

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL VE MEKANSAL
MODELLENMESİ, ANALİZİ VE TEMATİK
HARİTALARLA GÖRSELLEŞTİRİLMESİ**

Harita Mühendisi Serpil KUDAL

FBE Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet SELÇUK (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL VE MEKANSAL
MODELLENMESİ, ANALİZİ VE TEMATİK
HARİTALARLA GÖRSELLEŞTİRİLMESİ**

Harita Mühendisi Serpil KUDAL

FBE Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet SELÇUK (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Kapsam ve Amacı	1
2. ATMOSFERİK KİRLETİCİLERİN TANIMI, ÇEŞİTLERİ VE KAYNAKLARI	3
2.1 Hava Kirliliğinin Tanımı	3
2.2 Atmosferik kirleticiler	4
2.2.1 Partikül Maddeler (PM)	5
2.2.2 Kükürt Oksitler (SO _x)	5
2.2.3 Azot Oksitler (NO _x)	6
2.2.4 Hidrokarbonlar (HC)	6
2.2.5 Karbon Monoksit (CO)	7
2.2.6 Ozon (O ₃)	7
2.2.7 Uçucu Organik Bileşikler (VOC)	7
2.3 Hava Kirletici Kaynaklar	8
2.3.1 Yakma Tesisleri	9
2.3.2 Yanma ve Hava Kirliliği	10
2.4 Hava Kalitesi Kavramı Ve Hava Kalitesi Standartları	12
2.5 Hava Kalitesi Modellemesi	16
2.6 Hava Kirliliği Konusunda Yapılmış Çalışmalar	18
3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE TEMATİK KARTOGRAFYA.....	22
3.1 Coğrafi Bilgi Sistemi	22
3.2 Kartografya	22
3.3 Kartografya ve CBS	23

3.4	Tematik Kartografya.....	23
3.4.1	Harita Türleri	23
3.4.1.1	Genel Amaçlı Haritalar	24
3.4.1.2	Tematik Haritalar	24
3.4.2	Tematik Harita Yapım Teknikleri	24
3.4.2.1	Koroplet Harita	24
3.4.2.2	İzaritmik Harita.....	26
3.4.2.3	Orantılı İşaret Haritası	29
3.4.2.4	Nokta ve Dasimetrik (Dot and Dasymetric) Harita	34
3.4.2.5	İki Değişkenli ve Çok Değişkenli Harita.....	36
3.4.2.6	Ek Teknikler	37
4.	MATERYAL VE YÖNTEM	40
4.1	Çalışma Bölgesi Ve Hava Kirliliği Verileri	40
4.1.1	Çalışma Bölgesinin Tanımı	40
4.1.2	Hava Kirliliği Verileri.....	41
4.2	Hava Kirleticiler Emisyon Envanteri.....	42
4.2.1	Emisyon Envanterinin Tanımı	42
4.2.2	Emisyon Envanteri Çeşitleri	42
4.2.3	Emisyon Envanteri Hazırlama Aşamaları	43
4.2.4	Emisyon Tahmin Yöntemleri	44
4.2.5	Emisyon Faktörleri	45
4.2.6	Emisyon Faktörü Veri Tabanları	46
4.3	Aermod View Programı İle Hava Kalitesi Modellemesi.....	46
4.3.1	Aermod View Programının Genel Özellikleri.....	47
4.3.2	Modelin Formülasyonu.....	53
4.3.2.1	Noktasal Kaynaklar için Gaussian Formülü.....	53
4.3.2.2	Rüzgar Hızı Profili.....	54
4.3.2.3	Stabilite Parametresi	54
4.3.2.4	Hacimsel (Çizgi) Kaynak Modeli.....	54
4.3.2.5	Alansal Kaynak Modeli	55
4.3.3	RAMMET View - PCRAMMET Ön İşlemci Programı.....	55
4.3.3.1	PCRAMMET İçin Gerekli Veriler	57
4.3.3.2	PCRAMMET’te Kullanılan Formatlar	59
5.	BULGULAR.....	61
5.1	Emisyon Envanteri Sonuçları	61
5.1.1	Nokta Kaynaklar İçin Emisyon Envanter Sonuçları.....	61
5.1.2	Çizgi Kaynaklar İçin Emisyon Envanter Sonuçları.....	64
5.1.2.1	Çizgi Kaynaklar İçin NO _x Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması	66
5.1.2.2	Çizgi Kaynaklar İçin SO ₂ Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması.....	67
5.1.2.3	Çizgi Kaynaklar İçin PM ₁₀ Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması	69
5.2	Hava Kalitesi Model Sonuçları.....	70
5.2.1	Model Girdilerinin Belirlenmesi.....	70
5.2.2	Model Çalışma Seçenekleri	71
5.2.3	ISCST3 Dispersiyon Model Sonuçları	71
5.2.4	Model Sonuçları İle Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	73
5.3	Coğrafi Bilgi Sistemi ve Mekansal Analiz	74
5.4	Tematik Harita	83

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGE LİSTESİ

Ar	Argon
C ₂	Karbon
CH ₂ O	Formaldehit
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
CuO	Bakır oksit
C _x H _y	Hidrokarbonlar
H	Hidrojen
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
HC	Hidrokarbonlar
He	Helyum
I ₂	İyot
Kr	Kripton
NaCl	Sodyum klorür
Ne	Neon
NH ₃	Amonyak
NO _x	Azot oksitler
PM	Patiküler madde
S	Kükürt
SO ₂	Kükürt Dioksit
SO _x	Kükürt oksitler
Xe	Ksenon,
ZnO	Çinko oksit
<i>y</i>	Huzme doğrultusuna dik olan uzaklık
<i>Q</i>	Kirletici emisyon oranı
<i>x</i>	Rüzgar yönündeki uzaklık
<i>C</i>	Yer seviyesindeki kirletici konsantrasyonu
<i>u_s</i>	Etkin baca yüksekliğindeki rüzgar hızı
<i>H</i>	Etkin baca yüksekliği
σ_z	Konsantrasyon dağılımının düşey standart sapması
σ_y	Konsantrasyon dağılımının yanal standart sapması
<i>p</i>	Rüzgar profil exponenti

KISALTIMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AERMOD	American meteorological society/Environmental protection agency Regulatory Model
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CEC	Commission of European Communities
EF	Emisyon Faktörü
EFIG	The Emission Factor and Inventory Group
EPA	Environmental Protection Agency
FC	Fuel Consumption
HKKY	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
ICA	International Cartographic Association
ISC-PRIME	Industrial Source Complex -Plume Rise Model Enhancement
ISCST3	Industrial Source Complex Short Term V3
İ.B.B	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSDÖK	İstanbul Dökümcüler Sanayi Sitesi
EC JRC	European Commission Joint Research Centre
KBS	Kartografik Bilgi Sistemi
NDFM	The Nuclear Decommissioning and Facilities Management Unit
NMVOC	Non-Methane Volatile Organic Compounds
OAQPS	Office of Air Quality Planning and Standarts
OSPM	Operational Street Pollution Model
SAFE-AIR	Simulation of Air pollution From Emissions_Above Inhomogeneous Regions
SQL	Structured Query Language
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer
VOC	Volatile organic compounds
WHO	World Health Organization

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Doğal ve yapay kaynakların sınıflandırılması	9
Şekil 3.1	Liseden sonra eğitime devam etmeyen kişileri gösteren sınıflandırılmış koroplet harita	25
Şekil 3.2	Liseden sonra eğitime devam etmeyen kişileri gösteren sınıflandırılmamış koroplet harita	26
Şekil 3.3	Farklı izaritmik harita gösterim teknikleri	28
Şekil 3.4	Geometrik orantılı işaret haritası	29
Şekil 3.5	Resimsel (pictographic) orantılı işaret haritası	30
Şekil 3.6	Matematiksel ve algısal ölçeklendirmenin karşılaştırılması	31
Şekil 3.7	Ebbinghaus Yanılsaması	32
Şekil 3.8	Aralık-dereceli yöntemle yapılmış orantılı işaret haritası.....	33
Şekil 3.9	Orantılı işaret haritaları için çeşitli lejant örnekleri	33
Şekil 3.10	Nokta harita örneği	35
Şekil 3.11	Dasimetrik harita örneği	35
Şekil 3.12	Işın-glif (ray-glyph) işaretime dayalı iki değişkenli harita	36
Şekil 3.13	Avustralya'nın eyalet ve özel bölgelerini gösteren kartogram	38
Şekil 3.14	1965-1970 yılları arası Kaliforniya'ya ve Kaliforniya'dan göç miktarını gösteren akış haritası.....	38
Şekil 3.15	Amerika'da yaşayan Latin kökenli insanların dağılımını gösteren çubuk grafik harita örneği.....	39
Şekil 4.1	Çalışma kapsamında modele dâhil edilen kirletici kaynaklar.....	41
Şekil 4.2	ISCST3 modeli için kontrol bölümü penceresi.....	48
Şekil 4.3	Alan kaynak bilgilerinin girildiği pencere	49
Şekil 4.4	Nokta kaynak bilgilerinin girildiği pencere	50
Şekil 4.5	Çizgi kaynak bilgilerinin girildiği pencere	50
Şekil 4.6	Uniform kartezyen grid penceresi.....	51
Şekil 4.7	Meteorolojik bilgilerin tanımlandığı pencere	52
Şekil 4.8	Topoğrafik bilgilerin tanımlandığı pencere	52
Şekil 4.9	Çıkış dosyalarının tanımlandığı pencere.....	53
Şekil 4.10	Rammet view programında veri giriş penceresi	56
Şekil 4.11	Pcramet çıkış dosyası.....	57
Şekil 5.1	Uygun enterpolasyon yönteminin seçildiği pencere	75
Şekil 5.2	Sapmaların kontrolü için sorgu	76
Şekil 5.3	Binalar için oluşturulan 100m'lik tampon bölgeler (buffer).....	77
Şekil 5.4	Region inspection seçeneği.....	77
Şekil 5.5	Binaların ait oldukları tampon bölgelerin seçimi için sorgu.....	78
Şekil 5.6	$\sum (bina_alanı * kat_adedi)_{mahalle}$ değeri için sorgu.....	79
Şekil 5.7	Binalarda birim m ² 'ye düşen kişi sayısı (k) için sorgu	80
Şekil 5.8	Binalarda yaşayan kişi sayıları için sorgu.....	80
Şekil 5.9	Yıllık 30 µg/m ³ 'den çok NO _x konsantrasyonuna maruz kalan binalar ve bu binalarda yaşayan kişi sayıları	81
Şekil 5.10	Seçili binadaki yıllık ortalama NO _x , SO ₂ ve PM ₁₀ konsantrasyonları ve bu binada yaşayan kişi sayısı	82
Şekil 5.11	Yıllık PM ₁₀ konsantrasyonunun µg/m ³ 'den ve NO _x konsantrasyonunun 30 µg/m ³ 'den büyük olduğu binaları gösteren sorgu	83
Şekil 5.12	24 saatlik NO _x dağılımını gösteren tematik harita.....	85
Şekil 5.13	24 saatlik PM ₁₀ dağılımını gösteren tematik harita.....	86
Şekil 5.14	24 saatlik SO ₂ dağılımını gösteren tematik harita.....	87
Şekil 5.15	Yıllık NO _x dağılımını gösteren tematik harita	88

Şekil 5.16	Yıllık PM ₁₀ dağılımını gösteren tematik harita.....	89
Şekil 5.17	Yıllık SO ₂ dağılımını gösteren tematik harita.....	90
Şekil 5.18	Nüfus yoğunluğu ve 24 saatlik NO _x , PM ₁₀ ve SO ₂ kirletici konsantrasyonlarını gösteren koroplet harita.....	91
Şekil 5.19	Nüfus yoğunluğu ve yıllık NO _x , PM ₁₀ ve SO ₂ kirletici konsantrasyonlarını gösteren koroplet harita.....	92

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Normal kuru hava bileşimi.....	3
Çizelge 2.2	Birincil ve ikincil hava kirleticilerinin genel tasnifi	5
Çizelge 2.3	Yanmadan kaynaklanan hava kirleticilerinin etkileri	12
Çizelge 2.4	SO ₂ ve NO _x ve PM ₁₀ için sınır değerler.....	14
Çizelge 4.1	Kaynaklar için x ve y koordinatlarının konumları.....	49
Çizelge 4.2	Rüzgar profil exponentleri	54
Çizelge 4.3	Dikey potansiyel sıcaklık gradyanları.....	54
Çizelge 4.4	Hacim Kaynaklarda Başlangıç Boyutları Hesap Yöntemi.....	55
Çizelge 4.5	Minimum monin-obukhov uzunluğu	58
Çizelge 4.6	Yüzey pürüzlülük uzunluğu	58
Çizelge 4.7	Albedo değerleri.....	58
Çizelge 4.8	Bowen oranı değerleri.....	59
Çizelge 4.9	SAMSON format dosyası	59
Çizelge 4.10	ASCII format dosyası	60
Çizelge 5.1	Yakıt emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri.....	61
Çizelge 5.2	Çalışma bölgesindeki sanayilerin özellikleri ve emisyon miktarları	63
Çizelge 5.3	Taşıt emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri.....	69
Çizelge 5.4	Çizgi kaynak emisyon envanteri sonuçları	70
Çizelge 5.5	Gişelerden geçen araçların türlerine göre dağılımı	70
Çizelge 5.6	Modelde tahmin edilen NO _x konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri.....	72
Çizelge 5.7	Modelde tahmin edilen SO ₂ konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri.....	72
Çizelge 5.8	Modelde tahmin edilen PM ₁₀ konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri.....	73
Çizelge 5.9	NO _x konsantrasyonlarının karşılaştırılması	73
Çizelge 5.10	SO ₂ ve PM ₁₀ konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	74

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca her türlü destek ve yardımı benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Selçuk ve Yrd. Doç. Dr. Melih Başaraner'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her konuda bilgisine başvurduğum İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Burcu Onat'a ve Yrd. Doç. Dr. Ülkü Şahin'e, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Arslan Saral, Arş. Gör. Selami Demir ve Arş. Gör. Levent Kuzu'ya, çalışmam için gerekli verilerin temininde bana her türlü kolaylığı sağlayan İ.B.B. Çevre Koruma Müdürlüğü'nden Suat Biçer, Muhammet Doğan ve Aslı Topbağ'a, İ.B.B. Trafik Müdürlüğü'nden Batuhan Altun'a ve İğdaş'tan İhsan Bakır'a, ilgi ve desteklerini benden esirgemeyen Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü'ndeki çalışma arkadaşlarım ve yöneticilerime özellikle de Atilla Önal'a, kullandığım yazılımla ilgili her türlü teknik desteği sağlayan Lakes Environmental firmasına özellikle Jason M. Redman'a ve maddi ve manevi olarak beni her zaman destekleyip eksikliklerini hissettirmeyen değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Sanayileşme ile birlikte, artan enerji ihtiyacı ve enerji elde etmek için fosil yakıt kullanımı nedeniyle çevresel sorunlar artma eğilimindedir. Kentleşmenin ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerde fosil yakıtların daha yoğun kullanılması nedeniyle çevresel sorunlar özellikle de hava kirliliği yaşamı olumsuz etkileyecek şekillerde görülebilmektedir. Bu durum hava kirliliği konusunda farklı disiplinlerin bir araya geldiği yeni çalışmalar, kontrol stratejileri ve yeni yasal düzenlemeler gerektirmektedir.

Karar vericiler tarafından gerekli önlemlerin alınabilmesi için çevre problemlerinin mekânsal değişkenliğinin belirlenmesi ve izlenmesi son derece önemlidir. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve tematik kartografya, farklı konulara ilişkin mekânsal verilerin entegrasyonu, modellenmesi, analizi ve görselleştirilmesi için çeşitli teknikler sağladığından çevresel problemlere yönelik stratejiler geliştirilmesinde yararlı birer araç olarak kullanılmaktadır.

Bu tezde, hava kirliliğinin çevresel ve mekânsal modellenmesi, analizi ve görselleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk olarak Küçükçekmece ilçesine ilişkin nokta, çizgi ve alan kaynakları içeren bir emisyon envanterine dayalı olarak kirletici kaynaklara ilişkin NO_x , SO_2 ve PM_{10} emisyon değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra meteorolojik veriler ve sayısal yükseklik modeli kullanılarak bu kirleticilerin çalışma bölgesindeki hava kalitesine etkileri, AERMOD View yazılımıyla EPA'nın önerdiği modellerden biri olan ISCST3 modeline göre belirlenmiştir. Hava kirliliğinin bina ve mahalle bazında nüfusa etkisini belirlemek üzere bu model ile üretilen kirletici konsantrasyon değerleri, MapInfo Professional yazılımına aktarılıp grid model haline getirilmiş ve bina ve mahallelere ait vektör veriler ile entegre edilmiştir. Ardından mahalleler ve binalarda yaşayanlara ilişkin olası bir etkilenme alanı içindeki ortalama konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar çeşitli tematik haritalar aracılığıyla görselleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kartografya, coğrafi bilgi sistemi, hava kalitesi modellemesi, ISCST3 dispersiyon modeli, tematik haritalar.

ABSTRACT

Together with industrialisation, environmental problems tend to increase owing to the growing need for energy and hence the use of fossil fuels to obtain energy. In urban and industrial areas because of common use of fossil fuels, environmental issues particularly air pollution can affect the life negatively. This situation requires new studies which requires collaboration of different disciplines, control strategies and new legal arrangements about air pollution.

It is essential to determine and monitor spatial variability of environmental problems so as to take required precautions by decision makers. Geographic information systems (GIS) and thematic cartography are used as an useful tool in developing strategies for environmental problems since they provide various techniques for integration, modelling, analysis and visualisation of spatial data on different themes.

In this thesis, it has been aimed environmental and spatial modelling, analysis and visualization of air pollution. For this purpose, first NO_x , SO_2 and PM_{10} emissions of pollutant sources in Kucukcekmece county were calculated based on an emission inventory which includes point, line and area sources. Then it was determined the effect of the pollutants to the air quality by using meteorological data and digital elevation model (DEM) through AERMOD View software in the study area according to ISCST3 model, one of the models recommended by EPA. The pollutant concentrations obtained from this model were transformed to grid model in MapInfo Professional software and integrated with vector data of buildings and districts to determine the human exposure based on the buildings and the districts. Later the average concentration values were obtained in the districts and a probable human exposure zones of the buildings. The results were visualised by means of various thematic maps.

Keywords: Cartography, geographic information systems, air quality modelling, ISCST3 dispersion model, thematic maps.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Kapsam ve Amacı

Günümüzde, her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmekte, ekolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Hava kirlenmesi, insan ve diğer canlılara zarar verecek miktar ve süredeki kirleticilerin, atmosfere karışması olarak tanımlanabilir. Kirleticiler doğal veya insan aktiviteleri sonucu atmosfere karışabilirler.

Doğal olarak saf atmosfer az veya çok miktarda, büyük bölümü suni olan yabancı maddelerin üretimi ile kirletilir. Bunların başında petrol ürünleri ve endüstriyel kirleticiler gelmektedir. Özellikle son yıllarda, endüstriyel aktivitenin, şehirleşmenin ve nüfusun artması ile kirletici maddelerin kullanımı ve miktarı da hızla artmaktadır.

Atmosfere dağılarak, onu kirleten kirleticiler katı, sıvı ve gaz halindedirler. Çeşitli kaynaklardan meydana gelen kirletici maddeler toz, is, sis, buhar, kül, duman vb. olarak havaya karışırlar. Atmosferdeki bu kirleticiler, kirletici kaynaklarından atmosfere doğrudan verilen kirleticiler ve bu kirleticilerle, atmosferdeki kimyasal olaylar sonucu oluşan kirleticiler olmak üzere iki şekilde bulunurlar. Atmosfere kirletici kaynaklardan yayılan kirleticiler; kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC) ve asılı vaziyette bulunan katı partiküllerdir (PM). Bu kirleticilerle, atmosferik özelliklerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonların en önemlileri ise fotokimyasal olaylardır ki, bunlardan özellikle floroklorokarbonlar, güneşten gelen zararlı (ultraviyole) ışınlarla karşı yeryüzünü koruyan ozon tabakasında büyük tahribata yol açmaktadır.

Doğal veya insan yapısı sonucu atmosfere karışan kirleticiler, her iki halde de atmosfere yayıldıkları anda hızla kimyasal reaksiyonlar oluştururlar ve hava akımları ile karışır, dağılır, yayılır ve taşınırlar. Böylece kirleticiler, kaynaktan çıkıp, alıcılara ulaştığında karakterleri değişebilir.

Bugün çok önemli bir çevre problemi olan ve özellikle insan sağlığını etkileyen hava kirliliği ilk olarak, atmosfer bileşiklerinin değişmesiyle başlamaktadır. Çeşitli amaçlarla yakılan ateşler, fabrika ve ev bacalarının dumanları, araçların egzoz gazları zehirli gazlardan olan

karbon monoksit, kükürt dioksit ve nitrik asit gibi gazların bol miktarda havaya karışmasına neden olur [1].

İstanbul gibi nüfusu fazla olan şehirlerde, her geçen gün artan hava kirliliği problemlerinin azaltılması ve hava kalitesi seviyesinin yükseltilebilmesi için öncelikle kirletici kaynakların belirlenmesi ve bunların denetim altına alınması gerekmektedir. Kirletici kaynakların sebep olduğu hava kirliliğinin değerlendirmesinin yapılması ve kirleticilerin denetim altına alınması için oluşturulacak kontrol stratejilerinin belirlenmesi ise ancak hava kalitesi modelleri yardımıyla mümkün olabilmektedir (Onat, 2004).

Dispersiyon modelleri (ISCST3,...), hava kalitesi modelleri içinde en karmaşık olanıdır ve dispersiyon mekanizmasının en detaylı tanımının yapıldığı model tipidir. Bu modeller modele teoriyi dâhil ederek uygun tahminler yapabilmektedir. Günümüzde dispersiyon modeli kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleme çalışmalarında EPA (Amerikan Çevre Koruma Ajansı) tarafından kabul görmüş modeller tercih edilmektedir. Hava kirliliği kontrolünde yapılan çalışmaların daha kısa sürede yorumlanması ve kontrol stratejilerinin belirlenmesi için hava kalitesi model sonuçlarıyla emisyon kaynak ve miktarlarının ayrı ayrı veya bir bütün olarak incelenebilmesi gerekmektedir. Böyle bir inceleme tüm dağılımların konumsal olarak ifade edilebilmesi yani aynı mekâna ait tüm verilerin bir anda görülebilmesiyle mümkün olur. Konuma bağlı olarak bu işlemi gerçekleştirebilen bilgi sistemleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak adlandırılır. İlk kullanılmaya başlandığı dönemde farklı sektörlerde kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemlerinden 1990'lı yılların başından itibaren çevre kalitesinin izlenmesi ve modellenmesi konularında yararlanılmaya başlanmıştır (Onat, 2004)

Bu çalışmanın amacı iki grupta toplanabilir:

İstanbul ili Küçükçekmece ilçesinde NO_x , SO_2 ve PM_{10} emisyon miktarlarının hesaplanması ve hesaplanan NO_x , SO_2 ve PM_{10} emisyonlarının hava kalitesine etkilerinin ISCST3 dispersiyon modeli yardımıyla belirlenmesi

Çalışma bölgesindeki hava kirliliğinin mekânsal dağılımını ve bina ve mahalle bazında nüfusa etkisini belirlemek için çevresel modelleme sonuçlarının CBS ortamına aktarımı ve mekansal modellenmesi, analizi ve tematik haritalar aracılığıyla görselleştirilmesi

2. ATMOSFERİK KİRLİTİCİLERİN TANIMI, ÇEŞİTLERİ VE KAYNAKLARI

2.1 Hava Kirliliğinin Tanımı

Hava kirliliği; canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve/veya maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerindeki miktar ve yoğunluğa ulaşmasıdır. Bir başka deyişle hava kirliliği; havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunmasıdır. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir [2].

Hava kirliliğini ve kontrolünü anlamada gerekli ilk adım atmosferin bileşim ve yapısını anlamaktır (Onat, 2004). Atmosferin kuru hava esas alınarak saptanan bileşimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Havada Çizelge 2.1'de verilenler dışında % 1-3 oranında Su buharı ve çok düşük konsantrasyonlarda SO₂, CH₂O (formaldehit), I₂, NaCl, NH₃, CO, toz ve çiçek tozları bulunur (Goncaloğlu, 2001).

Çizelge 2.1 Normal kuru hava bileşimi (Wark vd., 1998)

BİLEŞEN	HACİMSEL %	KONSANTRASYON, PPM (cm ³ / m ³)
Azot, N ₂	78.084 ± 0.004	780 900
Oksijen, O ₂	20.946 ± 0.002	209 400
Argon, Ar	0.934 ±0.001	9300
Karbondioksit, CO ₂	0.033 ±0.001	315
Neon, Ne	0.0018	18
Helyum, He	0.00052	5.2
Metan, CH ₄	0.00012	1.2
Kripton, Kr	0.00005	0.5
Hidrojen, H ₂	0.00005	0.5
Ksenon, Xe	0.000008	0.08
Azot dioksit, NO ₂	0.000002	0.02
Ozon, O ₃	0.000001-0.000004	0.01-0.04

2.2 Atmosferik kirleticiler

Kirleticiler havada gaz, sıvı veya katı halde bulunurlar. Gaz hali dışında bulunan kirleticiler havada aerosol halinde olup bazıları sis, mist, duman gibi özel adlar ile anılırlar. Partikül maddelerin atmosferdeki hallerinin özel isimleri olan bu tanımlar şu şekildedir (Goncaloğlu, 2001):

- **Aerosol:** Gaz ortamında katı veya sıvı halde bulunan mikroskobik partiküllerin bir dispersiyonudur. Boyutları çok küçük olduğundan atmosferde asılı halde bulunurlar.
- **Toz:** Mikron boyutunda, kolloidden daha büyük, havada geçici bir süre askıda kalabilen katı partiküllerdir. Uçucu kül ve mekanik işlemler neticesinde meydana gelen partiküller bu gruba dahildir.
- **Uçucu Kül:** Yanma neticesinde meydana gelen ve baca gazları içinde bulunan ince kül partikülleridir. Bu partiküller yanmamış yakıt (karbon) içerebilirler.
- **Sis:** Mikroskobik su damlacıklarından oluşan gözle görülebilen aerosollerdir.
- **Füme:** Yoğuşma, süblimasyon veya kimyasal reaksiyon neticesinde teşekkül eden, genellikle 1 m'dan küçük partiküllerdir (Örn; sigara dumanı, metalurjik proseslerden çıkan fümeler, CuO, ZnO vb.).
- **Mist:** Havada kendi ağırlığı ile düşecek büyüklükte olan sıvı damlacıkların dispersiyonudur.
- **Duman:** Tam olmayan yanma neticesinde oluşan, genelde karbon ve diğer yanabilen maddelerden meydana gelen aerosollerdir.
- **Kurum:** Yanma neticesinde parçacıklarının birleşmesinden meydana gelen ve tam olmayan yanma neticesinde oluşan katran ihtiva eden partiküllerdir.

Hava kirleticilerinin diğer bir sınıflandırması kimyasal yapıya bağlı olarak yapılır. Buna göre kirleticiler organik ve inorganik kirleticiler olarak ayrıldıkları gibi, her grup da kendi içinde yine kimyasal yapı ve özellikler dikkate alınarak sınıflandırılabilir. Özellikle organik kirleticilerin çok sayıda sınıfa ayrılması söz konusudur. Diğer bir sınıflandırma şekli kaynağa bağlıdır. Kirleticiler belirli bir kaynağı olan (primer, birincil) veya belirli bir kaynağı olmayıp atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan (sekonder, ikincil) kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır (Goncaloğlu, 2001). Çizelge 2.2'de primer ve sekonder hava kirleticilerinin genel tasnifi verilmiştir.

Çizelge 2.2 Birincil ve ikincil hava kirleticilerinin genel tasnifi (Wark vd., 1998)

SINIF	PRİMER KİRLETİCİLER	SEKONDER KİRLETİCİLER
Kükürtlü Bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , SO ₄ ⁻² Bileşikleri
Organik Bileşikler	C ₁ - C ₅ Bileşikleri	Ketonlar, Aldehitler, Asitler
Azot Bileşikleri	NO, NH ₃	NO ₂ , NO ₃ Bileşikleri
Karbon Oksitleri	CO, CO ₂	Yok
Halojenler	HCl, HF	Yok

2.2.1 Partikül Maddeler (PM)

Partiküller, hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Partikül madde tanım olarak, atmosferde standart şartlarda katı ya da sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki maddelere denir. Bunlar 0,1 ile 100 µ arasında değişen boylarda bulunurlar. Partiküllerin başlıca kaynaklarını çimento fabrikaları, metal endüstrisi ile araçlar oluşturur. Volkanlar ise partikül emisyonları bakımından en önemli doğal kaynaktır [3].

Partiküller boyutları ya da çaplarına göre sınıflandırılırlar. İnsanlar için zararlı olabilecek partikül boyutları 10 mikrometre (PM₁₀) ve daha küçük boyutlu olanlarıdır (Pearson, 2001).

2.2.2 Kükürt Oksitler (SO_x)

Başlıcaları SO₂ ve SO₃ olmak üzere altı farklı kükürt oksidinin (*SO*: kükürt monoksit; SO₂: kükürt dioksit; SO₃: kükürt trioksit; S₂O₃: kükürt seskioksit; S₂O₇: kükürt heptaoksit; SO₄: kükürt tetraoksit) toplamı olarak ifade edilir (Goncaloğlu, 2001).

Gaz halindeki kirleticiler arasında yanıcı olmayan renksiz bir gaz olan kükürt oksitler en çok bilinen birincil hava kirleticilerdendir. Atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. Çoğunlukla fosil yakıtların yanması sonucunda oluşurlar. Antropojenik (insan kaynaklı) kükürt oksitlerin %80'inden fazlasının endüstriyel kaynaklardan meydana geldiği tahmin edilmektedir [3].

Kükürt dioksit (SO₂) ısı ve elektrik eldesi için yakılan fosil yakıtlar sonucu ortaya çıkan renksiz asidik bir gazdır. Kömür ve petrol kullanılan merkezi ısıtma sistemlerinin yaygın

olduğu kentsel alanlarda ve fuel oil ve kömür kullanan elektrik santrallerinin bulunduğu bölgelerde görülebilir.

SO₂ kirliliği yaz ya da kış olsun hava koşullarında hala etkilidir. Kirletici olarak doğal yollardan volkanik aktiviteler sonucu ve dimetil sülfitin deniz mikroorganizmalarından oksidasyonu sonucu oluşur. Çok yoğun sülfür dioksit konsantrasyonları akut göz, burun ve boğaz iritasyonlarına neden olabilir (Pearson, 2001).

2.2.3 Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksit ya da nitrojen oksit kavramı, bileşenlerinin atmosferde birlikte bulunmasından dolayı NO ve NO₂'in her ikisine karşılık gelmektedir. Orman yangınları gibi doğal kaynakları olabileceği gibi NO_x'in ana kaynağı fosil yakıtların yakılmasıdır. Kara yolu taşımacılığından kaynaklanan emisyonlar dünya genelinde NO_x'in % 50'sini oluştururken gç istasyonlarından kaynaklanan emisyonlar ise nerdeyse % 20'sini oluşturur. İ ortamlardaki NO_x kaynaklarını ise sigara kullanımı ve gaz ve petrol yakılmasına dayanan uygulamalar oluşurmaktadır.

Azot oksitler gnşiğında hidrokarbonlarla reaksiyona girerek en önemli ikincil kirleticilerden biri olan ozon (O₃) formuna dönüşebilir. Atmosferdeki bir diğer fotokimyasal reaksiyon azot dioksiti (NO₂) rzgrlarla taşıyarak asit yağmurlarına neden olabilen nitrik asit ve nitratlara dönüştürür.

Azot oksit (NO) atmosferde sınır konsantrasyonlardaki durumunda solunduğunda insanlar için tehlikeli değildir. Buna rağmen kızıl kahve bir gaz olan azot dioksit yüksek konsantrasyonlarda solunduğunda sağlık üzerine ciddi etkilerde bulunur ve özellikle astım problemi olan kişilerde orta dereceli konsantrasyonları solunum yollarında tahrişe neden olabilir. Azot dioksitin atmosferde kalma süresi genellikle bir gündür ve bir süre sonra nitrik asit ve diğer kimyasal bileşenlere dönüşür.

şüphe yok ki, dünya genelinde kentsel alanlarda hava kalitesini iyileştirmede, özellikle ozon ve partikül gibi kirleticilerin oluşumunda temel kimyasal kirletici olması nedeniyle, azot oksit emisyonlarının kontrolü önem arz etmektedir (Pearson, 2001).

2.2.4 Hidrokarbonlar (HC)

Gaz halindeki organik bileşiklerin toplamıdır. Atmosfere kirletici olarak alifatik ve aromatik yapıda çok sayıda hidrokarbon yayınlanmaktadır. Hidrokarbonların önemli bir kısmı petrol ürünleri ve yanma artıklarıdır (Goncaloğlu, 2001).

2.2.5 Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit, yeterli oksijenin olmadığı yanma reaksiyonları sonucu oluşan zehirli bir gazdır. İç ortamlarda ana kaynaklar sigara dumanı ve ısınma donanımlarıdır. Dış ortamlarda ise temel kaynak, yaklaşık olarak karbon monoksitin % 90'ını oluşturan, benzinli araçlardır. Yakılan ateşler, orman yangınları ve katı atık yakma tesisleri ise dış ortamdaki karbon monoksitin % 10'unu oluşturur.

Karbon monoksit, kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltarak, baş ağrısı, yorgunluk, solunum yolu rahatsızlıkları ve hatta bazı durumlarda ölümlere neden olabileceğinden insan sağlığı açısından en tehlikeli kirleticilerden biridir. Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olduğundan CO gazına maruz kalmış kişiler çoğu zaman bu durumu fark etmeyebilir. Bu yüzden yaşam alanlarında koruma sistemlerinin bulunması önemlidir (Pearson, 2001).

2.2.6 Ozon (O₃)

Atmosferdeki ozonun yaklaşık %10'u atmosferin alt katlarında troposferde bulunur. 1m³ havada 8 mm³ kadar ozon bulunur. Yeryüzüne yakın atmosfer tabakalarındaki ozonun başlıca kaynağı, azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile reaksiyona girmesidir. Fotokimyasal pusun (smog) en önemli bileşeni olduğu için, bu seviyede başlıca hava kirleticilerinden biridir. Buna karşılık yaklaşık % 90'nın bulunduğu stratosferdeki ozon, troposferdekinin aksine canlı yaşamında önemli rol oynar. Atmosferin üst katlarında ultraviyole ışınlarını emerek yeryüzündeki yaşam üzerinde olumlu bir etki yapar. Diğer yandan bu ışınların emilmesi nedeniyle ozon katı ortalama + 77°C sıcaklıktadır. Troposferik ozon küresel iklim değişikliğinde rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada gelir. Uzun dalga boylu radyasyonun atmosferde kalmasına atmosferin sera etkisinin artmasına neden olur. Küresel iklim değişikliğindeki sera etkisi % 7 kadardır [3].

2.2.7 Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

Uçucu organik bileşikler hidrokarbonlardan (alkanlar, aklenler ve aromatikler) halokarbonlara ve oksijenatlara (alkoller, aldehytler ve ketonlar) çeşitlilik gösterir. Atmosferde damlacık şeklinde bulunurlar ve kirletici olarak sınıflandırılırlar. Uçucu organik bileşiklerin, aslında, gün ışığında azot oksitlerle kimyasal reaksiyonuyla ozon gibi ikincil kirleticilerin oluşumunda payı vardır.

Atmosferde en yaygın bulunan hidrokarbon metandır ve uzun ömürlüdür. Ağaçlar ve bitkiler VOC'ların doğal kaynaklarıdır ve ozon oluşumu açısından en etkili hidrokarbonlardan biri olan izopren'i yayarlar. VOC emisyonlarının en önemli kaynağı benzinle çalışan araçlardır (Pearson, 2001).

2.3 Hava Kirletici Kaynaklar

Atmosfere karışan gerek gaz, gerekse partikül halindeki kirleticilerin olduğu yerlere *kaynak* denir. Bu kaynaklar, orman yangını, volkan vb. doğal veya evsel ısınma araçları, sanayi tesisleri, taşıtlar gibi yapay olabilir. Genel olarak hava kirletici kaynaklar "*doğal kaynaklar*" ve "*yapay kaynaklar*" olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Goncaloğlu, 2001):

1.Doğal Kaynaklar: Volkan faaliyetleri, orman yangınları, açık arazide yakma, havyan ve bitki ölümlerinin bozunması gibi çok farklı alanlar bu grupta yer alır. Doğal nedenlerle bu kaynaklardan oluşan kirletici miktarları oldukça büyük miktarlarda olabilmektedir. Ayrıca bu kaynaklarda kirleticilerin kontrol edilmesi çok güçtür.

2.Yapay Kaynaklar: Bu grupta hammaddeleri insanların kullanımına sunabilmek için gereken süreçler sonunda oluşan, yani insanlar tarafından meydana getirilen kaynaklar yer alır. Diğer bir ifadeyle insanların neden olduğu (antropojen) kaynaklardır. Teknolojik imkânlarla bağlı olarak bu kaynaklardan oluşan kirleticiler kontrol tedbirleri ile oluşma sırasında (kaynakta) veya sonradan (bacada) kontrol edilebilir ve atmosfere verilecek kirletici miktarları azaltılabilir.

Hava kirlenmesi kontrolü bakımından önemli olan bu yapay kaynaklardır. Bunlar kendi içerisinde farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Kaynağın fiziksel olarak konumunun zamana bağlı değişip değişmemesine göre "*sabit kaynaklar*" ve "*hareketli kaynaklar*" olarak iki sınıfta ele alınabilirler:

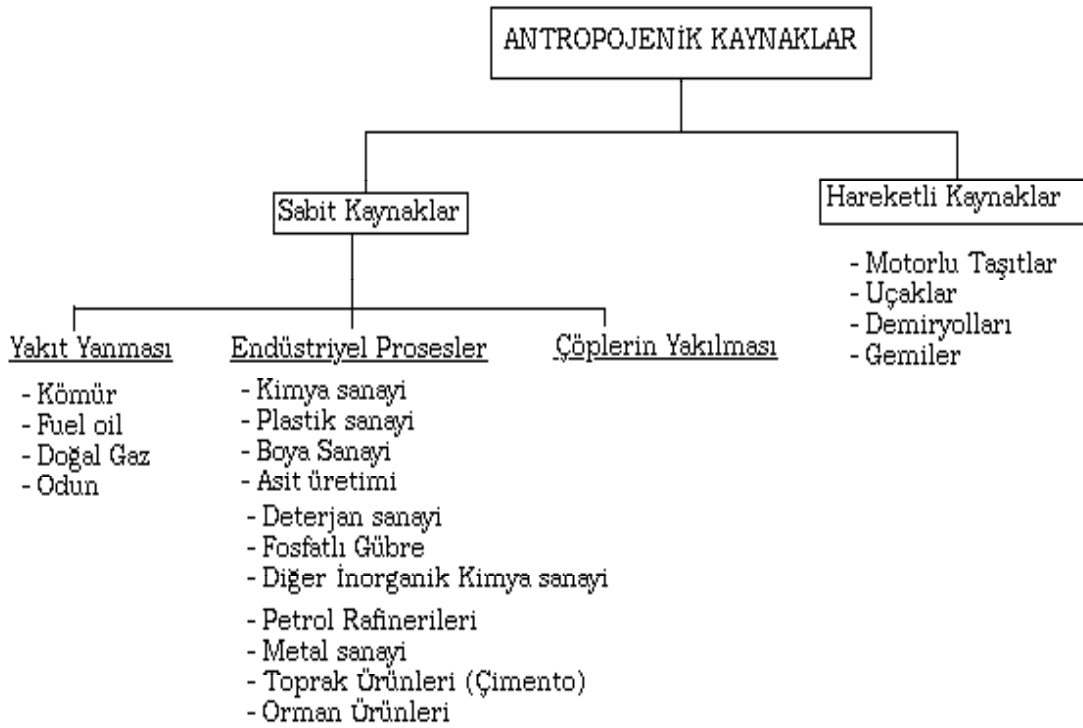
a) Sabit Kaynaklar: Eğer kirletici kaynağın yeri sabitse ve zamanla değişmiyorsa, bunlar sabit kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Evsel ısınma tesisleri, teknik santraller ve sanayi tesisleri bu tür kaynaklardır.

Bunlar da duman davranışı açısından "*noktasal kaynaklar*" ve "*alan kaynaklar*" şeklinde ikiye ayrılabilir:

Noktasal kaynaklar: Bir üretim faaliyeti sonucunda oluşan hava kirleticilerin tek bir noktadan (bacadan) atmosfere verildiği kaynaklardır.

Alan kaynaklar: Kirleticilerin geniş bir alanın tamamından atmosfere yayıldığı kaynaklardır. Örneğin; açık ocak şeklinde üretim yapılan maden sahaları, açıkta depolanan tozlu maddeler bu sınıfa girmektedir. Ayrıca doğal kaynakların büyük çoğunluğu da alan kaynak sınıfına girmektedir.

b) Hareketli Kaynaklar: Eğer hava kirliliğine neden olan kaynağın yeri zamanla değişiyorsa bu tür kaynaklar hareketli kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, taşıtlar hareket halindeyken kirletici oluşturdıklarından hareketli kaynak sınıfına girmektedir. Duman davranışı açısından hareketli kaynaklara “*çizgisel kaynak*” da denmektedir. Çünkü bu kaynaklardan çıkan kirletici bulutlar (egzoz gazları) bir çizgi şeklinde yayılmaktadır.



Şekil 2.1 Doğal ve yapay kaynakların sınıflandırılması [4]

2.3.1 Yakma Tesisleri

Hava kirliliğine neden olan kaynaklara bakıldığında, bunların büyük çoğunluğunun yakma işlemlerine sahip olduğu görülmektedir. Evsel kaynaklar olarak tanımlanan ve konutlarda ısınma amacıyla kullanılan soba ve kaloriferler birer yakma tesisidir. Endüstriyel kaynak olarak tanımlanan sanayi faaliyetlerinin gerçekleştiği tesislerin tamamına yakınında da ısınma için veya farklı şekillerde kullanılmak için ısı üretimi amacıyla yakma tesisleri bulunmaktadır.

Hareketli kaynaklarda da kirleticiler yanma işlemi sırasında oluşmaktadır. Bu nedenle yakma tesislerinin hava kirlenmesi içinde büyük payı bulunmaktadır.

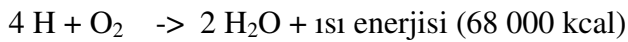
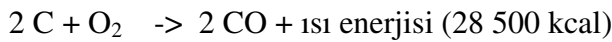
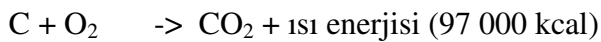
Sobalarda bir yakıt yakılarak açığa çıkan ısı enerjisi doğrudan ısınmada kullanılmaktadır. Kalorifer sistemlerinde veya sanayi tesislerinde ise genel olarak *kazan* olarak tanımlanan yakma sistemlerinde yakıt yakılması ile açığa çıkan ısı enerjisi bir akışkana (su veya yağ) transfer edilmekte, istenilen sıcaklık ve basınçta sıcak su veya buhar üretilmektedir. Elde edilen buharın ya da sıcak suyun ısı enerjisi ısıtmada, proseste pişirme, kurutma gibi işlemlerde veya elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır.

Yakma tesislerinde kömür, odun vs. gibi katı yakıtlar; motorin, gaz yağı, fuel-oil gibi sıvı yakıtlar; doğal gaz veya bütan, propan gibi sıvılaştırılmış petrol gazları gibi gaz yakıtlar yakılarak ısı enerjisi üretilmektedir. Seçilen yakıt türüne göre farklı yakma tesisi ve yakıcılar kullanılmaktadır. Yakma tesislerinde oluşan hava kirleticiler yakıt türüne ve kalitesine, yakma tesisi tipine ve yanma verimine göre değişmektedir (Goncaloğlu, 2001).

2.3.2 Yanma ve Hava Kirliliği

Teknik olarak ısı enerjisi kimyasal bir olay olan "*yanma*"dan elde edilir. Yanma olayı, yakıtın bileşimindeki yanabilir maddelerin yani, karbon (C), hidrojen (H), kükürt (S) ve hidrokarbonların oksijen ile birleşmeleridir. Bu olay egzotermik bir reaksiyon olduğu için yanma sonucu enerji açığa çıkar (Goncaloğlu, 2001).

Yakıt bileşimindeki yanabilir maddelerin yanma reaksiyonları aşağıda verilmiştir:



Teorik yanma koşullarında, yakıtın içindeki karbon ve hidrojen CO₂ ve su buharı gibi yanma ürünlerine dönüşür. Bunlar kirletici olarak ele alınmamaktadır. Teorik yanma koşulları her zaman sağlanamadığı için yanma sonucu CO₂ ve su buharının yanı sıra CO, yanmamış hidrokarbonlar (C_xH_y) ve değişik organik kirleticiler de oluşmaktadır. Ancak yakıtın içerisinde karbon ve hidrojenin yanı sıra, kükürt, azot ve inert maddeler (kül) gibi safsızlıklar da bulunduğu için, bu safsızlıkların bir kısmı yanma sonucu dönüşerek kirletici oluşturmakta

(SO₂, NO_x vs.), yanamayanlar (kül) ise doğrudan kirletici olarak (partikül madde) bacadan atılmaktadır. Oluşan kirleticilerin miktarları yakıt içerisindeki safsızlıkların oranına bağlıdır. Bunların oranı arttıkça aynı miktar yakıt için daha fazla kirletici oluşacaktır. Ayrıca, bu kirleticilerin miktarları kullanılan yakma sistemine, yanma verimine, yakıt tipi ve bu yakıtın bileşimine bağlı olarak da değişmektedir. Bu nedenle enerji eldesi için kullanmak zorunda olduğumuz yakma tesisleri, sonuçta bu gazları bacalarından atarak hava kirliliğine neden olmaktadır.

Yakma tesislerinin yanma verimlerinin düşük olması, tesisin havayı daha fazla kirletmesine neden olmaktadır. Çünkü yanma verimi azaldığında aynı miktarda enerjiyi elde edebilmek için daha fazla yakıt yakmak gerekmektedir. Daha fazla yakıt yakıldığında da yakıtın içindeki safsızlık nedeniyle daha fazla kirletici oluşacaktır. Hava kirliliğine neden olmamak için öncelikle yakma tesislerinin yanma verimlerinin yüksek tutulması, yani tam yanmanın sağlanması gerekmektedir. Yanma reaksiyonu sonucu oluşan gazlarda hiçbir yanıcı madde bulunmuyorsa yanma tamdır. Tam yanmada yakıt bileşimindeki karbon, hidrojen ve hidrokarbonlar, CO₂ ve su buharı gibi yanma ürünlerine dönüşürler. Baca gazlarında CO bulunması tam yanmanın sağlanmadığını gösterir (Goncaloğlu, 2001).

19. Yüzyılın sonlarında kömür, petrol gibi fosil yakıtların enerji üretimi için kullanımının önemli ölçüde artması sonucunda CO₂, SO₂ ve partikül gibi kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları giderek artış göstermiş, bu artış bilhassa 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra, küresel ölçekte CO₂ ve diğer sera gazlarının meydana getirdiği sera etkisi ve kloroflorokarbonların yol açtığı ozon tabakasının incilmesi, bölgesel ölçekteki asit yağmurları, yerel ölçekte ise büyük yerleşim alanları ve sanayi bölgelerinde oluşan hava kirliliği olarak görülmüştür [6].

Yanmadan kaynaklanan hava kirleticilerinin etkileri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Yanmadan kaynaklanan hava kirleticilerinin etkileri (Wark vd., 1998)

Kirletici	Yayınma Derecesi	Etkileri
Azot oksitler (NO, NO ₂)	Orta	Solunum yolu rahatsızlıkları, bitkilerde hasar, korozyon, fotokimyasal duman oluşumu
Halojen Bileşikleri	Az	Korozyon
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	Az	Göz tahrişi, solunum yolu tahrişi, baş ağrısı, çarpıntı, sindirim sistemi bozuklukları
Hidrokarbonlar (HC)	Yoğun	Bitkilerde hasar, bazıları kanserojen
Karbon monoksit (CO)	Orta	Kanda oksijen azalması
Kükürtdioksit (SO ₂)	Yoğun	Asit yağmuru, kalp hastalıkları, solunum yolu enfeksiyonları
Polisiklik organik maddeler (özellikle PAH)	Orta	Kanserojen
Toz (Partikül Madde)	Yoğun	Metallerin, binaların korozyonu, bitkilerde hasar, akciğerlerde ve bronşlarda tahriş, bronşit, amfizemi

2.4 Hava Kalitesi Kavramı Ve Hava Kalitesi Standartları

Hava kalitesi, canlılara ve çevreye etki eden hava kirliliğinin bir göstergesidir. Çevre havasında hava kirleticilerin miktarının artması hava kalitesini düşürmektedir.

Hava kalite standartlarının amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan hava kirleticileri kontrol altına alarak canlılara ve çevreye zararlı olacak seviyeye ulaşan konsantrasyonlardan korumaktır.

Türkiye'de, 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun Ek 6 ncı maddesi ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanununun 1 inci, 2 nci ve 9 uncu maddelerine dayanılarak ve Avrupa Birliğinin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRME VE YÖNETİMİ YÖNETMELİĞİ hazırlanmış ve 6 Haziran 2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde hava kalitesi sınır değerleri; uzun vadeli hedefler, hedef değerler, limit değerler, bilgilendirme ve uyarı eşikleri, üst ve alt değerlendirme eşikleri şeklinde tanımlanmaktadır (Çizelge 2.4).

Uzun vadeli hedefler: Çevre ve insan sağlığının etkin bir şekilde korunması amacı ile uygun önlemlerle ulaşılamayan yerlerde uzun vadede ulaşılabilecek olan seviyeyi,

Hedef değerler: Çevre ve/veya insan sağlığı üzerindeki uzun dönemli zararlı etkilerden kaçınmak, bunları önlemek veya azaltmak amacıyla belirlenen ve öngörülen süre sonunda mümkün olan yerlerde ulaşılması gereken seviyeyi,

Limit değerler: Çevre ve/veya insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerden kaçınmak, bunları önlemek veya azaltmak amacıyla bilimsel olarak belirlenen, öngörülen süre içinde ulaşılabilecek ve ulaşıldıktan sonra da aşılmaması gereken seviyeyi,

Bilgilendirme ve uyarı eşikleri: Aşıldığında, nüfusun özellikle hassas kesimleri için kısa süreli maruz kalmadan dolayı insan sağlığına bir riskin söz konusu olduğu ve güncel bilginin gerekli olduğu seviyeyi,

Alt değerlendirme eşikleri: Altına düşüldüğünde, 8 inci maddeye göre hava kalitesini değerlendirmek için modelleme veya nesnel tahminleme tekniklerinin tek başına kullanılabileceği, Ek I'de belirtilen seviyeyi,

Üst değerlendirme eşikleri: Altına düşüldüğünde, 8 inci maddeye göre hava kalitesini değerlendirmek için ölçümlerin ve modelleme tekniklerinin birlikte kullanılabileceği, Ek I'de belirtilen seviyeyi, ifade eder.

Çizelge 2.4 SO₂ ve NO_x ve PM₁₀ için sınır değerler (Hava Kalitesi Değerlendirme Ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008)

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
SO ₂	saatlik -insan sağlığının korunması için-	350 µg/m³ (bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 150 µg/m³ (limit değerinin %43' ü) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır			1.Ocak 2019	500 µg/m³ (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölgede" veya en azından 100 km ² 'de- hangisi küçük ise- üç ardışık saatte ölçülür)
	24 saatlik -insan sağlığının korunması için-	125 µg/m³ (bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 125 µg/m³ (%100) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	24-saatlik limit değerinin %60' ı (75 µg/m³) bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	24-saatlik limit değerinin %40 'ı (50 µg/m³) bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	1.Ocak 2019	
	yıllık ve kış dönemi (1 Ekim den 31 Mart'a kadar) - ekosistemin korunması-	20 µg/m³			Kış dönemi limit değerinin %60' ı (12 µg/m³)	Kış dönemi limit değerinin %40' ı (8 µg/m³)	1.Ocak 2014

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
NO ₂	saatlik -insan sağlığının korunması için-	200 µg/m³ (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 100 µg/m³ (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i (140 µg/m³ bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	limit değerinin %50'si (100 µg/m³ bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.Ocak 2024	400 µg/m³ (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölge" de veya en azından 100 km ² 'de- hangisi küçük ise- üç ardışık saatte ölçülür)
	yıllık -insan sağlığının korunması için-	40µg/m³	1.1.2014 tarihinde 20 µg/m³ (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %80'i (32 µg/m³)	limit değerinin %65'i (26 µg/m³)	1.Ocak 2024	
NO _x	yıllık - vejetasyonun korunması için-	30 µg/m³	-	limit değerinin %80'i (24 µg/m³)	limit değerinin %65'i (19,5 µg/m³)	1.Ocak 2014	

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih
PM(10)	24 saatlik -insan sağlığının korunması için-	50 µg/m ³ (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 50 µg/m ³ (% 100) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	30 µg/m ³ (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)	20 µg/m ³ (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)	1 Ocak 2019
	yıllık -insan sağlığının korunması için-	40 µg/m ³	1.1.2014 tarihinde 20 µg/m ³ (% 50) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	14 µg/m ³	10 µg/m ³	1 Ocak 2019

2.5 Hava Kalitesi Modellemesi

Herhangi bir bölgede bulunan mevcut ya da yeni kurulacak tesislerin veya bir bölgede çeşitli kaynaklardan verilen emisyonların çevreye vereceği zararın önlenmesi ve kontrol stratejilerinin oluşturulabilmesi için hava kirliliği etki değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Bu değerlendirme ise ancak hava kalitesi modellemesiyle yapılabilir (Onat, 2004).

Hava kalitesi modelleri belirlenen hava kalitesi hedefini yakalamak için gerekli emisyon değişimlerini tahmin eder.

Hava kirleticilerinin kimyasal oluşumunu tahmin edecek bir atmosferik kimya modeli ile rüzgâr, sıcaklık ve yağış miktarını tahmin edecek bir meteorolojik model birleştirilecek olunursa sonuçta etkin bir hava kalitesi modeli elde edilmiş olunur.

Tüm matematiksel modellerde olduğu gibi hava kalitesi modellerinde de girdi verilerinin eksiksiz olması gerekir. Hava kalitesi modellerinde, bu girdi verileriyle emisyon envanterleri kastedilir ve emisyon envanterleri hareketli ve sabit kaynaklardan sağlanan detaylı emisyon

ölçümleriyle elde edilirler. Model herhangi bir noktada ve herhangi bir zamandaki emisyon konsantrasyonunu tahmin eder (Pearson, 2001).

Hava kalitesi modellemesinde istatistiksel model, meteorolojik model, matematiksel model ve dispersiyon modeli gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

İstatistiksel modeller hava kirliliği çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Frekans dağılımı analizleri, çok değişkenli regresyon modelleri, enterpolasyon ve grafik teknikleri gibi farklı istatistiksel yöntemlerle değişik istatistiksel modeller oluşturulmaktadır. Bu modeller atmosferdeki değişkenler için yapılan basitleştirilmiş fiziksel ve kimyasal kabuller ile atmosferde ölçülen verilere dayanılarak kurulur. Hava kirliliği tahminlerinde en çok kullanılan istatistiksel model çoklu regresyon modelleridir. Çoklu regresyon modellerinde, bir bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasında korelasyon olduğu, bir sabit terim ve regresyon katsayılarıyla tanımlanan lineer bir ilişki olduğu kabul edilir. Ancak optimal şartlar altında bile bu yöntem bazen değişkenler arasındaki kompleks etkileşimleri tam olarak yansıtamaz. Ayrıca bu modellerdeki diğer bir problem tahmin hataları arasında bağımlılığın bulunmasıdır.

Meteorolojik modeller yerel, bölgesel ve küresel meteorolojik olayları anlamaya ve hava kirliliği difüzyon modelleri için gerekli meteorolojik verileri sağlamaya yarar. Bu modeller ya mevcut meteorolojik verileri analiz etmek amacıyla ya da atmosferik sistemin zamana bağlı değişimini tahmin etmekte kullanılır.

İncelenen durumun fiziksel ve kimyasal kabullerini tanımlayarak analitik ve nümerik denklem setleriyle kurulan modeller matematiksel veya deterministik modeller olarak adlandırılır. Deterministik modeller atmosferik mekanizmanın matematiksel tanımını yaparak emisyonların oluşturduğu hava kirliliğini belirlemeye çalışır. Difüzyon modelleri bir deterministik model örneğidir. Matematiksel modeller iyi kurulduğu takdirde kaynak ve alıcı ortam ilişkilerinin belirlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar verebilmektedir.

Dispersiyon modelleri, model yaklaşımlarının en karmaşık olanıdır ve dispersiyon mekanizmasının en detaylı tanımının yapıldığı model tipidir. Bu modeller uzaysal ve zamansal uyumsuzlukları tanımlamaları bakımından avantajlıdır. Dispersiyon modelleri, modele teoriyi dahil eder ve uygun tahminler yapar. Günümüzde dispersiyon modeli kullanılarak yapılan hava kalitesi modelleme çalışmalarında EPA tarafından kabul görmüş modeller tercih edilmektedir. Bu modeller EPA'nın "Hava Kalitesi Modelleme Rehberi" yayınında tanımlanmıştır. Buna göre EPA, yarıçapı 50 km'den az olan bir bölgenin modellemesinde kararlı hal Gauss dispersiyon modellerini önermektedir. Bunlar SCREEN3, ISCST3, ISC-PRIME ve AERMOD dispersiyon

modelleridir. EPA, yarıçapı 50 km'den fazla olan bir bölgenin modellemesinde ise kararsız hal Langrangien kabarcık duman (PUFF) dispersiyon modeli olan CALPUFF'u önermektedir (Onat, 2004).

2.6 Hava Kirliliği Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Elbir vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Ege Bölgesi için bölgesel ölçekte tüm önemli hava kirlenici kaynaklar (sanayi, evsel ısınma ve trafik) resmi istatistiklere ve bilimsel ölçüm sonuçlarına dayanarak envanterlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen envanterler, bazı illerdeki veri eksikliğinden dolayı hedeflenen kalitede olmasa bile yurtiçinde bölgesel hava kalitesi belirleme çalışmaları için örnek teşkil edecek detaydadır. Çalışma sonunda, Ege Bölgesi bütününde (Kütahya ili hariç) 131.904 ton/yıl toz (PM), 899.831 ton/yıl kükürt oksit (SO_x), 63.323 ton/yıl azot oksit (NO_x), 18.515 ton/yıl metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve 18.538 ton/yıl karbon monoksit (CO) emisyonunun atmosfere verildiği hesaplanmıştır.

Jiming Hao vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Beijing kentsel alanında sabit ve hareketli kaynakların mekansal dağılımını tahmin etmek amacıyla CBS teknolojisine dayalı bir emisyon envanteri geliştirilmiştir. Sabit kaynaklar baca yükseklikleri, emisyon faktörleri ve kullanım alanlarının farklılığına bağlı olarak türlü sınıflara ayrılmış, hareketli kaynakların ise alan ve çizgi kaynaklar gibi davranış gösterdiği görülmüştür. Toplam antropojenik (insan kaynaklı) CO ve NO_x emisyonlarının sırasıyla 1.4 milyon ton ve 233 bin ton olduğu; taşıt kaynaklı CO ve NO_x emisyonlarının 1995 yılındaki toplam emisyonun sırasıyla % 76.8 ve % 40.2'si olduğu hesaplanmıştır. Gauss dispersiyon hava kalitesi modeli olan ISCST3 modeli düşük rüzgar hızı koşuluna uyarlanmış ve Beijing civarında CO ve NO_x konsantrasyon tahminleri için kullanılmıştır. Simülasyon model 1995 yılında Beijing'de hareketli kaynakların neden olduğu emisyonların toplam CO ve NO_x konsantrasyonlarının sırasıyla % 76,5 ve % 68,4'ünü oluşturduğunu göstermiştir.

Jensen vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada Danimarka'nın büyük şehirleri için hava kalitesi yönetiminde yerel otoritelere destek sağlamak amacıyla AirGIS adında yeni bir örnek model sistemi geliştirilmiştir. Sistem Danimarka İşletimsel Sokak Kirliliği Modeline (OSPM, Operational Street Pollution Model), teknik ve kadastral sayısal haritalara ve bina ve nüfusla ilgili Danimarka Ulusal İdari Veritabanlarına dayalı olarak oluşturulmuştur. Sistem, coğrafi bilgi sistemlerini uygulayarak yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükteki ortam hava kirliliği seviyelerini tahmin etmiş ve trafik emisyonlarının, konut ve çalışma alanlarında ve

sokaklardaki hava kalitesi seviyelerinin ve bu alanlarda insanların maruz kaldığı kirlilik haritalarının oluşturulmasına imkân vermiştir.

Dalyan ve İncecik (2002) tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul'da ısınma mevsimlerinde ortalama SO₂ konsantrasyonları ile arazi kullanımı ve nüfus arasındaki ilişkiler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak araştırılmıştır. 1992-2000 periyodunda ısınma mevsimlerinde ortalama SO₂ konsantrasyonlarının zamansal değişimi incelenmiş ve azalan bir trend görülmüştür. CBS ile mekânsal analiz yapılarak büyük yerleşim ve iş merkezlerini kapsayan bölgelerde yüksek SO₂ konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. İstanbul'da 5 istasyonda (Avrupa yakasında 2, Anadolu yakasında 3) ölçülen SO₂ konsantrasyonlarına ait 1995-1996 ve 1999-2000 ısınma mevsimlerindeki dağılımlar karşılaştırılmış ve SO₂ seviyelerinde azalma görülmüştür. SO₂'deki bu azalmaya rağmen yüksek konsantrasyonların daha çok Avrupa yakasında meydana geldiği belirlenmiştir.

Taşpınar ve Bakoğlu (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, Kocaeli'nde kurulmuş olan ve 25 Kasım 1997 yılında performans testleriyle kentsel katı atıklar ile tehlikeli ve klinik atıkların yakılmaya başlandığı, İzmit Çevre Entegre Projesi kapsamındaki İzmit Klinik ve Tehlikeli Atıkları Yakma ve Enerji Üretim Tesisi'nden atmosfere verilen azot oksit (NO_x) emisyonlarının, "Gauss dağılım modeli" tabanlı EPA ISCST3 modeline göre dağılımının ya da dispersiyonunun modellenmesi konusunda çalışılmıştır. Yakma tesislerinde azot oksitlerin oluşumu, atık yakma tesisi ve bu emisyonların dağılımı incelenmiştir. "Lakes Environmental Software" tarafından hazırlanmış olan "ISC-Aermod View 4.0.1" yazılımı, İZAYDAŞ atık yakma tesisi bacasından atmosfere verilen azot oksit emisyonlarının modellenmesinde kullanılmış ve yörenin (pilot bölge 2.5 km yarıçaplı ve baca merkezli) meteorolojik ve topografik koşulları altında nasıl dağıldığı, alıcıların yıllık, günlük ve saatlik hangi maksimum konsantrasyonlara maruz kalabileceği, bunun yeri ve yönü, emisyon gradyenti çıkarılarak gösterilmiş, uzun ve kısa vadeli değerlendirmeler yapılmıştır.

Elbir (2004) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye'deki büyük kentler için hava kalitesi yönetiminde yerel otoritelere destek sağlamak amacıyla bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Sistem hava kirleticileri emisyonlarını ve bunların mekânsal dağılımını tahmin etmek için CALLPUFF dispersiyon modeline, sayısal haritalara ve ilgili veritabanlarına dayalı olarak oluşturulmuştur. Sistem, coğrafi bilgi sistemlerini uygulayarak yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükteki ortam hava kirliliği seviyelerini tahmin etmiş ve emisyon ve hava kalitesi seviyeleri haritalarının oluşturulmasına imkân vermiştir.

Aydın vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Konya'daki hava kalitesi, SO₂ ve PM₁₀ değerlerinden yararlanılarak değerlendirilmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımıyla analizler yapılarak 2004, 2005 ve 2006 yılları için kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Kirlilik seviyesinin zaman içindeki değişimi incelenerek sonuçlar Türk Hava Kalitesi Kontrol Yönetmeliği (HKKY), Avrupa Birliği (AB), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Amerikan Çevre Koruma Ajansı (US EPA) hava kalite standartları ile karşılaştırılmıştır. 2004, 2005 ve 2006 yıllarında kentin ölçüm yapılan beş noktasındaki ortalama yıllık SO₂ değerlerinin Avrupa Birliği Uzun Vadeli Sınır Değeri (UVS) olan 20 µg/m³'ü geçtiği, Meram Bölgesi dışındaki dört bölgede yıllık ortalama PM₁₀ değerlerinin AB tarafından belirlenen UVS değeri olan 40 µg/m³ ü aştığı tespit edilmiştir.

Canepa vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada varsayım niteliğinde olabilecek nükleer kazalar sonucunda ortaya çıkabilecek radyoaktif kirlenmeyi hesaplayabilecek ve bu kirlilik seviyelerini gösterecek bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen "SafeAirView" isimli bu yazılım daha eski bir dispersiyon modeli olan ve kirleticilerin taşınması yayılımı ve birikimini simule eden SAFE-AIR (Simulation of Air pollution From Emissions_Above Inhomogeneous Regions) yazılımının (MS-DOS ortamında çalışan) CBS teknolojisi uygulanarak elde edilmiş ileri bir uygulamasıdır. SafeAirView yazılımı MS-Windows tipinde kullanıcı dostu bir ara yüz haline getirilmiş ve CBS aracılığıyla simülasyonun nerde meydana geldiğine ilişkin bölgesel faktörler arasında etkileşim sağlanmıştır. Böylece konsantrasyonların nüfus yoğunluğu ile ilişkisini gösteren haritaların oluşturulması olanaklı hale gelmiştir.

Tang ve Wang (2007) tarafından yapılan bir çalışmada Jensen (1998, 1999) tarafından geliştirilen uygulamalara dayalı olarak Macao Yarımadası (Çin) için gürültü ve hava kirliliğini modellemek amacıyla örnek bir sistem geliştirilmiştir. Sistem karayolu trafik gürültü modelini, işletimsel hava kirliliği modelini, sayısal haritaları, kentsel peyzaj modelini ve coğrafi bilgi sistemlerini bütünleştirmiştir. Çalışma; dar yollara, karmaşık yol ağlarına ve yüksek yoğunlukta kavşaklara sahip tarihi alanların bulunduğu kentsel dokuların daha düşük trafik hacmine ve dolayısıyla daha az gürültü kirliliğine neden olduğunu göstermiştir. Tarihi alanlardaki daha geniş caddelerin ise yüksek karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarına neden olduğu görülmüştür.

Saral vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, bir katı atık depolama alanından kaynaklanan uçucu organik bileşik emisyonlarının (VOC) ortam hava kalitesindeki koku etkileri araştırılmış, Hidrojen sülfat (H₂S) ve 22 uçucu organik bileşik modellenmiştir. En

yakın yerleşim bölgesindeki kokulu uçucu organik bileşiklerin saatlik konsantrasyonlarının tahmini için ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term V3) modeli kullanılmış, kısa vadeli ortalama değerlerin 3 uçucu organik bileşik etil mercaptan, metil mercaptan ve hidrojen sülfat için sırasıyla 0,022, 0,138 ve 11,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu belirlenmiş ve etki alanı içinde çeşitli noktalarda koku eşiklerinin aşıldığı görülmüştür. Göktürk beldesindeki en yüksek konsantrasyonlar; etil mercaptan için 0,09387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, metil mercaptan için 0,07934 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hidrojen sülfat için 6,315 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tahmin edilmiştir. Kısa vadeli model sonuçları Göktürk beldesinde nadiren de olsa meydana gelebilecek koku problemini ortaya koymuştur.

3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE TEMATİK KARTOGRAFYA

3.1 Coğrafi Bilgi Sistemi

CBS; karmaşık yönetim ve planlama problemlerini çözmek için mekansal referanslı verilerin toplanması, yönetimi, işlenmesi, analizi, modellenmesi ve görüntülenmesini desteklemek amacıyla tasarlanmış donanım, yazılım ve işlemlere ilişkin bir sistemdir (Lo ve Yeung, 2007).

CBS, mekânsal verilerin söz konusu olduğu her alanda uygulanabilir bir yapı sunmaktadır. Mekânsal verinin tanımının ne kadar geniş olduğu hatırlanırsa, CBS uygulama alanlarının da o denli uzun bir liste oluşturabileceği sonucuna varılır (Selçuk vd., 2001).

Tüm meslek disiplinlerinin ilgisini çekmekte olan Coğrafi Bilgi Sisteminden yararlanma ve uygulama çabaları, günümüzün en popüler çalışma alanlarının başında gelmektedir. Çevre birçok coğrafi fonksiyonun bir arada bulunduğu, doğal ve yapay gelişmelere ilişkin bilgileri içeren bir konu olması sebebi ile Coğrafi Bilgi Sisteminin en yoğun uygulama alanlarından birisidir. Çevre ile ilgili kararların alınabilmesi, çevreyi etkileyen unsurların belirlenebilmesi, konumsal analizler ile çevresel değişimlerin tespiti ve izlenmesi, gürültü ve hava kirliliği gibi insan sağlığını da etkileyen çevresel faktörlerin ölçülerek haritalandırılması Coğrafi Bilgi Sistemi ile olmaktadır. Coğrafi Bilgi Sisteminin çevre yönetimindeki uygulamalarından olan hava kirliliği haritasının oluşturulması, hava kirliliğinin olası etkilerinin çevre, sağlık ve diğer unsurlar için neler olduğunun belirlenmesinde kolaylıklar sağlayacaktır (Durduran vd., 2005)

3.2 Kartografya

“**Kartografya**; bilimsel dokümanlar ve sanatsal çalışmalarla birlikte harita yapma sanatı, bilimi ve teknolojisidir. Bu kapsamda başta plan, kesit, seyir, üç boyutlu modeller ve herhangi bir ölçekte dünya veya dünyanın bir bölgesine ait haritalar olmak üzere tüm harita türleri yer almaktadır”. Kartografya haritalar üzerine çalışan, yayınlayan, harita üretimi ve onun kavramlarını konu edinen bir disiplindir. ICA 15. Uluslararası Kartografya Konferansında (1991) kartografik tanımlar üzerine çalışan komisyonun getirdiği tanım önerisi genel kabul görmüştür. “**Kartografya**; coğrafi bilginin görsel, sayısal, -görme özürülüler için- kabartma formunda (dokunsal) sunulması, iletişimi, organizasyonu ve kullanılmasıdır. Kartografya veri toplamadan kullanmaya kadar olan tüm üretim işlemlerini ve her türlü harita kullanımını içerir” (Uluğtekin ve İpbüker, 1996).

3.3 Kartografya ve CBS

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Bilgisayar Destekli Kartografya (BDK) birbirleriyle ilintili iki tekniktir. Kartografya ise bir disiplindir ve tanımı gereği içerdiği tekniklerin toplamından daha kapsamlı bir kavramdır. Kartografya büyük ölçüde uygulamalı bir disiplindir. Kartografya bu uygulamalı temelinin yanısıra kuramsal bir yaklaşımla ürünlerinin sosyo-politik yanını, haritalardan yararlanılarak karar verme süreçlerinin oluşumunu da kapsamaktadır.

CBS; yeryüzünde konumsal verinin toplanması, denetimi, birleştirilmesi, işlenmesi, analizi ve sunumu sistemidir. ICA kartografyayı, grafik veya sayısal formdaki bilgilerin coğrafi olarak ilişkilerinin organizasyonu ve iletişimi olarak tanımlamaktadır. Bu tanımdan yola çıkıldığında bilgisayar destekli kartografyayı da içeren bir teknik olarak CBS'nin; kartografya, uzaktan algılama, fotogrametri, hesaplama, coğrafya, istatistik, ölçme ve diğer disiplinlerle aynı konuları paylaştığı görülecektir. Ancak sözü edilen disiplinlerin kullandığı bir teknik olarak CBS bu disiplinler tarafından içerilmektedir.

Arazi kullanımı planlaması, yol tasarımı, seyir, ulaşım optimizasyonu, kadastro ve vergi denetimi, çevre, turistik bilgi, hava tahmini, harita tasarım ve üretim/yayınlama veya coğrafi veri ile ilişkisi bulunan herhangi bir sistem CBS' ye örnek olarak verilebilir.

CBS iletişimi için görsel mesajlara gereksinim duyulduğu ve kullanıcı gereksinimleri değişmediği sürece; harita mesajının iletilmesi, grafik özellikler, ürün tasarımı ve estetik gibi konular genel kartografya ile CBS'nin ortak konularını oluşturacaktır (Uluğtekin ve İpbüker, 1996).

3.4 Tematik Kartografya

3.4.1 Harita Türleri

Yeryüzüne ilişkin mekansal bilgiler, doğada bulunan somut (yol, nehir vb.) ve soyut (iklim bölgesi, nüfus yoğunluğu) olguların bir koordinat sisteminde, konumu ve biçimini gösteren geometrik bilgiler ile olguları sınıflandıran ve tanımlayan semantik bilgilerdir. Mekansal bilgiler, geleneksel olarak haritalar ile sunulur. Harita, mekansal ilişkilerin ve formların anlaşılması, kaydedilmesi ve iletişimi için bir araçtır. Başka bir ifadeyle, harita; çeşitli dönüşümler içeren, doğrudan ya da dolaylı olarak konum, yön, uzunluk, bağlantı, yakınlık, komşuluk, hiyerarşi ve mekansal ilişki gibi çeşitli bilgi türlerini ileten gerçek dünyanın

özetlenmiş grafik modelidir (Selçuk vd., 2006). Haritalar iki alt sınıfa ayrılabilir: genel amaçlı (altlık) haritalar ve tematik haritalar (Dent, 1993).

3.4.1.1 Genel Amaçlı Haritalar

Genel amaçlı haritalar yeryüzündeki doğal ve yapay nesnelere ile arazi şekillerini ve bunların çeşitli özelliklerini gösterirler. Bu haritalara “altlık haritalar” da denilmektedir. Topografik haritalar ve atlaslar bu tür haritalara örnek gösterilebilir. Genel amaçlı haritalarda bulunabilecek detaylar kıyı şeridi, göller, göletler, nehirler, kanallar, siyasi sınırlar, yollar, evler ve benzeri nesnelere (Dent, 1993).

3.4.1.2 Tematik Haritalar

Bir diğer temel harita türü, özel amaçlı, tek konulu ya da istatistiksel harita olarak da anılan tematik haritadır. ICA tematik haritayı “belirli kavram ya da özellikleri göstermek için tasarlanan harita” olarak tanımlar.

Tüm tematik haritaların amacı, doğaya ve insana ilişkin çeşitli konuların mekansal dağılımlarını ya da yapısal ilişkilerini göstermektir (Koçak, 2001).

Tematik harita adından anlaşılacağı gibi bir konunun grafik olarak işlendiği haritadır. Unutulmamalıdır ki her tematik harita için tek bir konu seçilir ve bu, tematik haritayı genel amaçlı haritadan ayıran en temel özelliktir.

Tematik haritalar niteliksel (kalitatif) ve niceliksel (kantitatif) olmak üzere iki alt gruba ayrılabilir. Niteliksel tematik haritaların temel amacı sınıflı ya da adlandırılmalı verinin mekansal dağılımını ya da konumunu göstermektir. Örneğin Amerika’daki belli başlı kömür yatağı bölgelerinin dağılım haritası niteliksel bir tematik haritadır. Bu tür haritalarda okuyucu sayısal bilgiyi gözlemleyemez. Niceliksel tematik haritalar ise sayısal verinin mekânsal gösterimini sunarlar (Dent, 1993).

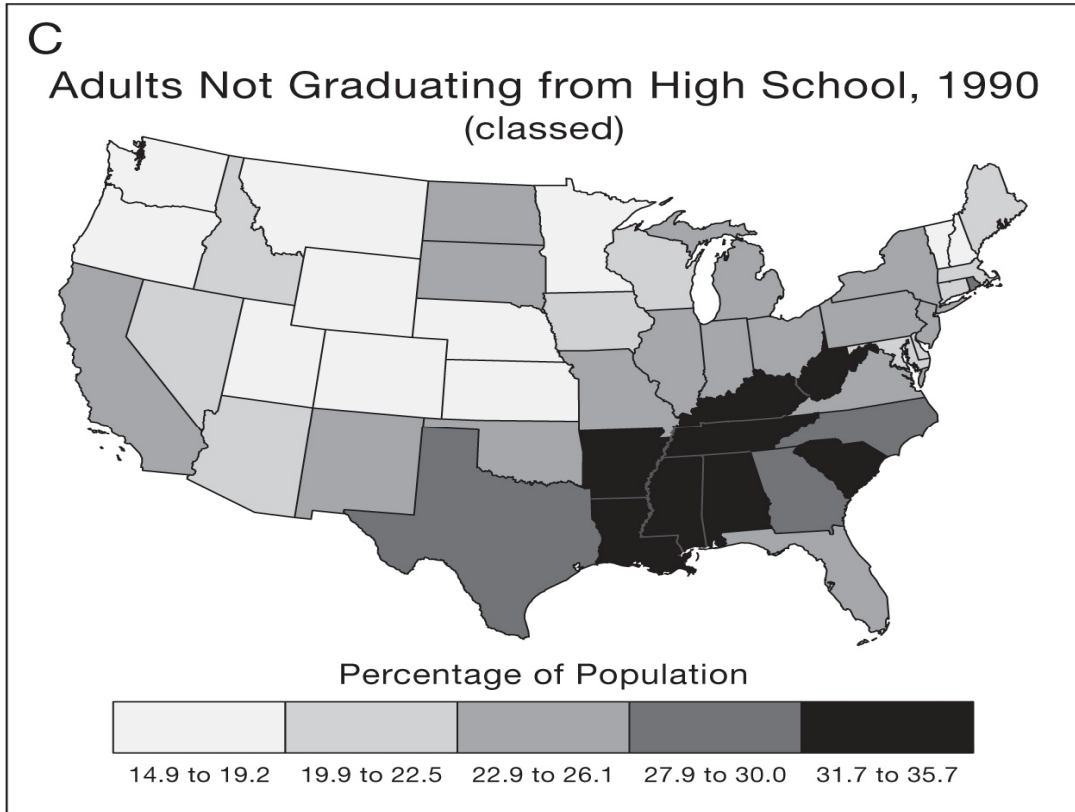
3.4.2 Tematik Harita Yapım Teknikleri

3.4.2.1 Koroplet Harita

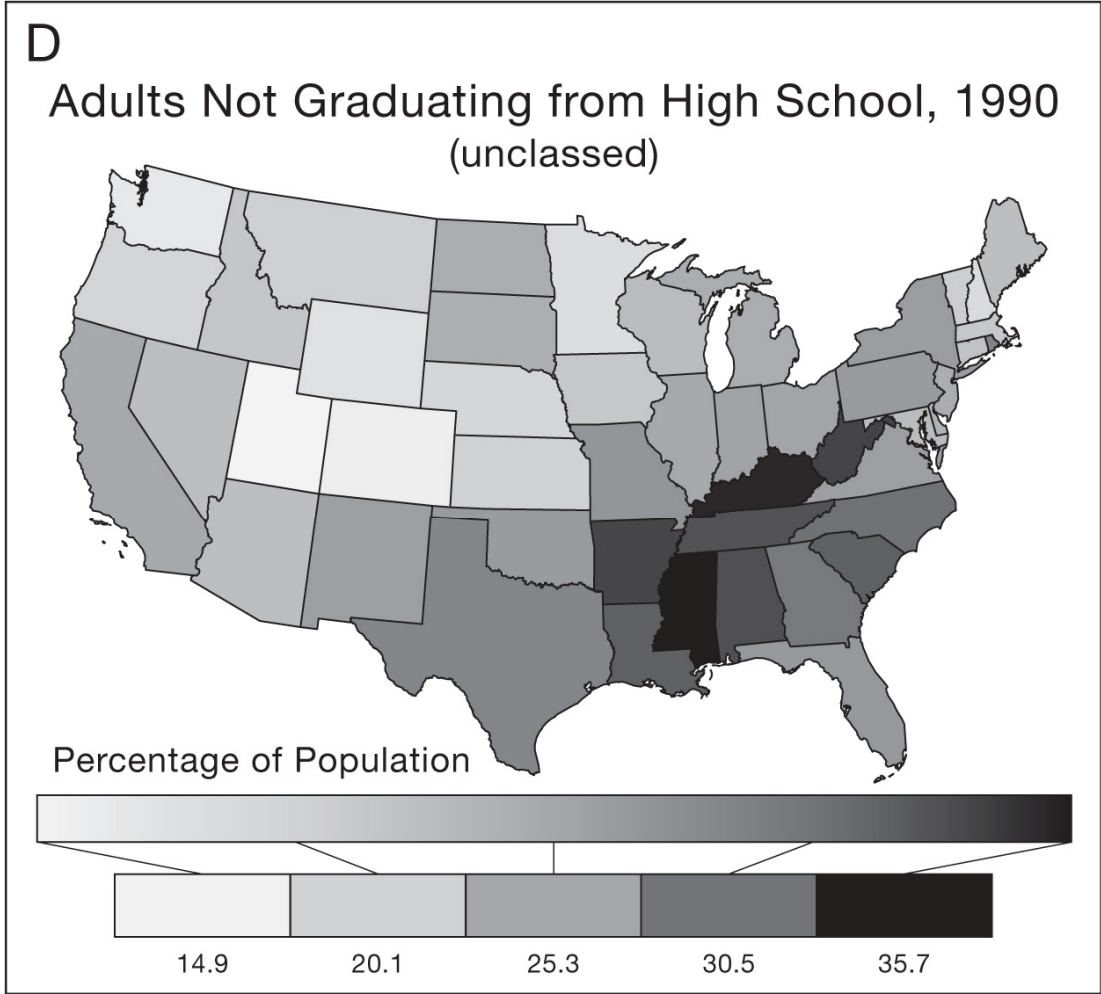
Teorik olarak koroplet tekniği her belirli bir bölge içinde düzgün dağılan, sadece o bölge sınırları içinde değişen bir olgu için en uygun tekniktir. Örneğin, Amerika’daki resmi satış vergisi oranları, her eyalet için sabit/değişmez olduğundan ve yalnızca eyalet sınırlarında

değiştirdiğinden uygun bir veridir

Koroplet harita yapımında en dikkate değer durum bölgelerin şekli ve büyüklüğüdür. Bölgelerin birbirine göre şekil ve büyüklüklerinde önemli bir değişim yoksa koroplet tekniğini kullanmak daha uygundur (Slocum vd., 2005). Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de koroplet harita örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.1 Liseden sonra eğitime devam etmeyen kişileri gösteren sınıflandırılmış koroplet harita



Şekil 3.2 Liseden sonra eğitime devam etmeyen kişileri gösteren sınıflandırılmamış koroplet harita

3.4.2.2 İzartmik Harita

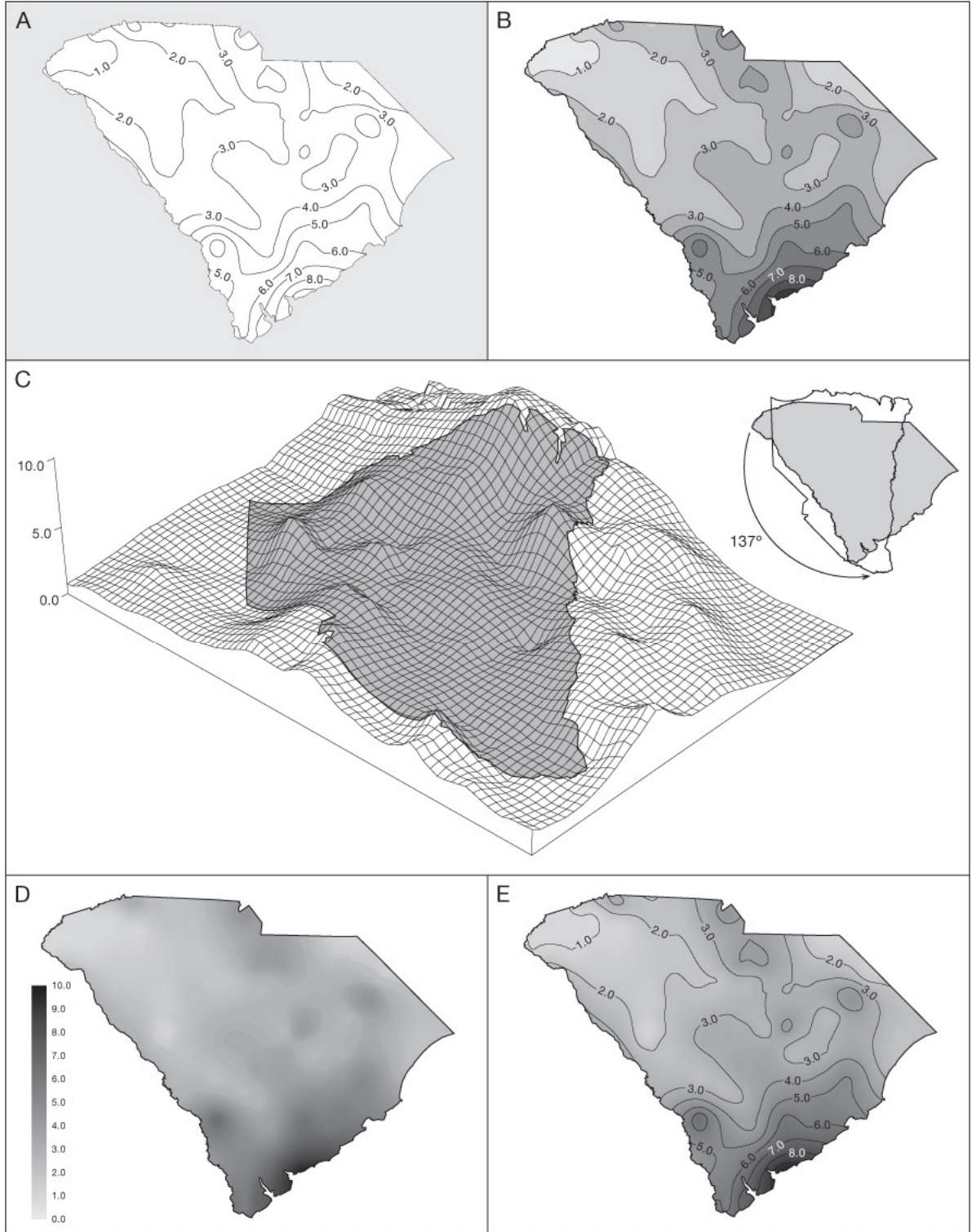
İzartmik haritalar (en yaygın kullanılan şekliyle eşdeğer eğrili haritalar), yağış miktarı, barometrik basınç ya da yeryüzü topografyası gibi düzgün sürekli olguları gösterir. Koroplet haritadan sonra, izartmik harita muhtemelen en yaygın kullanılan tematik harita tekniğidir ve tarihi 18. yüzyıla kadar uzanan en eski tekniklerden biridir. Orantılı işaret haritası gibi izartmik harita yapımında da, gerçek ve kavramsal olmak üzere iki tür konum verisi kullanılır. İlkinde, herhangi bir coğrafi konumda gerçekten ölçü yapılır (örn. meteoroloji istasyonlarında kaydedilen sıcaklıklar). Tersine, ikincisinde veri bir alan ya da hacim üzerinde toplanır (örn. bir bölge için cinayet oranları) fakat işaretleştirme amacı için bu verinin belirli bir coğrafi konuma ilişkin olduğu düşünülür (örn. bölgenin merkezi). İzometrik harita ve izoplet harita kavramları sırasıyla gerçek ve kavramsal verilerden elde edilen haritaları tanımlamak için kullanılır. Koroplet harita gibi izoplet harita da kavramsal verinin toplandığı

alan üstünde hesaplanan standart veriyi gerektirir.

Verinin elde edildiği yerler olan gerçek ve kavramsal noktalar, kontrol noktaları olarak adlandırılır. İzaritmik harita yapımındaki temel problem, düzensiz aralıklı kontrol noktalarının bilinen değerleriyle bilinmeyen noktaların enterpolasyonudur. Her ne kadar manuel enterpolasyon günümüzde çok yaygın olarak kullanılmasa da çoğunlukla otomatik enterpolasyon metotlarının yanında bir kıstas olarak hizmet etmektedir.

Gerçek nokta verisi için genel otomatik enterpolasyon metotlarından bazıları: üçgenleme (triangulation), ters-mesafe (inverse distance) ve kriging'dir. Üçgenleme metodu üçgen kümesini kontrol noktalarına oturtur ve sonra bu üçgenlerin kenarları boyunca enterpolasyonu gerçekleştirir/ara değerleri bulur. Ters-mesafe metodu kontrol noktalarının üzerine, noktaları eşit aralıklı bir grid yerleştirir, her bir grid noktasındaki değerleri, kontrol noktalarından olan mesafelerinin bir fonksiyonu gibi tahmin eder ve sonra grid noktaları arasında enterpolasyonu gerçekleştirir/ara değerleri bulur. Kriging metodu, verideki, kontrol noktalarının çevresindeki ve grid noktası arasındaki mekânsal otokorelasyonu göz önünde tutar.

İzaritmik harita yapımı için uygun veri türü düşünüldüğünde, hatırlanması gereken en önemli durum temel olgunun sürekli ve düzgün olduğunun varsayılmasıdır. Bu nedenle, olgunun ilgili coğrafi bölge boyunca var olduğu ve birbirinden ayrı coğrafi konumlarda giderek değiştiği varsayılır (Slocum vd., 2005). Şekil 3.3'de izaritmik haritaya bir örnek görülmektedir.

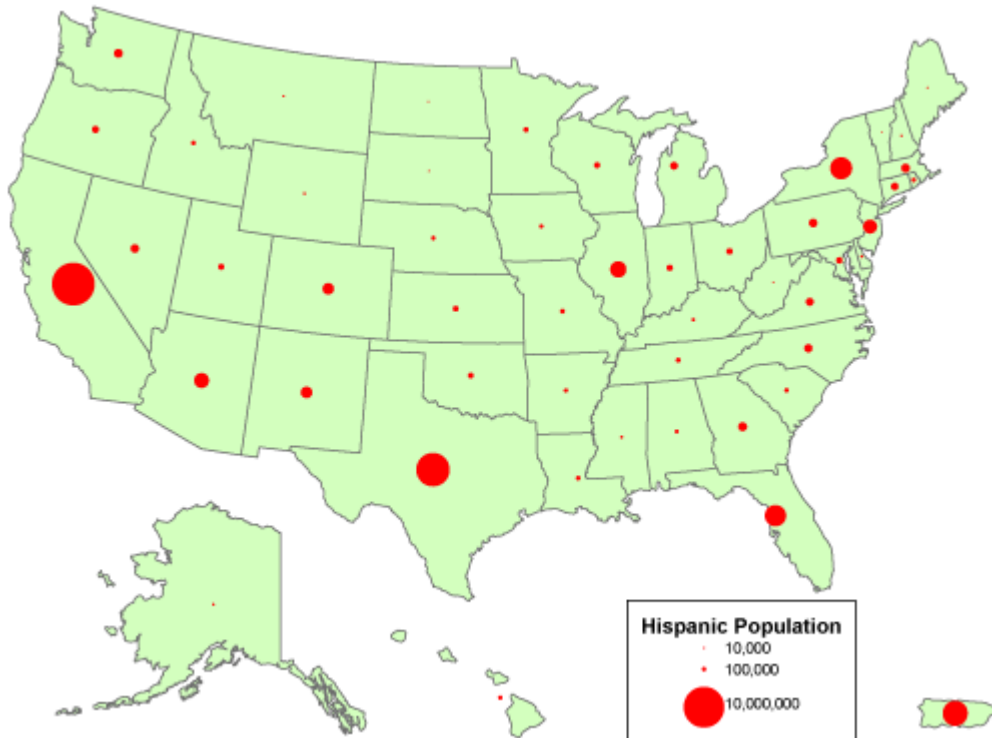


Şekil 3.3 Farklı izaritmik harita gösterim teknikleri (A) sadece kontur çizgilerinin kullanımı (B) renk tonları ve kontur çizgilerinin ikisinin birden kullanımı (C) ağ gösterim (D) sınıflandırılmamış koropleit haritadakine benzer sürekli ton kullanımı (E) sürekli tonların kontur çizgileriyle birleştirilerek kullanımı

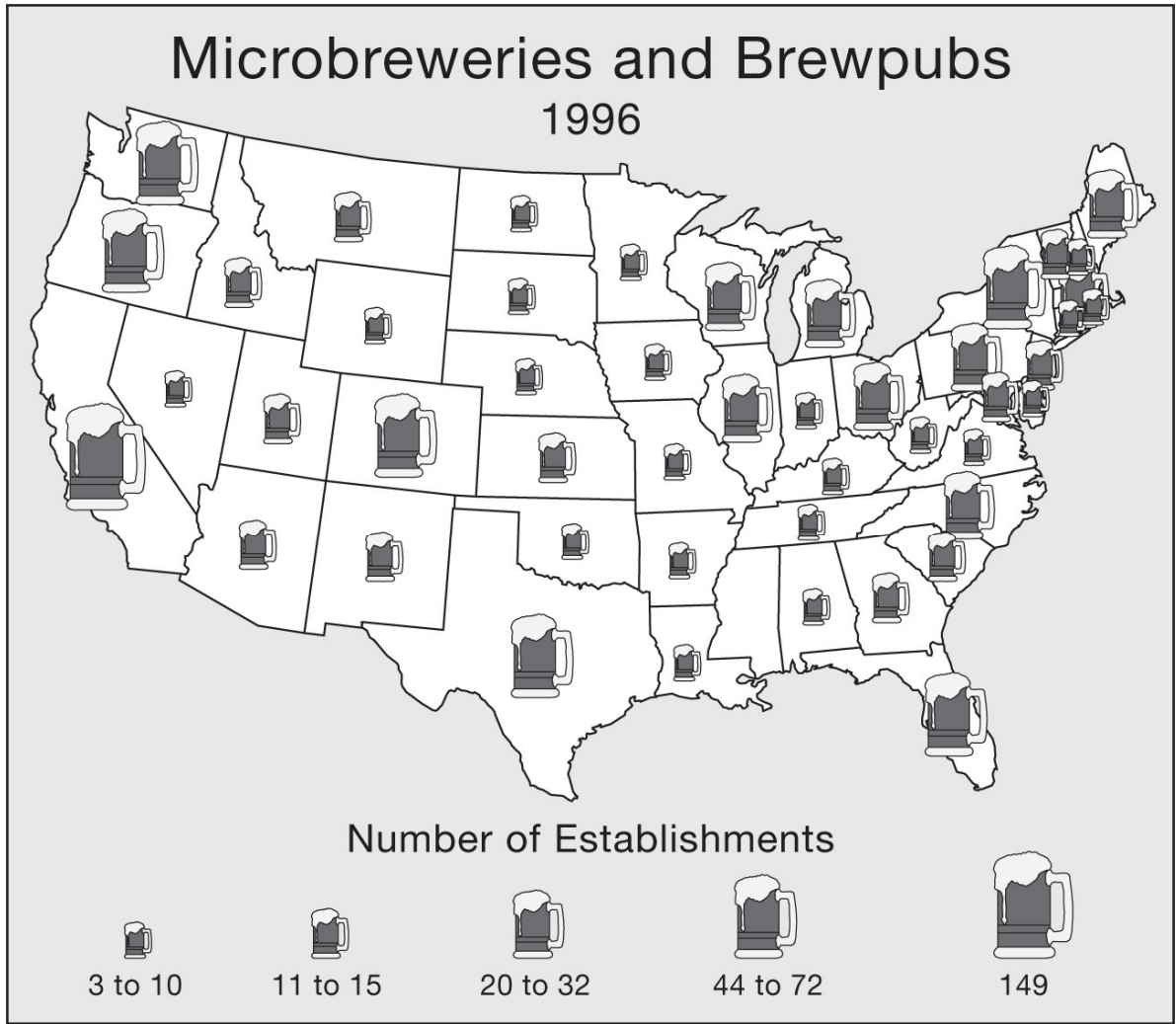
3.4.2.3 Orantılı İşaret Haritası

Orantılı işaret haritaları ya da bir diğer adıyla dereceli işaret haritaları coğrafi bir konum ile ilişkili sayısal verinin gösterimi için kullanılır. Orantılı işaretlerle gerçek ve kavramsal nokta verisi olmak üzere iki tür veri gösterilebilir. Gerçek nokta verisi herhangi bir coğrafi konumda gerçekten ölçülebilirken (örn. petrol kuyularındaki üretim miktarı), kavramsal nokta verisinin bir alan (ya da hacim) üzerinde toplandığı, ancak işaretleştirme amacı için bu verinin belirli bir coğrafi konuma ilişkin olduğu düşünülür (örn. herhangi bir eyaletteki petrol kuyularının sayısı).

Geometrik (Şekil 3.4) ve resimsel (pictographic) (Şekil 3.5) olmak üzere iki tür orantılı işaret kullanılabilir. Geometrik işaretlere “daire”, resimsel işaretlere ise “insan karikatürleri” örnek olarak verilebilir. Geometrik işaretler daha yaygın kullanılsa da resimsel işaretlerin kullanımı da harita tasarım yazılımlarıyla oluşturulmalarındaki kolaylık nedeniyle yaygınlaşmaktadır. Görsel olarak durağan olduklarından ve kullanıcılar tarafından tercih edildiklerinden “daire”ler en yaygın kullanılan geometrik işaretlerdendir. Üç boyutlu işaretlerin kullanımı (örn. küre), boyutlarını görsel olarak tahmin etmek zor olduğundan uygun görülmemektedir, fakat bu tür işaretler geniş veri aralığının temsili için daha cazip ve göze çarpan grafikler oluştururlar.



Şekil 3.4 Geometrik orantılı işaret haritası [7]



Şekil 3.5 Resimsel (pictographic) orantılı işaret haritası

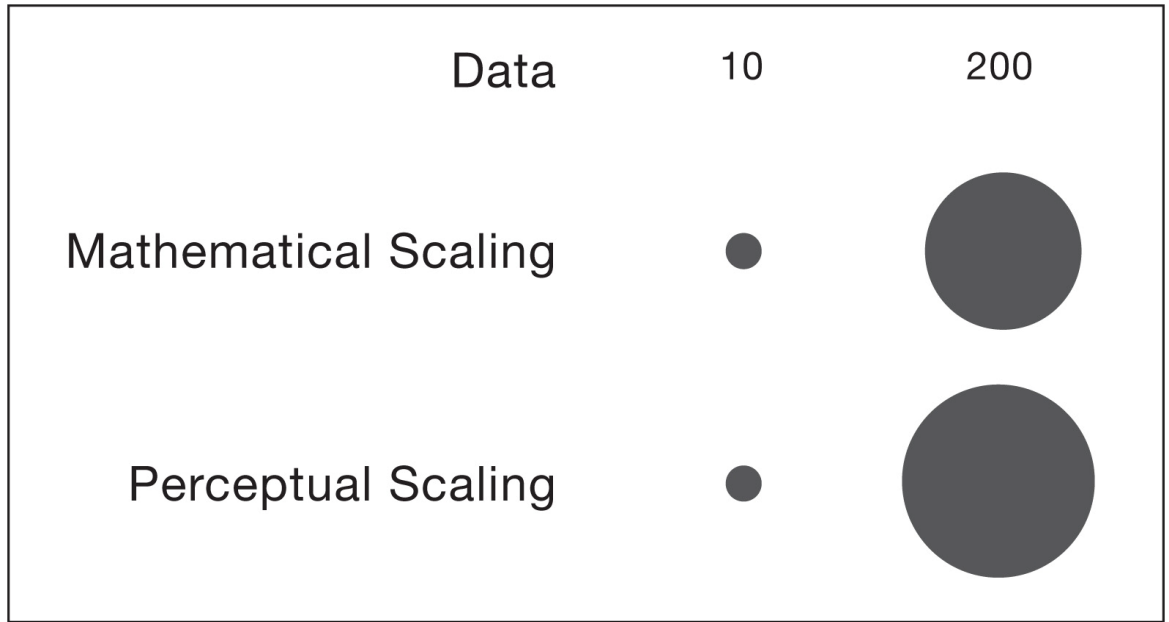
Orantılı işaretleri ölçeklendirirken (ya da boyutlandırırken), matematiksel, algısal ve aralık-dereceli olmak üzere üç yöntem kullanılır (Slocum vd., 2005).

Matematiksel Ölçeklendirme

Matematiksel ölçeklendirme, nokta işaretlerinin alanlarını (ya da hacimlerini) veriyle doğrudan orantılı olarak boyutlandırır, böylece eğer bir veri değeri diğerinden yirmi kez farklı ise, nokta işaretine ilişkin alan yirmi kez daha büyük olacaktır. İşaret boyutlarını hesaplama için çeşitli formüller kullanılmaktadır. Bu formüllerin kullanımında üzerinde düşünülmesi gereken çeşitli sorunlar bulunmasına rağmen matematiksel ölçeklendirmenin avantajı haritanın görselliğini arttırmasıdır.

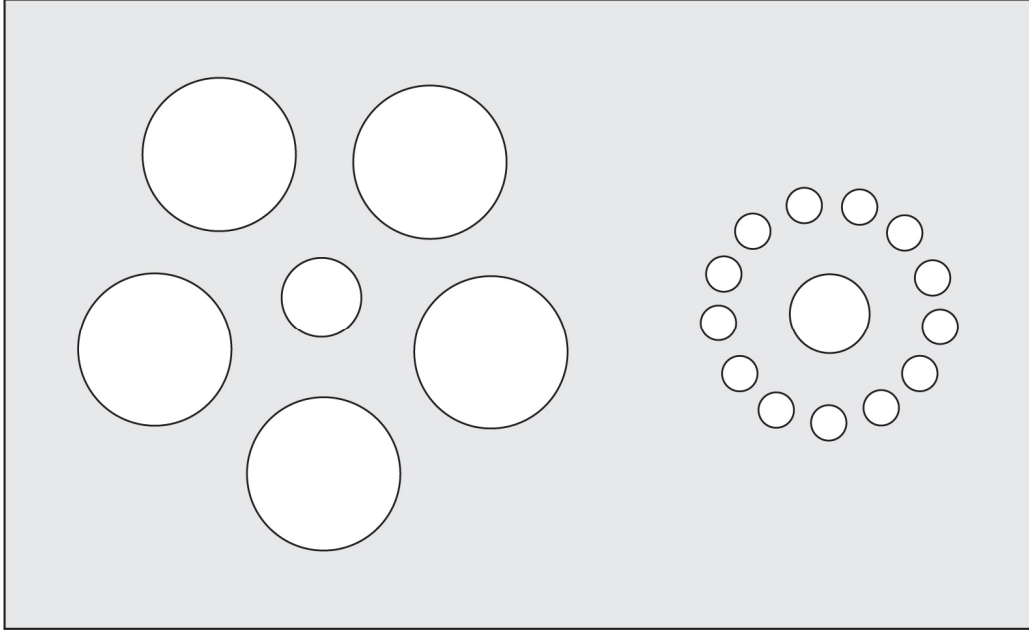
Algısal Ölçeklendirme

Sayısal çalışmalar orantılı işaretlerin algılanan boyutlarının matematiksel boyutlarıyla ilişkili olmadığını göstermiştir, daha doğrusu insanlar daha büyük işaretlerin boyutunu eksik tahmin etme eğilimindedir. Örneğin Şekil 3.6'daki matematiksel boyutlu büyük daireye bakıldığında birçok insan bu dairenin küçük olana göre 20 kat büyük olmadığını düşünecektir. Eğer daha büyük işaretler eksik tahmin edilirse, bu eksik tahmini hesap etmek için, matematiksel boyutlandırmada kullanılan formüllerin düzeltilmesi önerilebilir: bu süreç algısal (ya da psikolojik) ölçeklendirme olarak bilinmektedir.



Şekil 3.6 Matematiksel ve algısal ölçeklendirmenin karşılaştırılması (Matematiksel ölçeklendirmede dairenin boyutu veri ile doğrudan orantılıdır, algısal ölçeklendirmede ise daha büyük olan dairenin boyutu eksik tahmin miktarına göre arttırılır)

Algısal ölçeklendirmede kullanılan formüllerin uygulanmasında ne yazık ki sayısız sorunlar ortaya çıkmaktadır ve bu durum yöntemin kullanımında bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Bir algısal ölçeklendirme formülü geliştirmede mekansal içeriğin önemi Şekil 3.7'de gösterilen "Ebbinghaus Yanılsaması" düşünülerek gösterilebilir. Şekilde ortada bulunan iki daire de boyut olarak özdeşdir. Fakat daha geniş dairelerin çevrelediği daire diğerine göre daha küçükmüş gibi algılanmaktadır. Patricia Gilmartin (1981) haritalarla yaptığı deneysel bir çalışmada mekansal içeriğin bu etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur.



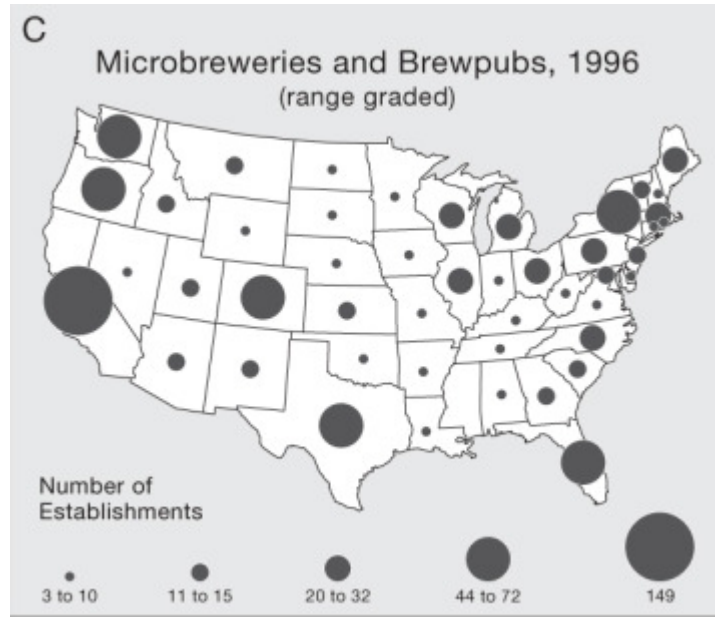
Şekil 3.7 Ebbinghaus yanılsaması

Aralık-Dereceli Ölçeklendirme

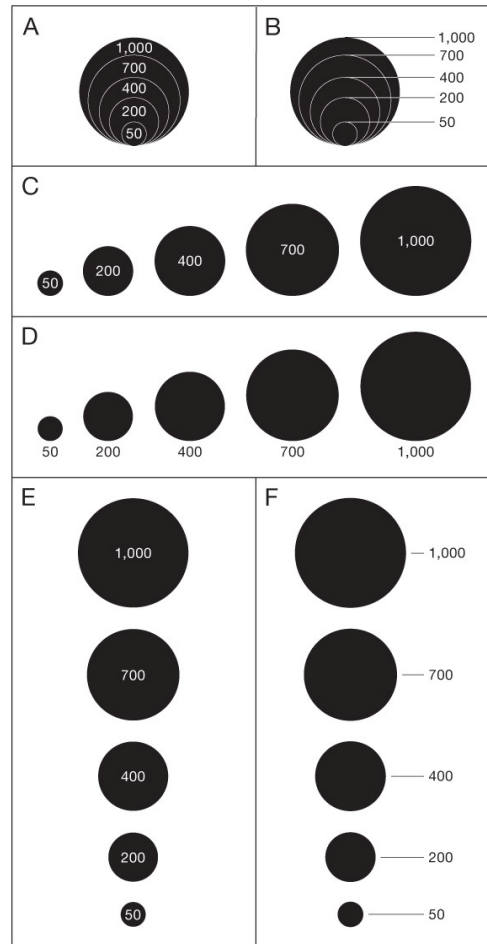
Aralık-dereceli (range-graded) yöntem veriyi sınıflara böler ve her sınıfı farklı boyuttaki bir işarette gösterir (örn. veri beş ayrı sınıfa bölünmüş ise beş farklı boyutta işaret kullanılır). Aralık derecelendirmede üç temel ilke uygulanmalıdır: sınıfların sayıları gösterilecektir, sınıflandırma yöntemi kullanılacaktır ve her sınıf için işaret boyutları kullanılacaktır.

Aralık derecelendirme yönteminin, okuyucular tarafından işaret boyutları kolayca ayırt edilebildiği için avantajlı olduğu düşünülmektedir. Bir diğer avantaj ise işaret boyutlarındaki kontrastın harita görselliğini arttırmasıdır.

Aralık derecelendirme yönteminde veri sınıflara ayrıldığından sınıflandırılmış bir harita oluşur. Bazı kısıtlamaları olmasına rağmen sınıflandırılmamış işaret haritaları (matematiksel ve algısal ölçeklendirme) sınıflandırılmış işaret haritalarına (aralık dereceli ölçeklendirme) göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 3.8’de aralık-dereceli yöntemle yapılmış bir orantılı işaret haritası örneği görülmektedir.



Şekil 3.8 Aralık-dereceli yöntemle yapılmış orantılı işaret haritası



Şekil 3.9 Orantılı işaret haritaları için çeşitli lejant örnekleri (A) ve (B) iç içe, (C) ve (D) doğrusal, (E) ve (F) dikey boyutta doğrusal
Orantılı işaret haritaları için lejant tasarımında temel hükümler işaretlerin lejantta nasıl

düzenleneceğini ve lejantta kaç tane ve hangi boyutta işaret kullanılacağını içerir. İç içe lejant düzenlemesinde (nested-legend arrangement) daha küçük işaretler daha büyük olanlarının içinde çizilirken, doğrusal lejant düzenlemesinde (linear-legend arrangement) işaretler yatay veya dikey konumda birbirine bitişik olarak yerleştirilirler (Şekil3.9) (Slocum vd., 2005).

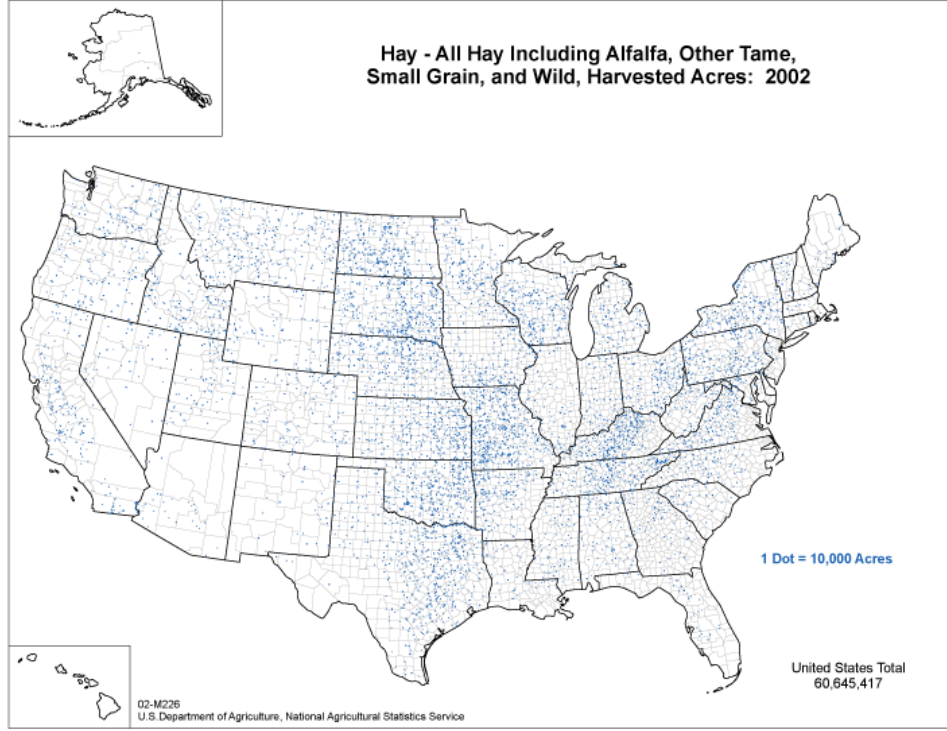
3.4.2.4 Nokta ve Dasimetrik (Dot and Dasymetric) Harita

Nokta ve dasimetrik haritadan, bir bölge için elde edilen verilerin bölge içinde düzenli dağılmadığı gösterilmek istendiğinde faydalanılır. Örneğin Afrika'daki her ülkede yaşayan fil sayısına ilişkin veri düşünüldüğünde bu veriyle koroplet bir harita yapılabilir. Fakat bu koroplet harita yanıltıcı olacaktır çünkü her ülke benzer alansal işaretlere sahip olacağından, her ülke içindeki fil yoğunluğunda değişim olmadığı izlenimi uyanacaktır. Nokta ve dasimetrik haritalar daha detaylı bir harita tasarımı için ikincil bilgiler kullanarak bu sorunu çözmektedir. Fillerle ilgili olarak uygun ikincil bilgiler, ağırlıklı olarak bitki örtüsü özellikle ormanlar ve geniş çayırlar ve ulusal parklar gibi koruma alanları olabilir.

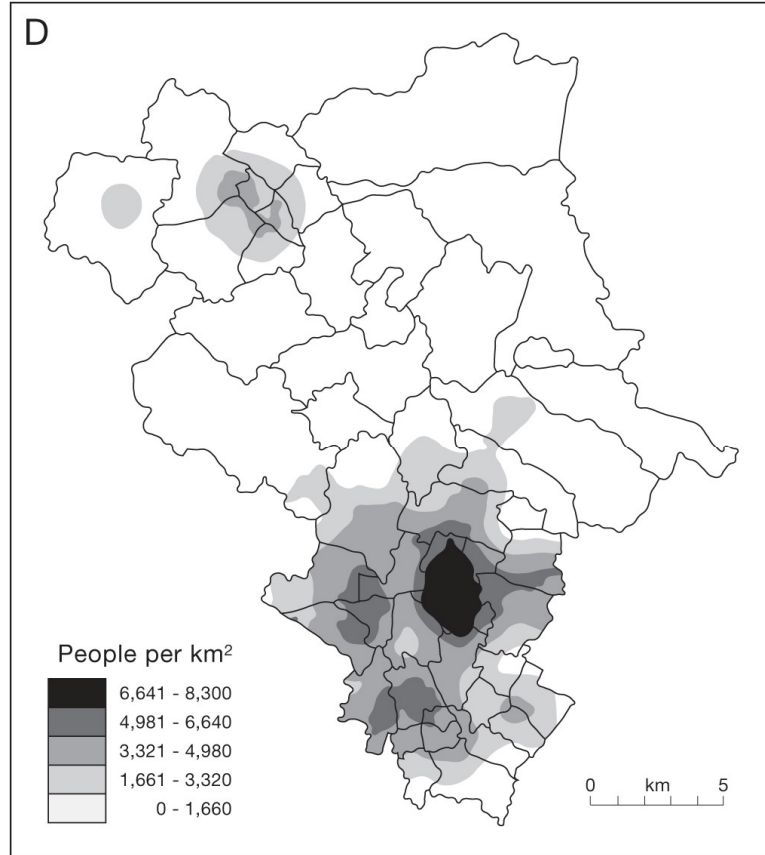
Nokta haritalar, bir nokta, olgunun kesin miktarına eşit kabul edilerek ve bu noktalar olgu daha çok nerde meydana geliyorsa orada konumlandırılarak oluşturulur (Şekil 3.10). Dasimetrik haritalar ise bölgelerin tekdüzeliğini göstermek için alansal işaretleri kullanır (Şekil 3.11) (Slocum vd., 2005).

Nokta harita tasarımında üzerinde düşünülmesi gereken üç temel konu vardır:

1. Noktaların hangi alanlar içinde yer alacağını belirlenmesi
2. Birim değerinin ve nokta boyutunun seçimi
3. Seçilen alanlara noktaların yerleştirilmesi



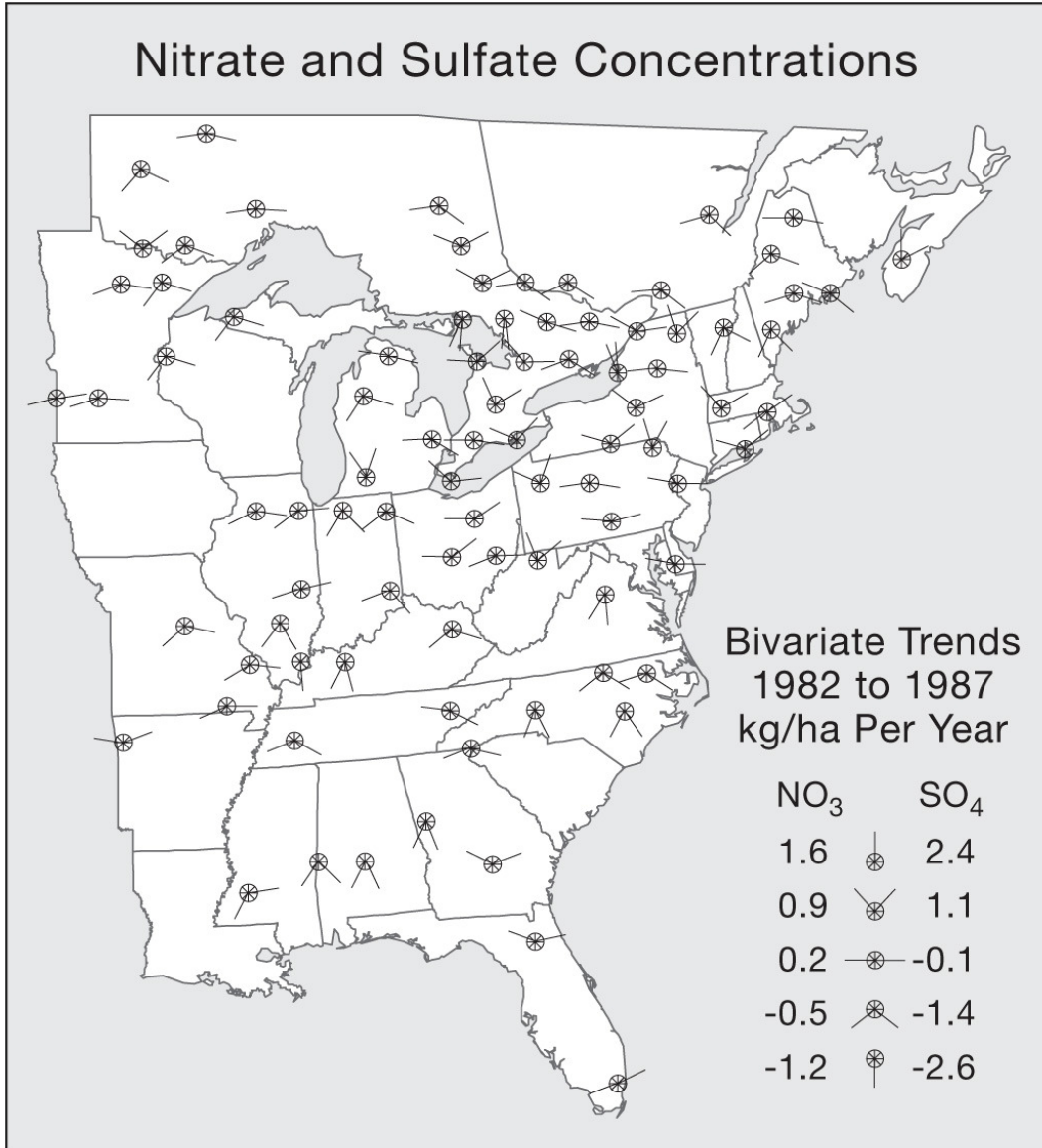
Şekil 3.10 Nokta harita örneği



Şekil 3.11 Dasimetrik harita örneği

3.4.2.5 İki Değişkenli ve Çok Değişkenli Harita

Daha önce anlatılan teknikler (koroplet, izaritmik... vb.) tek değişkenli harita yapım teknikleridir (tek değişkeni ya da tek özneliği gösterirler). Bununla birlikte kartograflar çoklu özneliklerin gösterimine de ihtiyaç duymuşlardır. Örneğin bir iklimbilimci herhangi bir coğrafi bölgedeki sıcaklık, yağış miktarı, basınç ve bulutluluk değerini aynı anda görmek isteyebilir. Bu tür çoklu olguların kartografik gösterimi çok değişkenli harita olarak bilinmektedir. Eğer sadece iki öznelik gösterilmek istenirse süreç iki değişkenli harita adını almaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Işın-glif (ray-glyph) işaretine dayalı iki değişkenli harita (ışınların sağda ve solda bulunması sırasıyla sülfat ve nitrat konsantrasyonlarını temsil etmektedir)

İki değişkenli ve çok değişkenli harita yapımındaki temel konu haritaların her özniteliği göstermesi (haritalar karşılaştırılır) ya da her özniteliğin aynı haritada gösterilmesidir (haritalar birleştirilir).

İki değişkenli haritalar için haritaların birleştirilmesine iki değişkenli koroplet haritalar örnek olarak gösterilebilir.

Çok değişkenli harita teknikleri üç değişkenli koroplet haritaları (üç tane koroplet harita üst üste bindirilir), çok değişkenli nokta haritalarını (farklı renkteki noktalar çok değişkenli olguyu temsil etmede kullanılır) ve çok değişkenli nokta işaretlerini (çoklu özniteliklerin temsilinde kullanılan farklı yüz özelliklerini içeren Chernoff yüzleri) içerir (Slocum vd., 2005).

3.4.2.6 Ek Teknikler

Tematik harita yapımında yukarıda anlatılan tekniklere ek olarak kartogramlar, akış haritaları (flow maps), korodot harita (chorodot map) ve grafik harita gibi teknikler de sayılabilir.

Kartogram

Tematik haritalar tasarlanırken, kartograflar genellikle mekansal ilişkilerin bozulmasından kaçınmaya çalışırlar. Örneğin bir nokta haritası için normal olarak alan koruyan (equivalent) projeksiyon kullanılır ve böylece noktaların yoğunluğu öncelikli olgunun (harita projeksiyonunun değil) yalnızca bir fonksiyonudur. Bazen, bununla birlikte, kartograflar bir amaca bağlı olarak bir özniteliğin değerlerine bağlı olarak mekanın biçimini bozarlar: bunun sonucunda oluşan haritalar kartogram olarak bilinir (Şekil 3.13). Günlük yaşamda en yaygın kullanılan kartogram türü, metro durakları arasındaki zaman gibi bazı öznitelikleri yansıtmak için, gerçek dünya mesafelerinin bozulduğu “mesafe kartogramlarıdır”(distance cartograms). Burada duraklar arasındaki zaman, duraklar arasındaki gerçek mesafeden daha önemli olduğundan kartograflar için uygun bir gösterimdir. Coğrafi literatürde ise kartogramların en yaygın kullanılan şekli alan kartogramlardır (area cartogram). Alan kartogramlar, belirli bir bölgeyle ilişkili bir özniteliğin fonksiyonu olarak o bölgenin ölçeklendirilmesiyle (boyutlandırılmasıyla) elde edilir (Slocum vd., 2005).



Şekil 3.13 Avustralya'nın eyalet ve özel bölgelerini gösteren kartogram

Akış Haritası (Flow Map)

Akış haritaları, olgunun coğrafi konumlar arasındaki hareketini göstermek için farklı genişliklerdeki çizgilerden faydalanır (Şekil 3.14) (Slocum vd., 2005).



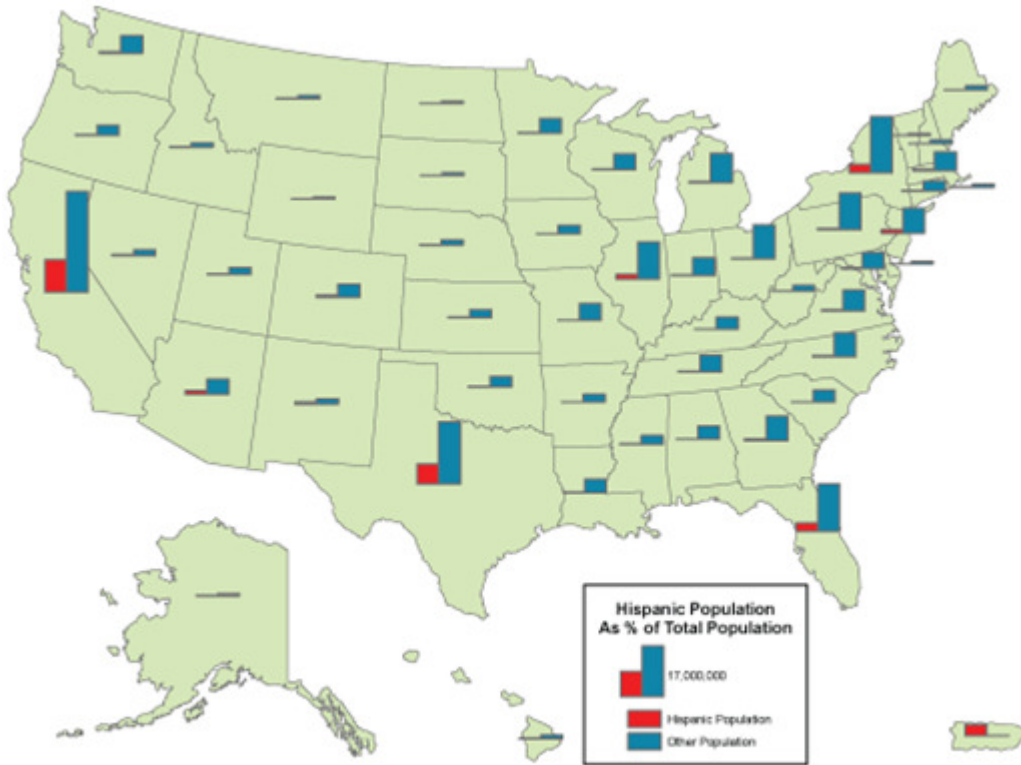
Şekil 3.14 1965-1970 yılları arası Kaliforniya'ya ve Kaliforniya'dan göç miktarını gösteren akış haritası

Korodot Harita (Chorodot Map)

Korodot harita adından da anlaşılacağı üzere koroplet ve nokta haritaların kombinasyonu ile oluşturulur (Slocum vd., 2005).

Grafik harita (Chart Map)

Grafik harita pasta grafik ya da çubuk grafikler kullanmaktadır. Dereceli dairenin bir türü olarak, pasta grafik iki niceliksel veri kümesi görüntüleyebilir: Daire büyüklüğü, bir değere orantılı (örn. nüfus) yapılabilir ve alt bölümler bir değere karşılık gelir (örn. ülke nüfusunda ırk dağılımı). Çubuk grafikler için düşey çubuklar ve niceliksel verileri göstermek için bunların yüksekliği kullanılır. Çubuk haritalar, özellikle verileri yanyana karşılaştırmak için yararlıdır [8].



Şekil 3.15 Amerika’da yaşayan Latin kökenli insanların dağılımını gösteren çubuk grafik harita örneği [9]

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Çalışma Bölgesi Ve Hava Kirliliği Verileri

4.1.1 Çalışma Bölgesinin Tanımı

İstanbul İli, 28° 10' ve 29° 55' doğu boylamlarıyla 41° 33' ve 40° 28' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır.

Kuzeyinde Karadeniz, doğuda Kocaeli; güneyden Yalova, Marmara Denizi ve Bursa, güneybatıdan Tekirdağ ve kuzeybatıdan Kırklareli ile çevrilidir.

İstanbul' da hava kirliliği 1980'li yıllardan sonra insan sağlığını tehdit eder seviyelere gelmiştir. Hava kirliliğini oluşturan başlıca kaynaklar kalitesiz yakıt yakılması, ulaşım ve endüstriyel kaynaklardır. Endüstriyel tesislerin kirlenmedeki payı, özellikle sağlıksız tesislerin yoğun olduğu yerlerde büyüktür. İstanbul'da endüstriyel tesislerin çoğu Avrupa yakasında Atatürk Havalimanı ile Haliç arasında Avcılar, Küçükçekmece, Bahçelievler, Zeytinburnu, Bayrampaşa, Bağcılar, Gaziosmanpaşa, Şişli ve Esenler arasında, Anadolu yakasında ise Ümraniye, Kartal, Pendik ve Tuzla arasında bulunmaktadır. Endüstriyel kaynaklar spesifik kirleticiler açısından geniş bir alanı kapsamaktadır. En fazla sanayi tesisi Gaziosmanpaşa' dadır.

Bu sanayi tesislerinden atılan emisyon miktarları incelendiğinde NO_x emisyonu en fazla Zeytinburnu'ndan atılmakta, bu ilçeyi sırasıyla Avcılar, Kartal, Küçükçekmece ve Şişli izlemektedir (İstanbul Çevre Durum Raporu, 2005).

SO₂ emisyonu en fazla Bağcılar ilçesinden atılmakta, Avcılar bu ilçeyi izlemektedir. Toz (PM) emisyonu ise en fazla Avcılar tarafından atılmaktadır (İstanbul Çevre Durum Raporu, 2005).

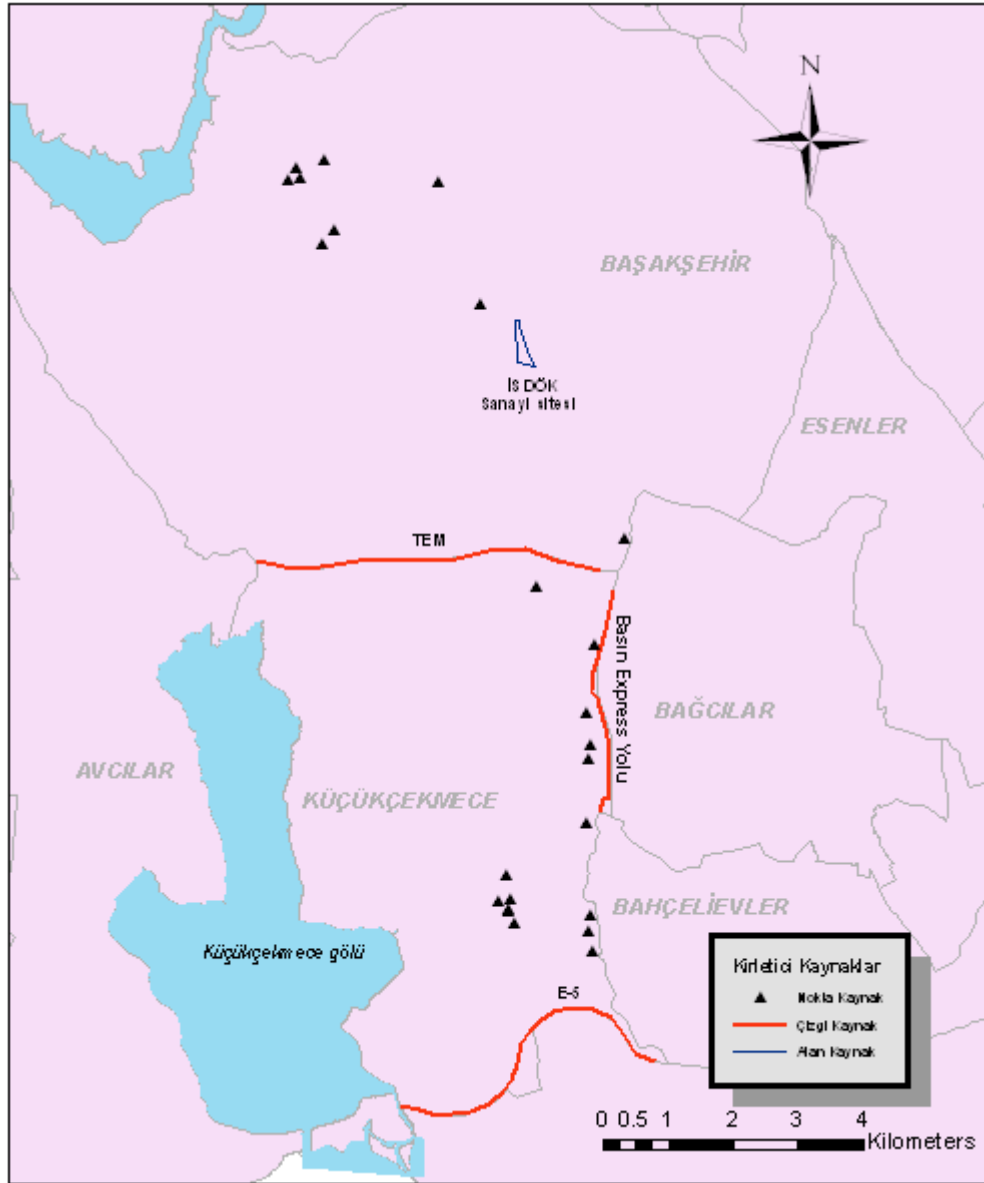
Bu çalışmada endüstriyel tesis sayısı ve nüfus yoğunluğu nedeniyle çalışma bölgesi olarak Küçükçekmece ilçesi seçilmiştir. Küçükçekmece ilçesinin nüfusu en son sayım verisine göre 784.128 olarak belirlenmiştir. İlçede İSO'ya kayıtlı olmak üzere 956 adet sanayi tesisi bulunmaktadır (İstanbul Çevre Durum Raporu, 2005) ve sanayi, trafik ve konut emisyonlarına sahiptir.

Çalışma bölgesine yakınlığı dolayısıyla Florya meteorolojik ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılmıştır.

4.1.2 Hava Kirliliği Verileri

Çalışma bölgesindeki sanayi tesislerine ilişkin kirletici kaynak verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İ.B.B) Çevre Koruma Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Trafikten kaynaklanan emisyon miktarlarının hesaplanması için çalışma bölgesindeki ana güzergahlar olan TEM Otoyolu, E-5 Karayolu ve Basın Ekspres yolu üzerindeki sensörlerden alınan araç sayım bilgileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü'nden sağlanmıştır.

Florya istasyonunda kaydedilen meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji İşleri GenelMüdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışma kapsamında modele dâhil edilen kirletici kaynaklar

4.2 Hava Kirleticiler Emisyon Envanteri

4.2.1 Emisyon Envanterinin Tanımı

Bir bölgede hava kirliliğinin belirlenmesi, hava kirliliğinin kontrolü ve hava kalitesi iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi için bölgeden kaynaklanan emisyonların bilinmesi gereklidir. Bu da ancak bölgenin emisyon envanterinin hazırlanmasıyla mümkün olabilir. Emisyon envanteri, hava kirletici emisyonların bir bölgede sistematik olarak toplanması ve değerlendirilmesidir. Envanter çalışmaları insan kaynaklı emisyonları tanımlamak için yapılır. İnsan kaynaklı emisyonlar genel olarak nokta, alan ve çizgi kaynak olmak üzere 3 kısımda değerlendirilebilir.

Emisyon envanteri, hava kirliliği modellemesinde ve kirletici kaynakların belirlenerek bunların zararlı etkilerinin ortaya çıkarılması çalışmalarında yararlanılan en önemli kaynaklardan biridir. Genel olarak envanterden elde edilen emisyon verileri, kontrol stratejilerinin belirlenmesinde ve uygulanmasında, emisyon standartlarının oluşturulmasında gereklidir ve gelecekteki kirlilik problemlerinin çözümünde başvurulacak bir kaynaktır (Goncaloğlu, 2001).

4.2.2 Emisyon Envanteri Çeşitleri

Emisyon envanterleri kapsadıkları alana göre;

- Global ölçek,
- Bölgesel ölçek,
- Yerel ölçek

olmak üzere genelde üç ölçekte gerçekleştirilen uzun vadeli çalışmalardır.

Global ölçekte hazırlanan emisyon envanterleri, genellikle birkaç ülkeyi veya bir kıtayı içine alacak kadar büyük coğrafi alanları kapsar.

Bölgesel ölçekteki emisyon envanterleri, adlarından da anlaşılacağı gibi genellikle hava kirliliği potansiyeli bakımından önemli bir bölgeyi, hatta tüm bir ülkeyi kapsayabilen envanterlerdir.

Yerel ölçekteki emisyon envanterleri en küçük ölçekteki envanterlerdir ve genellikle küçük endüstriyel alanları veya kentleri kapsamaktadır.

Hazırlanış şekillerine göre ise,

- Hızlı veya Basit Envanterler,
- Detaylı Envanterler,
- Spesifik Envanterler

şeklinde üç gruba ayrılır.

Bunlardan **Hızlı veya Basit Envanterler**, bu çalışmaya ayrılacak süre ve kaynakların sınırlı olduğu durumlarda sadece belli kaynak ve sınırlı kirletici için yapılır. **Detaylı Envanterler**, daha ayrıntılı bilgi ihtiyacını karşılar ancak, daha fazla süre ve kaynak gerektirir. Genel olarak hava kalitesinin yönetiminde gerekli olabilecek ayrıntıda bilgiler toplanır. **Spesifik Envanterler**, belli alanlarda belli bir tür kaynak ve belirli kirleticiler için yürütülür.

Emisyon envanterleri sürekli güncel tutulan çalışmalardır. Yeni veriler elde edildikçe mevcut envantere hemen ilave edilir ve envanter bu son değişikliğe göre yeniden düzenlenir. Aksi takdirde envanter çalışması kısa bir süre sonra kendi kendine geçerliliğini kaybedecektir.

Günümüzde gerek Avrupa'da ve gerekse ülkemizde farklı amaçlarla hazırlanmış ve halen hazırlanmakta olan çok sayıda emisyon envanteri çalışması mevcuttur. Genellikle Avrupa'da faaliyet gösteren büyük organizasyonlar veya araştırma grupları tarafından hazırlanan bu envanterlerden en çok bilinenleri EPA ve CORINAIR envanterleridir (Goncaloğlu, 2001).

4.2.3 Emisyon Envanteri Hazırlama Aşamaları

Bir emisyon envanteri hangi ölçekte ve hangi amaçla olursa olsun dört ana aşamada hazırlanmaktadır:

- Planlama
- Veri Toplama
- Veri analizi ve Emisyon Tahmini
- Rapor Yazımı

Planlama aşamasında, çalışmayı gerçekleştirecek olan araştırmacı kurum veya kişi öncelikle envanteri hangi amaçla hazırlayacağına karar verir. Karardan sonra çalışmanın amacına bağlı olarak envanterin kapsayacağı coğrafi alan, kirletici türü ve kirletici kaynak türleri belirlenir. Elde edilen

sonuçların nasıl kullanılacağı ve hangi düzende sunulacağı bu aşamada planlanır (Goncaloğlu, 2001).

Veri toplama aşamasında amaç, kirletici kaynaklar hakkında mümkün olduğu kadar çok ve detaylı bilgi toplanmasıdır. Emisyon envanterlerinde genelde kirletici kaynaklar nokta, alan ve çizgi kaynak olmak üzere üç grupta toplanır. Her kirletici kaynak türünün kendine özgü bilgi çeşidi vardır. Örneğin nokta kaynaklarda yakıt türü, yakıt tüketimi, çalışma süresi vb. bilgiler önemliken çizgi kaynaklar için yakıt sarfiyatı, seyahat mesafeleri, kullandıkları teknoloji vb. bilgiler önemli olabilmektedir.

Veri analizi ve emisyon tahmini aşamasında, veri toplama aşamasında elde edilen ham veriler iyice analiz edilerek emisyonların tahmininde kullanılacak bilgilere dönüştürülür ve emisyon tahmin metotlarından biri kullanılarak emisyon tahmini yapılır. Emisyon tahmini için kullanılan en yaygın metot bu tezde de kullanılan emisyon faktörlerinin kullanılmasıdır. Emisyon faktörü üretmek zor bir iş olduğundan genellikle hazır veri tabanlarının kullanılması yoluna gidilmektedir (Goncaloğlu, 2001).

Rapor hazırlama aşamasında, elde edilen sonuçlar planlama aşamasında belirlenen hedefler doğrultusunda sunulur.

4.2.4 Emisyon Tahmin Yöntemleri

Emisyon envanterlerinde emisyonların tespiti üç yöntem ile yapılır:

- Yerinde Ölçüm,
- Madde Dengesi,
- Emisyon Faktörü Kullanımı

Yerinde Ölçüm, gelişmiş ekipman ve yüksek maliyet gerektirdiğinden pratikte her zaman mümkün olmayabilir. Özellikle ülkemizde ekipman ve deneyimli eleman sayısı dikkate alındığında, her kirletici kaynaktan birebir ölçüm yapmak imkansız gibidir. Bu durumlarda kullanılacak en iyi yöntem emisyon faktörleridir.

Kirletici kaynağın birim faaliyeti başına havaya verdiği kirletici miktarı olarak anılan *emisyon faktörü*, her ne kadar madde dengesi yöntemini esas alsada bir takım hazır rakamlardan ibaret olması kullanımını diğer yöntemlere oranla üstün ve kolay kılar. Emisyon faktörü üretmek çok zor ve zahmetli bir çalışma olduğu kadar ileri teknoloji de gerektiren bir çalışmadır. Bu

nedenle, günümüzde çoğu emisyon envanteri hazırlama çalışmasında hazır emisyon faktörü veri tabanlarının kullanılması yoluna gidilmektedir (Goncaloğlu, 2001).

4.2.5 Emisyon Faktörleri

Emisyon faktörü, bir kirleticili kaynağın birim faaliyeti başına atmosfere vermiş olduğu kirleticili kütleli olarak tanımlanabilir. Emisyon faktörleri, atmosfere yayılan kirlilik miktarının kaynak tarafından tüketilen birim yakıt miktarına kütleli oranı ya da birim zamanda endüstriyel kaynaktan çıkan birim ürün miktarına oranıdır. Genel olarak kirleticili/ürün oranlarını ifade edecek şekilde; kirleticili veya ürün türüne göre kütle/kütle, kütle/hacim ve hacim/hacim birimlerinde olmaktadır (örneğin, kg SO_x/ ton kömür, kg NO_x/ km araç, kg NO_x/ saat vb.). Emisyon faktörleri ürün miktarı esas alınarak hesaplanabildiği gibi, üretimlerde kullanılan yakıt miktarlarına göre de hesaplanabilmektedir. Bu faktörlerin kullanılması sonucunda farklı hava kirliliği kaynaklarından oluşan emisyonlar tahmin edilebilir. Çoğunlukla bu faktörler, kabul edilebilecek hassasiyetteki basit ortalama değerlerdir ve genellikle prosesle ilgili birçok parametre (sıcaklık, reaktan konsantrasyonları vb.) dikkate alınmadan hazırlanır. Temelde kütleli emisyonları, kaynaktaki birim üretim ile veya kaynaktaki birim yakıt tüketimi ile ilişkilendirmek gereklidir. Özellikle yakıt tüketimi ile ilişkilendirildiğinde kaynaktaki yakma teknolojisine de aynı oranda dikkat etmek gereklidir. Zira aynı yakıtı kullanan fakat farklı yakma teknikleri kullanan kaynaklarda ölçme yoluyla belirlenen emisyonlar arasında büyük farklar görülebilmektedir (Goncaloğlu, 2001).

Emisyon faktörleri, çeşitli kaynaklardan oluşan kirleticileri tahmin etmek için kullanılan faydalı bir araçtır. Ancak, emisyon faktörlerinin farklı hassasiyetteki verilerden türetilmesi nedeniyle, bu faktörler kullanılarak hesaplanan emisyonlar, prostesten oluşan gerçek emisyonlardan az veya çok farklıdır. Yerinde ve gerçek proses şartlarında yapılan ölçümler gerçek emisyonları en iyi şekilde tespit edebilir, ancak bu pahalı ve güç bir iştir. Bu nedenle, bazı durumlarda (örneğin, İstanbul'daki yakıt kökenli SO₂ emisyonları belirlenmek istendiğinde) ölçüm yerine, emisyon faktörü kullanarak hesaplama yöntemi tercih edilir. Bir tesis kurulmadan önce, oluşabilecek çevre etkilerinin tahmin edilmesi durumunda veya muhtemel kapasite artışının çevre etkilerinin tahmini durumunda ise emisyon faktörlerinin kullanılması mecburidir (Goncaloğlu, 2001).

4.2.6 Emisyon Faktörü Veri Tabanları

Günümüzde pek çok hazır emisyon faktörü veri tabanı bulunmaktadır. Avrupa'daki CORINAIR veritabanıyla, Amerika'daki EPA-AP42 emisyon faktörü veritabanları en kapsamlı emisyon faktörü veri tabanlarıdır.

CORINAIR veri tabanı, 1985 yılında Avrupa Topluluğu Komisyonu (Commission of European Communities, CEC) tarafından topluluğa üye ülkeler arasındaki çevre sorunlarının çözümü için başlatılan CORINE isimli projenin kapsamında hazırlanmıştır. CORINAIR veri tabanı çalışmasının amacı; önceden hazırlanan emisyon envanterlerinin esas alınarak geliştirilmesi ve geliştirilen envanterlerin tüm üye ülkeler tarafından uygulanacak ortak bir yöntemle güncelleştirilmesiydi (Onat, 2004).

EPA-AP42 veri tabanı, Amerika'da Emisyon Faktör ve Envanter Grubu (The Emission Factor and Inventory Group, EFIG) ve EPA Hava Kalite Planlama ve Standartlar Ofisi (Office of Air Quality Planning and Standards, OAQPS) tarafından hazırlanan ve sürekli geliştirilen bir veri tabanıdır. Bu veri tabanının amacı ise emisyon verilerinin güvenilir olarak toplanması, raporlanması ve hesaplanması için gerekli standartlarının oluşturulması, oluşturulan emisyon envanterlerinin sürekli yenilenerek güncel tutulması olarak belirlenmiştir (Onat, 2004).

Bu çalışmada yakıt kullanımından ileri gelen emisyonlar CORINAIR ve EPA veri tabanları kullanılarak belirlenen emisyon faktörleriyle hesaplanmıştır.

4.3 AERMOD View Programı İle Hava Kalitesi Modellemesi

Bu tez çalışmasında AERMOD View programının son şekli olan 6.2 versiyonu kullanılmıştır. AERMOD View programı EPA'nın önerdiği ISCST3, AERMOD ve ISC-PRIME dispersiyon modellerinin kullanımına olanak sağlayan Lakes Environmental Software firmasının ürettiği bir yazılımdır. Bu üç dispersiyon modelinin genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

AERMOD Modeli

AERMOD dispersiyon modeli, yüzey ve yüzey üstü (dikey) olmak üzere iki tip meteorolojik veri dosyasını ve bölgenin yükselti verilerini kullanır. ISCST3 dispersiyon modelinden farklı olarak yağ ve kuru çökeltme için gerekli algoritmaları içermez, basit ve kompleks arazi arasında bir ayırım yapmaz ve açık kuyu (open pit) şeklindeki kaynaklardan yayılan emisyonları hesaplayamaz (Lakes Environmental, 2009).

ISC-PRIME Modeli

ISC-PRIME (Plume Rise Model Enhancement) dispersiyon modeli, bina çökmesi ile ilgili iki ilave parametreyi dikkate alarak hesaplama yapar. Bunlardan ilki huzme dispersiyon katsayısı, ikincisi rüzgârın etkisi ve bina saçaklarından dolayı huzme yükselmesindeki azalmayı ifade eden huzme yükselmesi miktarıdır. Bina ve baca özelliklerini tanımlayan veriler dışında ISCST3 dispersiyon modeli ile aynı özellikleri içermektedir (Lakes Environmental, 2009).

ISCST3 Modeli

ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term) dispersiyon modeli noktasal, alansal ve çizgisel kaynaklardan yayılan kirletici konsantrasyonlarının tahmininde kullanılan Gauss dispersiyon modelidir. Model, yer seviyesi kirletici konsantrasyonları hesabını yapar, yağ ve kuru çökme ve bina çökeltmesi (building downwash) olaylarını açıklayan algoritmaları içerir. Atmosferik koşulların tanımı için gerçek zamanlı meteorolojik veriler kullanır (Lakes Environmental, 2009).

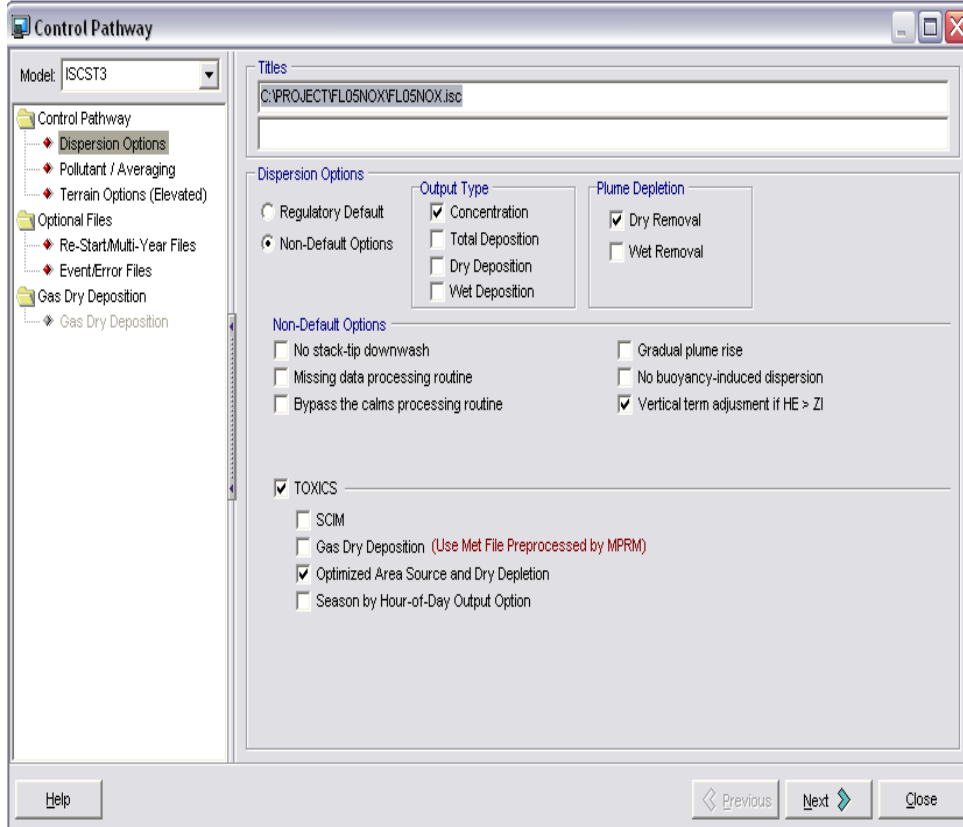
4.3.1 Aermod View Programının Genel Özellikleri

AERMOD View Programı kullanım sistemi bakımından her üç dispersiyon modeli için aşağıda belirtilen altı farklı kısımdan oluşmuştur:

- Kontrol Bölümü: Modelleme senaryosunun oluşturulduğu ve modelin çalıştırılmasında tüm kontrolün yapıldığı kısım.
- Kaynak Bölümü: Hava kirletici emisyonların tanımının yapıldığı kısım.
- Alıcı (Reseptör) Bölümü: Hava kalitesi etkisinin görülmek istendiği belirli noktaların tanımlandığı kısım.
- Meteoroloji Bölümü: Atmosferik koşulların tanımlandığı kısım.
- Topoğrafik Bölüm: Arazi özelliklerinin tanımının yapıldığı kısım.
- Çıktı Bölümü: Modelin analizi için model çıktısı özelliklerinin tanımlandığı kısım.

ISCST3 modeli için kontrol bölümü opsiyon pencereleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Kontrol bölümü; dispersiyon katsayısı, dispersiyon tipi, kirletici türü, kirleticinin yarılanma ömrü, konsantrasyon hesaplama periyotları gibi diğer bölümlere göre daha fazla bilginin girilmesi gerektiği bölümdür.

Kontrol bölümünde modelde kullanıcının isteğine bırakılmış seçenekler mevcuttur. Bunlar hem modelin senaryosu oluşturulurken kullanım kolaylığı sağlar, hem de kullanıcıya seçim şansı verir. ISCST3 ve ISC-PRIME için bazı seçimli opsiyonlar; baca tipi çökeltme, buyancy tipi dispersiyon, eksik veri prosesi, durgun proses seçeneği, AERMOD için bazı seçimli opsiyonlar ise; baca tipi çökeltme, düz arazi seçeneğidir (Lakes Environmental, 2009).



Şekil 4.2 ISCST3 modeli için kontrol bölümü penceresi

Hava kirletici emisyonların tanımının yapıldığı Kaynak Bölümü'nde nokta, hacim, alan, açık kuyu, poligon alan, dairesel alan, alev tipi ve çizgi kaynak olmak üzere sekiz farklı kaynak tanımlanabilmektedir.

Baca ve menfez gibi yapılardan verilen emisyonlar modelde nokta kaynak olarak tanımlanmaktadır. Emisyon hızı, baca gazı çıkış sıcaklığı, baca gazı çıkış hızı ve baca çapı gibi bilgiler kaynağı tanımlamakta kullanılır. Modelde çoklu menfezlerden verilen emisyonlar alan kaynak olarak tanımlanır. Alan kaynak parametreleri; emisyon hızı, alan kaynağın yanal ve düşey uzunluklarıdır. Modelde trafikten verilen emisyonlar çizgi kaynak olarak tanımlanmaktadır. Çizgi kaynak parametreleri ise çizgi kaynağın genişliği, emisyon hızı, emisyonun verildiği yükseklik, kaynağın X ve Y koordinatları olarak tanımlanır (Lakes Environmental, 2009).

Kaynak bilgilerinin girildiği pencerelerde kirletici tipi, kaynak tipi, kaynak sayısı, kaynağın yükseltisi gibi pek çok özellik görülebilir. ISCST3 modeli için Şekil 4.3, Şekil 4.4, ve Şekil 4.5'de sırasıyla alan, nokta ve çizgi kaynak tanımının yapıldığı pencereler görülmektedir. Modelde her kaynak tipi için X ve Y koordinatları farklı konumlarda değerlendirilmektedir. Çizelge 4.1'de bu konumlar verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kaynaklar için x ve y koordinatlarının konumları

Kaynak	X ve Y Koordinatlarının konumları
Nokta	Kaynağın merkezi
Hacim	Kaynağın merkezi
Alan	Kaynağın güneybatı köşesi
Açık kuyu	Kaynağın güneybatı köşesi
Dairesel alan	Kaynağın merkezi
Poligon alan	Poligonun en yüksek köşesi
Alev tipi	Kaynağın merkezi
Çizgi	Kaynağın tanımlanan ilk noktası

Source Inputs

Source Type
 Type: AREA POLY Source ID: PAREA1
 Description: ISDOK SANAYI SITESI (Optional)

Source Location
 X Coordinate [m]: 398567.31
 Y Coordinate [m]: 4552092.50
 Base Elevation [m]: 137.04 449.61 [ft]
 Release Height [m]: 16 52.49 [ft]

Source Release Parameters
 Emission Rate [g/(s-m²): 2E-05 1.47E-5 [lb/(hr-ft²)]
 No. Vertices (or Sides) [3-20]: [8] Verify..
 Initial Vertical Dim. of the Plume (Opt.) [m]: [] [ft]

Area [m²): 86463.6 930687.0 [ft²]

Help [Navigation] New [Close]

Şekil 4.3 Alan kaynak bilgilerinin girildiği pencere

Source Inputs

Source Type
 Type: POINT Source ID: STCK84
 Description: AKIN CORAP (Optional)

Source Location
 X Coordinate [m]: 395193.00
 Y Coordinate [m]: 4554440.00
 Base Elevation [m]: 140.72 461.68 [ft]
 Release Height [m]: 12 39.37 [ft]

Source Release Parameters
 Emission Rate [g/s]: 0.00365 0.029 [lb/hr]
 Gas Exit Temperature [K]: 441 334.13 [F] Tip...
 Stack Inside Diameter [m]: 0.42 1.378 [ft]
 Gas Exit Velocity [m/s]: 8.7 28.543 [ft/s]
 Gas Exit Flow Rate [m³/s]: 1.2053 42.566 [ft³/s]

Help [Navigation] 15/28 [New] [Close]

Şekil 4.4 Nokta kaynak bilgilerinin girildiği pencere

Source Inputs

Source Type
 Type: LINE Source ID: SLINE1
 Description: TEM (Optional)

Line Source Parameters (Represented by Separated Volume Sources)
 Length of Side [m]: 40 131.23 [ft]
 Emission Rate [g/s]: 6.123 48.6 [lb/hr]
 Vertical Dimension [m]: 18.6 61.02 [ft]
 Surface-Based (Release Height = 0)
 Elevated (Release Height > 0)

Add Delete

Node #	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation	Rel. Adds a Node Height [m]	release Height [ft]
1	399863.65	4548232.42	54.91	0	0
2	399212.51	4548411.63	70.7	0	0
3	398698.77	4548572.92	75.9	0	0
4	398137.23	4548555.00	83.34	0	0
5	397659.33	4548447.47	69.76	0	0

72 Volume Sources Generated [Generate]

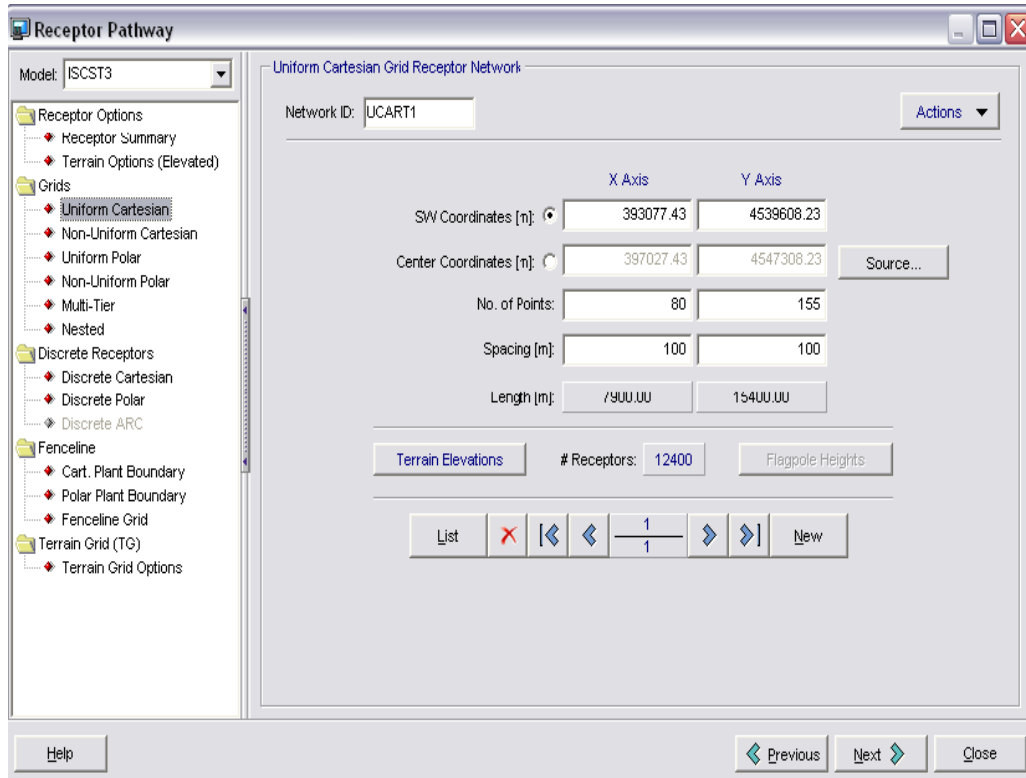
Help [Navigation] 26/28 [New] [Close]

Şekil 4.5 Çizgi kaynak bilgilerinin girildiği pencere

Reseptör bölümü, farklı alıcı noktaların tanımının yapıldığı kısımdır. Alıcı noktalar kartezyen grid şeklinde tanımlanabildiği gibi birbirinden bağımsız noktalar şeklinde de tanımlanabilir. ISCST3 modeli için Şekil 4.6'da 100mx100m'lik gridler şeklinde bir “uniform kartezyen grid” sisteminin tanımlandığı pencere verilmiştir.

Meteorolojik bilgilerin tanımlandığı bölümde, modelde kullanılacak meteoroloji veri dosyası ve verilerin temin edildiği meteoroloji istasyonu bilgileri belirtilir. ISCST3 ve ISC-PRIME modelleri aynı tür yüzey meteorolojik veri dosyası ile çalışır. AERMOD modeli ise yüzey ve yüzey üstü olmak üzere iki farklı meteoroloji dosyasına ihtiyaç duyar. ISCST3 modeli için Şekil 4.7'de meteorolojik bilgilerin tanımlandığı pencere verilmiştir.

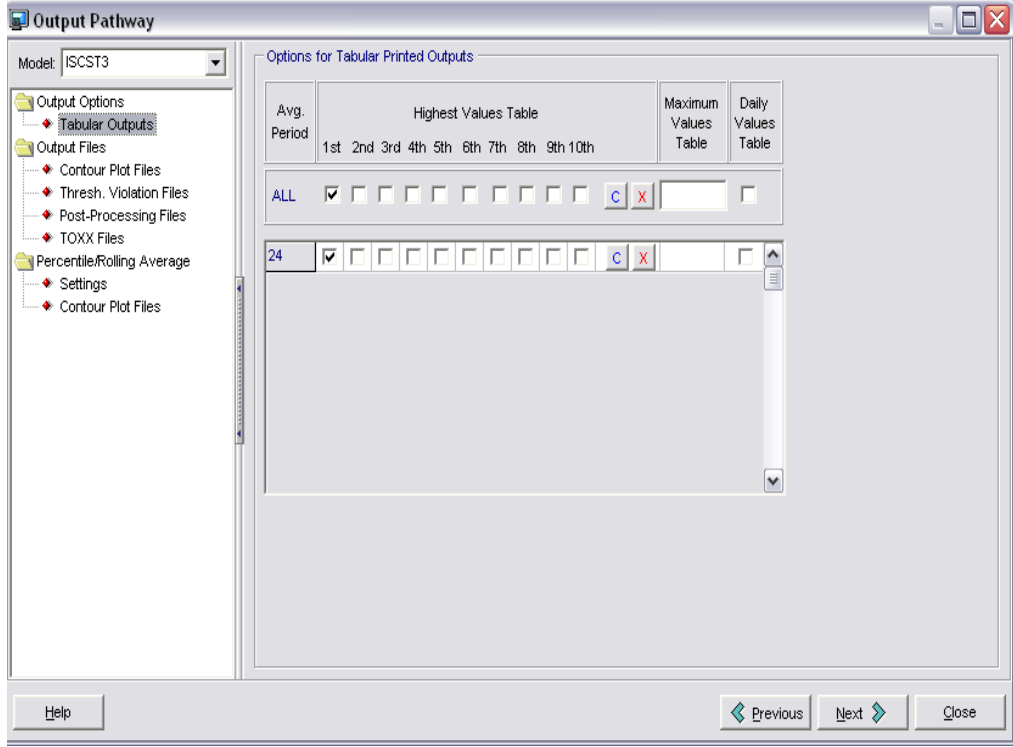
ISCST3 modeli için arazi özelliklerinin tanımının yapıldığı pencere Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu bölümde modelde çalışılan koordinat sistemi, arazi grid veri dosyası gibi bilgiler girilir. Model çıktı dosyalarının tanımlandığı pencere ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Modelde farklı çıktı dosyaları tanımlanabilir.



Şekil 4.6 Uniform kartezyen grid penceresi

Şekil 4.7 Meteorolojik bilgilerin tanımlandığı pencere

Şekil 4.8 Topoğrafik bilgilerin tanımlandığı pencere



Şekil 4.9 Çıkış dosyalarının tanımlandığı pencere

4.3.2 Modelin Formülasyonu

4.3.2.1 Noktasal Kaynaklar için Gaussian Formülü

ISCST3 modeli, noktasal kaynaklar için kararlı hal Gaussian huzme dağılım eşitliğini kullanır.

Kararlı hal Gaussian huzme için saatlik konsantrasyonlar (4.1) formülündeki gibi verilir:

$$C(x, y) = \frac{Q}{\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \left[\exp(-H^2 / 2\sigma_z^2) \right] \left[\exp(-y^2 / 2\sigma_y^2) \right] \quad (4.1)$$

Burada,

$C(x, y)$ = Yer seviyesinde (x,y) noktasındaki konsantrasyon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

x = Rüzgar yönündeki uzaklık, m

y = Huzme doğrultusuna dik olan uzaklık, m

Q = Kirletici emisyon oranı, $\mu\text{g}/\text{sn}$

H = Etkin baca yüksekliği, m

σ_y, σ_z = Konsantrasyon dağılımının yanal ve düşey standart sapması, m

u_s = Etkin baca yüksekliğindeki rüzgar hızı, m/sn

4.3.2.2 Rüzgar Hızı Profili

Rüzgar profil exponenti, p, atmosferin kararlılığı ve rüzgar hızının bir fonksiyonudur. Modelde kabul edilen p değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir (Lakes Environmental, 2009).

Çizelge 4.2 Rüzgar profil exponentleri

Pasquill Stabilite Sınıfı	Şehir dışı	Şehir içi
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

4.3.2.3 Stabilite Parametresi

Modelde kullanılan dikey potansiyel sıcaklık gradyanı değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir (Lakes Environmental, 2009).

Çizelge 4.3 Dikey potansiyel sıcaklık gradyanları

Pasquill Stabilite Sınıfı	Şehir dışı (K/m)	Şehir içi (K/m)
A	0.000	0.000
B	0.000	0.000
C	0.000	0.000
D	0.000	0.000
E	0.020	0.020
F	0.035	0.035

4.3.2.4 Hacimsel (Çizgi) Kaynak Modeli

ISC modeli hacim kaynak konsantrasyon hesabı için nokta kaynak (4.1) eşitliğini kullanır. Yer seviyesinde ve yer seviyesinden yüksekte olmak üzere iki tip hacim kaynak mevcuttur. Yer seviyesindeki hacim kaynaklar için etkin emisyon yüksekliği, he, sıfır alınır. Eğer hacim kaynak yer seviyesinde değilse etkin emisyon yüksekliği hesabı yapılır, başlangıç yanal ve

düşey parametreler hesaplanır. Yanal (x_y) ve düşey (x_z) uzaklıklar rüzgar yönündeki x mesafesine eklenir (Onat, 2004). Çizelge 4.4’de bir ve birden fazla hacim kaynak hesabında σ_y ve σ_z tahminleri için gerekli hesaplama yöntemleri verilmektedir (Lakes Environmental, 2009).

Çizelge 4.4 Hacim Kaynaklarda Başlangıç Boyutları Hesap Yöntemi

Başlangıç Yanal Boyut, σ_{y0}	
Tekli Hacim Kaynak	$\sigma_{y0} = \text{Hacim kaynak uzunluğu}/4.3$
Hacim kaynak olarak temsil edilen çizgi kaynaklar için	$\sigma_{y0} = \text{Hacim kaynak uzunluğu}/2.15$
Birden fazla Hacim kaynak olarak temsil edilen çizgi kaynaklar için	$\sigma_{y0} = \text{Merkezler arası uzaklık}/2.15$
Başlangıç Düşey Boyut, σ_{z0}	
Yer seviyesindeki kaynak ($h_e \sim 0$)	$\sigma_{z0} = \text{Hacim kaynak genişliği} /2.15$
Yer seviyesinde olmayan ($h_e > 0$) veya bina yanındaki kaynak	$\sigma_{z0} = \text{Bina yüksekliği}/2.15$
Yer seviyesinde ($h_e > 0$) veya bina yanında olmayan kaynak	$\sigma_{z0} = \text{Hacim kaynak genişliği} /4.3$

4.3.2.5 Alansal Kaynak Modeli

Kısa-vadeli alan kaynak modeli (4.1) eşitliğinde verilen Gaussian nokta kaynak huzme formülünün konsantrasyon hesabı yapılacak alanın nümerik integrasyonuna dayanır.

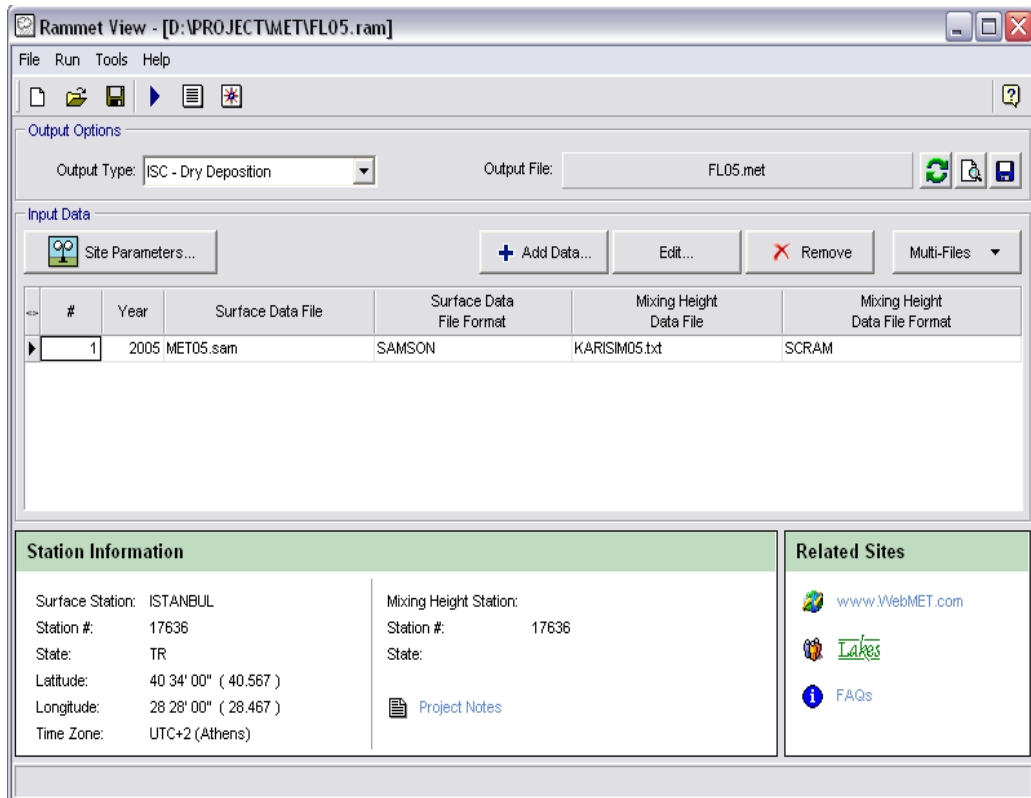
4.3.3 RAMMET View - PCRAMMET Ön İşlemci Programı

RAMMET View programı ISC, CALRoads ve Calpuff gibi dispersiyon modelleri için meteoroloji dosyası hazırlarken gerekli ön işlemcilerin tümünü içeren bir programdır. PCRAMMET ise Rammet View programı içinde yer alan ve kısa vadeli hava kalitesi dispersiyon modelleri (ISCST3, ISC-PRIME, CRSTER, RAM, MPTER, BLP, SHORTZ ve COMPLEXI) için uygun formatta girdi hazırlamak için U.S. EPA tarafından geliştirilen bir ön işlemci programıdır.

PCRAMMET, tek istasyondan alınan yer meteorolojik verilerini kullanarak meteorolojik dosyalar hazırlar. Bu dosyalardan biri yer istasyonunda ölçülen saatlik sıcaklık, rüzgâr yönü ve hızı, bulut tavan yüksekliği ve bulut kapallılığını, diğer dosya ise bir yıllık günde iki defa ölçülen (00 GMT ve 12 GMT) karışım yüksekliğini içerir. PCRAMMET, yüzey meteorolojik

verilerini modelde kullanılacak uygun formata çevirir ve karışım yüksekliklerini yüzey meteorolojik veriler yardımıyla hesaplar. Ayrıca istendiğinde kuru ve yaş çökme prosesleri için gerekli parametreleri hesaplar (Onat, 2004).

RAMMET View programında Şekil 4.10'da modelin hesaplama seçeneklerinin ve çıkış dosyası özelliklerinin tanımlandığı veri girişi penceresi verilmiştir. Şekil 4.11'de ise RAMMET View programı içinde yer alan PCRAMMET ön işlemcisi kullanılarak ASCII formatında hesaplanan meteoroloji çıkış dosyası görülmektedir.



Şekil 4.10 Rammet view programında veri giriş penceresi

Met View [Pre-Processed ISC Met Data File]

File Header Data

File Name: FLO5.met

Surface Station ID: 17636 Mixing Height Station ID: 17636

Surface Data Year: 2005 Mixing Height Data Year: 2005

Filter

Year: All Month: All Day: All Show All

	Year	Month	Day	Hour	Random Flow Vector	Wind Speed (m/s)	Ambient Temperature (K)	Stability Category	Rural Mixing Height (m)	Urban Mixing Height (m)	Friction Velocity at the Application Site (m/s)	Monin-Obukhov Length at the Application Site (m)	Roughness Length at the Application Site (m)	Global Horizontal Radiation (W/m ²)
Min.	2005	Oca	1	1	1.0000	0.0000	269.3	1	1.1	182.0	0.0000	-999.0	1.0000	0
Max.	2005	Ara	31	24	360.0000	8.2310	307.0	7	4000.0	4000.0	1.4404	3975.5	1.0000	113
1	2005	Oca	1	1	249.0000	3.0866	282.0	5	1406.0	1406.0	0.5062	344.0	1.0000	1
2	2005	Oca	1	2	246.0000	4.1155	282.0	4	1406.0	1406.0	0.6930	644.8	1.0000	1
3	2005	Oca	1	3	229.0000	3.0866	281.5	5	1406.0	1406.0	0.5061	343.2	1.0000	1
4	2005	Oca	1	4	251.0000	3.0866	281.5	5	1406.0	1406.0	0.5061	343.2	1.0000	1
5	2005	Oca	1	5	228.0000	3.0866	281.5	5	1406.0	1406.0	0.5061	343.2	1.0000	1
6	2005	Oca	1	6	227.0000	3.0866	281.5	5	1406.0	1406.0	0.5061	343.2	1.0000	1
7	2005	Oca	1	7	230.0000	2.0578	281.5	5	1406.0	1406.0	0.3080	127.1	1.0000	1
8	2005	Oca	1	8	206.0000	1.0289	282.0	4	91.0	1406.0	0.2363	-25.4	1.0000	6
9	2005	Oca	1	9	200.0000	1.0289	282.0	3	310.1	1406.0	0.2460	-20.1	1.0000	11
10	2005	Oca	1	10	249.0000	2.0578	282.6	4	529.3	1406.0	0.4112	-74.7	1.0000	7
11	2005	Oca	1	11	252.0000	1.0289	282.6	3	748.5	1406.0	0.2556	-16.1	1.0000	5
12	2005	Oca	1	12	244.0000	0.0000	282.0	3	967.7	1406.0	0.0000	0.0	1.0000	4
13	2005	Oca	1	13	138.0000	1.0289	280.9	3	1186.8	1406.0	0.2541	-16.6	1.0000	5

Şekil 4.11 Pcrammnet çıkış dosyası

4.3.3.1 PCRAMMET İçin Gerekli Veriler

PCRAMMET için gerekli veriler kullanılan dispersiyon modelinin çeşidine ve çalıştırma seçeneğindeki farklılıklara göre değişkenlik gösterir. Fakat hangi model olursa olsun gerekli olan minimum bilgi;

- Günlük iki karışım yüksekliği
- Saatlik meteorolojik yüzey ölçüm değerleri; Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, bulut kapallığı ve bulut tavan yüksekliğidir.

Yukarıda belirtilen verilere ek olarak kuru çökme tahminleri için istasyon basınç değeri, yağ çökme tahminleri için ise çökme tipi ve çökme miktarı değerleri gereklidir (Onat, 2004). Ayrıca aşağıda belirtilen parametrelere de ihtiyaç duyulur.

Minimum Monin-Obukhov uzunluğu

Monin-Obukhov uzunluğu, atmosferik kararlılığın bir göstergesidir ve kuru birikim prosesinde etkili olan parametrelerden biridir. Şehir içinde kullanılacak Minimum Monin-Obukhov değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Minimum monin-obukhov uzunluğu

Alan Tipi	Değer
Şehir İçi Tarım Alanı	2 m
Yerleşim Alanı	25 m
Yerleşim / Endüstriyel yoğun alan	50 m
Ticari alan (19-40 katlı binalar)	100 m
Ticari alan (>40 katlı binalar)	150 m

Yüzey Pürüzlülük uzunluğu

Yüzey Pürüzlülük uzunluğu rüzgâr akımına karşı koyan engellerin göstergesidir. Engellerin fiziksel yüksekliğine tam karşı gelmese de orantılı olarak değer alır. Mevsimsel değişimleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Yüzey pürüzlülük uzunluğu

Alan Tipi	Bahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Ormanlık	1.30	1.30	1.30	1.30
Bataklık	0.20	0.20	0.20	0.05
Tarım arazisi	0.03	0.20	0.05	0.01
Çayır	0.05	0.10	0.01	0.001
Şehir	1.00	1.00	1.00	1.00
Çalılık	0.30	0.30	0.30	0.15

Anemometre Yüksekliği

Rüzgâr ölçümünün yapıldığı yüksekliktir. Anemometre yüksekliği bu çalışmada 10 metre olarak alınmıştır.

Öğle Zamanı Albedo

Tam öğle saatinde yerden yansıyan güneş ışımalarının, gelen ışıma oranıdır. Güneş yüksekliğinin değişimine göre PCRAMMET tarafından otomatik olarak hesaplanır. Çizelge 4.7'de mevsimlere ve alan tipine göre albedo değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 Albedo değerleri

Alan Tipi	Bahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.12	0.10	0.14	0.20
Ormanlık	0.12	0.12	0.12	0.35
Bataklık	0.12	0.14	0.16	0.30
Tarım arazisi	0.14	0.20	0.18	0.60
Çayır	0.18	0.18	0.20	0.60
Şehir	0.14	0.16	0.18	0.35
Çalılık	0.30	0.28	0.28	0.45

Bowen Oranı

Yüzeyde tutulan nemin bir ölçüsüdür. Varlığı enerji balansını değiştirir, dolayısı ile ısı ve Monin - Obukhov uzunluğunu etkiler. Arazi kullanımı, mevsim ve nemin fonksiyonu olarak tablolandır. Çizelge 4.8’de modelde kullanılan Bowen oranı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8 Bowen oranı değerleri

Alan Tipi	Bahar			Yaz			Sonbahar			Kış		
	(1)*	(2)*	(3)*	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Su Yüzevi**	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2.0	1.5	0.3
Ormanlık	1.5	0.7	0.3	0.6	0.3	0.2	1.5	0.8	0.3	2.0	1.5	0.3
Bataklık	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	2.0	1.5	0.5
Tarım arazisi	1.0	0.3	0.2	1.5	0.5	0.3	2.0	0.7	0.4	2.0	1.5	0.5
Çayır	1.0	0.4	0.3	2.0	0.8	0.4	2.0	1.0	0.5	2.0	1.5	0.5
Şehir	2.0	1.0	0.5	4.0	2.0	1.0	4.0	2.0	1.0	2.0	1.5	0.5
Çalılık	5.0	3.0	1.0	6.0	4.0	5.0	10.0	6.0	2.0	10.0	6.0	2.0

*(1) Kuru hava (2) Ortalama hava (3) Yağışlı hava

**Tatlı su ve deniz

Antropojenik Isı Akısı (W/m^2)

Şehir yerleşim merkezi dışında sıfır kabul edilir.

Yüzeyde Absorbe Edilen Net Işıma Kesri

Kullanılan değerler kırsal 0.15, şehir dışı 0.22, şehir içi 0.22 olarak tavsiye edilir.

4.3.3.2 PCRAMMET’te Kullanılan Formatlar

PCRAMMET’de saatlik yüzey verileri SCRAM (MET144), CD-144, SAMSON ve HUSWO formatlarında kullanılabilir. Bu çalışmada saatlik yüzey verileri SAMSON formatında hazırlanmıştır. SAMSON formatının dosya özellikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 SAMSON format dosyası

Pozisyon	Açıklama
1	Yatay radyasyon
2	Doğrusal normal radyasyon
3	Global yatay radyasyon
4	Doğrusal normal radyasyon
5	Dağınık(diffuse) yatay radyasyon
6	Toplam bulut kapalılığı
7	Opak bulut kapalılığı
8	Sıcaklık (°C)
10	Nem(%)
11	İstasyon basıncı (mbar)
12	Rüzgâr yönü (derece)
13	Rüzgâr hızı (m/sn)
14	Tavan yüksekliği

PCRAMMET'de karışım yükseklikleri ise hesaplanarak SCRAM formatında yazılır. SCRAM formatındaki karışım yükseklikleri dosyası ve SAMSON formatındaki saatlik yüzey verileri dosyası RAMMET View modelinde çalıştırılır ve ISCST3 modelinde kullanılacak ASCII formatındaki çıkış dosyasına dönüştürülür. ASCII format dosyasının özellikleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 ASCII format dosyası

Kolon No	Açıklama
1-2	Yıl
3-4	Ay
5-6	Gün
7-8	Saat
9-17	Rüzgâr Vektörü (derece)
18-26	Rüzgâr Hızı (m/sn)
27-32	Sıcaklık (K)
33-34	Kararlılık Sınıfı (A=1, B=2,F=6)
35-48	Karışma Yükseklikleri (m)
49-57	Sürtünme Hızı (m/sn)
58-67	Monin-Obukhov Uzunluğu (m)
68-75	Yüzey Pürüzlülük Uzunluğu (m)

5. BULGULAR

5.1 Emisyon Envanteri Sonuçları

Bu tez çalışmasında, Küçükçekmece ilçesi ve ağırlıklı olarak yeni ilçe sınırları uygulama alanı olarak seçilmiş ve NO_x, SO₂ ve PM₁₀ kirleticileri üzerinde çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yalnızca nokta ve çizgi kaynaklar modele dahil edilmiş olup, nokta kaynaklarla ilgili envanter bilgilerine İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü'nden, çizgi kaynaklar için gerekli araç sayım bilgilerine ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü'nden ulaşılmıştır. Evsel ısınmanın neden olduğu kirlilik, çalışma alanı seçilen bölgenin yaklaşık % 90'ının doğalgaz kullandığı (İGDAŞ, 2009) dikkate alınarak, modele dâhil edilmemiştir. Daha sonra emisyon faktörleri kullanılarak NO_x, SO₂ ve PM₁₀ emisyon miktarları hesaplanmıştır.

5.1.1 Nokta Kaynaklar İçin Emisyon Envanter Sonuçları

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü'nden temin edilen envantere çalışma bölgesinde 90 adet sanayi tesisi belirlenmiştir. Bu tesislerden yalnızca 76 tanesi kaynak olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bu 76 tesisten 52 tanesi İkitelli Organize Sanayi Bölgesi İSDÖK Sanayi Sitesi içinde yer almaktadır. Sanayi sitesi içinde işyerlerinin birbirine yakın konumu ve emisyonların bir bölgenin tamamından yayılacağı dikkate alınarak bu 52 tesis tek bir alan kaynak, geriye kalan 24 adet tesis ise nokta kaynak olarak gösterilmiştir. Her bir tesis için emisyon faktörleri kullanılarak emisyonlar hesaplanmıştır. Yakıt emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Yakıt emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri (Goncaloğlu, 2001)

Yakıt Türü	Kirletici Emisyonlar		
	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Doğal gaz	2240 kg/10 ⁶ m ³	9,6 kg/10 ⁶ m ³	35 kg/10 ⁶ m ³
Fuel-oil 4	6,6 kg/m ³	28,5 kg/m ³	0,88 kg/m ³
Motorin	0,6 kg /ton	14,2 kg/ton	0,29 kg/ton
Kok kömürü	3,6 kg/ton	10 kg/ton	9,3 kg/ton
Taşkömürü	4,7 kg/ton	15 kg/ton	30 kg/ton

Nokta kaynak emisyon hesabı aşağıda verilen formüle göre yapılmıştır:

Emisyon Miktarı = Emisyon Faktörü * (Yakıt miktarı/Çalışma süresi/Kazan yanma süresi)

Burada;

Emisyon faktörü : Yakıt cinsine bağlı olarak Çizelge 4.1'den alınacaktır.

Yakıt miktarı : Yakıt cinsine bağlı olarak ton/yıl veya m³ / yıl cinsindedir (bazı tesislerin hesabında emisyon faktörü birimine uygun hale getirmek için yakıt miktarı özgül ağırlığa bölünür).

Çalışma süresi: Tesisin bir yıl içerisinde faaliyette bulunduğu gün sayısıdır.

Kazan yanma süresi: Kazanın bir gün içerisinde yakıt yaktığı süre olup saat cinsindedir.

ÖRNEK HESAPLAMA: Yıllık olarak 100.8 ton Motorin kullanan bir sanayi tesisi yılda 240 gün çalışmakta ve günlük olarak 8 saat kazan yakmaktadır. Buna göre vereceği emisyonlar:

$$NO_x = (0,6 \text{ kg/ton}) \cdot (100,8 \text{ ton/yıl}) / (240 \text{ gün/yıl}) / (8 \text{ saat/gün}) = \underline{0,0315 \text{ kg/saat}} = 0,00876 \text{ gr/sn}$$

$$SO_2 = (14,2 \text{ kg/ton}) \cdot (100,8 \text{ ton/yıl}) / (240 \text{ gün/yıl}) / (8 \text{ saat/gün}) = \underline{0,7455 \text{ kg/saat}} = 0,2073 \text{ gr/sn}$$

$$PM_{10} = (0,29 \text{ kg/ton}) \cdot (100,8 \text{ ton/yıl}) / (240 \text{ gün/yıl}) / (8 \text{ saat/gün}) = \underline{0,0152 \text{ kg/saat}} = 0,00423 \text{ gr/sn}$$

Emisyon hesaplarında fuel oil'in özgül ağırlığı 930 kg/m³ alınmıştır. Buna göre her bir nokta kaynak için hesaplanan emisyon miktarları ve sanayilerin özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çalışma bölgesindeki sanayilerin özellikleri ve emisyon miktarları

Kaynak Kodu	Üretim Tipi	Yakıt Tipi	NO _x Emisyon Miktarı (gr/saniye)	SO ₂ Emisyon Miktarı (gr/saniye)	PM ₁₀ Emisyon Miktarı (gr/saniye)
STCK1	Döküm	Motorin	0.00876	0.2073	0.00423
STCK2	Kağıt	Doğalgaz	0.21146	0.0009	0.00330
STCK3	Tekstil	Doğalgaz	0.67577	0.0028	0.01055
STCK4	Ahşap	Motorin	0.01346	0.318	0.00651
		Doğalgaz	0.2919	0.0013	0.00456
STCK5	Çimento	Motorin	0.30455	7.208	0.14719
STCK6	Plastik	Motorin	0.00863	0.2042	0.00417
		Doğalgaz	0.34042	0.0012	0.00443
STCK7	Kimya	Doğalgaz	0.00809	0.00003	0.00013
STCK8	Porselen	Motorin	0.00408	0.0966	0.00197
		Doğalgaz	0.15916	0.0007	0.00249
STCK9	Metal	Motorin	0.00904	0.2138	0.00437
		Doğalgaz	0.2919	0.00125	0.00456
STCK10	Makine	Doğalgaz	0.03405	0.00015	0.00053
STCK21	Tekstil	Motorin	0.04344	1.02802	0.02099
		Doğalgaz	0.05865	0.00025	0.00092
STCK22	Tekstil	Motorin	0.29538	6.9905	0.14276
		Doğalgaz	0.29731	0.00127	0.00465
STCK25	Maden	Motorin	0.23129	5.4740	0.11179
STCK26	Döküm	Fuel Oil	0.09865	0.00043	0.01315
STCK27	Maden	Motorin	0.23476	5.5588	0.11347
STCK81	Döküm	Motorin	0.00035	0.00822	0.00017

STCK82	Döküm	Taş Kömürü	0.07372	0.23528	0.47057
STCK84	Tekstil	Motorin	0.00022	0.00514	0.00011
		Fuel Oil-4	0.00343	0.01479	0.00046
STCK85	Boya	Fuel Oil-4	0.89397	3.8603	0.11919
		Doğalgaz	0.42124	0.00181	0.00658
STCK86	Tekstil	Motorin	0.00471	0.11136	0.00227
		Doğalgaz	0.13514	0.00058	0.00211
STCK87	Boya	Motorin	0.00637	0.15078	0.00308
		Doğalgaz	0.00225	0.00001	0.00004
STCK89	Tekstil	Kok kömürü	0.1251	0.3475	0.32318
STCK91	Kâğıt	Doğalgaz	1.41842	0.00608	0.02216
		Taş Kömürü	2.72208	8.6875	17.375
STCK92	Tekstil	Motorin	0.00308	0.07310	0.00149
		Doğalgaz	0.25687	0.00110	0.00401
PAREA 1	Döküm	Fuel Oil-4	0.02654*	0.11463*	0.00354*
		Doğalgaz	1.3511*	0.00559*	0.0228*

*İSDÖK Sanayi Sitesindeki tesisler alan kaynak olarak gösterildiğinden, alan kaynak için emisyon değeri modele girilirken toplam emisyon değeri alana bölünür. Sonuç olarak alan kaynağın emisyon birimi $g/(sn*m^2)$ 'dir.

Çizelge 5.2'den görüleceği üzere değerlendirmeye alınan sanayi tesislerinin üretim alanları çeşitlilik göstermektedir.

5.1.2 Çizgi Kaynaklar İçin Emisyon Envanter Sonuçları

Çalışma bölgesinde trafik yükünden kaynaklanan emisyon miktarını hesaplamak için trafiğin yoğun olduğu yollar seçilmiştir. Değerlendirmeye alınan çizgi kaynaklar TEM Otoyolu, E-5

Karayolu ve Basın Ekspres yoludur. Bu yollardan geçen taşıt sayıları İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İ.B.B.) Trafik Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İ.B.B.'ye ait trafik sensörlerinden alınan sayım bilgileriyle her yoldan geçen günlük taşıt sayıları toplamı hesaplanmıştır. Taşıt türlerine göre bu yollardan geçen araç sayıları ise gişelerden geçen araç türü yüzdeleri kullanılarak hesaplanmıştır. E-5 Karayolu için araç türleri Avcılar gişelerden elde edilen sınıflamaya göre; TEM Otoyolu ve Basın Ekspres yolu için araç türleri ise Mahmutbey gişelerden elde edilen sınıflamaya göre hesaplanmıştır. Çizgi kaynakların uzunluk, genişlikleri, çizgi kaynaktan geçen taşıt sayıları ve bunların vereceği emisyon miktarları Çizelge 5.4'de verilmiştir. Gişelerden geçen araçların türlerine göre dağılımı Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Emisyon hesabında, otomobillerin %90'ı benzinli, %10'u dizel; hafif araçların (light duty vehicles) %50'si benzinli, %50'si dizel; ağır araçların (heavy duty vehicles) %100'ü dizel olarak dikkate alınmıştır (TUİK, 2007) Taşıt yaşı ve yakıt türüne göre emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizgi kaynak emisyon hesabı aşağıda verilen formüle göre yapılmıştır:

Emisyon miktarı = Taşıt sayısı x Emisyon Faktörü x Çizgi kaynağın uzunluğu

Burada;

Taşıt sayısı: Çizgi kaynaktan bir günde geçen toplam araç sayısıdır.

Emisyon faktörü: Yakıt cinsi, taşıt türü ve taşıt yaşına bağlı olarak Çizelge 5.3'den alınacaktır. Taşıt yaşına göre araç sayıları TUİK, Motorlu Kara Taşıtları İstatistiğine göre belirlenmiştir.

Çizgi kaynağın uzunluğu: Çizelge 5.4'den alınacaktır.

ÖRNEK HESAPLAMA; Günde 91611 otomobilin geçtiği ve uzunluğu 5.7 km olan TEM Otoyolunda otomobil trafiğinden kaynaklanan emisyonlar aşağıdaki şekilde hesaplanır. TUİK (2007)'ye göre İstanbul'da trafikte bulunan otomobillerin %23'ü Pre Euro 1, %77'si Euro 1; hafif araçların %17'si Pre Euro 1, %83'ü Euro 1; ağır araçların %38'i Pre Euro 1, %62'si Euro 1 olarak kayıtlıdır.

$$\text{NO}_x = [(82450 \times 0.23 \times 2.5) + (82450 \times 0.77 \times 0.26) + (91611 \times 0.23 \times 0.44) + (91611 \times 0.77 \times 0.56)] \times 5.7 \text{ km} \\ = 392117.57 \text{ gr/gün} = 4.538 \text{ gr/sn}$$

$$\text{SO}_2 = [82450 \times 0.23 \times 0.10) + (82450 \times 0.77 \times 0.10) + (91611 \times 0.23 \times 0.09) + (91611 \times 0.77 \times 0.09)] \times 5.7 \text{ km} \\ = 51696.09 \text{ gr/gün} = 0.598 \text{ gr/sn}$$

$$PM_{10}=[82450 \times 0.23 \times 0.06)+(82450 \times 0.77 \times 0.02)+(9161 \times 0.23 \times 0.174)+(9161 \times 0.77 \times 0.031)] \times 5.7$$

$$km = 17059.167 \text{ gr/gün} = 0.197 \text{ gr/sn}$$

5.1.2.1 Çizgi Kaynaklar İçin NO_x Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması

Çizgi kaynaklar için emisyon faktörleri EMEP/CORINAIR Group 7 Road Transport [5] raporundaki formüllere göre hesaplanmıştır.

Formüller, motor kapasitelerinin (engine capacity) $1.4 < CC < 2.0$ aralığında olduğu kabul edilerek seçilmiştir.

Benzinli otomobiller (passenger cars) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 otomobiller için, } EF = 1.484 + 0.013V + 0.000074V^2 \quad (5.1)$$

$$\text{Euro 1 otomobiller için, } EF = (a + c \times V + e \times V^2) / (1 + b \times V + d \times V^2) \quad (5.2)$$

Burada,

V = Hız, (ortalama 60 km/h olduğu kabul edilmiştir)

$$a = 5.25E-01$$

$$b = \text{yok}$$

$$c = -1.00E-02$$

$$d = \text{yok}$$

$$e = 9,36E-05$$

Dizel otomobiller (passenger cars) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 otomobiller için, } EF = 0.918 - 0.014V + 0.000101 V^2 \quad (5.3)$$

$$\text{Euro 1 otomobiller için, } EF = (a + c \times V + e \times V^2) / (1 + b \times V + d \times V^2) + f/V \quad (5.4)$$

Burada,

V = Hız, (ortalama 60 km/h olduğu kabul edilmiştir)

$$a = 3.10E+00$$

$$b = 1.41E-01$$

$$c = -6.18E-03$$

$$d = -5.03E-04$$

$$e = 4.22E-04$$

$$f = \text{yok}$$

Benzinli hafif araçlar (light duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 hafif araçlar için, } EF = 0.0179V + 1.9547 \quad (5.5)$$

$$\text{Euro 1 hafif araçlar için, } EF = 7.55E-05V^2 - 0.009V + 0.666 \quad (5.6)$$

Burada,

V = Hız, (ortalama 60 km/h olduğu kabul edilmiştir)

Dizel hafif araçlar (light duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 hafif araçlar için, } EF = 81.6E-05V^2 - 0.1189V + 5.1234 \quad (5.7)$$

$$\text{Euro 1 hafif araçlar için, } EF = 24.1E-05V^2 - 0.03181V + 2.0247 \quad (5.8)$$

Burada,

V = Hız, (ortalama 60 km/h olduğu kabul edilmiştir)

Benzinli ağır araçlar (heavy duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

Ağır araçların tümünün dizel olduğu kabul edilmiştir.

Dizel ağır araçlar (heavy duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

Dizel ağır araçların, dizel hafif araçlar gibi davrandığı düşünülmüş olup, bu araçlar için emisyon faktörlerinin dizel hafif araçlarla aynı olduğu kabul edilmiştir.

5.1.2.2 Çizgi Kaynaklar İçin SO₂ Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması

Kükürt dioksit için emisyon faktörleri hesaplanırken (5.9) formülü kullanılmıştır. FC (fuel consumption) aşağıda verilen formüllere göre hesaplanarak (5.9) formülünde yerine konmuş ve emisyon faktörleri hesaplanmıştır.

$$EF = 2 * k * FC \quad (5.9)$$

Burada,

k: kg/kg cinsinden yakıt içindeki kükürt miktarıdır.

k= 0.001 olarak alınmıştır (Tüpraş, 2008)

Benzinli otomobiller (passenger cars) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 otomobiller için; } FC= 102.5-1.364 V + 0.0086V^2 \quad (5.10)$$

$$\text{Euro 1 otomobiller için; } FC= (a + c \times V + e \times V^2)/(1 + b \times V + d \times V^2) \quad (5.11)$$

Burada,

$$a=1.99E+02$$

$$b=8.92E-02$$

$$c=3.46E-01$$

$$d=-5.38E-04$$

$$e=\text{yok}$$

Dizel otomobiller (passenger cars) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 otomobiller için; } FC= 118.489 - 2.084V + 0.014V^2 \quad (5.12)$$

$$\text{Euro 1 otomobiller için; } FC= (a + c \times V + e \times V^2)/(1 + b \times V + d \times V^2) + f/V \quad (5.13)$$

Burada,

$$a=1.45E+02$$

$$b=6.73E-02$$

$$c=-1.88E-01$$

$$d=-3.17E-04$$

$$e=9.47E-03$$

$$f=\text{yok}$$

Benzinli hafif araçlar (light duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 hafif araçlar için, } FC= 0.0167V^2 - 2.649V + 161.51 \quad (5.14)$$

$$\text{Euro 1 hafif araçlar için, } FC = 0.0195V^2 - 3.09V + 188.85 \quad (5.15)$$

Burada,

V = Hız, (ortalama 60km/h olduğu kabul edilmiştir)

Dizel hafif araçlar (light duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

$$\text{Pre Euro 1 hafif araçlar için, } FC = 0.02113V^2 - 2.65V + 148.91 \quad (5.16)$$

$$\text{Euro 1 hafif araçlar için, } FC = 0.0198V^2 - 2.506V + 137.42 \quad (5.17)$$

Benzinli ağır araçlar (heavy duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

Ağır araçların tümünün dizel olduğu kabul edilmiştir.

Dizel ağır araçlar (heavy duty vehicles) için emisyon hesabında kullanılan formüller:

Dizel ağır araçların, dizel hafif araçlar gibi davrandığı düşünülmüş olup, bu araçlar için emisyon faktörlerinin dizel hafif araçlarla aynı olduğu kabul edilmiştir.

5.1.2.3 Çizgi Kaynaklar İçin PM₁₀ Emisyon Faktörlerinin Hesaplanması

EMEP/CORINAIR raporunda her araç türü için PM₁₀ emisyon faktörü hesabı bulunmadığından Onat (2004) tarafından hesaplanan PM₁₀ emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.3 Taşıt emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri [5]

TAŞIT TÜRÜ	YAKIT TÜRÜ	TAŞIT YAŞI	SO ₂ (gr/km)	NO _x (gr/km)	PM ₁₀ (gr/km)
OTOMOBİL (passenger cars)	Benzinli	PRE EURO 1	0.10	2.5	0.06
		EURO 1	0.10	0.26	0.02
	Dizel	PRE EURO 1	0.09	0.44	0.174
		EURO 1	0.09	0.56	0.031
MİNÜBÜS+KAMYONET (light duty vehicles)	Benzinli	PRE EURO 1	0.13	3.03	0.08
		EURO 1	0.15	0.40	0.08
	Dizel	PRE EURO 1	0.13	0.93	0.361
		EURO 1	0.12	0.98	0.087
OTOBÜS+KAMYON (heavy duty vehicles)	Benzinli	PRE EURO 1	-	-	-
		EURO 1	-	-	-
	Dizel	PRE EURO 1	0.13	0.93	1.56
		EURO 1	0.12	0.98	0.609

Taşıt yaşları belirlenirken 1992 yılı öncesi üretilen araçlar Pre Euro 1, 1992 yılı ve sonrası üretilen araçlar ise Euro 1 sınıfında değerlendirilmiştir.

Dizel ağır araçlar için emisyon faktörlerinin, dizel hafif araçlar için hesaplanan emisyon faktörleriyle aynı olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3'te verilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan toplam emisyonlar her çizgi kaynak için Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4 Çizgi kaynak emisyon envanteri sonuçları

Çizgi Kaynaklar	Yolun uzunluğu, km	Yolun genişliği, m	Taşıt Sayısı (taşıt/saat)			NO _x Emisyon miktarı (gr/sn)	SO ₂ Emisyon miktarı (gr/sn)	PM ₁₀ Emisyon miktarı (gr/sn)
			Otomobil	Hafif Araç	Ağır Araç			
Tem Otoyolu	5.7	40	91611	15269	10570	6.123	0.819	0.981
E-5 Karayolu	5.3	40	108317	16453	12340	6.621	0.883	1.057
Basın Express	4	40	123050	20508	14198	5.773	0.772	0.925

Çizelge 5.5 Gişelerden geçen araçların türlerine göre dağılımı (İ.B.B Trafik Müdürlüğü, 2009)

Araç Türü	Mahmutbey Gişeler	Avcılar Gişeler
Otomobil	%78	%79
Hafif Araçlar	%13	%12
Ağır Araçlar	%9	%9

5.2 Hava Kalitesi Model Sonuçları

5.2.1 Model Girdilerinin Belirlenmesi

Modelde iki tür girdi dosyası mevcuttur. Bunlar meteorolojik dosya ve girdi akışını gösteren dosyadır (Onat, 2004).

Meteoroloji Dosyası

ISCST3 modeli, kararlı hal dispersiyon modelidir ve sadece tek istasyondan alınan yer meteorolojik verileriyle çalışır. Modelde kullanılan meteoroloji dosyası, RAMMET View programı içinde yer alan PCRAMMET ön işlemci programıyla hazırlanmıştır. Bu meteoroloji dosyasını oluşturmak için ilk olarak iki ayrı ön dosya oluşturulmuştur. Bunlardan birincisi yer istasyonunda ölçülen saatlik bulut kapallığı, sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ve bulut tavan yüksekliği değerlerini içermektedir. Bu dosya Florya Meteoroloji İstasyonundan alınan verilerle hazırlanmıştır, ikinci dosya ise, bir yıllık günde iki defa ölçülen (00 GMT ve 12 GMT) karışım yüksekliğini içerir. Karışım yüksekliği verisi Florya Meteoroloji istasyonunda ölçülmediğinden, Rammet View- PCRAMMET programıyla hesaplanmıştır. Karışım yüksekliği dosyasını oluşturmak için ilk olarak saatlik yüzey ölçüm verileri SAMSON formatında hazırlanmış, SAMSON formatındaki saatlik verilerden ise PCRAMMET programı yardımıyla karışım yükseklikleri hesaplanmıştır. Son adımda PCRAMMET programı ile bu iki ön dosya birlikte çalıştırılarak modelde kullanılacak ASCII

formatındaki meteoroloji dosyası hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında yapılan modelleme çalışmasında 2005 yılına ait meteorolojik veriler kullanılmıştır.

Girdi Akış Dosyası

Girdi akışını gösteren dosya model çalışma seçeneklerini, kaynak parametrelerini, alıcı nokta koordinatlarını, meteorolojik dosya özelliklerini ve çıktı dosyaları seçeneklerini içerir (Onat, 2004).

5.2.2 Model Çalışma Seçenekleri

Bu tez kapsamında model iki ayrı durum için çalıştırılmıştır. NO_x , SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonları sanayi kaynakları (nokta, alan) ve trafik kaynakları (çizgi) için ayrı ayrı ve tüm kaynaklar için tahmin edilmiştir. Yani modelde 3 tür kaynak grubu oluşturulmuştur. Modelde konsantrasyon birimi kullanıcı tarafından da belirlenebildiği gibi model tarafından da önerilmektedir. Modelin önerdiği konsantrasyon birimi $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür ve bu birim tercih edilmiştir. Model tercihe göre konsantrasyonların 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 saatlik, aylık ya da yıllık ortalamalarını verir. Konsantrasyonlar için bu seçeneklerden 24 saatlik ve yıllık ortalama süreleri tercih edilmiştir. Model, NO_x ve PM_{10} kirleticileri için sayısal yükseklik modeli de kullanılarak 100mx100m Uniform Kartezyen grid çözünürlüğünde; SO_2 kirleticisi içinse sayısal yükseklik verisinin SO_2 kirletici konsantrasyon dağılımında anormal bir etki yaratması nedeniyle arazinin düz olduğu kabul edilerek multi-tier grid seçeneğiyle çalıştırılmıştır. Kontrol dosyasında anemometre yüksekliği 10m olarak kaydedilmiştir. Model performansının değerlendirilmesinde yağışlı günler dikkate alınmadığından yağ giderim seçeneği tercih edilmemiştir.

5.2.3 ISCST3 Dispersiyon Model Sonuçları

Modelin çalıştırılmasıyla her bir kaynak grubu için elde edilen NO_x , SO_2 ve PM_{10} maksimum konsantrasyonları ve bu konsantrasyonların görüldüğü konum bilgileri sırasıyla Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 Modelde tahmin edilen NO_x konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri

Yıl	Kaynak Grubu	Hesaplanan Zaman Peryodu	Tahmin edilen Maksimum NO _x Konsantrasyonu µg/m ³	Koordinat (GK - Orta Meridyen 30° – ED50)	
				X	Y
2005	Sanayi (Nokta, alan)	24 saatlik ortalama	131.118	399477.44	4545908.00
	Taşıtlar (Çizgi)	24 saatlik ortalama	126,061	399877.44	4544708.00
	Tüm kaynaklar	24 saatlik ortalama	148,081	400077.44	4545308.00
	Tüm kaynaklar	Yıllık ortalama	40,495	399877.44	4544708.00

Çizelge 5.7 Modelde tahmin edilen SO₂ konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri

Yıl	Kaynak Grubu	Hesaplanan Zaman Peryodu	Tahmin edilen Maksimum SO ₂ Konsantrasyonu µg/m ³	Koordinat (GK - Orta Meridyen 30° –ED50)	
				X	Y
2005	Sanayi (Nokta, alan)	24 saatlik ortalama	786.657	397979.47	4552367.00
	Taşıtlar (Çizgi)	24 saatlik ortalama	15.015	399779.47	4544567.00
	Tüm kaynaklar	24 saatlik ortalama	786.657	397979.47	4552367.00
	Tüm kaynaklar	Yıllık ortalama	123.72	397979.47	4552167.00

Çizelge 5.8 Modelde tahmin edilen PM₁₀ konsantrasyonu maksimum değerleri ve konum bilgileri

Yıl	Kaynak Grubu	Hesaplanan Zaman Peryodu	Tahmin edilen Maksimum PM ₁₀ Konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Koordinat (GK -Orta Meridyen 30° -ED50)	
				X	Y
2005	Sanayi (Nokta, alan)	24 saatlik ortalama	550.921	399477.44	4545908.00
	Taşıtlar (Çizgi)	24 saatlik ortalama	20.199	399877.44	4544708.00
	Tüm kaynaklar	24 saatlik ortalama	552.116	399477.44	4545908.00
	Tüm kaynaklar	Yıllık ortalama	103.595	399377.44	4545808.00

5.2.4 Model Sonuçları İle Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Aermod View yazılımıyla ISCST3 dispersiyon modeline göre elde edilen konsantrasyon değerleri İ.B.B'ye ait hava kalitesi ölçüm istasyonlarında kaydedilen yıllık konsantrasyon değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Küçükçekmece'ye nispeten yakın olduğu için, karşılaştırmada, Yenibosna istasyonunda kaydedilen ölçümler dikkate alınmıştır. Ancak NO_x ölçümleri bu istasyonda yapılmadığından bu kirletici için Esenler istasyonunda kaydedilen ölçümler dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.9 NO_x konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Model Sonucu Elde Edilen En Yüksek Yıllık NO _x Konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Esenler İstasyonunda Ölçülen Yıllık Ortalama NO _x Konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
40,495	61

Esenler istasyonunda Ocak ve Şubat ayları için aylık ortalama NO_x konsantrasyonları sırasıyla 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.10 SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Model Sonucu Elde Edilen En Yüksek Yıllık SO ₂ Konsantrasyonu (µg/m ³)	Model Sonucu Elde Edilen En Yüksek Yıllık PM ₁₀ Konsantrasyonu (µg/m ³)	Yenibosna İstasyonunda Ölçülen Yıllık Ortalama SO ₂ Konsantrasyonu (µg/m ³)	Yenibosna İstasyonunda Ölçülen Yıllık Ortalama PM ₁₀ Konsantrasyonu (µg/m ³)
123,72	103,595	20	46

Yenibosna istasyonunda Ocak ve Şubat ayları için aylık SO₂ konsantrasyonu ortalaması sırasıyla 31 µg/m³ ve 38 µg/m³ olarak ölçülmüştür.

Yenibosna istasyonunda Ocak ve Şubat ayları için aylık PM₁₀ konsantrasyonu ortalaması sırasıyla 59 µg/m³ ve 50 µg/m³ olarak ölçülmüştür.

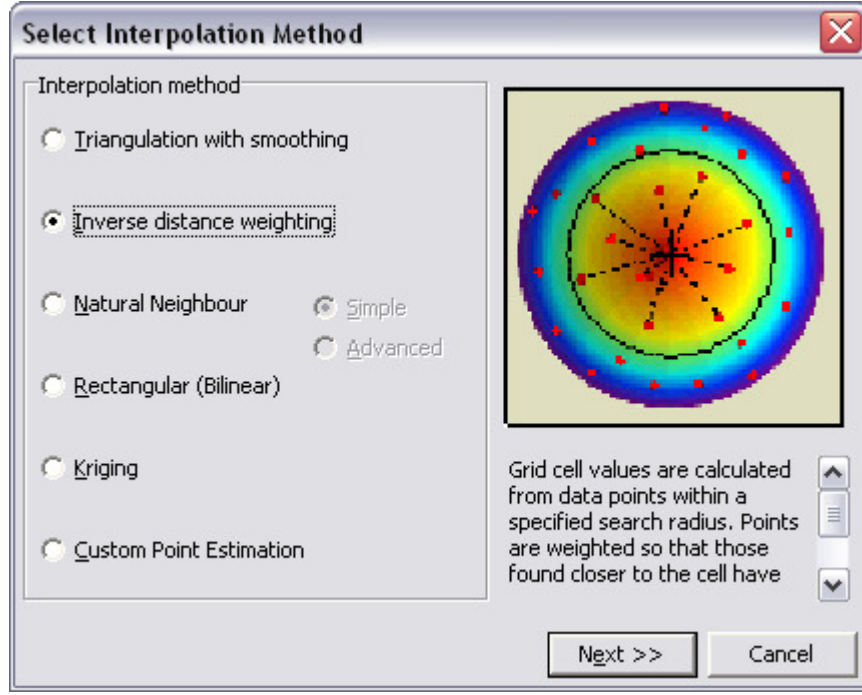
Ancak ISCST3 dispersiyon dağılım modeliyle elde edilen maksimum 24 saatlik konsantrasyonların yılın sadece bir gününde (o gün oluşan meteorolojik koşullarda) oluştuğu dikkate alınmalıdır.

5.3 Coğrafi Bilgi Sistemi ve Mekansal Analiz

Bu çalışmada Aermid View 6.2 yazılımı kullanılarak ISCST3 modeliyle elde edilen NO_x, SO₂ ve PM₁₀ kirletici konsantrasyon değerleri MapInfo Professional 9.0 yazılımıyla grid modele dönüştürülmüş ve bina ve mahallelerin olası kirlilikten etkilenme alanlarına ve bu binalarda yaşayan insanların maruz kaldığı kirliliğe ilişkin mekansal analizler yapılmıştır.

Bu aşamada, ilk olarak Aermid View yazılımından modelleme sonucunda elde edilen konsantrasyon değerleri koordinat ve konsantrasyon değerlerini içeren text (.txt) dosyası formatında kaydedilmiştir. Daha sonra bu dosya MapInfo yazılımda açılarak nokta kümesine dönüştürülmüştür. Elde edilen bu nokta kümesi ayrık (discrete) nokta verisidir. Sürekli (continuous) bir yüzey elde etmek için uygun enterpolasyon yöntemi seçilerek grid yüzeyi elde edilmiştir.

Grid yüzeyi oluşturulurken PM₁₀ ve NO_x kirleticileri için uygun enterpolasyon yöntemi “Inverse distance weighting”, SO₂ kirleticisi için uygun enterpolasyon yöntemi ise “Natural Neighbourhood” olarak seçilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Uygun enterpolasyon yönteminin seçildiği pencere

Enterpolasyon sonucunun doğruluğunu kontrol etmek için örnekleme noktalarına, “Grid Manager /Analysis/ Point Inspection” seçimi ile elde edilen grid yüzeydeki konsantrasyon değerleri aktarılmıştır. Orijinal noktalardan olan sapmaları kontrol etmek için uygun sorgulama (Şekil 5.2) yazılarak değerler arasındaki farklar tabloya yazdırılmıştır. Sapmalar yeteri kadar küçükse elde edilen grid yüzeyin doğru olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada fark konsantrasyon değerleri genellikle 1’den küçük çıktığından elde edilen grid yüzeyinin doğru olduğu kabul edilmiştir.

SQL Select

Select Columns: X, Y, CONC, CONC-CONC_1

from Tables: PM10_24hr1

where Condition: CONC-CONC_1

Group by Columns:

Order by Columns:

into Table Named: Selection

Browse Results Find Results In Current Map Window

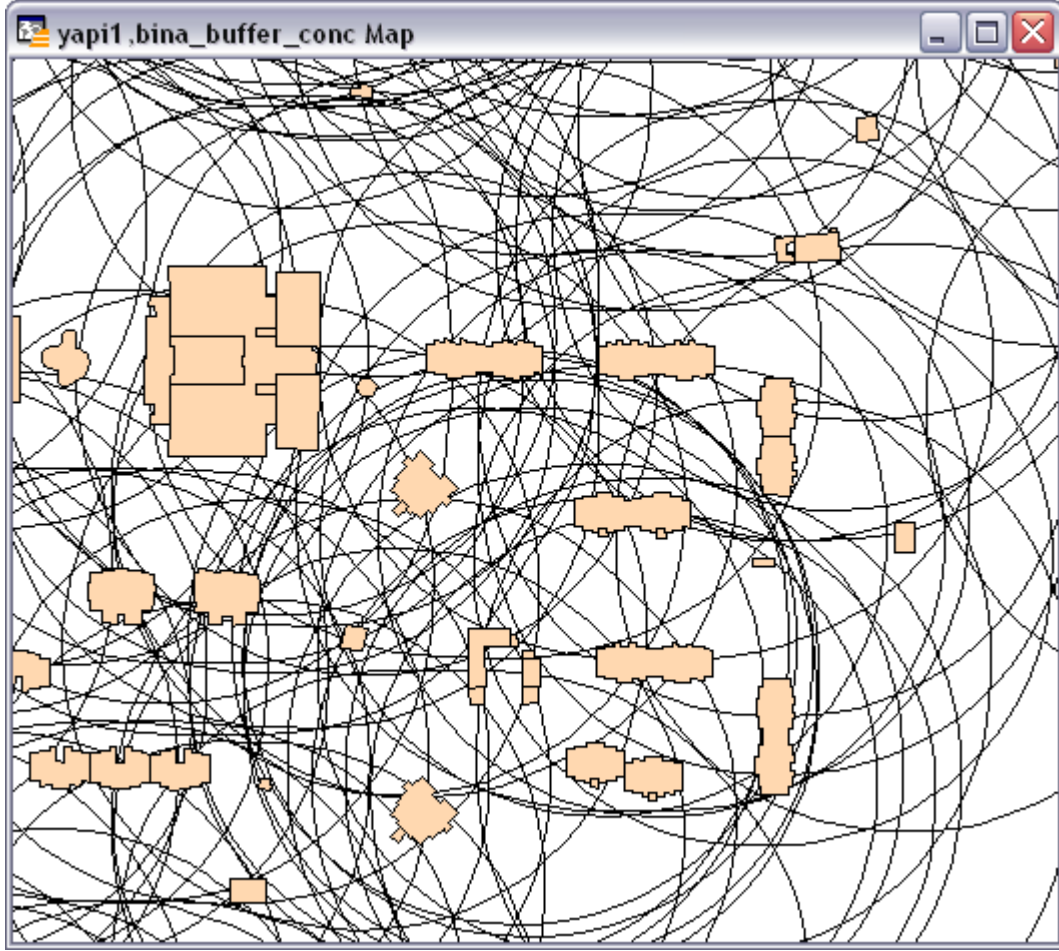
OK Cancel Clear Verify Help

Tables
Columns
Operators
Aggregates
Functions

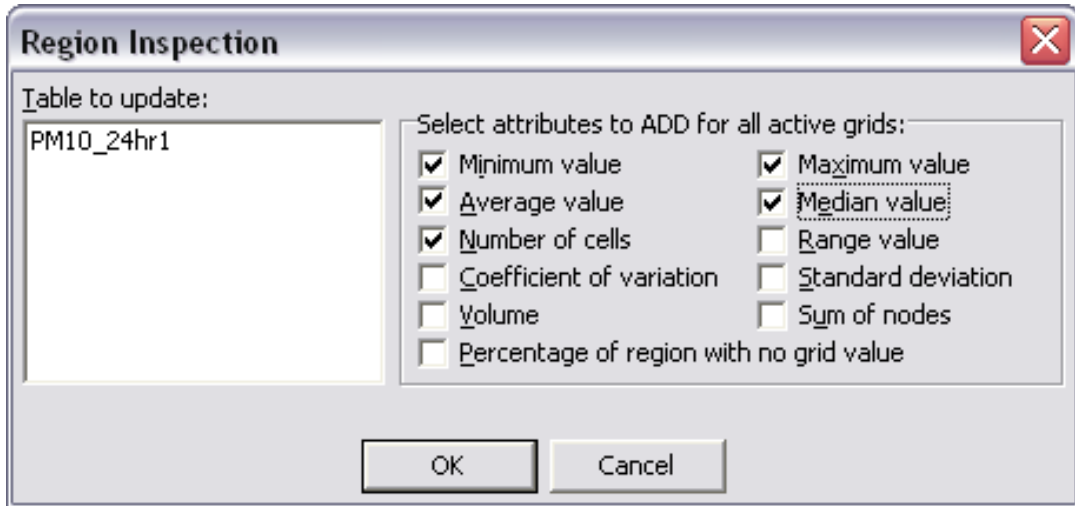
Save Template
Load Template

Şekil 5.2 Sapmaların kontrolü için sorgu

Bina bazlı değerlendirmeler için, binalarda yaşayan insanların kirlilikten etkilenme alanı bina sınırından itibaren dışı doğru 100 m mesafedeki alan olarak belirlenmiştir. Bu amaçla her bina için 100 metrelik tampon bölge (buffer) oluşturulmuştur Şekil (5.3). “Region inspection” seçeneği ile (Şekil 5.4) bu tampon bölgenin içine düşen maksimum, minimum ve ortalama konsantrasyon değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.3 Binalar için oluşturulan 100m'lik tampon bölgeler (buffer)



Şekil 5.4 Region inspection seçeneği

Binalarda yaşayanların maruz kaldığı kirlilik miktarı, SQL sorgulama ile binaların ait oldukları tampon bölgeler (buffer) bulunarak bina tablosuna aktarılmıştır. Bu sorguda koşul "bina ve buffer merkezi aynı olmalı ve bina buffer'ın bütünüyle içinde olmalı" şeklinde

belirlenmiştir. SQL sorgusu Şekil 5.5’de görülmektedir.

Şekil 5.5 Binaların ait oldukları tampon bölgelerin seçimi için sorgu

Mahallelerdeki kirlilik miktarı ise mahalle sınırları içerisine düşen ortalama konsantrasyon değeri olarak belirlenmiştir. “Region inspection” seçeneği kullanılarak minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri mahalle tablosuna aktarılmıştır.

Nüfus ile ilgili analizlerde, mahalle sınırlarına bağlı tabloda bulunan nüfus değerleri kullanılarak binalarda yaşayan kişi sayıları kestirilmiştir. Böylece binaların etkilendiği kirlilik miktarıyla, o binada yaşayan kişi sayısı karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk olarak binalarda birim m²,ye düşen kişi sayısı (k) bulunmuş ve sonra k değeri her bina için kat adedi ve bina alanıyla çarpılarak binada yaşayan kişi sayıları elde edilmiştir. Son adımda toplam kişi sayısı ile mahalle nüfusu karşılaştırılarak işlemin doğruluğu kontrol edilmiştir. Bunun için gerekli sorgular sırasıyla Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de görülmektedir.

$$k = \frac{\text{Mahalle}_\text{ nüfusu}}{\sum (\text{bina}_\text{ alanı} * \text{kat}_\text{ adedi})_{\text{mahalle}}}$$

$$\text{Binada}_\text{ yasayan}_\text{ kisi}_\text{ sayisi} = k * \text{bina}_\text{ alanı}_i * \text{kat}_\text{ adedi}_i$$

$$\sum \text{binada_yasayan_kisi_sayisi}_i = \text{mahalle_nüfusu}$$

SQL Select

Select Columns: mahalle.Mahalle_ad, mahalle.Mahalle_ua, yapi1.Normal_kat, mahalle.Nufus_5747, sum(area(yapi1.obj, "sq m")), count(*)

from Tables: yapi1, mahalle

where Condition: yapi1.Obj within mahalle.Obj

Group by Columns: mahalle.Mahalle_ua

Order by Columns:

into Table Named: bina_kat1

Browse Results Find Results In Current Map Window

OK Cancel Clear Verify Help

Tables Columns Operators Aggregates Functions Save Template Load Template

Şekil 5.6 $\sum (bina_alanı * kat_adedi)_{mahalle}$ değeri için sorgu

SQL Select

Select Columns: Mahalle_ad, Mahalle_ua, Nufus_5747, COL5, Nufus_5747/col5"birim_ny"

from Tables: bina_kat1

where Condition:

Group by Columns:

Order by Columns:

into Table Named: birim_ny

Browse Results Find Results In Current Map Window

OK Cancel Clear Verify Help

Tables Columns Operators Aggregates Functions Save Template Load Template

Şekil 5.7 Binalarda birim m²'ye düşen kişi sayısı (k) için sorgu

SQL Select

Select Columns: yapi1.Yapi_id, yapi1.Normal_kat, mahalle.Mahalle_ua, area(yapi1, "sq km"), mahalle.Mahalle_ad, birim_ny.birim_ny*area(yapi1.obj, "sq m")*yapi1.Normal_kat"kişi sayısı"

from Tables: yapi1, mahalle, birim_ny

where Condition: yapi1.Obj within mahalle.Obj and mahalle.Mahalle_ua = birim_ny.Mahalle_ua

Group by Columns:

Order by Columns:

into Table Named: yks

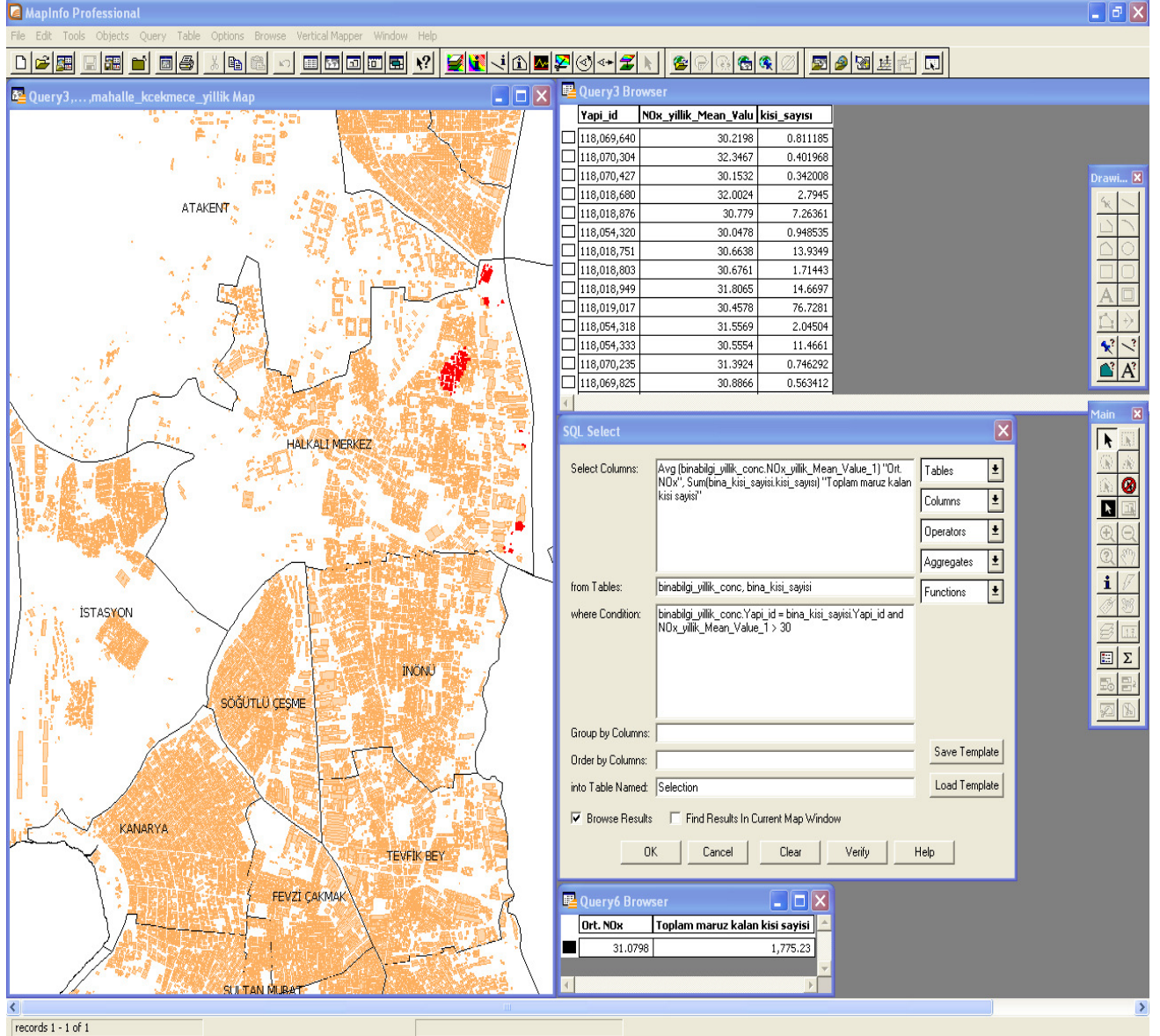
Browse Results Find Results In Current Map Window

OK Cancel Clear Verify Help

Tables Columns Operators Aggregates Functions Save Template Load Template

Şekil 5.8 Binalarda yaşayan kişi sayıları için sorgu

Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de bina ve nüfus bazlı analizlere ilişkin MapInfo Professional yazılımıyla oluşturulan örnekler görülmektedir.



Şekil 5.9 Yıllık $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den çok NO_x konsantrasyonuna maruz kalan binalar ve bu binalarda yaşayan kişi sayıları

The screenshot shows the MapInfo Professional interface. The main map displays a residential area with buildings highlighted in orange. A specific building is highlighted in blue. The SQL Select dialog is open, showing the following query:

```

Select Columns: binabligi_yillik_conc.Yapi_id, binabligi_yillik_conc.Yapi_Adi,
bina_kisi_sayisi.kisi_sayisi,
binabligi_yillik_conc.SO2_yillik_Mean_Value_1,
binabligi_yillik_conc.NOx_yillik_Mean_Value_1,
binabligi_yillik_conc.PM10pos_yillik_Mean_Value_1,
bina_kisi_sayisi.Mahalle_ad
from Tables: binabligi_yillik_conc, bina_kisi_sayisi
where Condition: binabligi_yillik_conc.Yapi_id = bina_kisi_sayisi.Yapi_id
Group by Columns:
Order by Columns:
into Table Named: new

```

The Info Tool window displays the following information for the selected building:

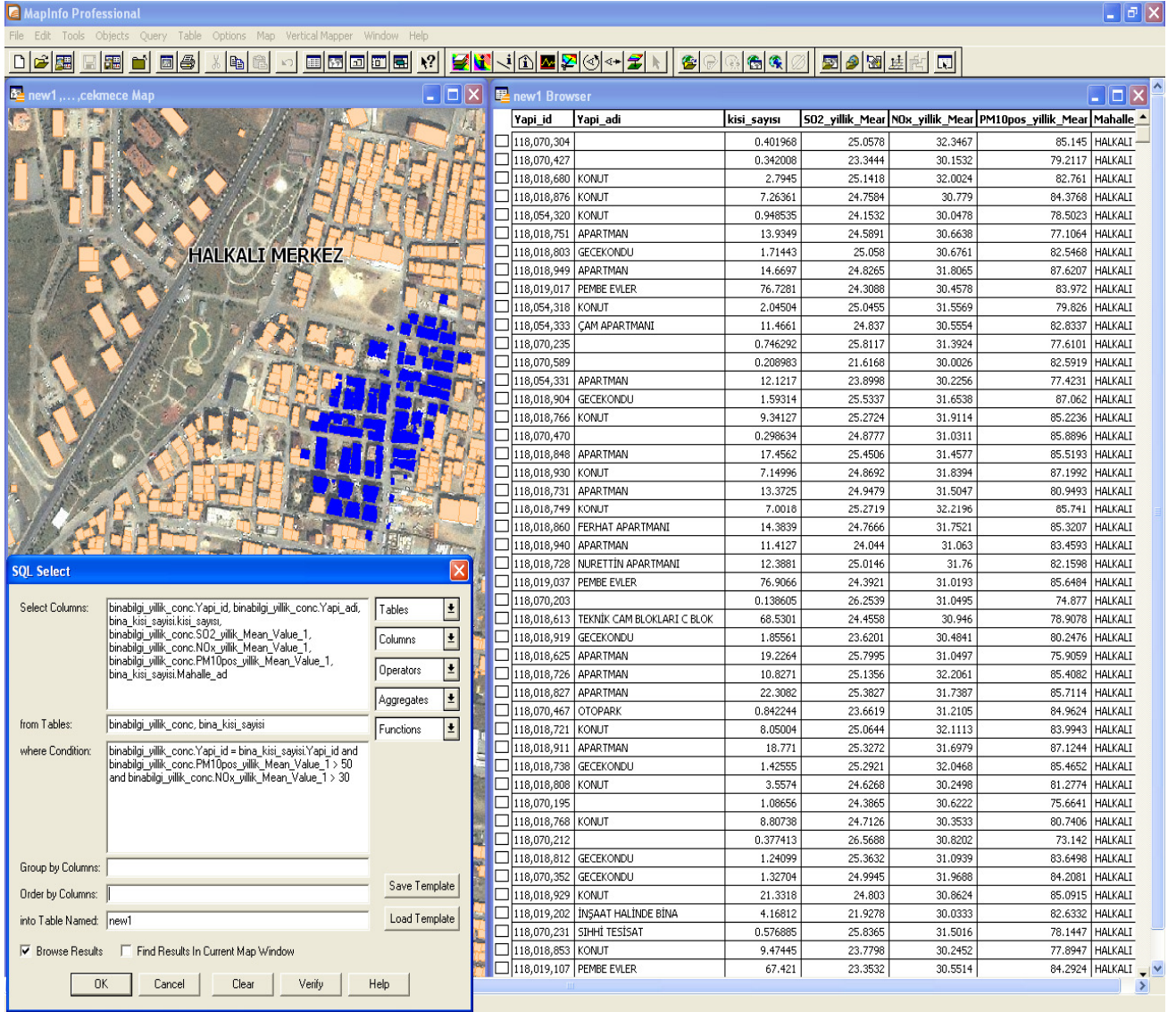
```

Yapi_id: 118,049,109
Yapi_adi: HAZAN APARTMANI
kisi_sayisi: 51.4176836397
SO2_yillik_Mean_Value_1: 3.730659
NOx_yillik_Mean_Value_1: 21.12851
PM10pos_yillik_Mean_Value_1: 5.091548
Mahalle_ad: YEŞİLOVA

```

The status bar at the bottom indicates: Zoom: 0.4884 km, Editing: None, Selecting: binabligi_yillik_conc.

Şekil 5.10 Seçili binadaki yıllık ortalama NO_x , SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonları ve bu binada yaşayan kişi sayısı



Şekil 5.11 Yıllık PM₁₀ konsantrasyonunun 50 µg/m³'den ve NO_x konsantrasyonunun 30 µg/m³'den büyük olduğu binaları gösteren sorgu

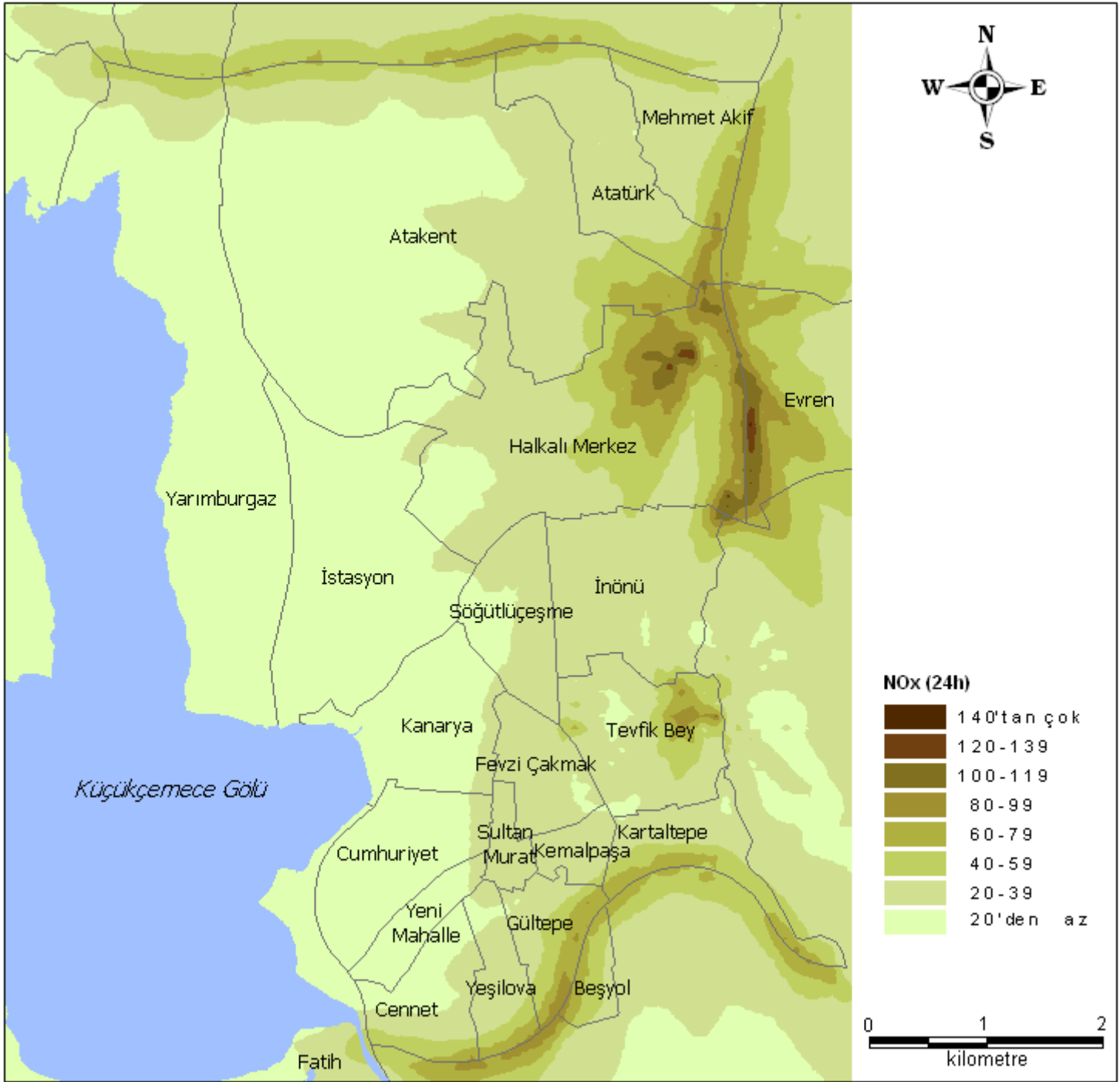
5.4 Tematik Harita

Bu tez kapsamında Aermid View yazılımıyla hesaplanan NO_x, SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyon değerlerinin program tarafından oluşturulan kontur çıktıları “shapefile” olarak export edilmiş ve MapInfo Professional yazılımına aktararak bu kirleticilerin 24 saatlik ve yıllık değerleri için tematik haritalar oluşturulmuştur.

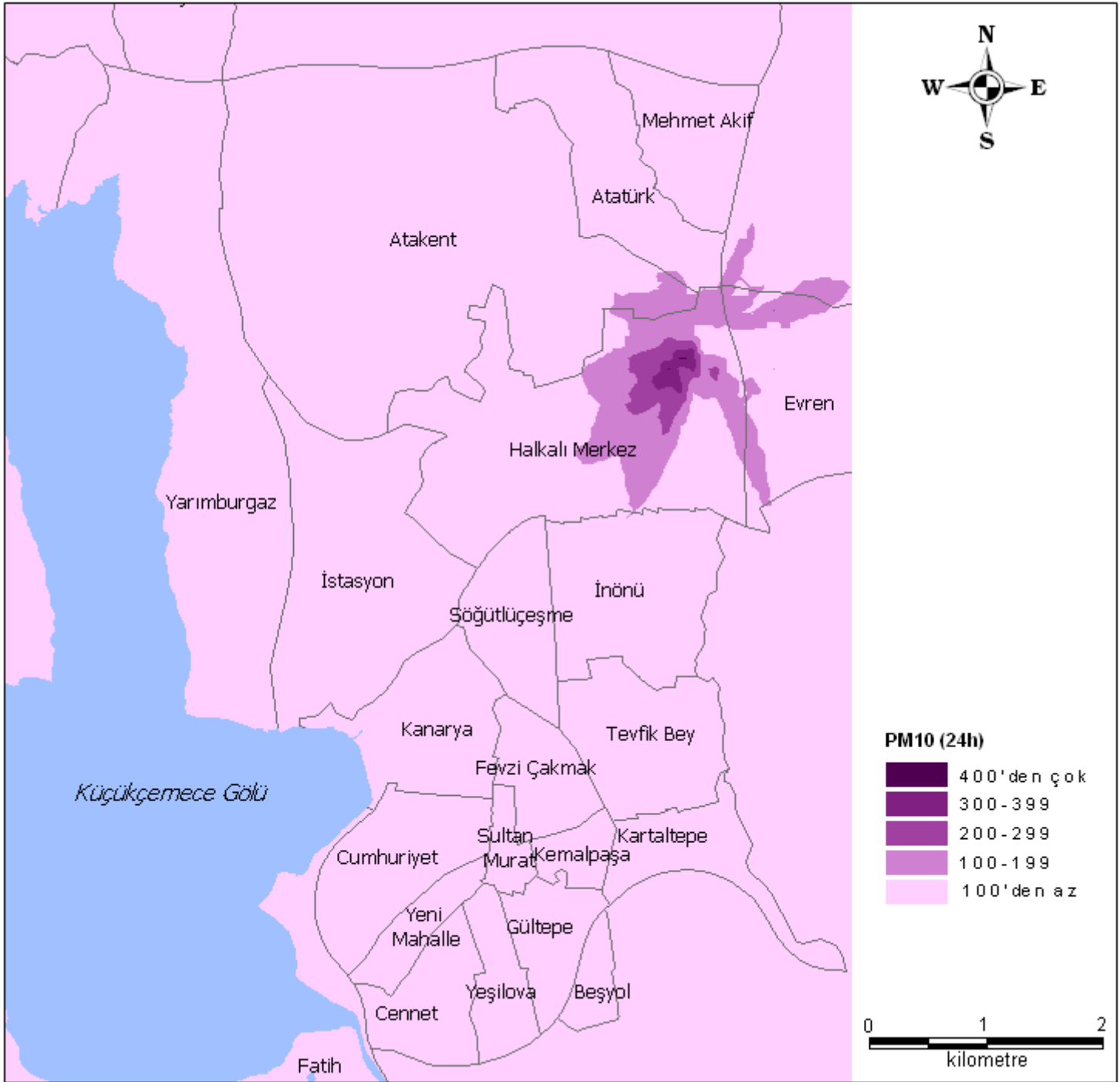
MapInfo Professional yazılımına aktarılan dosyalar “Map>Create Thematic Map” seçimi kullanılarak tematik haritalara dönüştürülmüştür. Burada her kirletici minimum ve maksimum değerine göre istenilen (custom ranges) aralıklara bölünmüş ve uygun renk seçimi yapılmıştır. Kükürt dioksit yeşil, Azot oksit gazı kırmızı-kahve ve Partikül madde pembe renk tonlarıyla gösterilmiştir. Kirletici dağılımları mahalle sınırlarıyla karşılaştırılarak uygun lejant tasarımı

yapılmış ve 1:50000 ölçekte çıktılar üretmiştir (Şekil 5.12- Şekil 5.17). Bu şekilde oluşturulan tematik haritalar izometrik yöntemle türetilmiş izaritmik harita türüne girmektedir.

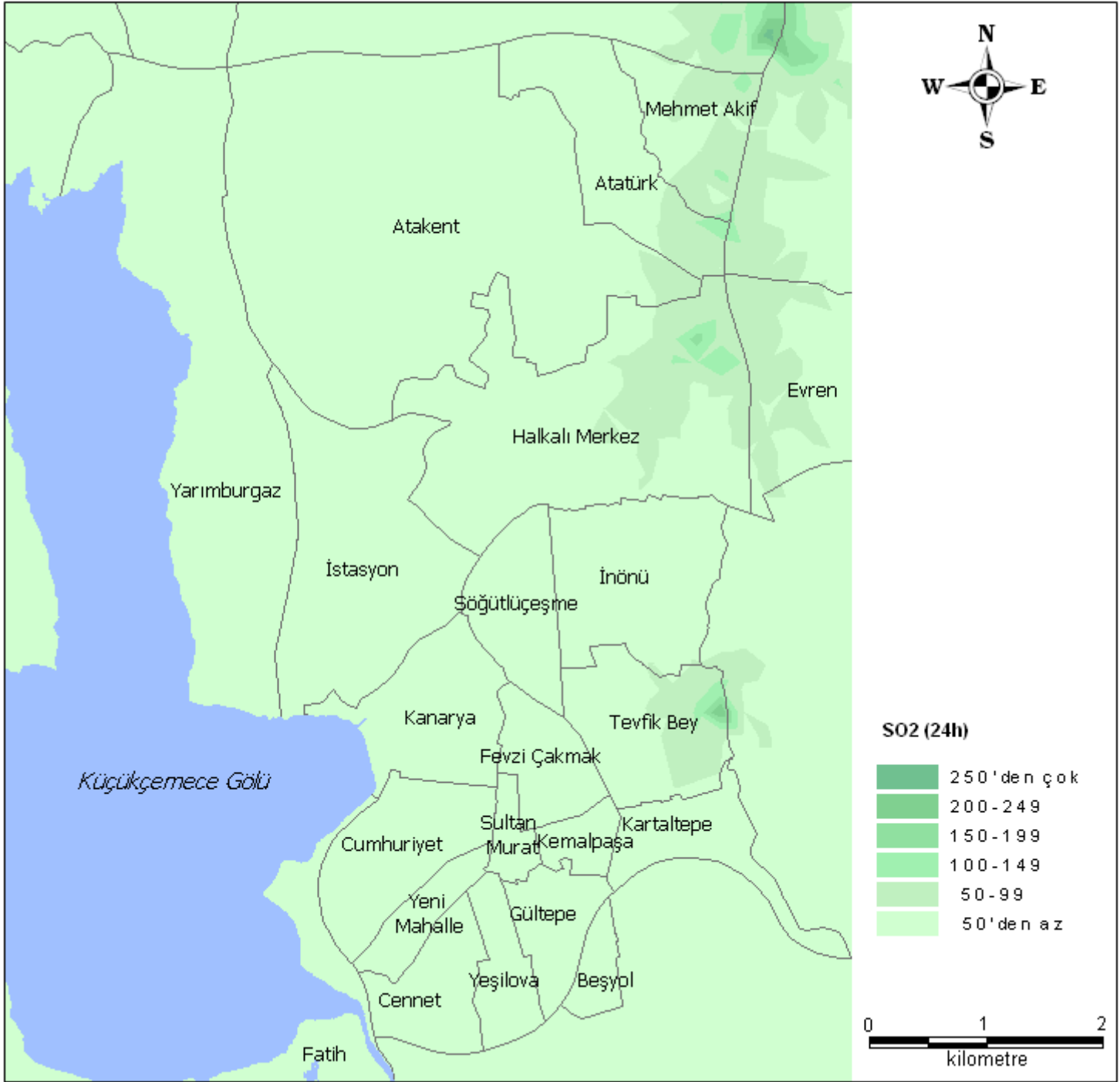
Ayrıca mahallelere ait nüfus verisi kullanılarak bir koroplet harita da oluşturulmuş ve mahallelerin etkilendiği 24 saatlik ve yıllık NO_x , SO_2 ve PM_{10} konsantrasyon değerleri barçubuk grafik yöntemiyle gösterilerek, oluşturulan koroplet-mahalle-nüfus haritasıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19).



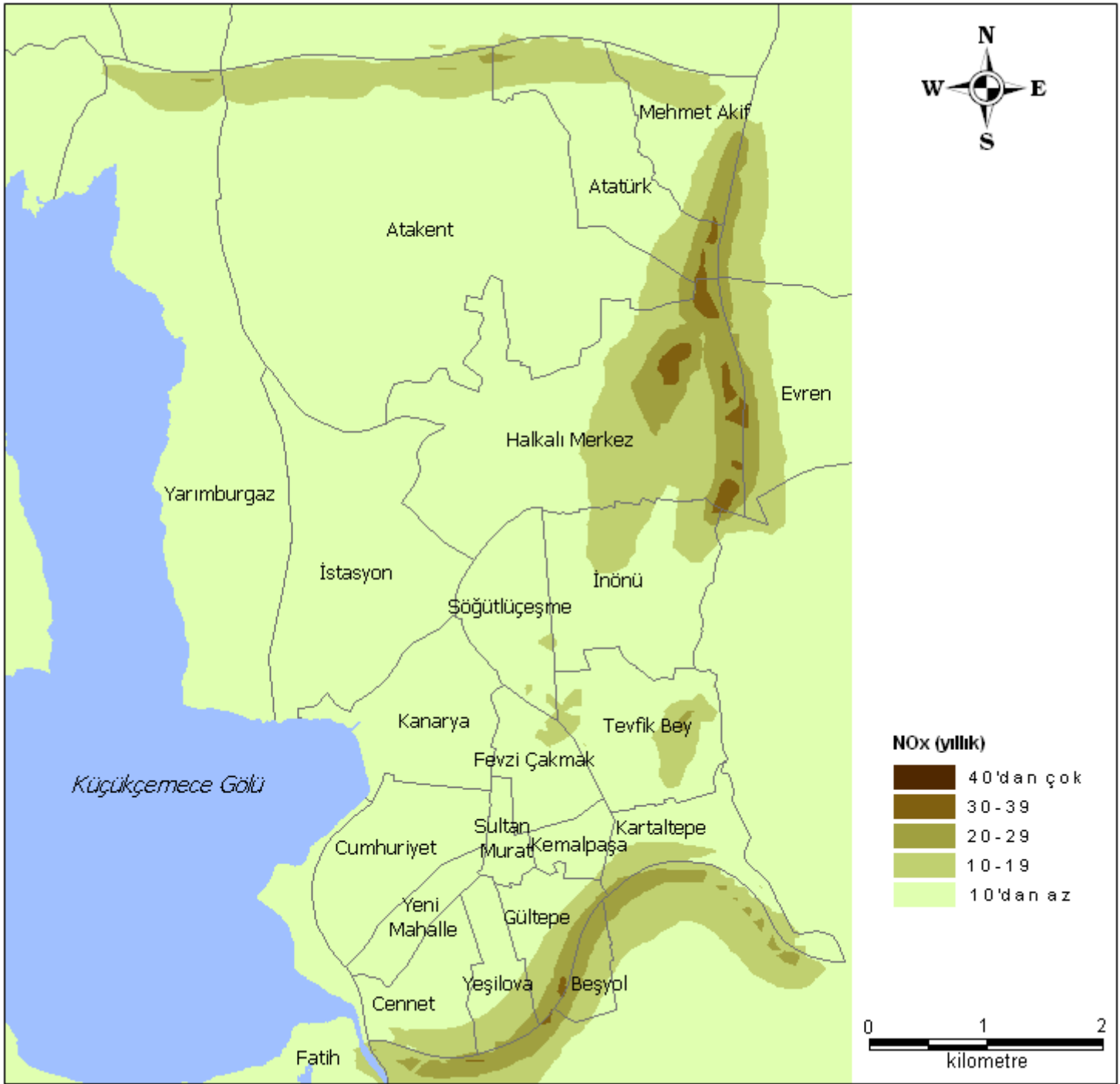
Şekil 5.12 24 saatlik NO_x dağılımını gösteren tematik harita



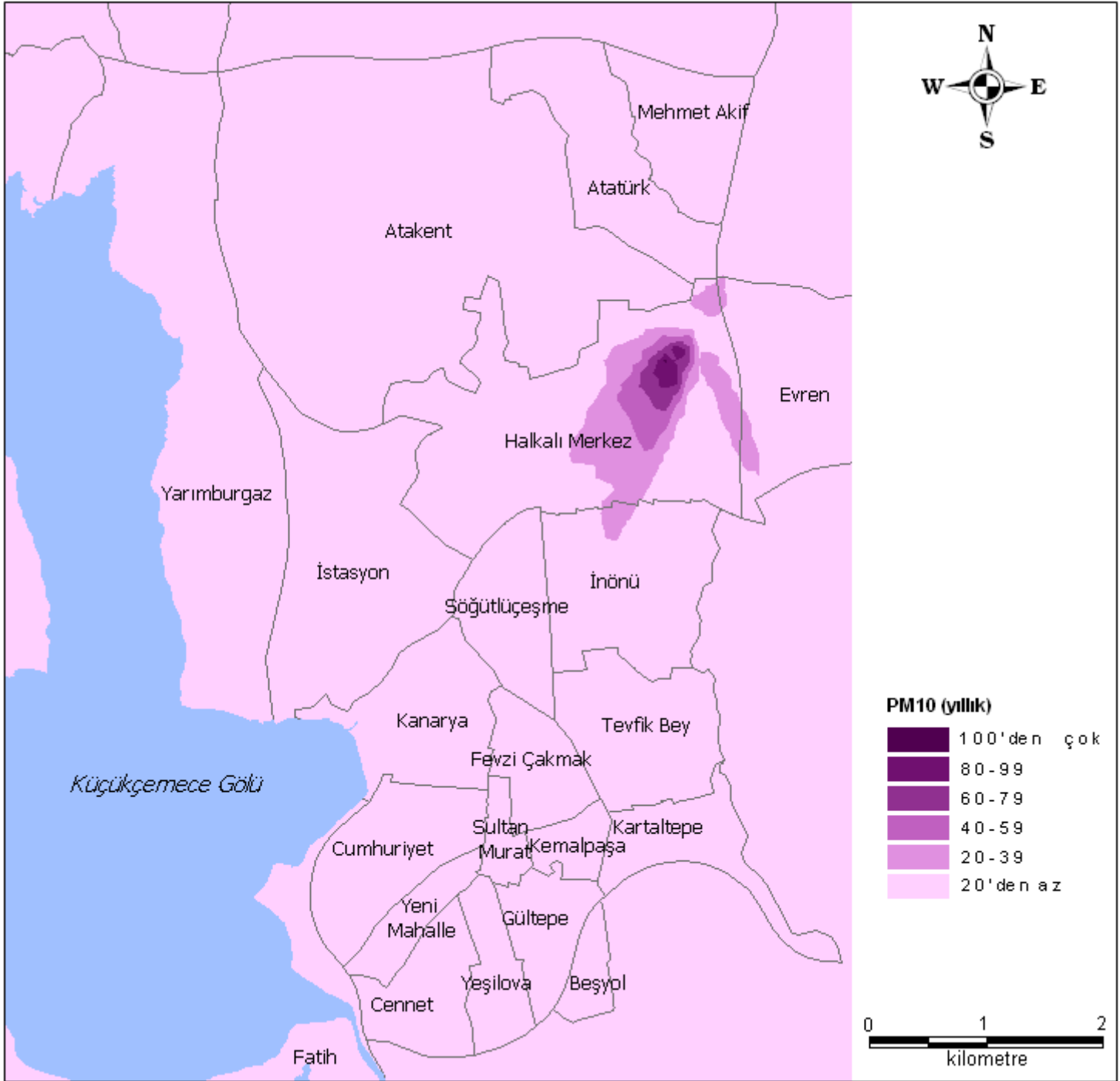
Şekil 5.13 24 saatlik PM₁₀ dağılımını gösteren tematik harita



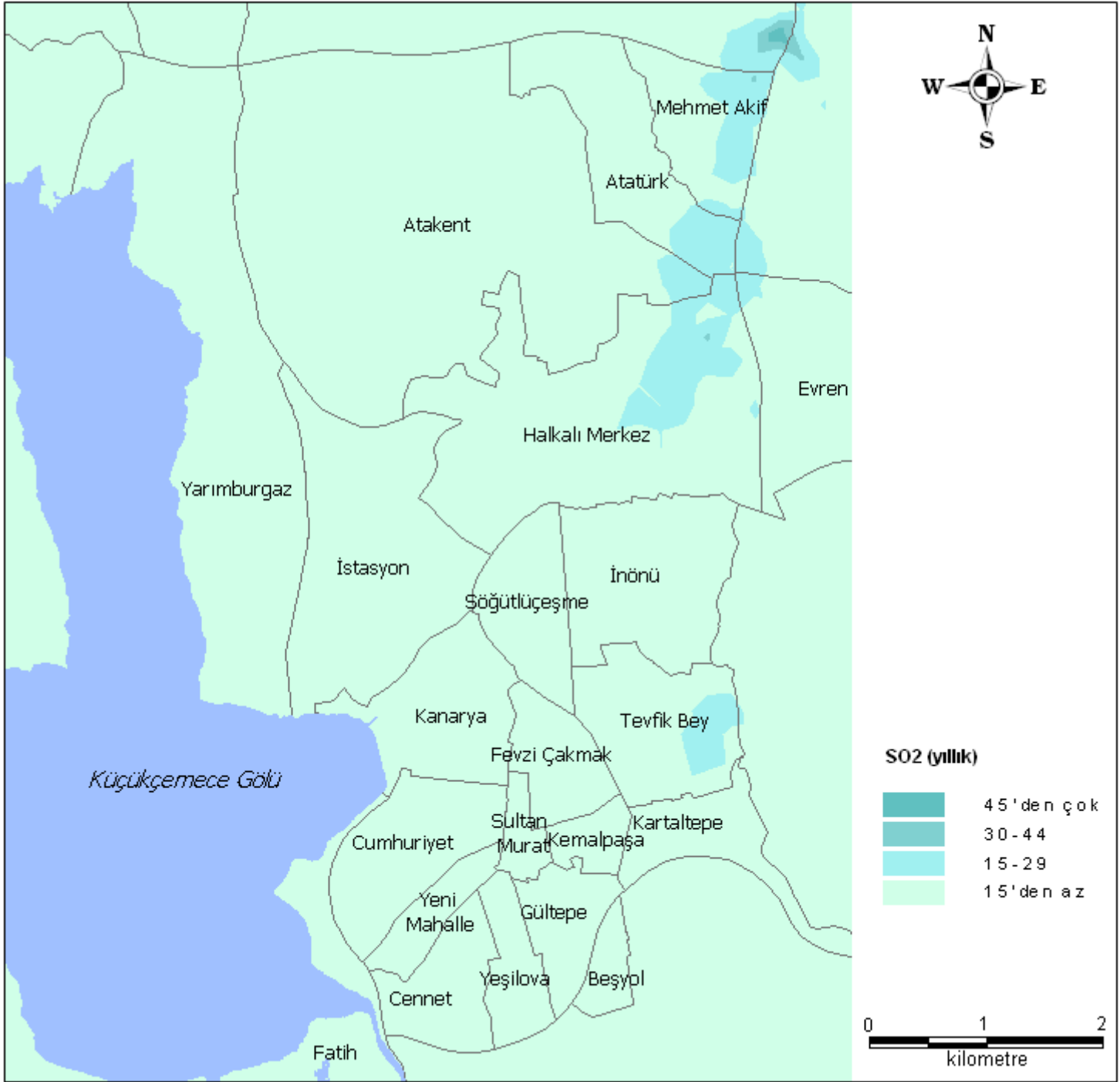
Şekil 5.14 24 saatlik SO₂ dağılımını gösteren tematik harita



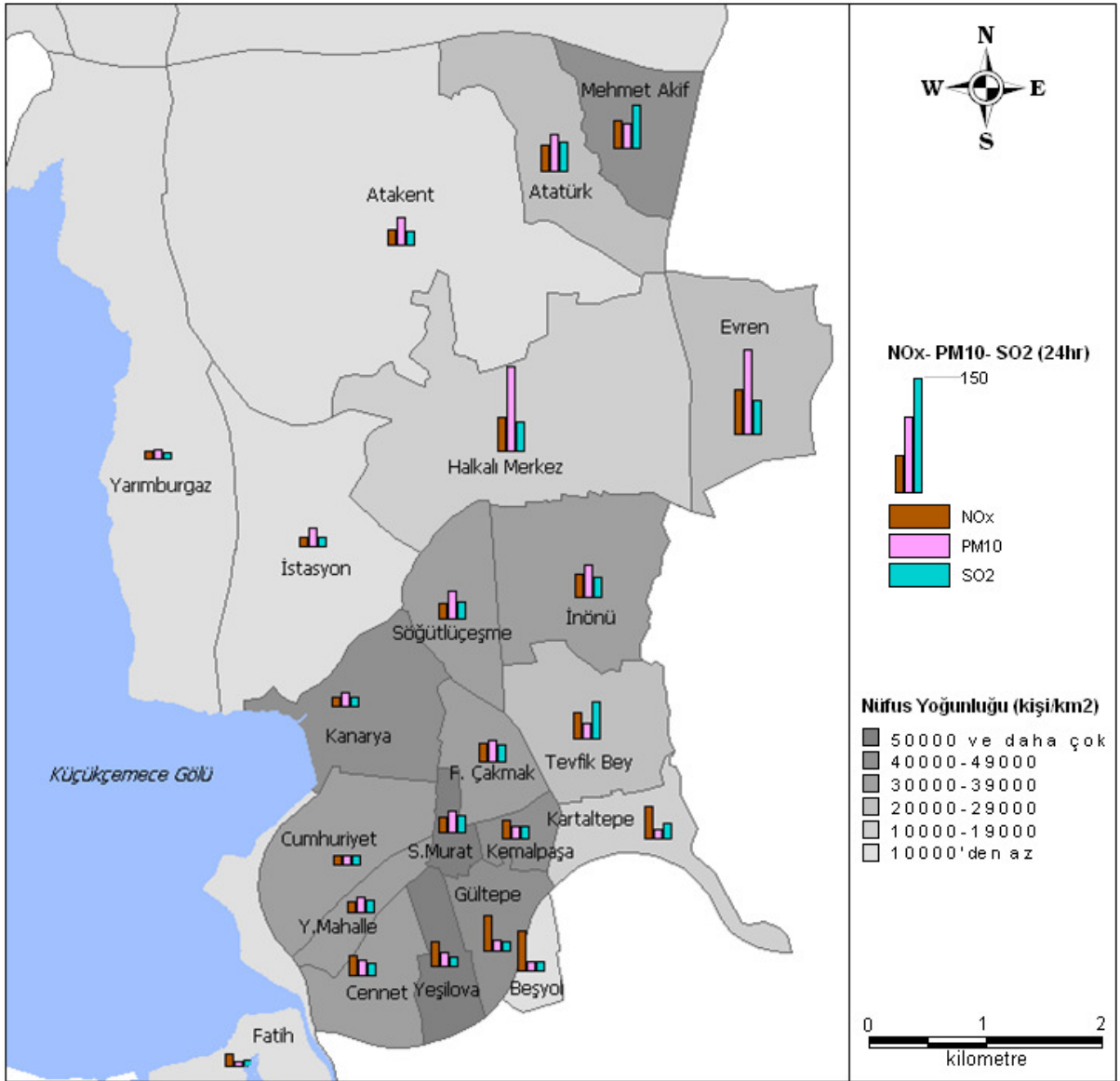
Şekil 5.15 Yıllık NO_x dağılımını gösteren tematik harita



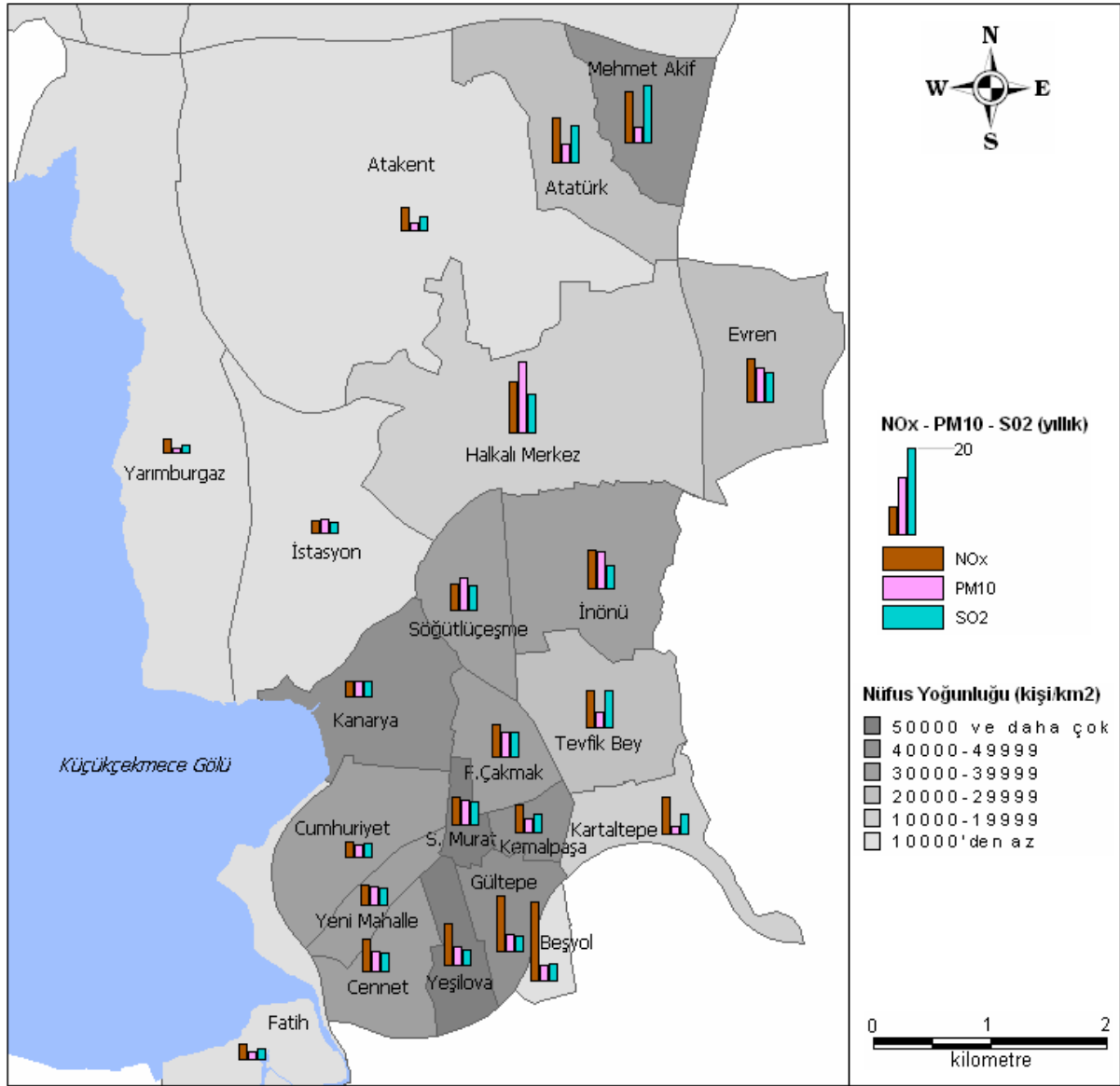
Şekil 5.16 Yıllık PM₁₀ dağılımını gösteren tematik harita



Şekil 5.17 Yıllık SO₂ dağılımını gösteren tematik harita



Şekil 5.18 Nüfus yoğunluğu ve 24 saatlik NO_x, PM₁₀ ve SO₂ kirletici konsantrasyonlarını gösteren koroplet harita



Şekil 5.19 Nüfus yoğunluğu ve yıllık NO_x, PM₁₀ ve SO₂ kirletici konsantrasyonlarını gösteren koroplet harita

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

CBS ve tematik kartografya, bir çok mekansal problemde olduğu gibi çevre kirliliğinin değerlendirilmesi, izlenmesi ve önlenmesinde mekansal veri modelleme, analiz ve görselleştirme teknikleriyle karar vericiler (yöneticiler, teknik personel vb.) için son derece önemli araçlar sunmaktadır. Çevresel CBS'lerin kurulması ve tematik haritaların üretilmesi, güvenilir bir veri tabanına dayalı olmalıdır ve bu tür çalışmalar, çok disiplinli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Fakat ülkemizde, bu konuda tatmin edici kaynaklar ve çalışmalar bulmak genellikle güçtür. Bu nedenle, hava kirliliğinin dağılımının ve insanların maruz kaldığı risklerin CBS aracılığıyla mekansal analizi ve tematik haritalarla görselleştirilmesi amaçlı bu çalışmada, çevresel modelleme aşaması da ele alınmıştır. Çevre bilimcilerin katkılarıyla gerçekleştirilen bu aşamada, kirletici kaynaklardan yayılan emisyonların envanterlerine dayalı olarak Küçükçekmece ilçesini içine alan bir çalışma bölgesinde, Aermod View yazılımı ile NO_x , SO_2 ve PM_{10} emisyonlarının konsantrasyon dağılımları ISCST3 modeline göre belirlenmiştir. Elde edilen konsantrasyon değerleri MapInfo Professional yazılımına aktarılarak, bu kirleticilerin mekansal dağılımları ve mahalle ve bina bazında orada yaşayan insanlar için oluşturduğu potansiyel riskler mekansal olarak analiz edilmiş ve tematik haritalar ile görselleştirilmiştir.

Ülkemizde hava kalitesinin korunmasına ilişkin uygulamalar dikkate alındığında dünyadaki uygulamaların oldukça gerisinde olduğumuz açıkça görülmektedir. Öncelikli olarak veri toplanmasında yaşanan sorunlar ya da toplanan verilerin hassasiyetinin düşük olması gibi sorunlar hava kirliliğinin modellenmesini, modellerin doğruluğunu ve sonrasında yapılacak uygulamaların devamını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılması gereken öncelikli çalışmalar; hava kirliliğini gözlemleyen ve buna ilişkin veri toplayan istasyon sayısının artırılması, detaylı emisyon envanterlerinin hazırlanması, bu envanterlerin sürekli olarak güncel tutulması ve sonraki aşamada hava kalitesinin mekansal değişimini incelemek ve karar destek sistemlerinin geliştirilebilmesi için bir çevresel CBS kurulması olarak sıralanabilir.

CBS ile yapılacak mekansal analizler ve farklı konularda oluşturulacak tematik haritalar, çevre problemlerinin daha iyi anlaşılması ve alınması gereken önlemler hususunda karar vericilere son derece yardımcı olacaktır. Sonuç olarak hava kalitesinin korunması ve mekansal dağılımına ilişkin yapılacak tüm çalışmalar farklı disiplinlerin bir araya geldiği ortak çalışmalar, kontrol stratejileri ya da yeni yasal düzenlemeler gerektirmektedir. Ayrıca, kamu sağlığı araştırmalarını desteklemek üzere özellikle riskli görülen bölgelerde hava kirliliğinin epidemiyolojik etkilerinin araştırılması ve bu amaçla kurulacak veri tabanlarının

CBS ile entegrasyonu sağlanabilir. Yerel yönetimlerin kendi sorumluluk alanlarında bu tür çalışmaları gerçekleştirmeleri, evre ve insan sağlığını koruma açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aydın, M.E., Durduran, S.S., Özcan, S. ve Bedük, F., (2007), “Konya’da Hava Kalitesi Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İle Değerlendirilmesi”, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-27 Ekim 2007, İzmir.
- Canepa, E., D'Alberti, F., D'Amati, F. ve Triacchini, G., (2007), “The GIS-Based SafeAirView Software for the Concentration Assessment of Radioactive Pollutants After an Accidental Release”, *Science of the Total Environment*, 373: 32-42.
- Dalyan, E.G. ve İncecik, S., (2002), “İstanbul’da Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Hava Kalitesinin İncelenmesi”, *İTÜ Dergisi*, 1: 51-62.
- Dent, B.D., (1993), *Cartography Thematic Map Design*, Wm. C. Brown Publishers, Atlanta, 427s.
- Durduran, S.S., Erdi, A., Kara, F. ve Durduran, Y., (2005), “Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yardımıyla Hava Kirliliği Haritasının Oluşturulması ve Sağlığımıza Olumsuz Etkileri: Konya Örneği”, 4. Uluslararası Teknoloji Sempozyumu.
- Elbir, T., (2004), “A GIS Based Decision Support System for Estimation, Visualization and Analysis of Air Pollution for Large Turkish Cities ”, *Atmospheric Environment*, 38: 4509-4517.
- Elbir, T., Müezzinoğlu, A., Bayram, A., Seyfioğlu, R. ve Demircioğlu, H., (2001), “Ege Bölgesi Hava Kirlenici Emisyon Envanteri”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3: 21-27.
- Goncaloğlu B., (2001), İstanbul’daki Sanayi Tesislerinden Yanma Sonucu Atmosfere Atılan Hava Kirlenicilerinin Emisyon Envanterinin Çıkarılması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hao, J., Wu, Y., Fu, L., He, D. ve He, K., (2001), “Source Contributions to Ambient Concentrations of CO and NOx in the Urban Area Of Beijing”, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 36:215-228.
- Hava Kalitesi Değerlendirme Ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008, Çevre ve Orman Bakanlığı, 28s.
- İstanbul Çevre Durum Raporu, 2005, İstanbul Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 637s.
- Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H.S. ve Hertel, O., (2001), “A Danish Decision-Support GIS Tool for Management of Urban Air Quality and Human Exposures”, *Transportation Research Part D*, 6: 229-241.
- Lo, C.P. ve Yeung, A.K.W., (2007), *Concepts and Techniques of Geographic Information Systems*, Prentice Hall, New Jersey
- Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, 2007, Türkiye İstatistik Kurumu.
- Onat B., (2004), İstanbul Atmosferinde Hava Kirlenicilerinin Dağılımının Modellenmesi, Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pearson, J.K., (2001), *Improving Air Quality Progress And Challenges For The Auto Industry*, SAE International
- Saral, A., Demir, S. ve Yıldız, Ş., (2009), “Assessment of Odorous VOCs Released From a

Main MSW Landfill Site in Istanbul-Turkey Via a Modelling Approach”, Journal of Hazardous Materials, 168: 338-345.

Selçuk, M., Başaraner, M. ve Özcan, İ., (2001), “Emlakçılık Sektörüne Yönelik Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması”, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13-14 Kasım 2001, İstanbul.

Selçuk, M., Uçar, D., Uluğtekin, N., Bildirici, İ. Ö., Gökgöz, T., Başaraner, M., Yücel, M. A., Gülgen, F., Bilgi, S., Doğru, A. Ö. (2006) "Sayısal Kartografya ve Mekansal Bilişim", Türkiye Bilişim Ansiklopedisi, Türkiye Bilişim Vakfı (TBV) & Papatya Yayıncılık, 689-694.

Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kesler, F.C. ve Howard H.H., (2005), Thematic Cartography and Geographic Visualization, Prentice Hall, New Jersey, 518s.

Tang, U.W. ve Wang, Z.S., (2007), “Influences of Urban Forms on Traffic-Induced Noise and Air Pollution: Results from a Modelling System”, Environmental Modelling & Software, 22: 1750-1764.

Taşpınar, F. ve Bakoğlu, M., (2003), “İzmit Klinik ve Tehlikeli Atıkları Yakma ve Enerji Üretim Tesisi’nden Atmosfere Verilen Azot Oksit (NOx) Emisyonlarının Dağılımının Modellenmesi”, 5. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 01- 04 Ekim 2003, Ankara.

Uluğtekin, N. ve İpbüker, C., (1996), “Kartografya ve Coğrafi Bilgi Sistemi”, Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 26-27-28 Eylül 1996, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] web.boun.edu.tr/meteoroloji/havakirliligi.php

[2] www.cevreorman.gov.tr/hava_01.htm

[3] www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_kirleticiler_rapor1.pdf

[4] www.cem.yildiz.edu.tr/5-belgeler/ders_notlari/0412042-AP/DN_Bolum_3.doc

[5] www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/page016.html

[6] http://wwwext.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-17.pdf

[7] https://courseware.e-education.psu.edu/courses/geog482/graphics/hisp_circles.gif

[8] <http://www.cartogis.yildiz.edu.tr/web/dokumanlar/KVT.htm>

[9] https://courseware.e-education.psu.edu/courses/geog482/graphics/hisp_bars.gif

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.11.1982

Doğum yeri Trabzon/Akçaabat

Lise 1996-2000 Trabzon Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı)

Lisans 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı,
Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2006- Devam ediyor İstanbul Büyükşehir Belediyesi