b>Bitki örtüsü grubu</b>	<b>%</b>
Cropland (Small Grains) with Grassland	6.499033
Grassland with Winter Wheat	6.471618
Short Grassland	6.274589
Cropland (Wheat, Orchards)	6.207973
Cropland/Shrubland Mosaic	5.730003
Short Grassland/Oak Woodland/Cropland	5.509017
Oak Woodland/Grassland	5.460848
Grassland/Cropland (Corn, Wheat) Mosaic	4.850543
Cropland/Woodland Mosaic	4.215257
Sparse Short Grassland	3.568057
Short Montane Grassland	3.207305
Cropland (Small Grains, Sugar Beets, Orchards)/Pasture	2.492592
Deciduous Broadleaf Forest	2.40471
Oak Woodland	2.353851
Cropland (Winter Wheat, Small Grains)	2.239067
Grassland/Cropland (Small Grains) Mosaic	2.061638
Inland Water	1.766478
Sparsely Vegetated Shrubland/Grassland	1.739831
Woodland/Cropland Mosaic	1.569704
Cropland and Pasture (Wheat, Orchards, Vineyards) with Woodland	1.542161
Small Grains (Barley, Wheat) with Grassland	1.513977
Cropland (Wheat, Barley, Corn)	1.476314
Woodland (Pine, Oak, Gum)	1.415847
Grassland/Irrigated Cropland	1.399705
Oak Woodland/Cropland (Small Grains, Orchards)/Pasture	1.207031
Larch Forest/Woodland	1.106338
Short Grass and Sparse Shrub	1.033829
Dense Sclerophyllous Oak Woodland	0.960808
Mixed Cropland (Small Grains, Corn, Soybeans, Rice) with Woodland	0.864599
Cropland (Winter Wheat)	0.861909
Highland Meadow/Conifer Forest (Fir, Spruce)	0.826039
Mixed Forest (Aspen, Beech, Oak, Poplar, Spruce)	0.820658
Deciduous Forest (Hornbeam, Beech, Oak) with Crops	0.711382
Cropland/Woodland Mosaic	0.680252
Semi-Arid Grassland/Shrubland	0.674359
Irrigated Cropland (Cotton, Rice, Sugar Cane)	0.668722
Oak/Pine Mixed Forest with Cropland	0.645663
Grassland with Cropland	0.619657
Cropland (Spring Wheat, Other Grains)	0.582506
Pasture/Cropland/Orchards	0.50372
Irrigated Cropland (Rice, Wheat)	0.449786
Desert Grassland/Shrubland	0.441459
Sparsely Vegetated Desert Shrubland	0.397775
Woodland (Oak, Beech, Maple, Pine, Fir)	0.340638

Kullanılan bitki örtüsü verisetinden Türkiye toprakları içinde gözlenen gruplar ve toplam alana oranları (Devam)

<b>Bitki örtüsü grubu</b>	<b>%</b>
Grassland with Cropland	0.331158
Cropland (Spring Wheat, Soybeans)	0.324497
Cropland (Spring Wheat, Barley)/Birch Woodland Mosaic	0.244686
Pasture/Cropland	0.243277
Forested Wetland (Larch, Birch, Pine)	0.215605
Alpine Tundra	0.186269
Cropland (Small Grains)	0.178582
Grass and Shrub Mosaic	0.168205
Alpine Shrubland	0.160391
Ocean	0.159878
Cropland (Corn, Barley)/Grassland Mosaic	0.154498
Cropland (Corn, Wheat) with Woodland	0.114528
Alpine Meadows/Grassland	0.105176
Cropland, Orchards, Vineyards/Shrub Mosaic	0.074815
Alpine Tundra	0.058673
Cropland/Pasture with Woodland (Oak, Beech)	0.051371
Barren	0.050987
Birch Woodland/Marsh	0.0433
Cropland (Grains, Soybeans, Rice, Cotton)	0.04266
Cropland (Small Grains)/Woodland Mosaic	0.041635
Cropland (Rice, Wheat) with Woodland	0.040098
Cropland (Wheat)/Grassland Mosaic	0.039457
Woody Tundra (Birch/Willow)	0.037407
Woody Tundra (Dwarf Shrubs/Willows)	0.037023
Desert	0.032283
Sparsely Vegetated	0.031771
Mixed Forest (Pine, Birch)	0.029849
Grassland/Boreal Forest Mosaic	0.027031
Closed and Open Deciduous Broadleaf Forest with Cropland	0.025365
Woodland/Cropland/Pasture Mosaic	0.024084
Grassland Meadow/Cereal Crops/Hay with Oak Woodland	0.022675
Alpine Meadow with Shrubs	0.018704
Cropland (Small Grains) and Woodland Mosaic	0.014604
Agriculture and Plantations (Rubber, Coconut)	0.01422
Alpine Short Grassland	0.013195
Cropland (Cereals)	0.012555
Alpine Meadow/Grassland	0.012555
Open Boreal Forest (Larch/Birch)	0.011786
Pine/Bamboo and Oak Woodland with Cropland (Grains)	0.011273
Cropland (Rice)	0.010505
Conifer Forest (Larch, Fir)	0.010249
Mixed Forest (Birch, Maple, Poplar, Spruce)	0.009992
Mixed Evergreen Forest (Pine, Live Oak)	0.00948
Temperate Alpine Conifer Forest	0.009096
Sparsely Vegetated Desert	0.009096

Kullanılan bitki örtüsü verisetinden Türkiye toprakları içinde gözlenen gruplar ve toplam alana oranları (Devam)

<b>Bitki örtüsü grubu</b>	<b>%</b>
Irrigated Crops (Rice)	0.008839
Cropland (Small Grains) and Pasture	0.008583
Boreal Forest (Spruce, Birch, Pine, Larch)	0.008327
Cropland/Shrubland Mosaic	0.008199
Woody Tundra	0.008199
Sparse Trees, Bogs	0.007943
Dwarf Trees (Willows, Shrubs)	0.007558
Cropland (Spring Wheat, Small Grains)	0.007174
Alpine Meadow	0.007174
Cropland (Rye, Small Grains) with Mixed Forest	0.00679
Alpine Semidesert Shrub	0.006662
Cropland (Wheat) with Woodland	0.006533
Woody Tundra/Transitional Taiga (Dwarf Trees)	0.006277
Arctic Tundra	0.005893
Boreal Larch, Birch, Spruce Forest	0.005893
Open Boreal Forest (Larch/Birch)	0.005252
Pasture/Cropland/Orchards	0.004612
Alpine Grassland/Meadow	0.003843
Boreal Forest (Larch, Spruce)	0.003715
Cropland (Rice)	0.003715
Sparse Trees, Bogs (Heath, Shrub Tundra)	0.003331
Lowland Barren/Sparse Vegetation	0.003331
Dryland Crops (Rice)/Grassland/Shrubland Mosaic	0.00269
Alpine Grassland/Meadow	0.00269
Boreal Forest (Spruce, Pine, Birch)	0.002434
Semi-Arid Grassland/Shrubland	0.002178
Cropland (Millet, Wheat, Maize)	0.00205
Mixed Forest	0.001922
Grass Wetland/Marsh	0.001922
Tropical Evergreen Rainforest	0.001794
Woodland (Beech, Hornbeam, Oak)	0.001794
Broadleaf Deciduous Forest (Ash, Elm, Birch, Basswood)	0.001537
Forest (Beech, Birch, Cedar Mixed with Pine and Larch)	0.001153
Evergreen Broadleaf Forest with Grassland	0.001025
Birch, Larch, Pine, Spruce	0.000897
Alpine Meadow with Coniferous Trees	0.000897
Boreal Forest (Pine, Birch) with Marshes and Bogs	0.000897
Montane, Monsoon Deciduous Rain Forest	0.000897
Pasture/Cropland (Wheat, Barley)	0.000641
Cropland/Open Woodland	0.000384
Deciduous Woodland/Shrubland with Agriculture	0.000384
Cropland (Double Crop Rice/Wheat, Cotton)	0.000384
Cropland (Corn, Wheat) with Woodland	0.000384
Boreal Forest (Spruce, Pine)	0.000384
Boreal Forest (Spruce, Fir, Alder)	0.000256

Kullanılan bitki örtüsü verisetinden Türkiye toprakları içinde gözlenen gruplar ve toplam alana oranları (Devam)

<b>Bitki örtüsü grubu</b>	<b>%</b>
Grassland with Pine	0.000256
Fragmented and Degraded, Open Forest	0.000128
Mixed Southern Boreal Woodland (Larch, Pine, Birch, Oak)	0.000128
Arctic Shrub Tundra (Birch, Willow)	0.000128
Shrubland with Crops	0.000128

**EK-4. Biyojenik emisyonların hesabında kullanılan genel bitki grupları ve kullanılan emisyon faktörleri ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )**

Bitki örtüsü verisetindeki tür ismi	Tür ismi (Türkçe-Latince)	İsopren	Monoterpenler	Diğer VOC	Kaynak
Fir	Kök nar ( <i>Abies</i> sp.)	0	3	1,5	COR*
Cedar	Sedir ( <i>Cedrus</i> sp.)	0	1,5	1,5	COR
Spruce	Ladin ( <i>Picea</i> sp.)	1	1,5	1,5	COR
Pine	Çam ( <i>Pinus</i> sp.)	0	3	1,5	COR
Birch	Huş ağacı ( <i>Betula</i> sp.)	0	0,2	1,5	COR
Larch	Melez ( <i>Larix</i> sp.)	0	1,5	1,5	COR
Alder	Kızılağaç ( <i>Alnus</i> sp.)	0	1,5	1,5	COR
Aspen	Kavak ( <i>Populus</i> sp.)	60	0	1,5	COR
Oak	Meşe ( <i>Quercus</i> sp.)	60	0,2	1,5	COR
Hornbeam	Gürgen ( <i>Carpinus</i> sp.)	0	0,65	1,5	COR
Beech	Kayın ( <i>Fagus</i> sp.)	0	0,65	1,5	COR
Maple/Sycamore	Akçağaç ( <i>Acer</i> sp.)	0	3	1,5	COR
Poplar	Kavak ( <i>Populus</i> sp.)	60	0	1,5	COR
Willow	Söğüt ( <i>Salix</i> sp.)	34	0,2	1,5	COR
Gum	Sakız ( <i>Eucalyptus</i> sp.)	8	0,6	1,5	Guenther ve ark 1994
Grassland	Çimenlik ( <i>Poa</i> sp.)	0	0,1	1,5	COR
Meadow	Çayır/otlak (Gramineacea)	0	0,1	1,5	COR
Wheat	Buğday ( <i>Triticum</i> sp.)	0	0	1,5	COR
Cropland	Tarımsal alan	0,09	0,13	1,5	COR
Woodland	Ormanlık	16	0,8	1,5	Guenther ve ark., 1995
Grains	Tahıl	0,002	0,1	1,5	COR
Evergreen Broadleaf Forest	Herdem yeşil geniş yapraklı ağaç ormanı	24	0,8	1,5	Levis ve ark., 2003

Biyojenik emisyonların hesabında kullanılan genel bitki grupları ve kullanılan emisyon faktörleri ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) (Devam)

Bitki örtüsü verisetindeki tür ismi	Tür ismi (Türkçe-Latince)	İsopren	Monoterpenler	Diğer VOC	Kaynak
Evergreen Needle leaf Forest	Herdem yeşil iğne yapraklı ağaç ormanı	2	2	1,5	Levis ve ark 2003
Shrub land	Çalılık	8	0,65	1,5	COR
Rice	Pirinç ( <i>Oryza sativa</i> )	0,1	0,24	1,5	COR
Millet	Darı ( <i>Pennisetum sp.</i> )	0.002	0,1	1,5	COR
Maize	Mısır ( <i>Zea mays</i> )	0	0	1,5	COR
Soybeans	Soya fasulyesi ( <i>Glicine sp.</i> )	0,03	0	1,5	COR
Vineyard	Üzüm bağı ( <i>Vitis sp.</i> )	0,09	0,13	1,5	COR
Cotton	Pamuk ( <i>Gossypium sp.</i> )	0,047	0,118	1,5	Lamb ve ark., 1993
Rye	Çavdar ( <i>Secale sp.</i> )	0	0,1	1,5	COR
Barley	Arpa ( <i>Hordeum sp.</i> )	0,006	0,015	1,5	COR
Pasture	Otlak	0	0,1	1,5	COR
Sugar Beets	Şeker Pancarı ( <i>Beta vulgaris</i> )	0,09	0,13	1,5	COR
Cereals	Tahıl	0.002	0,1	1,5	COR
Corn	Mısır ( <i>Zea mays</i> )	0	0	1,5	COR
Orchard	Meyve bahçesi	0.15	0,49	1,37	Parra ve ark., 2004

COR: EEA EMEP/CORINAIR (2004)

**EK-5. Türlerle göre aylık yaprak yoğunluk değerleri (g/m<sup>2</sup>)**

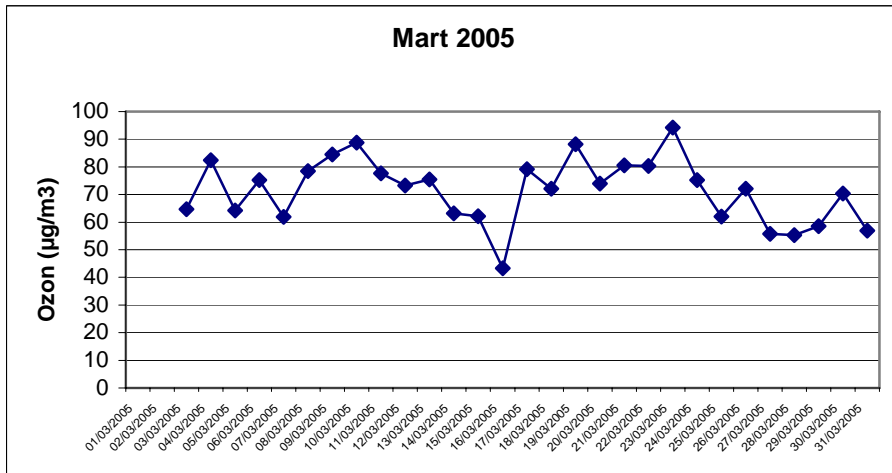
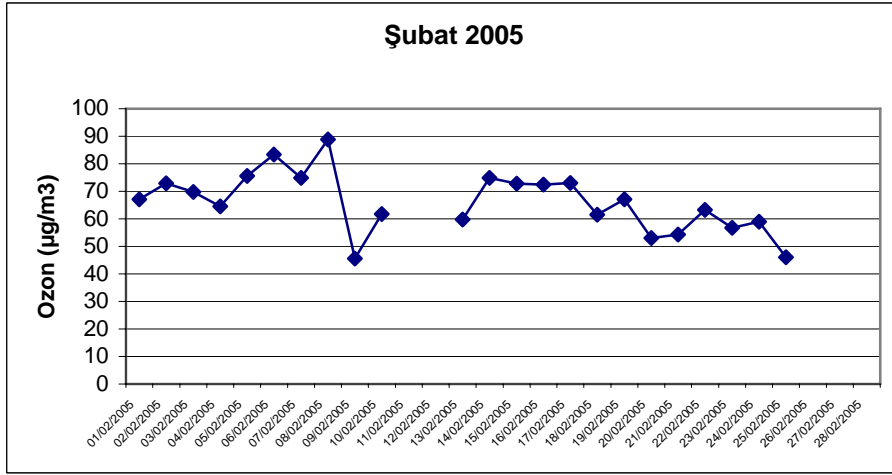
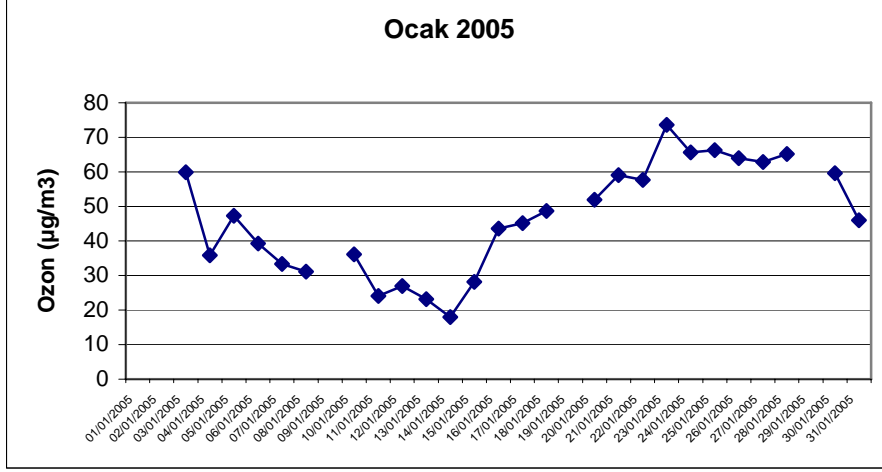
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Fir	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Cedar	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Spruce	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Pine	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Birch	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Larch	0	0	0	150	300	300	300	300	300	150	150	0
Alder	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Aspen	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Oak	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Hornbeam	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Beech	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Maple/Sycamore	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Poplar	0	0	0	160	320	320	320	320	320	160	160	0
Willow	0	0	0	75	150	150	150	150	150	75	75	0
Gum	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
Grassland	200	200	200	200	400	400	400	400	400	200	200	200
Meadow	200	200	200	200	400	400	400	400	400	200	200	200
Wheat	0	0	800	800	800	800	0	0	0	0	0	0
Cropland	180	180	180	180	360	360	360	360	360	180	180	180
Woodland	435	435	435	435	870	870	870	870	870	435	435	435
Grains	0	0	1335	1335	1335	1335	668	668	668	0	0	0
Evergreen Broadleaf Forest	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Evergreen Needleleaf Forest	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Türlere göre aylık yaprak yoğunluk değerleri (g/m<sup>2</sup>) (Devam)

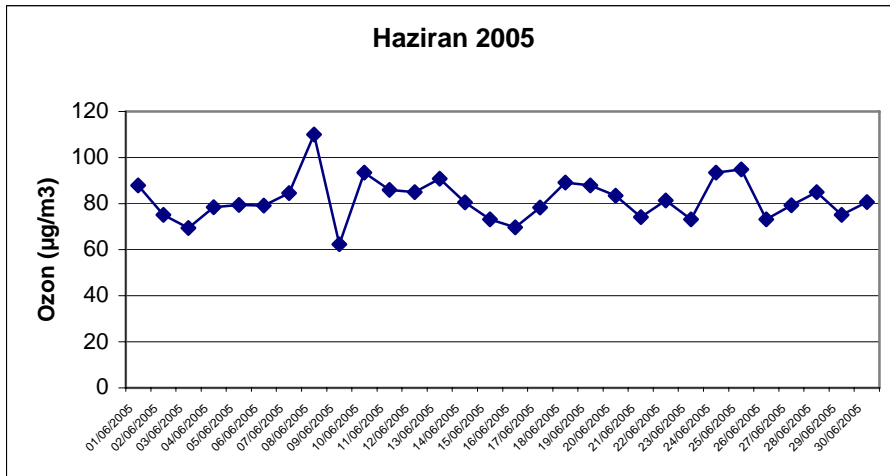
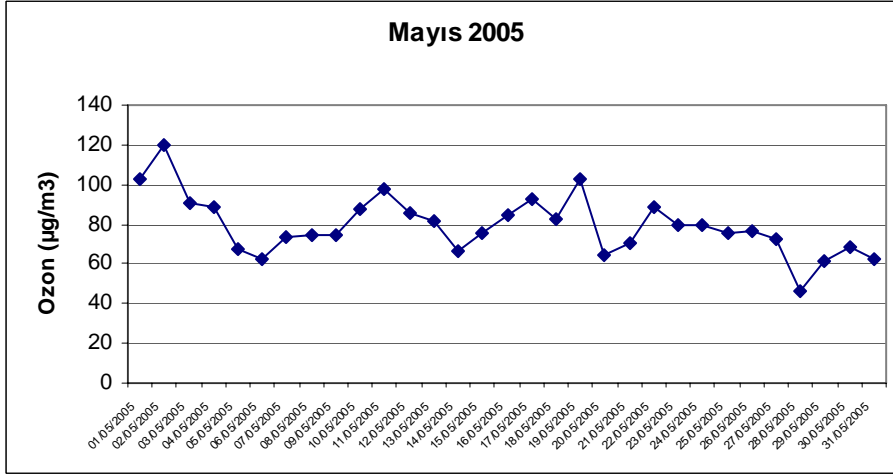
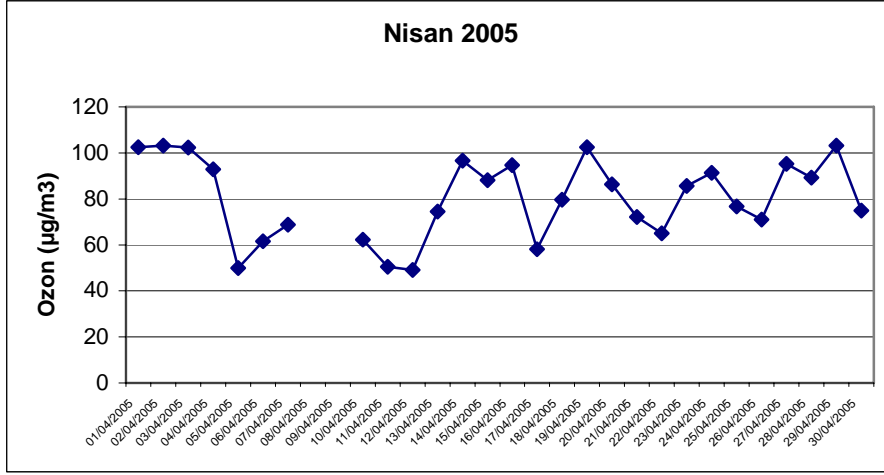
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Mixed Forest	250	250	250	250	500	500	500	500	500	250	250	250
Boreal Mixed Forest	3500	3500	3500	3970	4440	4440	4440	4440	4440	3970	3970	3500
Shrub land	150	150	150	150	300	300	300	300	300	150	150	150
Rice	0	0	0	0	0	1050	1050	1050	1050	0	0	0
Millet	0	0	0	0	1335	1335	1335	1335	1335	0	0	0
Maize	0	0	0	0	1335	1335	1335	1335	1335	0	0	0
Soybeans	0	0	0	0	740	740	740	740	740	0	0	0
Vineyard	0	0	0	0	1335	1335	1335	1335	1335	0	0	0
Cotton	0	0	0	0	160	160	160	160	160	0	0	0
Rye	0	0	400	400	400	400	0	0	0	0	0	0
Barley	0	0	1290	1290	1290	1290	0	0	0	0	0	0
Pasture	200	200	200	200	400	400	400	400	400	200	200	200
Sugar Beets	0	0	0	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335	0	0
Cereals	0	0	1335	1335	1335	1335	668	668	668	0	0	0
Corn	0	0	0	0	1335	1335	1335	1335	1335	0	0	0
Orchard	180	180	180	180	360	360	360	360	360	180	180	180



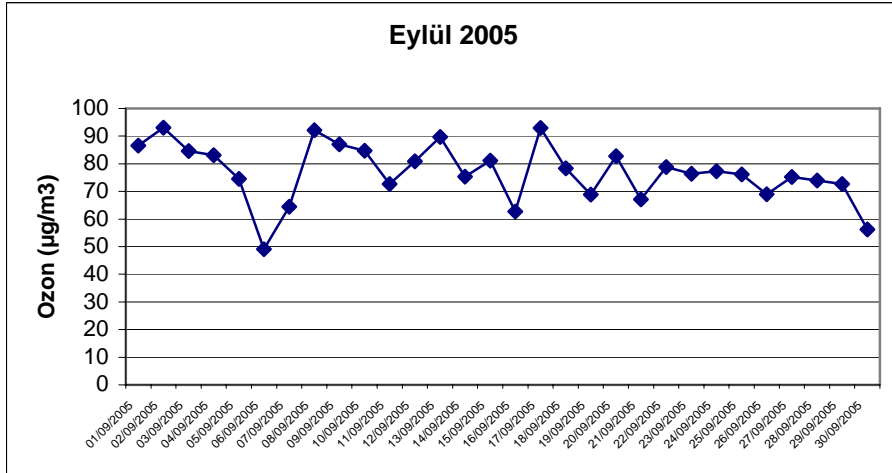
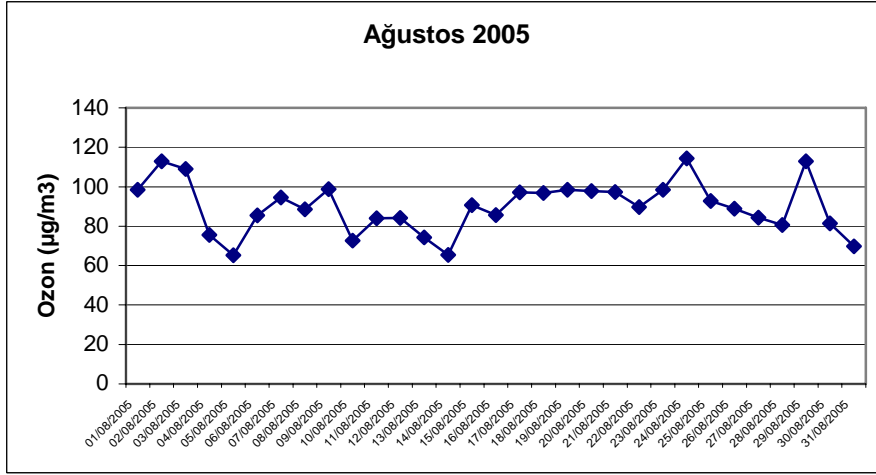
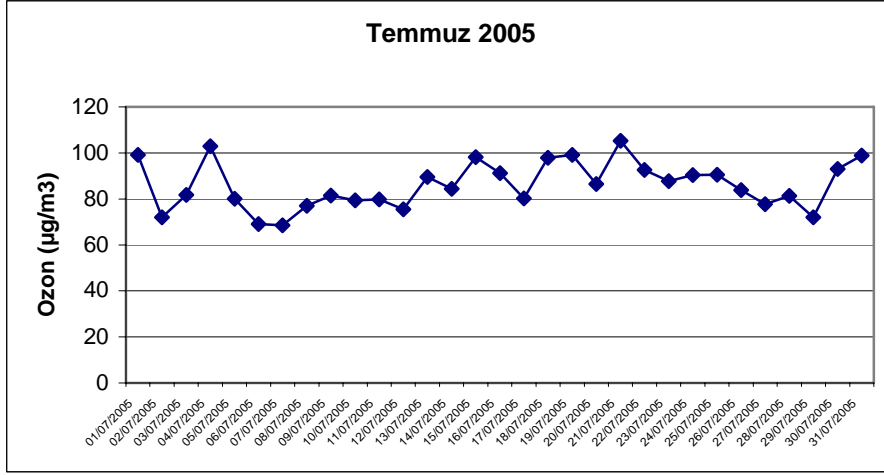
**EK 6. İki Eylül Kampüsü'nde günlük ortalama ozon derişimlerinin aylara göre değişimi**



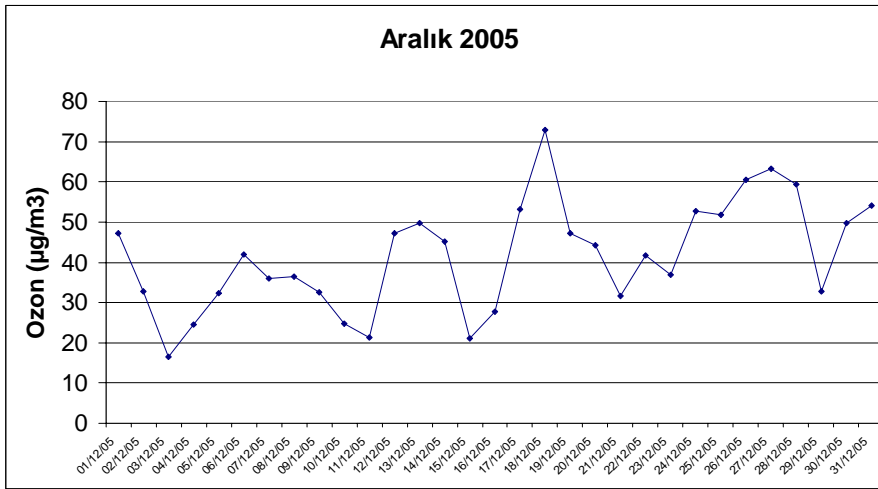
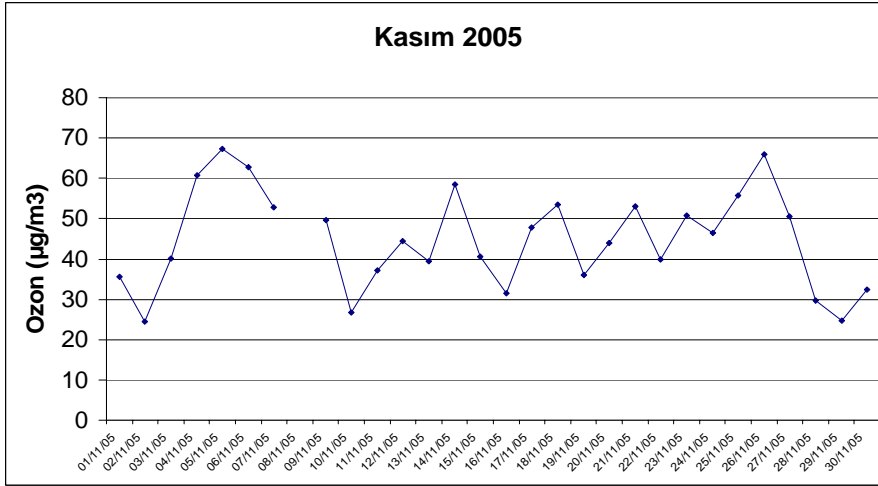
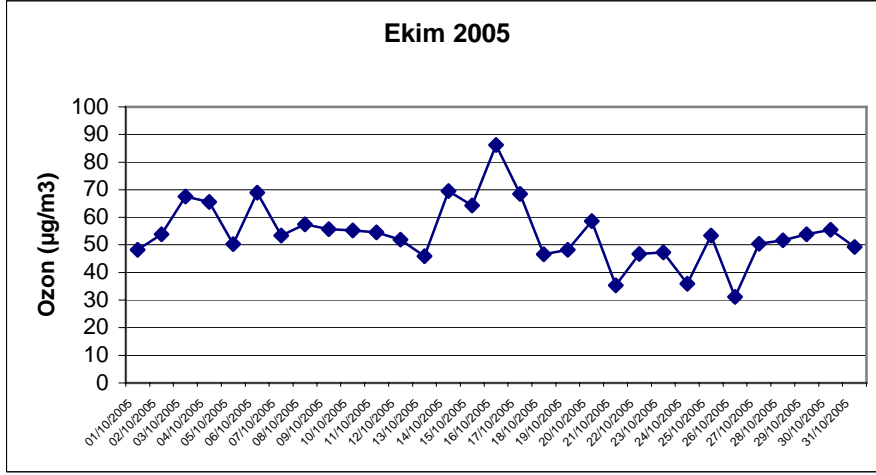
İki Eylül Kampüsü'nde günlük ortalama ozon derişimlerinin aylara göre değişimi (devam)



İki Eylül Kampüsü'nde günlük ortalama ozon derişimlerinin aylara göre değişimi (devam)



İki Eylül Kampüsü'nde günlük ortalama ozon derişimlerinin aylara göre değişimi (devam)



**EK 7. 5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki meteorolojik değişkenler**

Zaman(EEST)	Sıcaklık (C)	Çiğ noktası (C)	Bağıl nem (%)	Deniz Seviyesi Basıncı(mmHg)	Rüzgar yönü	Rüzgar Hızı (km/h)	Genel
5 Temmuz 2005							
12:50 AM	16	14	88	756	BGB	14.8	Çoğunlukla Bulutlu
1:50 AM	17	15	88	756	BGB	11.1	Çoğunlukla Bulutlu
3:50 AM	16	15	94	756	KB	5.6	Hafif Sağanak Yağmur
4:50 AM	16	15	94	756	Batı	7.4	Hafif Sağanak Yağmur
5:50 AM	16	15	94	756	Batı	9.3	Hafif Sağanak Yağmur
6:50 AM	16	15	94	756	BGB	11.1	Hafif Sağanak Yağmur
7:50 AM	16	15	94	756	BGB	13.0	Hafif Sağanak Yağmur
8:50 AM	16	15	94	757	Batı	16.7	Hafif Sağanak Yağmur
9:50 AM	17	16	94	757	Batı	22.2	Çoğunlukla Bulutlu
10:50 AM	18	17	94	758	BKB	27.8	Çoğunlukla Bulutlu
11:50 AM	20	17	83	758	KB	27.8	Çoğunlukla Bulutlu
12:50 PM	22	16	69	758	BKB	27.8	Çoğunlukla Bulutlu
1:50 PM	20	15	73	758	BKB	27.8	Çoğunlukla Bulutlu
2:50 PM	18	16	88	759	Batı	27.8	Çoğunlukla Bulutlu
3:50 PM	18	16	88	759	KB	22.2	Çoğunlukla Bulutlu
4:50 PM	18	16	88	759	BKB	16.7	Çoğunlukla Bulutlu
5:50 PM	18	16	88	759	BKB	16.7	Çoğunlukla Bulutlu
6:50 PM	19	13	68	759	BKB	22.2	Çoğunlukla Bulutlu
7:50 PM	18	13	73	760	BKB	14.8	Serpintili Bulutlu
8:50 PM	17	13	77	760	BKB	20.4	Serpintili Bulutlu
9:50 PM	16	13	82	761	Batı	13.0	Parçalı Bulutlu
10:50 PM	15	12	82	761	BKB	18.5	Parçalı Bulutlu
11:50 PM	14	11	82	761	BKB	11.1	Açık

5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki meteorolojik değişkenler (devam)

Zaman(EEST)	Sıcaklık (C)	Çiğ noktası (C)	Bağıl nem (%)	Deniz Seviyesi Basıncı(mmHg)	Rüzgar yönü	Rüzgar Hızı (km/h)	Genel
6 Temmuz 2005							
12:50 AM	14	12	88	761	Batı	13.0	Açık
1:50 AM	13	12	94	761	Batı	9.3	Açık
3:50 AM	12	11	94	761	Batı	16.7	Açık
4:50 AM	12	11	94	761	DGD	3.7	Açık
5:50 AM	11	10	94	761	DKD	5.6	Açık
6:50 AM	10	9	94	761	KKD	5.6	Açık
7:50 AM	12	11	94	761	GB	3.7	Açık
8:50 AM	15	12	82	761	Batı	5.6	Açık
9:50 AM	17	7	52	761	BGB	9.3	Açık
10:50 AM	20	6	40	761	Batı	7.4	Açık
11:50 AM	21	5	35	760	KB	5.6	Açık
12:50 PM	23	3	27	760	GB	3.7	Açık
1:50 PM	25	2	22	759	BKB	11.1	Açık
2:50 PM	26	2	21	759	KB	14.8	Parçalı Bulutlu
3:50 PM	27	2	20	759	KB	18.5	Parçalı Bulutlu
4:50 PM	27	2	20	759	KB	18.5	Parçalı Bulutlu
5:50 PM	26	2	21	759	BKB	20.4	Açık
6:50 PM	26	2	21	759	BKB	16.7	Açık
7:50 PM	24	2	24	759	BKB	16.7	Açık
8:50 PM	22	4	31	760	Batı	14.8	Açık
10:50 PM	19	5	40	761	BKB	9.3	Açık
11:50 PM	17	7	52	761	BGB	14.8	Açık

5-6-7 Temmuz 2005 tarihlerindeki meteorolojik değişkenler (devam)

Zaman(EEST)	Sıcaklık (C)	Çiğ noktası (C)	Bağıl nem (%)	Deniz Seviyesi Basıncı(mmHg)	Rüzgar yönü	Rüzgar Hızı (km/h)	Genel
7 Temmuz 2005							
12:50 AM	17	7	52	761	Batı	14.8	Açık
1:50 AM	15	7	59	761	KKD	3.7	Açık
3:50 AM	13	9	77	761	Durgun	-	Açık
4:50 AM	11	9	88	761	Durgun	-	Açık
5:50 AM	11	9	88	761	Durgun	-	Açık
6:50 AM	12	10	88	761	Durgun	-	Açık
7:50 AM	14	7	63	761	Durgun	-	Açık
8:50 AM	18	10	59	761	Durgun	-	Açık
9:50 AM	21	8	43	761	Durgun	-	Açık
10:50 AM	24	4	27	761	Kuzey	5.6	Açık
11:50 AM	26	1	20	761	Batı	5.6	Açık
12:50 PM	27	0	17	761	BKB	5.6	Açık
1:50 PM	29	13	37	761	KB	9.3	Açık
4:50 PM	30	3	18	760	BKB	14.8	Açık
5:50 PM	29	2	18	760	KB	11.1	Açık
6:50 PM	29	2	18	760	KB	7.4	Açık
7:50 PM	27	4	23	760	Kuzey	7.4	Açık
8:50 PM	25	6	29	761	KB	5.6	Açık
9:50 PM	23	6	33	761	Batı	3.7	Açık
10:50 PM	23	9	41	761	BGB	13.0	Açık
11:50 PM	23	10	44	761	BGB	14.8	Açık