

46970

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'UN HAVA KİRLİLİĞİ HARİTASININ
ÇIKARILMASI

Kim. Müh. Arslan SARAL

F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK

İSTANBUL, 1995

YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
BİLGİ YAYIN MERKEZİ

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmayı yöneten, Hava Kirliliği konusunda bana yeni ufuklar açan ve teşvik eden, değerli yardımlarını her zaman yanımda bulduğum muhterem tez hocam Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK'e kalbi teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma ile beraber tanıdığım İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Bölümü'nden değerli hocam Doç.Dr. Mehmet KARACA'ya çok değerli katkıları ve bana ayırdığı kıymetli vakitleri dolayısıyla hasseten minnet ve şükranlarımı sunarım. Yine aynı Fakülteden hocam Doç.Dr. H. Nüzhet DALFES'e, Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden değerli arkadaşım Dr. Mete TAYANÇ'a çalışmamda gösterdikleri yakın ilgi, yardım ve katkıları dolayısıyla şükranlarımı sunarım.

Hava Kirliliği verilerinin toplanması konusunda değerli yardımlarını gördüğüm İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Dairesi Başkanı hocam Doç.Dr. Mustafa ÖZTÜRK ile yine Belediye İktisadi Teşekkülleri Danışmanlarından kıymetli ağabeyim Dr. Namık AK'a ve bu verilerin bilgisayara girilmesinde yardımlarını gördüğüm Çevre Mühendisliği Bölümü sekreterimiz Emine ÖZDEMİR ve çok kıymetli Araştırma Görevlisi Arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım...

Haziran 1995

Arslan SARAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
1. BÖLÜM: GİRİŞ	
1.1. Tanım	1
1.2. Kirlleticilerin Atmosferdeki Hareketleri	2
1.3. Hava Kirliliği Mevzuatı	10
1.4. İstanbul'da Hava Kirliliği	13
1.5. Önceki Çalışmalar	14
2. BÖLÜM: VERİ TABANI VE ÇALIŞMA BÖLGESİ	
2.1. Hava Kirliliği Verileri	16
2.2. Meteoroloji Verileri	16
2.3. Topografik Durum	17
2.4. Demografik Durum	18
3. BÖLÜM: UYGULANAN METOD	
3.1. Kriging: Uzaysal Enterpolasyon Metodu	24
3.1.1. Semi-Variogram Çıkarılması	24
3.1.2. Kriging Matrisi Oluşturulması	26
4. BÖLÜM: BULGULAR	
4.1. Çıkarılan Kirlilik Haritaları	28
4.2. Bulgular	48
5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE TARTIŞMA	
5.1. Sonuçlar	63
5.1.1. Kirlilik Sınırını Aşan Bölgeler	63
5.1.2. Gelecekte Kirlilik Potansiyeli Olan Bölgeler	63
5.2. Öneriler	64
5.2.1. Kısa Vadeli Tedbirler	65
5.2.2. Uzun Vadeli Tedbirler	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul'un mevcut hava kirliliği verilerine Kriging Uzaysal Entropolasyon Metodu uygulanmış ve İstanbul'un aylık ortalamalar bazında hava kirliliği haritaları çıkarılmıştır. Kriging metodu ilk olarak geo-istatistiksel maksatlar için geliştirilmesine rağmen hava kirliliği verileri için de uygun olduğu görülmüş ve son on beş yıl içinde bu alanda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

İstanbul'un çeşitli semtlerinde İl Hıfzısıhha Enstitüsü tarafından kurulan ölçüm istasyonlarında kaydedilen günlük bazdaki hava kirliliği verileri aylık ortalamalara çevrilmiş ve Kriging metodu kullanan bilgisayar programı ile bu ölçüm istasyonlarını içine alan bir çerçeve harita üzerinde kükürtdioksit parametresi için Aralık 1993 ile Mart 1995 arası aylara ait (Ağustos 1994 hariç) kirlilik dağılım haritaları çıkarılmıştır.

Çıkarılan bu kirlilik haritalarından, İstanbul'da özellikle üç bölgede (Haliç, Göztepe ve Fulya mahallesi bölgeleri) kış aylarında yoğun bir kirliliğin yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu üç bölgenin de topografik yapı bakımından kirleticilerin birikmesine müsait birer çanak şeklinde olduğu verilen topografi haritalarında da (Haliç ve Göztepe bölgeleri için) görülmektedir. Ayrıca bazı günlere ait yüksek kükürtdioksit konsantrasyonları ayrı ayrı analiz edilerek meteorolojik faktörlerin kirlilikteki çok önemli rolü de ortaya konmuştur. Bunun dışında ileride kirlenmeye maruz kalabilecek bölgeler de tespit edilmiştir.

Kış aylarında oluşan bu kirliliğin %98 gibi büyük ölçüde evlerde ısınmada kullanılan düşük kaliteli (yüksek kükürt yüzdeli ve düşük kalorifik değerli) kömür ve fuel-oilden kaynaklandığı, yapılan emisyon hesapları ile de ortaya konmuştur. Ayrıca kirliliğin hava kalitesi standartlarında istenen limitlerin altına çekilebilmesi için alınabilecek kısa ve uzun vadeli tedbirler ve öneriler de sonuçlar kısmında verilmiştir.

SUMMARY

In this study, Kriging Spatial Interpolation Method was applied on the available air pollution data of İstanbul and air pollution maps of İstanbul were prepared on the basis of monthly averages. The Kriging method has been first developed for the geostatistical purposes but has been applied to the air pollution problems successfully for the last decade.

The daily sulphur dioxide data monitored at the air pollution monitoring stations set up by İstanbul İl Hıfzısıhha Institute in various places of İstanbul were first converted to monthly averages and entered into the computer program which uses the above mentioned Spatial Interpolation method. Because of the method's limitation the maps cover only a limited area of İstanbul in which the air pollution monitoring stations are scattered randomly. This area is approximately 43.7 km in latitude by 28.7 km in longitude and covers more than 95% of the total population of İstanbul.

Three regions were detected from these air pollution maps which have been continuously exposed to high pollution levels in heating seasons in terms of sulphur dioxide exceeding the short term air quality standards. These regions are 1) Haliç region covering Eminönü, Fatih, Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Eyüp, Kağıthane, Okmeydanı, Kasımpaşa and Beyoğlu, 2) Göztepe region covering upper Göztepe, Kozyatağı, Örnek Mahallesi, Bulgurlu, Acıbadem, Hasanpaşa and Fikirtepe, and 3) Fulya region between Beşiktaş and Şişli. One of the reasons that cause these regions to be exposed such high pollution levels is the topographical structures of the regions and this is illustrated in the related topographical maps. In addition to this, it has been shown that meteorological factors play an important in high pollutant levels. Beside these highly polluted regions, the regions which may be subject to high pollution levels in the future were also indicated.

Emission calculations based on the quantity of various fuels used during the heating season in İstanbul indicate that this is mainly caused (around 98%) by the low quality lignite and fuel-oil which have been widely used in the winter months. The short and long term precautions that may be taken to lower the high air pollution levels to the desired air quality standards were stated at the end.

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tanım

Hava kirliliği teknoloji ile birlikte gelen modern hayatın yan ürünlerinden biridir. Fabrikalar, motorlu araçlar, elektrik ve ısı enerjisi üretimi bu kirliliğin önemli kaynaklarıdır. Hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri yanmadır. Teorik olarak yanma gerçekleştiğinde yakıt içindeki hidrojen ve karbon havanın oksijeni ile birleşerek ısı, ışık, karbondioksit (CO₂) ve su buharı açığa çıkar. Bununla beraber yakıttaki safsızlıklar, uygun olmayan hava/yakıt oranı veya çok yüksek ya da çok düşük yanma sıcaklıkları karbonmonoksit (CO), kükürt oksitleri, azot oksitleri, uçucu kül ve yanmayan hidrokarbonlar gibi hepsi hava kirleticileri olan maddelerin açığa çıkmasına sebep olabilir.

Hava kirliliğinin çeşitli tanımlarından biri ve en popülerleri, "atmosferde bulunan kirleticilerin insan sağlığı, bitki, yapı ve malzemelerde zararlı etkiler meydana getirecek miktar (konsantrasyon) ve sürede bulunması" şeklindedir (Wark et al, 1981). Bu tanımda verilen konsantrasyon teriminin bazı kirleticiler için kirli ve temiz hava karşılaştırması Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Kirli atmosfer ile temiz atmosferin karşılaştırılması (Stern, 1976)

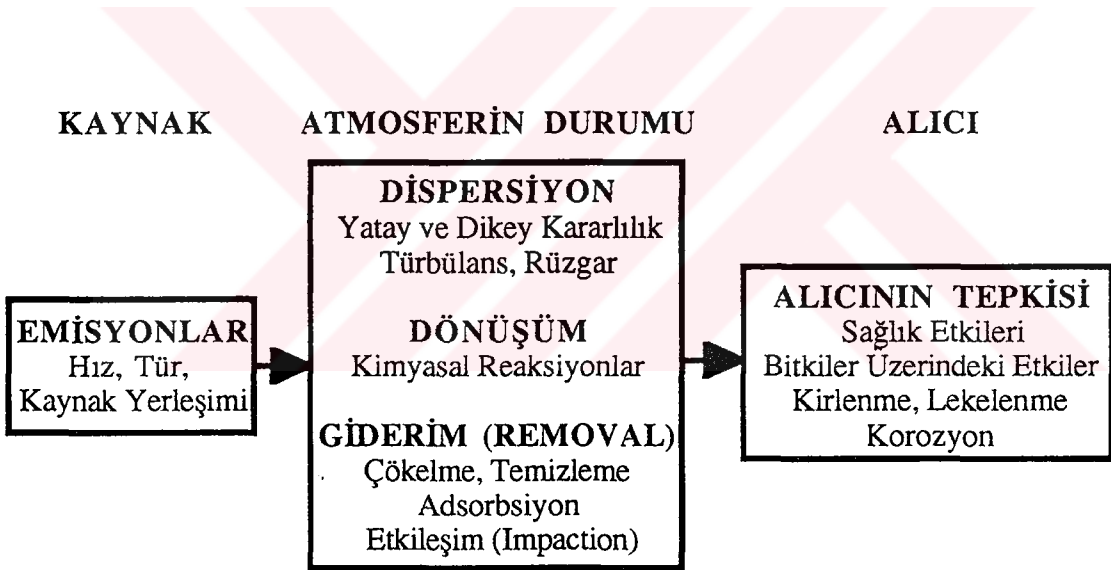
Eser Gaz	Temiz Hava (ppm)	Kirli Hava (ppm)	Kirli/Temiz Oranı
CO ₂	320	400	1.3
CO	0.1	40 - 70	400 - 700
CH ₄	1.5	2.5	1.3
N ₂ O	0.25	?	?
NO ₂ (NO _X)	0.001	0.2	200
O ₃	0.02	0.5	25
SO ₂	0.0002	0.2	1000
NH ₃	0.001	0.02	2

1.2. Kirleticilerin Atmosferdeki Hareketleri

Çeşitli kaynaklardan yayılan bütün hava kirleticileri, meteorolojik ve topografik şartlar yardımıyla taşınır (transportation), yayılır (diffusion) veya bir bölgede toplanırlar (concentration). Bu çevrim mekanizması kirleticilerin kaynaktan bırakılması ile başlar ve atmosferde taşınma ve yayılmaları ile devam eder. Çevrim, kirleticilerin yağmur ile atmosferden yıkanması vasıtasıyla, sonuçta bitkiler, yüzey suları, toprak ve diğer malzemeler üzerine çökmesi ile ya da uzaya kaçması ile tamamlanır. Bazı durumlarda kirleticiler rüzgar sebebiyle tekrar atmosfere girebilirler. Kirleticilerin bir bölgedeki miktarını belirleyen iki faktör vardır.

- i) Kirletici emisyonlarının özellikleri
- ii) Atmosferin durumu.

Bu iki etkinin birbirleriyle bağlantıları Şekil 1.1'de bir akış şeması şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Kirleticilerin atmosferde kaynaktan alıcıya kadar izlediği yol (Oke, 1987).

Emisyonların bazı önemli karakteristikleri sonuçta oluşan hava kirliliği üzerinde etkili olmaktadır. Açıktır ki, emisyon hızı ve kirleticilerin kimyasal ve fiziksel özellikleri kirlilik yükünün tipini ve miktarını belirleyen önemli parametrelerdir. Emisyon alanının şekli, emisyon süresi ve kirleticilerin atmosfere bırakıldıkları efektif yükseklik gibi diğer faktörlerin bilinmesi de aynı derecede önem arz etmektedir. Kaynakların çoğunluğu yer seviyesine yakın bulunmaktadır. Sonuçta, kirlilik en çok

yeryüzüne yakın seviyelerde yoğunluk kazanmakta ve yükseldikçe kirlilik yoğunluğu azalmaktadır.

Atmosfere bırakılan kirleticiler Gezegenel Sınır Tabaka (Planetary Boundary Layer) denilen atmosferin yaşadığımız yeryüzüne yakın tabakası içinde kaldığı zaman kirlilik probleminden büyük ölçüde bahsedilmektedir. Kirleticiler üst atmosfere çıktuktan veya bir şekilde Gezegenel Sınır Tabakayı terkettikten sonra kirleticilik durumlarından bahsedilmez. Gezegenel sınır tabakanın bu bakımdan hava kirliliğinde önemi büyüktür.

Gezegensel Sınır Tabaka

Gece enversiyonları varlığında 100 m. kadar incelmesine rağmen yaklaşık birkaç km kalınlığa kadar ulaşmaktadır. Bu tabaka içinde, Dünya'nın dönmesi sonucu oluşan Coriolis kuvvetinin de kirleticilerin dağıtılmasında etkisi vardır. Yine bu tabakada rüzgarın yönü de yükseklikle değişmektedir. Geostrofik rüzgar, yeryüzeyindeki sürtünme sürüklemesi (frictional drag) kuvveti ve Coriolis kuvveti arasında bir dengenin olduğu kabul edilmektedir. Gezegenel Sınır Tabakanın üst sınırı, sürtünme sürüklemesi kuvvetinin önemsiz bir değere (mesela, yüzeydeki değerinin %5'ine) ulaştığı nominal yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Gezegenel Sınır Tabaka, bazen Ekman Tabaka veya Ekman Spiral Tabaka olarak ta anılmaktadır.

Kirleticiler atmosfere bırakıldıktan sonra, çeşitli ölçeklerdeki atmosferik hareketlerle yayılmaktadır. Bu yayılma ve dağılma hareketlerini dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

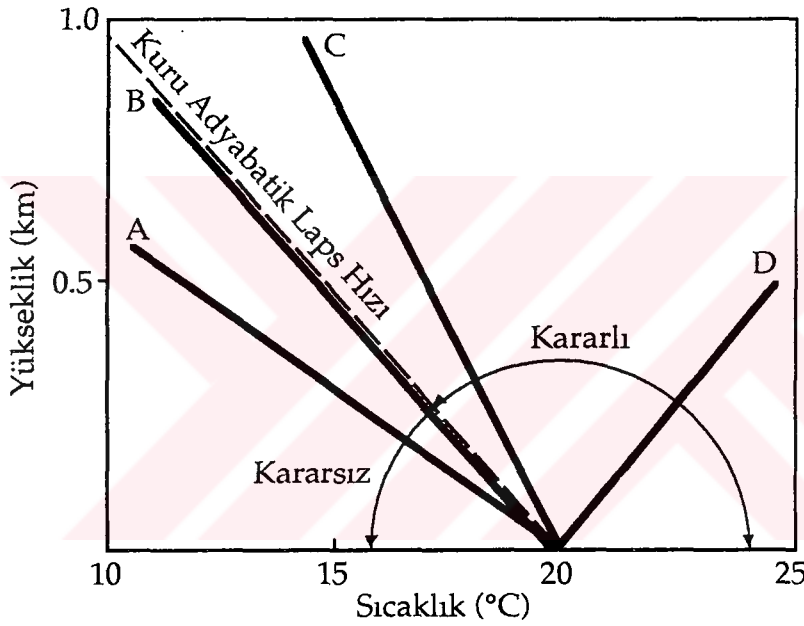
Buradaki sınıflandırma, hava hareketlerinin meteorolojik ölçekleri (mikro ölçek, mezo ölçek, snoopik ölçek vs.) ile ilgili olmayıp, sadece kirleticilerin taşınım ve yayılma yönleri bazında yapılmıştır. Buna ilaveten, genel olarak gaz olmayan partiküllerin boyut, şekil ve ağırlık gibi aerodinamik karakterleri de yeryüzüne çökelmelerini veya bouyant kuvvetle yukarı hareketlerini etkilemektedir.

1.2.1. Dikey Hareketler

Kirleticilerin atmosferde dikey taşınımlarını sağlayan veya engelleyen atmosferik hareketler, meteorolojik ölçeklerine bakılmaksızın, atmosfer kararlılığı, alçak ve yüksek basınç durumları (siklonik ve antisiklonik durum), atmosferik durgunluk olarak önemli başlıklar altında sıralanabilir.

Atmosferin Kararlılığı ve Laps Hızı

Atmosfere bırakılan kirleticilerin dağılma derecesini tahmin edebilmek için atmosferin kararlılık durumunun bilinmesi gerekmektedir. Atmosferin kararlılığı, dikey karışım veya hareket yapma derecesinin ölçüsüdür. Atmosfer kararlı ise, yani yeterince dikey karışım veya hareket göstermiyorsa, kaynaktan bırakılan kirleticiler yeryüzeyine yakın bölgede kalır ve dağılmazlar. Atmosferin kararlılığı doğrudan düşey sıcaklık profiline (laps hızı) bağlıdır. Yani sıcaklığın yükseklikle değişme oranı kararlılığı belirleyen parametredir. Bu sıcaklık profiline bağlı olarak atmosferin kararlılığı genel olarak kararsız, nötr, kararlı ve enversiyon olmak üzere dört tiptir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Kuru bir atmosferde kararlılığa örnek olarak sıcaklık profilleri: A. Kararsız, B. Nötr, C. Kararlı ve D. Çok Kararlı Enversiyon laps hızları

Bunlara geçmeden önce, yukarıda bahsi geçen laps hızını açıklamak gerekir.

Laps Hızı

Sıcaklığın yükseklikle değişme hızı Laps Hızı (lapse rate) olarak anılmaktadır. "Normal" bir atmosfer için laps hızı $-0.64^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 'dir. Termodinamik olarak "Kuru Adyabatik" laps hızı ise $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 'dir. Belli bir bölge için gerçek sıcaklık laps hızı çevre hava şartları ile değişmekte olup havanın türbülanslı dikey hareketleri üzerindeki etkileri açısından önem arz etmektedir. Hava parseli olarak adlandırılan kirletici gaz kütesinin atmosferde dikey doğrultuda hareket yönü, çevre havası ile gaz kütesi

arasındaki sıcaklık farkının arttığı yöndür. Yani gaz kütlesi, kendisi ile kendisini çevreleyen hava kütlesi arasındaki sıcaklık farkının arttığı yönde hareket etme eğilimindedir. Dikey yönde iyi bir karışım, kirleticilerin yer seviyesindeki ani etkilerini asgariye indirir. Diğer taraftan, hava yukarı doğru etkin bir şekilde karışmazsa düşük irtifalarda atmosfere bırakılan kirleticiler bırakıldıkları irtifalarda kalma eğilimi gösterirler.

a. Kararsız Durum:

Yükselen bir sıcak hava parseli (kaynaktan bırakılan ve kirletici ihtiva eden gaz karışımı), yükselirken soğusa da, kendisini yukarı doğru hareket ettirecek bouyant (kaldırıcı) kuvveti bulmaya devam ederse etkili bir karışma gerçekleşir. Bu ise ancak sıcak hava parselini içine alan çevre havasının laps hızının kuru adyabatik laps hızından büyük olduğu durumda gerçekleşir. Yükselen hava parseli kuru adyabatik laps hızı ile soğumaktadır. Çevre havasının laps hızı adyabatik laps hızından büyükse **kararsız** durum oluşur (Şekil 1.2. A). Yani hava parseli ile çevre havası arasındaki sıcaklık farkı yükseldikçe artar ve bu da hava parselinin daha da yükselmesini sağlar. Bu durum, kirleticilerin dağılması bakımından en uygun durumdur.

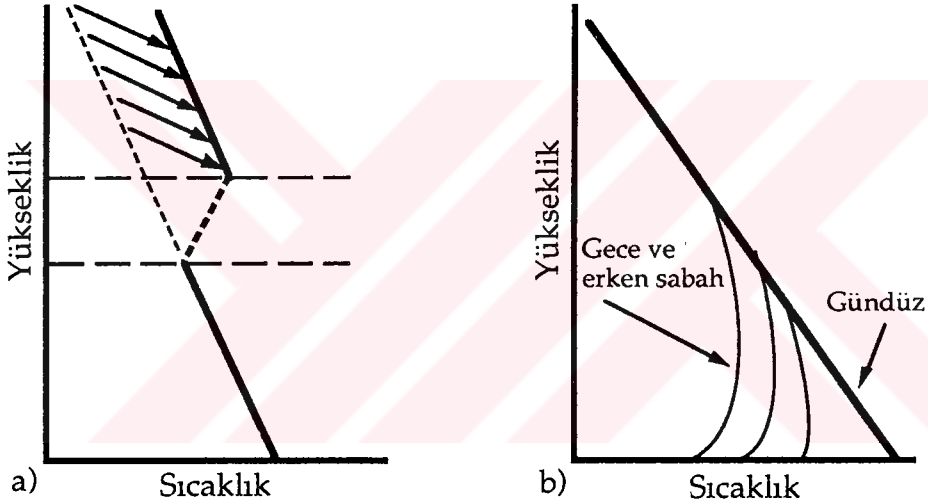
b. Nötr Durum:

Çevre havası laps hızının yaklaşık olarak kuru adyabatik laps hızına eşit olduğu durumdur (Şekil 1.2. B). Bu durumda hava parselini yukarı doğru hareket ettirecek sıcaklık farkı yükseklikle değişmeyeceğinden atmosfere bırakılan gaz karışımı bırakıldığı irtifada kalma eğilimi gösterecektir.

c. Kararlı Durum:

Çevre havası laps hızı kuru adyabatik laps hızından küçüktür (Şekil 1.2. C). Bu durumda yükselmeye çalışan hava parseli ile çevre havası arasındaki sıcaklık farkı

Çok çeşitli enversiyon durumlarından iki tipi en çok oluşurlardır. Bunlardan birisi yüksek basınç içinde kalan bir hava tabakasının alçalması ile oluşan **Çökme Enversiyonu**dur (Şekil 1.3a). Bir yüksek basınç bölgesinde kalan hava tabakası düşük irtifalara doğru alçalırken adyabatik olarak sıkışır ve ısınır. Hava tabakasının adyabatik olarak alçalması esnasında bu tabakanın tabanı tavanından daha az ısınır. Dolayısıyla yeterli miktarda çökme olduğunda hava tabakasının tavanı tabanından daha yüksek sıcaklıkta olacak ve bu sıcaklık gradyanı enversiyonu oluşturacaktır. Çökme enversiyonları genelde emisyon kaynaklarından yüksek irtifalarda oluşmaktadır. Dolayısıyla kısa vadeli kirlilik problemlerinde etkili olmamaktadır. Bununla beraber bu tip enversiyon günlerce devam edebilir ve uzun vadede kirlenmelerin birikmesine sebep olabilir.



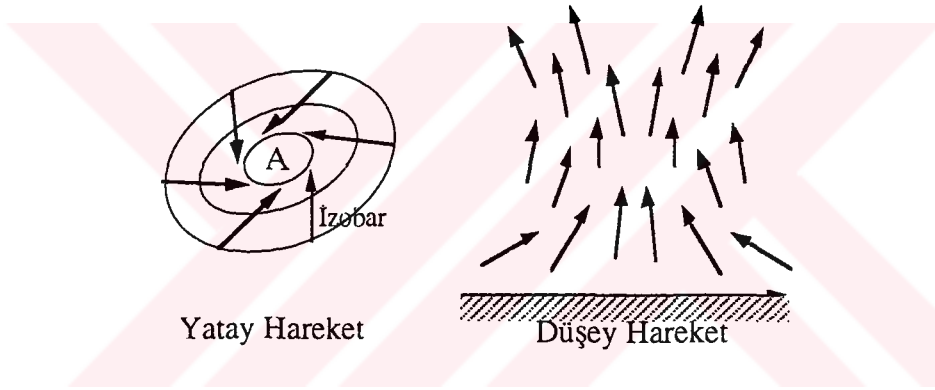
Şekil 1.3. İki önemli enversiyon tipinin oluşumlarının şematik gösterimi: a) Çökme enversiyonu, b) Radyasyon enversiyonu

İkinci önemli enversiyon tipi ise **Radyasyon Enversiyonu**dur (Şekil 1.3b). Atmosferin yüzey tabakası gündüz vakti, iletim (conduction), konveksiyon ve radyasyon mekanizmaları ile yer yüzeyinden ısı alır ve ısınır. Bunun sonucu olarak aşağı atmosferde negatif sıcaklık profili oluşur. Bunu müteakip açık bir gece oluşursa yeryüzeyi ısı yayar ve hızlı bir şekilde soğur. Soğuyan yeryüzeyi kendisine yakınlık sırasındaki hava tabakalarını da mesafelerinin tersi nispetinde soğutur. Dolayısıyla yükseldikçe hava daha az soğumuş olmaktadır. Sonuçta gündüz vakti oluşan sıcaklık profili ters dönmüş olur ve alt atmosferde kararlı bir enversiyon tabakası oluşur. Bu tip enversiyon güneş doğmadan hemen önce, açık gökyüzü ve hafif rüzgar şartlarında en

kuvvetli durumdadır. Sabah güneşinin yeryüzünü ısıtması ve yükselen sıcak hava akımlarını yeniden oluşturmasıyla kırılır.

Alçak Basınç (Siklon Hareketi)

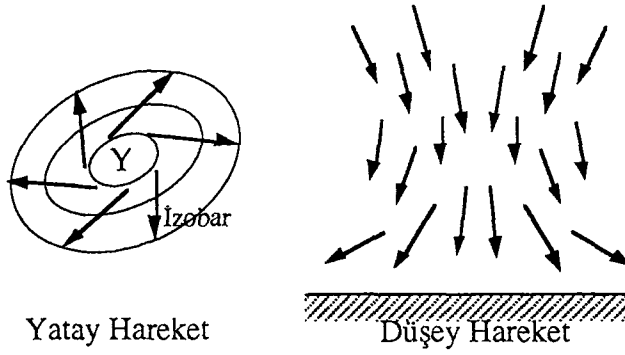
Bir sıcak hava kütesinin soğuk hava kütesi altına girmesi ile oluşur. Oluşan sıcaklık farkı dolayısıyla altta kalan sıcak hava kütesi yükselme eğilimi gösterir. Sıcak hava kütesi yükselirken düşük irtifalarda yerini çevresinden gelen hava doldurur. Oluşan bu içeri doğru hareket, yakınsayan siklonik bir harekettir ve spiral şeklinde yukarı doğru oluşur (Şekil 1.4). Bu spiralin yönü kuzey yarımkürede saat yönünün tersinde, güney yarımkürede ise saat yönünde oluşur. Oluşan bu yukarı doğru hareket alt atmosferdeki kirleticileri de yukarı doğru taşıyarak dağıtır. Bu bakımdan alçak basınç sistemi kirleticilerin dağıtılması açısından istenen bir durumdur.



Şekil 1.4. Kuzey yarımkürede bir siklonda yakınsayan rüzgarların düşük irtifa saat yönü tersindeki spiralleri. Havanın düşey doğrultudaki hareketi sağdaki şekilde gösterilmiştir.

Yüksek Basınç (Antisiklon Hareketi)

Yüksek basınç durumu da alçak basınç durumunun tersine bir soğuk hava kütesinin bir sıcak hava kütesi üzerine çıkması ile oluşur. Yukarıda kalan soğuk hava kütesi aşağı doğru hareket etme eğilimi gösterir. Aşağı inerken yerini çevresinden gelen hava doldurur. Bu durumda oluşan aşağı doğru hareket ıraksayan (dışarı doğru) bir spiral şeklini alır (Şekil 1.5). Bu hava hareketine antisiklon hareketi de denilmektedir. Hareket aşağı doğru olduğu için böyle bir basınç sisteminin bulunduğu bölgede atmosfere bırakılan kirleticiler yukarı doğru yükselmez. Bunun için hava kirliliği açısından istenmeyen bir durumdur.



Şekil 1.5. Kuzey yarımkürede bir antisiklondan uzaksayan rüzgarların saat yönündeki spiralleri. Havanın düşey doğrultudaki çökme hareketi sağdaki şekilde gösterilmiştir.

Atmosferik Durgunluk

Avrupa ve ABD'nin doğusundaki en ciddi hava kirliliği olayları bir antisiklonun doğuya doğru hareketini geçici bir süre için durdurması ve birkaç gün süreyle durgunluk oluşturması ile olmuştur. Durgunluk oluşturan antisiklonlara müsait topografik yapılı bölgeler hava kirliliği için ciddi potansiyel taşımaktadır.

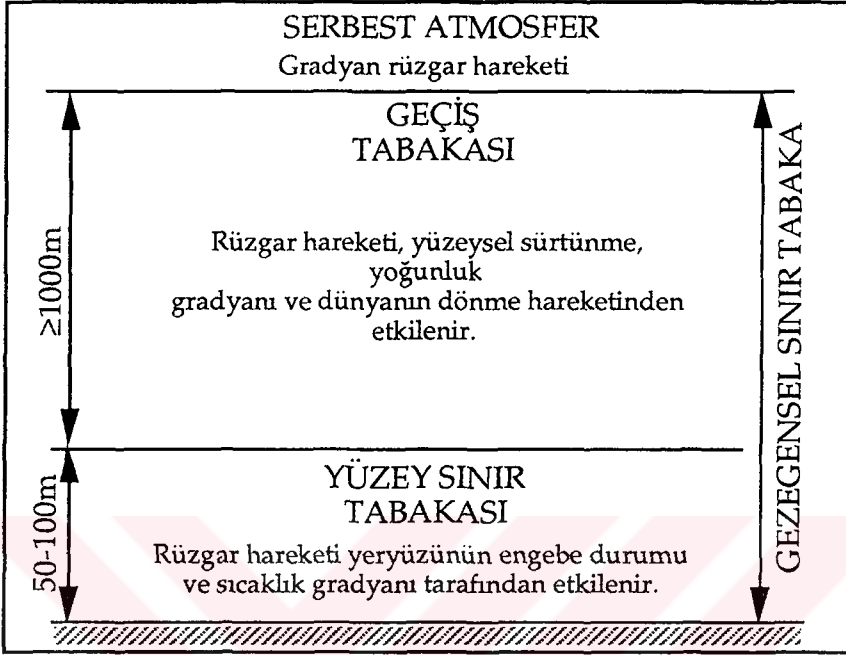
Yatay Yöndeki Hareketler (Rüzgarlar)

Kirleticilerin atmosferde yatay yayılmaları, emisyon kaynağı yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızına büyük ölçüde bağlı bir fonksiyondur. Rüzgar hareketi yeryüzüne yakın irtifalarda yüzey pürüzlülüğü ile orantılı olan sürtünme kuvvetinden etkilenmektedir (Şekil 1.6). Bölgenin topografik yapısı, ağaçların yoğunluğu ve yerleşimi, göllerin, nehirlerin, tepelerin ve yapıların yerleşimi ve boyutları dikey yönde farklı rüzgar hızı profillerini oluşturmaktadır. Sürtünmeden etkilenen hava tabakası (Gezegensel Sınır Tabaka) yeryüzünden itibaren birkaç yüz metreden birkaç km'ye kadar uzanmaktadır. Bu sınır tabakanın derinliği kararsız durumlarda, kararlı durumdakinden daha büyüktür. Bu sebeple, kirleticiler kararsız atmosferik şartlarda daha büyük bir dikey mesafede yayılacak ve dolayısıyla kirletici konsantrasyonu daha düşük olacaktır.

Türbülanslı Hava Hareketleri

Atmosferik türbülans tamamen açıklanmış ve matematik temellere dayandırılmış bir olay değildir. Türbülans genellikle rüzgar hızındaki dalgalanmaların 2 devir/saat'ten

daha yüksek frekanslı olanları olarak tanımlanmaktadır (Wark et al, 1981). Daha önemli dalgalanmalar ise 1 ile 0.01 devir/saniye arasındaki frekanslara sahiptir.



Şekil 1.6. Atmosferde rüzgar hareketlerini etkileyen sınır tabakaları

Atmosferik türbülans iki önemli etki sonucu oluşmaktadır:

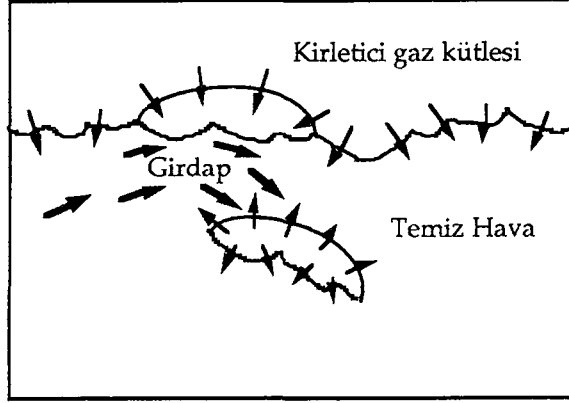
a) Atmosferik ısınma: Yoğunluk farklılaşması dolayısıyla doğal konveksiyon akımlarının oluşmasına sebep olur.

b) Rüzgar Etkisi: Rüzgar hızının yükseklikle değişimi dolayısıyla mekanik türbülans oluşur.

Her iki etki de her türlü atmosferik şartta bulunmasına rağmen değişik durumlarda biri diğerine göre daha baskın olmaktadır. Güneşli günlerde hafif rüzgar ve oldukça yüksek negatif sıcaklık gradyanı olduğu zaman termal girdaplar (eddy) daha etkilidir. Bu dalgalanmaların periyodu dakikalar mertebesinde olabilmektedir. Diğer taraftan mekanik türbülans rüzgarlı gecelerde nötr kararlılık şartı ile daha baskındır ve rüzgar dalgalanmalarının periyodu saniyeler mertebesinde olmaktadır. Mekanik türbülans havanın yer yüzeyi üzerinde hareketi sonucu oluşmaktadır ve binaların yerleşimi ve yer yüzeyinin pürüzlülüğünden etkilenmektedir.

Türbülansın kirleticileri nasıl dağıttığı oldukça basitleştirilmiş olarak Şekil 1.7'de gösterilmektedir. Şekilde bir gaz kirletici bulutunun alt kenarı gösterilmektedir. Burada kirleticiler belirli bir hızda temiz hava ile karışmaktadır. Bir türbülans girdapı gaz

kütlesinden kopardığı küçük bir kirletici bulutun temiz hava ile karışma yüzeyinin artırarak daha hızlı bir şekilde seyrelmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.7. Çok basitleştirilmiş olarak bir türbülans girdapının kirletici gaz kütlesini parçalaması ve kirleticilerin çok daha hızlı bir şekilde temiz hava ile karışması.

Moleküler Diffüzyonla Dağılma

Düzenliliğe (Uniformity) doğru olan eğilim, kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları için de geçerlidir. Kirleticiler atmosfere bırakıldıklarında oldukça yüksek konsantrasyonda bulunmaktadırlar. Kirletici bulutu ile temiz hava arasında oluşan bu yüksek konsantrasyon gradyanı kuvveti ile kirleticiler çevredeki temiz hava içine doğru yayılırlar. Yayılma ilerledikçe konsantrasyon gradyanı azalacağı için yayılma hızı da yavaşlar (Fick Kanunu). Dolayısıyla atmosferde tam bir karışımın olması sadece diffüzyon mekanizması ile gerçekleşmez. Moleküler diffüzyon kirleticilerin atmosferde dağılmasında yer alan bir mekanizma olmasına rağmen, yukarıda bahsedilen diğer mekanizmalar yanında önemsiz kalmaktadır.

1.3. Hava Kirliliği Mevzuatı

Ülkemizde çevre sorunlarının 1982 Anayasası ile ele alınıp toplumun güncel sorunları olarak tanımlanması ve buna bağlı olarak 9 Ağustos 1983 yılında 2872 sayılı Çevre Kanununun yürürlüğe girmesi ile yasal tanımlar yapılmış bulunmaktadır. Söz konusu Çevre Kanunu bir çerçeve kanun niteliğindedir. 6 Bölüm ve 34 maddeden oluşan kanun çeşitli alanlardaki uygulamaları yönetmeliklere bırakmıştır. İşte bu yönetmeliklerden birisi olan "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği" 2 Kasım 1986 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Tablo 1.2. Türkiye'de Hava Kalitesi Sınır Değerleri (HKKY, 1986)

PARAMETRE	Birim	UVS	KVS
Kükürt Dioksit (SO ₂) --Kükürt Trioksit (SO ₃) Dahil--			
a) Genel	µgr/m ³	150	400 (900)
b) Endüstri Bölgeleri	µgr/m ³	250	400 (900)
Karbon Monoksit (CO)	µgr/m ³	10.000	30.000
Azot Dioksit (NO ₂)	µgr/m ³	100	300
Azot Monoksit (NO)	µgr/m ³	200	600
Klor (Cl ₂)	µgr/m ³	100	300
Klorlu Hidrojen (HCl) ve Gaz halde anorganik Klorürler (Cl ⁻)	µgr/m ³	100	300
Florlu Hidrojen (HF) ve Gaz Halde Anorganik Florürler (F ⁻)	µgr/m ³	----	10 (30)
Ozon (O ₃) Fotokimyasal Oksitleyiciler	µgr/m ³	----	(240)
Hidrokarbonlar (HC)	µgr/m ³	----	140 (280)
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	µgr/m ³	----	40 (100)
Havada Asılı Partikül Maddeler (PM) (10 µm ve daha küçük partiküller)			
a) Genel	µgr/m ³	150	300
b) Endüstri Bölgeleri	µgr/m ³	200	400
PM içinde Kurşun(Pb) ve bileşikleri	µgr/m ³	2	-----
PM içinde Kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	µgr/m ³	0.04	-----
Çöken Tozlar (10 µm'den büyük partiküller dahil)			
a) Genel	µg/m ² gün	350	650
b) Endüstri Bölgeleri	µg/m ² gün	450	800
Çöken Tozlarda Kurşun ve Bileşikleri	µg/m ² gün	500	-----
Çöken Tozlarda Kadmiyum ve Bileşikleri	µg/m ² gün	7.5	-----
Çöken Tozlarda Talyum (Tl) ve Bileşikleri	µg/m ² gün	10	-----

Tablo 1.3. EPA tarafından düzenlenen Hava Kalite Standartları (Rao, 1993)

Parametre	Standart ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Açıklama
P.M.	75	Yıllık Geometrik Ortalama
	260	24 Saat
SO ₂	80	Yıllık Ortalama
	365	24 Saat
CO	10000	8 Saat (Yılda 1'den fazla geçemez)
	40000	1 Saat (Yılda 1'den fazla geçemez)
NO _x	100	Yıllık Ortalama
O ₃	235	1 Saat (Günlük Maksimum) (Yılda 1'den fazla geçemez)
Metan'sız HC'lar	160	6-9 Saat Yıllık Ortalama
Kurşun (Pb)	1.5	3 Aylık Ortalama

Tablo 1.4. Çeşitli ülkelerde uygulanmakta olan 24 saatlik ortalama bazındaki SO₂ ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$) standartları (Rao, 1993)

Ülke	Standart	Ülke	Standart
Belçika	150	Çekoslovakya	150
Bulgaristan	50	Doğu Almanya	150
Kanada		A.B.D.	
Alberta	150	Colorado	260
Newfoundland	290	Delaware, kırsal	50
Ontario	290	Delaware, kentsel	80
İsveç	250	Delaware, ticari	100
İsviçre	75	Delaware, endüstri	160
Finlandiya	250	Missouri	120
Rusya	150	Fransa, Paris	75
Polonya	75	İtalya	380
Romanya	250	Hollanda	125

Yönetmelik hava kirliliği sorununun çözümüne emisyon denetimi ile yaklaşmaktadır. Böylece her tesisin kendi üretim türü ve büyüklüğü ile ilişkili olarak kirletici özelliklerini beyan etmesi esastır. İdare ise bu bilgileri arşivleyip zaman içerisinde bunların doğruluk derecesini ve değişimlerini izlemek durumundadır.

Türkiye'deki hava kalitesi sınır değerleri Tablo 1.2'de verilmiştir. Mukayese olması açısından Amerikan Çevre Koruma Teşkilatının (Environmental Protection Agency, EPA) tavsiye ettiği SO₂ için hava kirlenmesi kriterleri Tablo 1.3 ve çeşitli ülkelerde uygulanmakta olan SO₂ standartları Tablo 1.4'te verilmiştir. Bu standartlarda belirtilen iki tanımı açıklamak gerekir:

a) UVS (Uzun Vadeli Sınır Değeri): Aşılmaması gereken ve yıllık tüm ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir.

b) KSV (Kısa Vadeli Sınır Değeri): Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistiksel olarak tüm ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının % 95'ini aşmaması gereken değerlerdir.

1.4. İstanbul'un Günümüze Kadar Hava Kirliliği Durumu

İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını, ev ve apartmanlarda kış aylarında ısınma amacıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen ve alan kaynak olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmektedir. Bunların yanında, hareketli kaynaklar olarak sınıflandırılan motorlu taşıtlar ve nokta kaynaklar kategorisine giren endüstriyel kaynaklar da bölgesel olarak hava kirlenmesine yol açmaktadır. Isıtma ve endüstriyel kaynaklardaki emisyonları sabit kaynaklarda yakıt yanması olarak belirlemek mümkündür.

1960-1990 yılları arasında tüketim miktarları açısından yaygın şekilde kullanılan yakıtlar çeşitli dönemlerde değişik görüntüler arz etmiş, 1960-1980 yılları arasında fuel-oil, 1980'den sonra ise linyit kömürü ısınma amacıyla tüketilen yakıtlar arasında öncelik göstermiştir. Gelecek yıllarda da doğalgazın önemli ölçüde kullanılması beklenmektedir.

Bu yakıtların yakılması neticesinde atmosfere verilen belli başlı kirleticiler arasında, partiküler madde (PM), kükürtdioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), hidrokarbonlar (HC) bulunmaktadır. Bunlardan son üçünün önemli bir kaynağını motorlu taşıtlar (otomotiv kaynaklı emisyonlar) teşkil etmektedir. İstanbul'da sabit kaynaklar ve taşıtlardan meydana gelen kirletici miktarları, emisyon faktörleri

kullanılarak hesaplandığında bu emisyonların izafi (relatif) dağılımları bulunabilir. 1990 yılı için bu faktörler kullanılarak tahmin edilen kirletici emisyonlarının dağılımı Tablo 4.1'de gösterilmiştir (Borat ve diğerleri, 1990).

Tablo 1.5'ten görüldüğü gibi, İstanbul'da hava kirlenmesine büyük ölçüde sabit kaynaklarda (evler, endüstri tesisleri) ısınma ve enerji temini maksadıyla kullanılan yakıtlar sebep olmaktadır. Taşıtların hava kirliliğindeki payı ise %10 mertebesindedir. Ancak bu dağılım genellikle kış ayları için geçerlidir. Bilhassa yaz aylarında, sabit kaynaklarda yanma asgari seviyede olduğu için, motorlu taşıtların katkısı daha fazla olabilmektedir.

Tablo 1.5. İstanbul'da 1990 yılındaki kirletici emisyonlarının dağılımı

Kirletici	Toplam Emisyon İçindeki Payı (%)	Kaynak Payları (%)	
		Sabit Kaynaklar	Taşıtlar
PM	48.1	47.5	0.65
SO ₂	29.4	29.1	0.26
CO	16.3	9.9	6.64
NO _x	3.1	1.6	1.44
HC	3.1	1.6	1.40
TOPLAM	100	≈90	≈10

1.5. İstanbul'un Hava Kirliliği İle İlgili Önceki Çalışmalar

İstanbul'daki bölgesel hava kirliliği seviyesi ile ilgili bazı çalışmalar Kartal bölgesinde Çataltaş (1969) tarafından ve Nişantaşı bölgesinde de Tebbens (1970) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, İstanbul'un rüzgarlı ikliminin o tarihlerde, oluşabilecek ciddi bir hava kirliliği problemini önlediği belirtilmiştir. Ancak gelecekte kullanılacak yakıt türünün seçiminde dikkatli olunması gerektiği de ifade edilmiştir.

Ayalp (1976) tarafından yapılan çalışmada ise İstanbul'un ticari, meskun ve endüstriyel bölgelerinde kurulan istasyonlarda yapılan ölçümlerde kükürtdioksit, azotoksit, karbonmonoksit, toplam askıda katı madde ve duman parametreleri ölçülmüştür. Aynı rüzgar yönü alınarak bir istasyon için yapılan kükürtdioksit ve rüzgar hızı parametreleri arasındaki regresyon analizlerinde çeşitli lineer ve parabolik ilişkiler kurulmuştur. Kükürtdioksitin en düşük seviyede kaydedildiği günlerde hakim rüzgar yönünün kuzey ve kuzey-doğu, en yüksek seviyede kaydedildiği günlerde ise kuzey-batı yönlerinde olduğu gözlenmiştir.

İstanbul'daki hava kirliliğinin deterministik modellenmesi ile ilgili ilk çalışma Ertürk (1981 ve 1986) tarafından Haliç bölgesinde kükürtdioksit ve asılı partiküler madde parametreleri üzerinde, ikinci olarak Öztürk (1983) tarafından Beyoğlu Caddesi'nde karbonmonoksit konsantrasyonu üzerinde yapılmıştır. Her iki çalışmada da gözlenen ve matematik modelle hesaplanan değerler arasında yüksek korrelasyonlar bulunmuştur. İncecik (1986) tarafından Haliç bölgesinde alt atmosferin mikrometeorolojik yapısı ile ilgili yapılan çalışmada ise, düşük rüzgar hızları, gece vakti oluşan kararlı atmosfer durumu ve zayıf dağılma (dispersiyon) gibi meteorolojik şartların, kirleticilerin bu bölgede birikmesine sebep olduğu belirtilmiştir.

Bir başka çalışma ise İşli (1990) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da yine meteorolojik parametrelerle kirlilik parametrelerinin birlikte istatistiksel ilişkileri ile beraber kirlilik verileri, zaman serileri şeklinde analiz edilerek geleceğe dönük tahmin çalışması yapılmıştır.



2. BÖLÜM

VERİ TABANI VE ÇALIŞMA BÖLGESİ

2.1. Hava Kirliliği Verileri

Bu çalışmada kullanılan veriler İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü Hıfzıssıhha Enstitüsü'nün 1989'dan 1995 yılı Mart ayına kadar olan süre içinde çeşitli ölçüm istasyonlarında ölçtüğü veriler olup, bu istasyonlarda ölçülen günlük (24 saatlik) ve aylık ortalama kükürtdioksit (SO₂) ve partiküler madde (PM) konsantrasyonları değerlendirilmiştir. 1985-1989 yılları arasındaki veriler ise aylık ortalama bazında Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü yayınlarından temin edilmiştir.

Kükürtdioksit ölçümü prensip olarak havanın bu gaz sebebi ile sahip olduğu asiditesinin ölçümü olarak yapılmaktadır ve eşdeğer $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ şeklinde ifade edilmektedir. Ölçüm, asidimetrik titrasyon metodu ile yapılmaktadır. Bu metodda, hava numunesi 24 saat boyunca seyreltik hidrojen peroksit çözeltisi içinden geçirilmekte ve kükürtdioksiti çözeltilde absorbe olup sülfirik asite dönüşmektedir. Daha sonra bu çözeltinin asiditesi standart NaOH çözeltisi ile titre edilip sonuç eşdeğer SO₂ konsantrasyonu şeklinde ifade edilmektedir.

Partiküler madde tayini ise, partiküler maddenin filtre kağıdı yüzeyi üzerinde oluşturduğu karartının eşdeğer $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ 'e çevrilmesi ile tayin edilmektedir. Bu metodda hava numunesi 24 saat boyunca bir filtre kağıdı üzerinden geçirilmektedir. PM, filtre kağıdı üzerinde konsantrasyonuna bağlı olarak bir karartı oluşturmakta ve bu karartı da filtre kağıdının ışığı yansıtma miktarını değiştirmektedir. Bu şekilde yansıyan ışık miktarı çevrim tabloları ile eşdeğer $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ olarak konsantrasyona çevrilmektedir.

2.2. Meteoroloji Verileri

Meteorolojik veriler Göztepe Sinoptik Meteoroloji İstasyonundan 1971-93 arası aylık ortalama klima, ve 1992-94 günlük klima ve radyozonde verisi şeklinde alınmıştır.

Bu çalışmada ölçülen meteorolojik parametrelerden sıcaklık (günlük ortalama kuru termometre olarak), çiğ noktası sıcaklığı, basınç (denize indirilmiş), rüzgar hızı (yer seviyesi), enversiyon tabakası yükseklikleri, kalınlıkları ve sıcaklıkları kullanılmış ayrıca

bu parametreler kullanılarak karışma yükseklikleri ve havalandırma katsayıları hesaplanmıştır.

2.3. Topografik Durum

İstanbul, yaklaşık 5712 km² yüzölçümüne sahip ve 1990 sayımına göre 7 milyon (Devlet İstatistik Enstitüsü, 1993) nüfuslu (1994 yılı itibarıyla yaklaşık 12 milyon) bir şehir olup, arazisi genelde birçok vadi ile birbirinden ayrılmış tepelerden oluşmaktadır. Bugün son derece büyük bir sahaya yayılmış olan şehrin surlar içinde kalan kısmına Eski İstanbul adı verilir. Surlar içindeki bu bölge Topkapı Sarayı, Ayasofya ve Sultanahmet, Çemberlitaş ve Nuruosmaniye, Fatih, Yavuz Sultan Selim, Edirnekapı ve Samatya olmak üzere yedi tepe üzerinde kurulmuş olduğu eskiden beri kabul edilmektedir. Surlar içinde kalan bu kısmın yüzölçümü 25 km² kadardır.

İstanbul'un topografyası 4 ana bölümden oluşmaktadır:

Batı Bölgesi:

Kumburgaz'dan Bakırköy'e kadar uzanan 35 km uzunluğundaki Batı Bölgesinde, Büyükçekmece, Küçükçekmece ve Marmara Denizi'ne ulaşan başlıca üç vadi bulunmaktadır. Bu üç vadi sularını Büyükçekmece'ye, Küçükçekmece'ye ve doğrudan Marmara Denizi'ne vermektedir. Vadiler Marmara Denizi'nden kuzeye doğru uzanan alçak tepelerle sınırlanmıştır. Topografik bakımdan Kuzey Marmara sahilleri karakteristiğindedir. Bu bölgede arazi kotları 0-200 m arasında değişmektedir.

Merkezi Bölge:

Bakırköy'den Boğaz'daki Ortaköy'e kadar uzanan ve Haliç'i de içine alan Merkezi Bölge, kuzey-batı yönünde uzanan vadilerden oluşmakta, arazi yüksekliği deniz seviyesinden 120 m'ye kadar değişmektedir. Arazi meyili, Boğaz sahillerinde Marmara sahillerine nazaran daha diktir. Bu bölgede üç havza tariflemek mümkündür. Bunlar sularını Marmara Denizi'ne, Haliç'e ve Boğaz'a veren alanlardır. Sularını Marmara'ya veren bölgede Çırpıcı Deresi, Haliç'e veren bölgede ise Alibeyköy ve Kağıthane Dereleri yer almaktadır. Bu bölgede, hava kirliliği açısından en kritik kesim, Eminönü'nden Şişli'ye kadar uzanan ve Eyüp, Alibeyköy, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa, Kağıthane, ve Kasımpaşa'yı da içine alan Haliç koridorudur.

Boğaziçi Bölgesi:

Asya ve Avrupa kıtalarını ayıran ve toplam uzunluğu 27 km olan İstanbul Boğazı'nı içine alan Boğaziçi Bölgesi, boğaza dik olarak gelen vadilerden oluşmaktadır. Boğaz'ın Avrupa kıyısı, Ortaköy'e kadar düzgün olarak giden yükseklikleri yaklaşık 130 m'yi bulan tepelerle 5 km genişliğindeki şerit halinde Haliç drenaj sahasından ayrılır. Ortaköy'den Rumeli Kavağı'na kadar olan kısımda bulunan tepelerin rakımları 150 m'ye kadar çıkar. Boğaz'ın Anadolu tarafında ise, Avrupa yakasına göre daha engebeli ve daha yüksek tepelerden oluşan bir topografya mevcuttur. Bu kesimde, 200 m'ye kadar çıkan Kısıklı ve 250 m'ye kadar çıkan Büyük ve Küçük Çamlıca tepesi, en yüksek rakımları teşkil etmektedir. Anadolu Kavağı'na kadar devam eden bölgede 16 adet küçük vadi vardır.

Pendik-Kadıköy Bölgesi:

İstanbul'un topografik olarak dördüncü önemli bölümünü Kadıköy ile Pendik arasında uzanan, kuzeyde Kayışdağı ve Yakacık tepeleri ile sınırlanan ve deniz seviyesinden yaklaşık 50 m yüksekliğe kadar değişen araziler teşkil etmektedir. Bölge genel olarak fazla yüksek olmayan tepe ve platolardan oluşmuştur. Topografik yönden bölgeyi iki bölüme ayırabiliriz. Bunlar sularını Marmara Denizi'ne ve Boğaz'a veren sahalardır. Bölge içinde zaman zaman kuruyan derelerin de bulunduğu dört vadi mevcuttur. Bunlardan Kurbağalıdere, Bostancı Deresi ve İbrahimağa Deresi Marmara Denizi'ne, Beylerbeyi Deresi ise Boğaz'a dökülmektedir.

2.4. Demografik Durum

İstanbul'un nüfusu, bilhassa 1980'li yıllardan itibaren kırsal bölgelerden gelen göç dolayısıyla hızla artmış, 1990 sayımına göre 7 milyon civarında olan toplam nüfus, 1994 yılı itibarıyla yapılan tahminlere göre yaklaşık 12 milyonu bulmuştur. Tablo 3.1'de, ölçüm istasyonlarının bulunduğu ve istatistiksel metodun uygulandığı çalışma bölgesini kapsayan ilçelerdeki 1990 sayımına göre nüfus dağılımı, ilçe yüzölçümleri ve nüfus yoğunluğu gösterilmektedir.

Tablo 3.1'den görüldüğü gibi, nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu ilçeler, sırasıyla, Fatih, Bayrampaşa, Beyoğlu, Kadıköy, Beşiktaş, Kağıthane, Eminönü, Zeytinburnu, Üsküdar ve Bakırköy olup, bu ilçelerdeki yoğunluk 10.000 kişi/km²'nin üzerindedir.

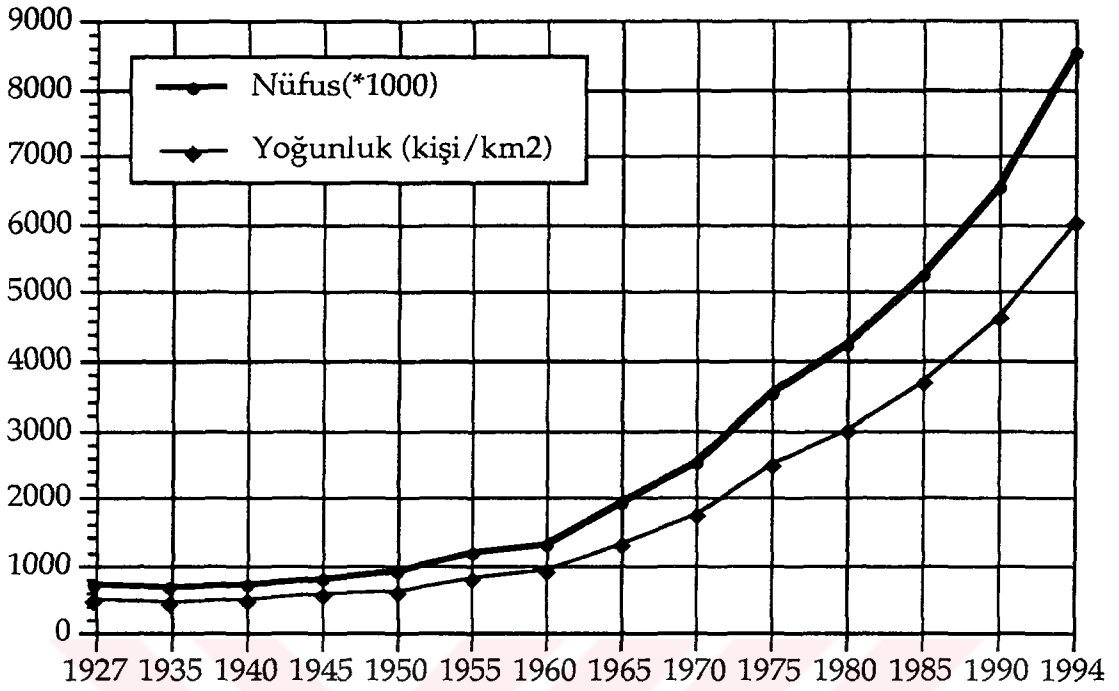
Şekil 2.1 yukarıda zikredilen ilçelerin 1927'den 1994'e kadar olan nüfus artışları ile km² başına düşen insan sayısının değişimini göstermektedir. Bu şekilden de açıkça görüldüğü gibi 1980'e kadar lineer olarak artan nüfus, 1980'den sonra çok hızlı bir

şekilde exponansiyel artış göstermiştir. Bu bölgede km^2 'ye 1980'de yaklaşık 3.000 kişi düşerken bu rakam 1994'te 6.000'i aşmıştır. Neticede bu bölgede çok belirgin bir yüksek yerleşim birimi talebi oluşmuş, bu da beraberinde çarpık yapılaşmayı meydana getirmiştir. Bu kompleks ve hemen hemen plansız denilebilecek kentleşme, halkın nefes alıp dinlenebileceği yeşil alanları daraltmış, inşaa edilen yüksek binalar hava sirkülasyonunu etkiler hale gelmiştir. Özellikle deniz kıyılarına yakın bölgelerde yapılan yüksek katlı binalar, kirleticileri dağıtabilecek deniz meltemlerini engellemiştir.

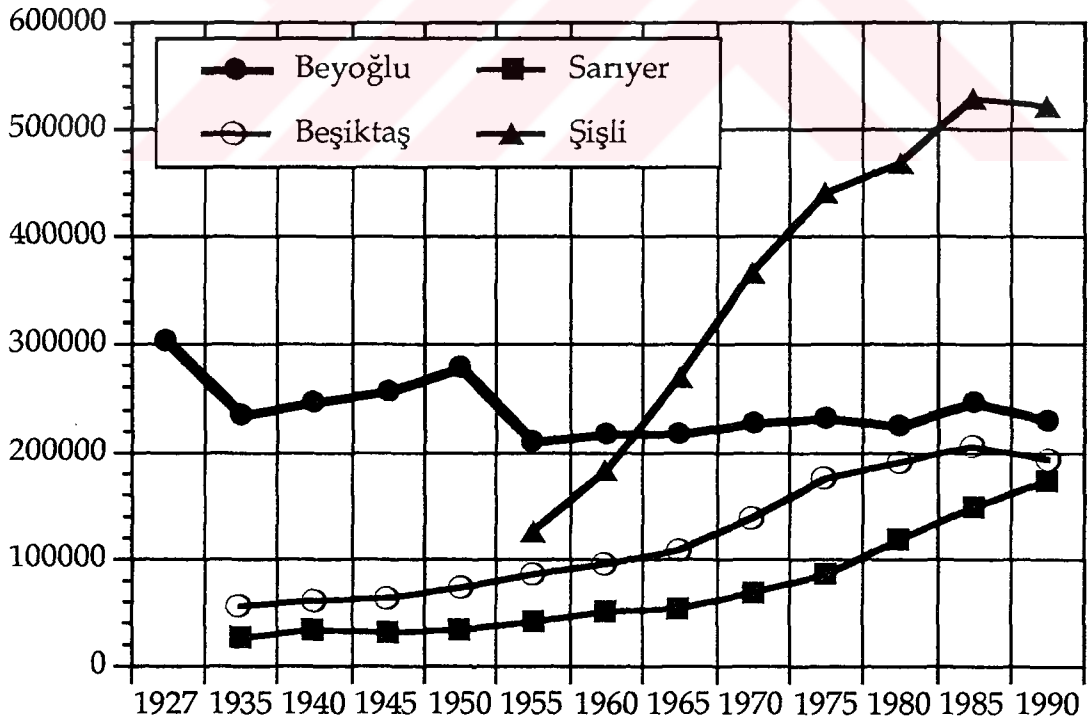
Tablo 2.1. Çalışma bölgesini kapsayan ilçelerdeki 1990 sayımına göre nüfus dağılımı, ilçe yüzölçümleri ve nüfus yoğunluğu (DİE, 1993).

İLÇE	Nüfus	Yüzölçümü (km^2)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/ km^2)
Bakırköy	1 328 276	131	10 140
Bayrampaşa	212 570	8	26 571
Beşiktaş	192 210	11	17 474
Beykoz	163 786	396	414
Beyoğlu	229 000	9	25 444
Eminönü	83 444	5	16 689
Eyüp	211 986	242	876
Fatih	462 464	10	46 246
Gazi Osman Paşa	393 667	163	2 415
Kadıköy	648 282	33	19 645
Kağıthane	269 042	16	16 815
Kartal	611 532	234	2 613
Şişli	250 478	30	8 349
Ümraniye	301 257	150	2 008
Üsküdar	395 623	35	11 304
Zeytinburnu	165 679	11	15 062
TOPLAM	5 650 254	1 484	Ortalama: 13 879

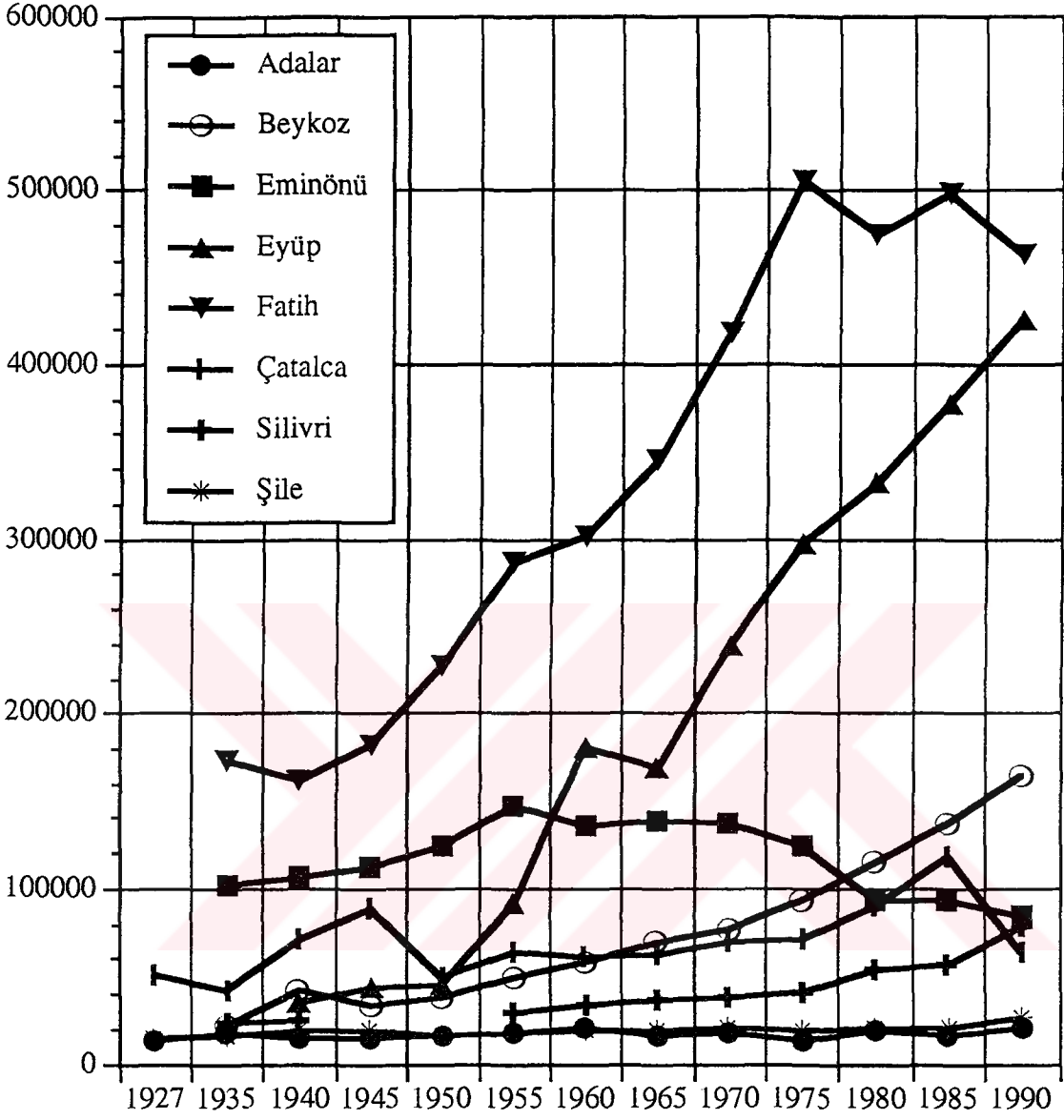
Nüfus yoğunluğu bakımından en yüksek değerlere sahip Fatih, Beyoğlu, Bayrampaşa, Eyüp, Kağıthane ve Gaziosmanpaşa'yı içine alan bölgede 1980'de km^2 'ye 20.000 kişi düşerken bu rakam 1990'da 40.000'i aşmıştır.



Şekil 2.1. 1927-1994 yılları arasında İstanbul'un nüfus ve nüfus yoğunluğu değişimi (1994 yılı tahmin edilmiştir).

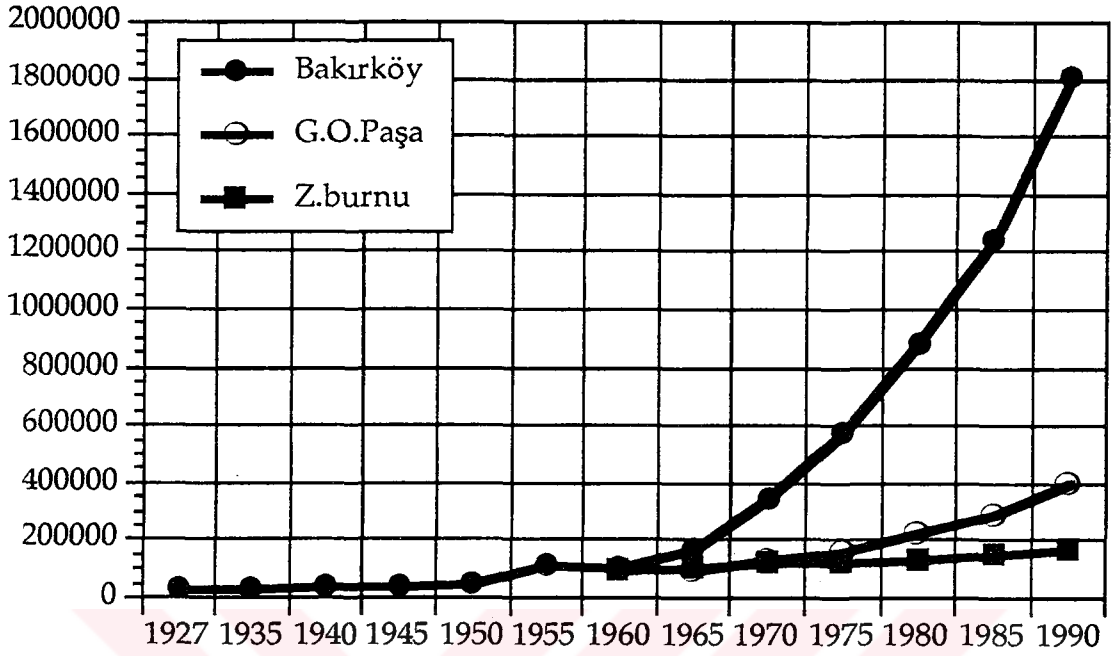


Şekil 2.2. Beşiktaş, Şişli, Sarıyer ve Beyoğlu ilçelerinin 1927-1990 yılları nüfus değişimleri.

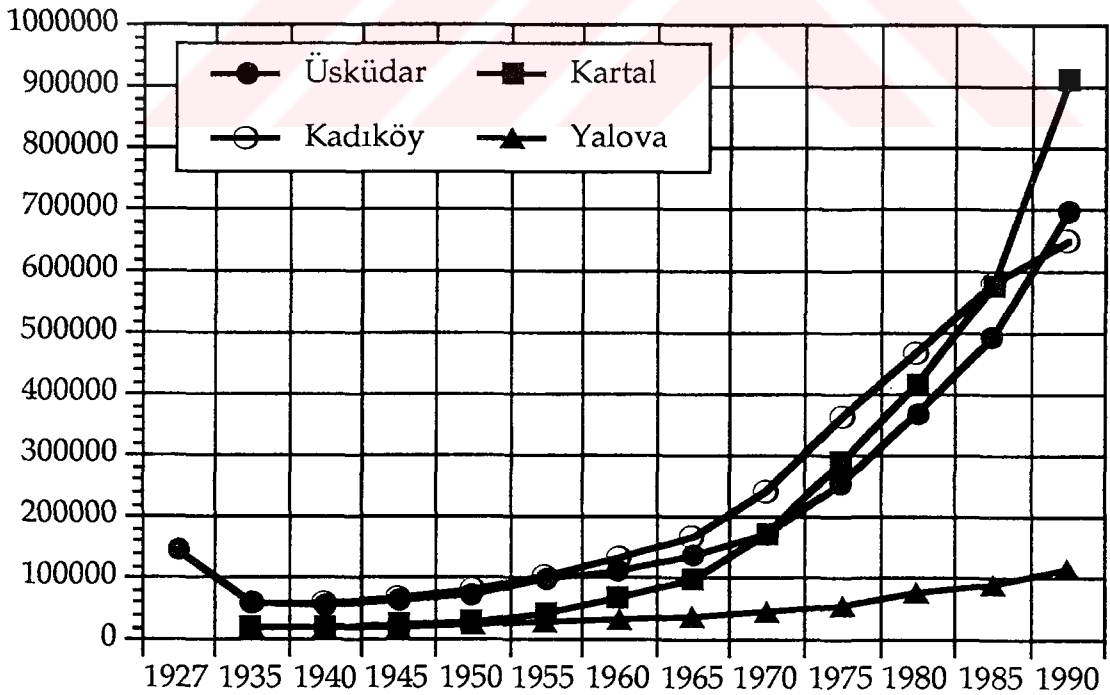


Şekil 2.3. Adalar, Beykoz, Eminönü, Eyüp, Fatih, Çatalca, Silivri ve Şile ilçelerinin 1927-1990 arası nüfus değişimleri.

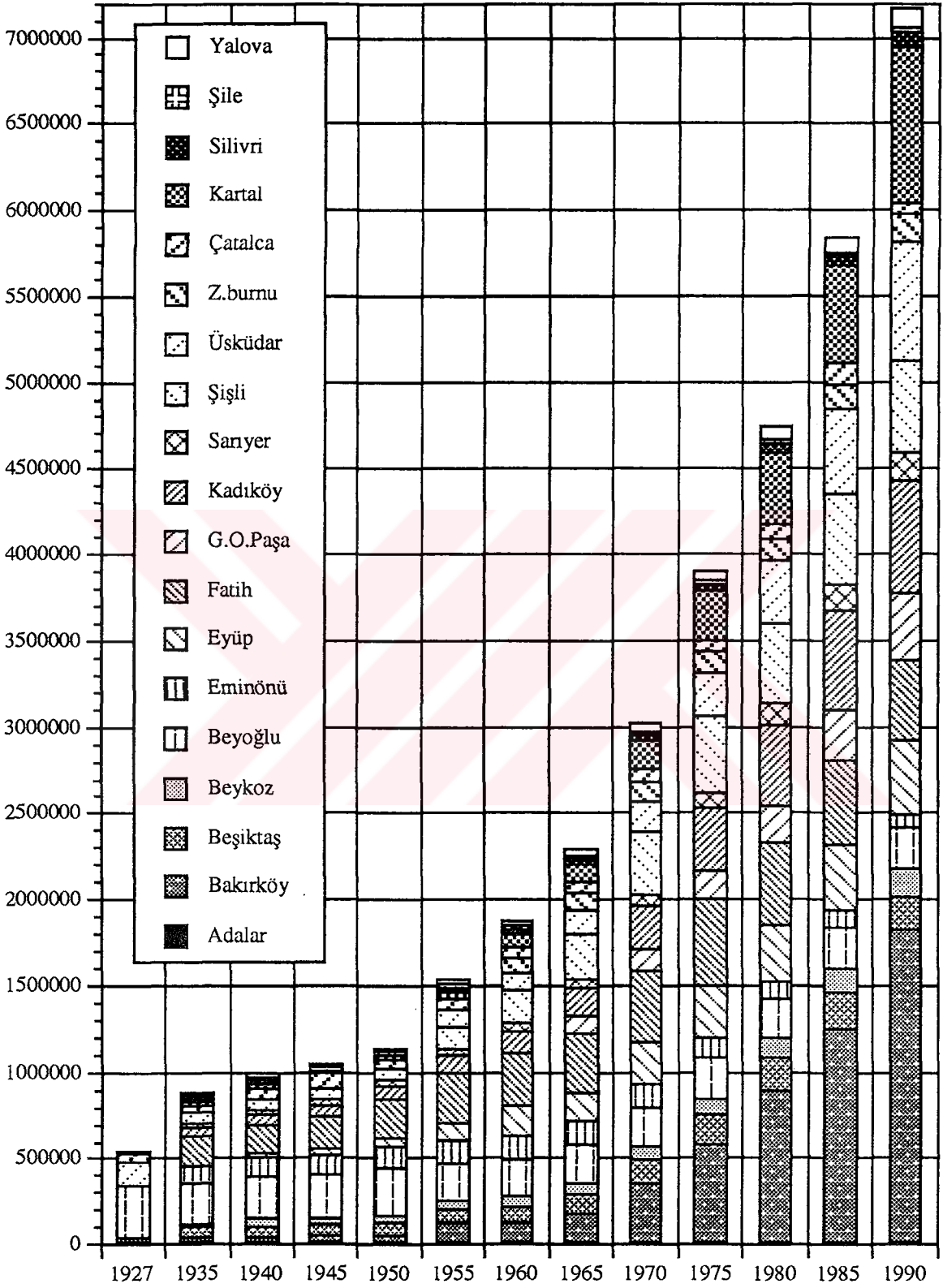
Şekil 2.2 - Şekil 2.5 incelendiğinde bazı ilçelerde nüfusta ani düşüşlerin olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi ilçelerin zaman içinde bölünüp yeni ilçelerin oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Mesela 1927'de Beyoğlu olarak sayılan alan 1935'te Beşiktaş ve Sarıyer, 1955'te ise Şişli olarak dört bölgeye ayrılmıştır. İstanbul'a gelen göç nüfusunun çok büyük bölümü yerel yönetimlerin düzenli imar planları uygulamaması sebebiyle gecekondu bölgelerini oluşturmuş dolayısıyla çarpık yapılaşma günümüze dek artarak gelmiştir. Şekil 2.6'da ise bütün ilçelerin yıllar boyunca nüfusa katkıları toplu halde görülmektedir.



Şekil 2.4. Bakırköy, Gaziosmanpaşa ve Zeytinburnu ilçelerinin 1927-1990 yılları nüfus değişimleri.



Şekil 2.5. Üsküdar, Kartal, Kadıköy ve Yalova ilçelerinin 1927-1990 yılları nüfus değişimleri.



Şekil 2.6. 1927-1990 yılları boyunca İstanbul ilçelerinin İstanbul nüfusuna katkıları.

3. BÖLÜM

UYGULANAN METOD

3.1. Kriging: Uzaysal Enterpolasyon Metodu

Kriging Metodu ilk olarak jeo-istatistiksel maksatlar için geliştirilmiş olup atmosfer ile ilgili çalışmalarda son on yıl içinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Finkelstein, 1984; Bilonick, 1985; Venkatram, 1988; Fedorov, 1989; Timothy, 1990; Schaug, et al., 1993).

Bu metodun çeşitli versiyonları olup uygulanan dağılım modelleri de uygulama alanına göre farklılıklar arz etmektedir. Hava kirliliği probleminde Ordinary Kriging versiyonu ile beraber Küresel (Spherical) Dağılım Modeli en uygun model olarak yukarıdaki çalışmalarda da kullanılmıştır. Zikredilen bu çalışmalar, metodun atmosfer bilimlerine uygulanışının birkaç örneği olup daha fazlası için ilgili kaynakların referanslarına da başvurulabilir.

Kriging'in esas temeli, x_1, \dots, x_n gibi bilinen düzlemsel noktalarda gözlemlenmiş $Z(x_1), \dots, Z(x_n)$ verilerinden $Z(\cdot)$ rastgele sürecinin bilinmeyen değerleri hakkında çıkarımlar yapmaktır. Buradaki rastgele süreç denilen $Z(\cdot)$ bir hava kirliliği parametresi olup bu parametrenin uzaysal dağılımı kastedilmektedir.

Metodun uygulanmasında iki aşama mevcuttur.

1. Variogram hazırlanması ve bu variogramdan kullanılacak dağılım modeli ile bu modele ait parametrelerin bulunması.
2. Kriging Matrisinin oluşturulması.

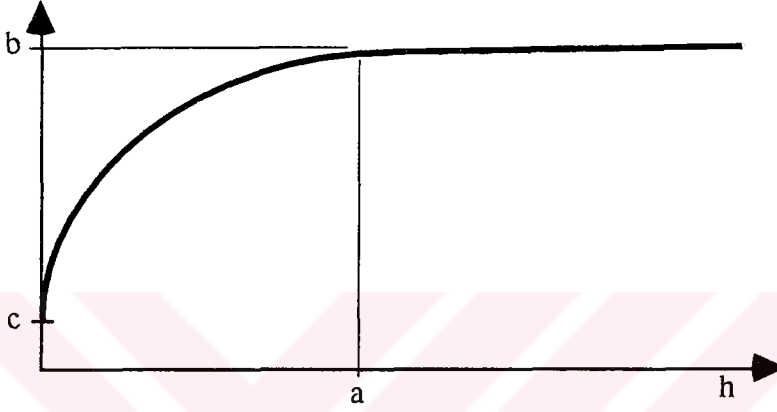
3.1.1. Semi-variogram Çıkarılması

Doğrusal bir yönde x ve $x+h$ noktalarında bir parametreye ait gözlemlenmiş $Z(x)$ ve $Z(x+h)$ değerlerinin aralarında h vektörü kadar mesafe bulunmaktadır. Bu iki değer arasındaki değişebilirlik variogram fonksiyonu olan $2\gamma(x,h)$ ile karakterize edilmektedir. $\gamma(x,h)$ ise semi-variogram olarak adlandırılmakta ve grafik oluşturulmasında bu değer kullanılmaktadır. Bu şekilde oluşturulan ve seçilen yönde aralarında h mesafesi bulunan bütün gözlemlenmiş değer çiftleri toplanarak ortalama bir semi-variogram bulunmaktadır (Denklemler 3.1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3.1)$$

Burada

- $N(h)$: aralarında h vektörü kadar mesafe bulunan gözlem çiftleri sayısı
 $\gamma(h)$: h mesafeli çiftlere ait semi-variogram
 $Z(x_i)$: x mesafesindeki gözlem değeri
 $Z(x_i+h)$: $x+h$ mesafesindeki gözlem değeridir.



Şekil 3.1. Semi-variogram ve parametreleri

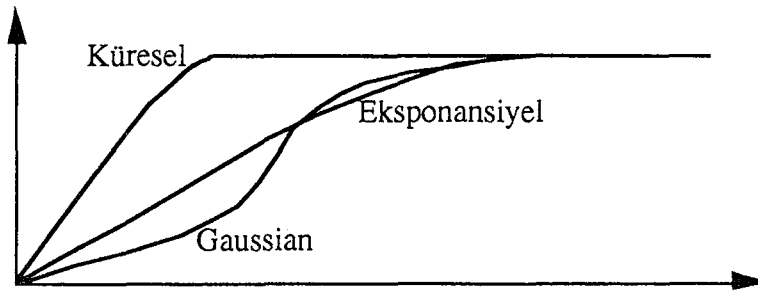
Şekil 3.1'de oluşturulan semi-variogram grafiğinde gösterilen parametreler şunlardır.

Range "a" (toplam mesafe): iki gözlem noktası arasındaki korrelasyonun sıfıra eşit olduğu kabul edilen başlangıç noktası. Bu mesafeden sonra korrelasyon sıfır kabul edilmektedir.

Sill Değeri "b" : Semi-variogramın artışının durup kararlı hale geldiği noktadır.

Nugget Etki "c" : Başlangıç noktasında olan süreksizlik etkisi. Atmosferik şartlarda iki gözlem noktası arasındaki mesafe sıfıra yaklaştıkça aralarındaki değer farkı da sıfıra yaklaşmakta dolayısıyla nugget etki de sıfır olmaktadır.

Çeşitli variogram modelleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Çeşitli variogram modelleri

Burada gösterilen semi-variogram modellerinin denklemleri de aşağıdaki gibidir.

Küresel model:

$$\gamma(h) = \gamma(c) + \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) [\gamma(b) - \gamma(c)], \quad h < a$$

$$\gamma(h) = 1 \quad h \geq a$$

burada

- a : range,
 $\gamma(c)$: nugget etki, ve
 $\gamma(b) - \gamma(c)$: sill'dir.

Küresel modelde, eksik veri değerinden olan mesafenin tersi oranında, $(1/d^2)$, ağırlıklar düşer.

Eksponansiyel Model:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)$$

Eksponansiyel model ile küresel model arasındaki fark orijindeki eğimlerinin sill değerini kestiği mesafedir. Küresel model sill değerine eksponansiyel modelden daha hızlı erişir.

Gaussian Model:

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right)$$

Gaussian model ise orijinde parabolik bir davranış göstererek sill değerine asimptotik olarak ulaşır.

Hava Kirliliği için kullanılan küresel (spherical) model ile beraber bu modelde kullanılan parametreler; nugget için 0, sill için 1 ve range için istasyonların dağılımına göre ayrı ayrı hesaplanmış değerlerdir.

3.1.2. Kriging Matrisinin Oluşturulması

Semi-variogram grafiğinden elde edilen parametreler ve tespit edilen model ile birlikte kriging matrisi hazırlanmasında kullanılacak semi-variogram fonksiyonu sadece h mesafesine bağlı bir fonksiyon halini alacaktır.

Matheron (1971), Journel ve Huijbregts (1978) ve Cressie (1991) Kriging'e aşağıdaki tahmin etme kabulü ile yaklaşmaktadırlar:

$$p(Z;B) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.2)$$

burada λ_i 'ler katsayılarıdır ve toplamlarının 1'e eşit olması uniform bir unbiasedness (genel ortalama hatanın sifira yakın olması) durumu sağlar.

Optimal $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ aşağıdaki formülden elde edilebilir

$$\lambda_0 = \Gamma_0^{-1} \gamma_0 \quad (3.3.)$$

burada,

$$h \geq a$$

$$\gamma_0 = (\gamma(x_0 - x_1), \dots, \gamma(x_0 - x_n), 1)$$

$$\Gamma_0 = \begin{cases} \gamma(x_i - x_j) & i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \\ 1 & i = n+1 \quad j = 1, \dots, n \\ 0 & i = n+1 \quad j = n+1 \end{cases}$$

ve sadece $x_i - x_j$ artışının bir fonksiyonu olan

$\gamma(\cdot)$: semivariogram,

Γ_0 : simetrik $(n+1) \times (n+1)$ matrisi, ve

m : $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 'i sağlayan bir Lagrange çarpanıdır.

Bu şekilde oluşturulan $p(Z,B)$ matrisi Kriging matrisidir ve kullanılan parametrenin iki boyutta düzlemsel koordinatları üzerinde tahmin edilen değerlerini içermektedir. Metodun daha ayrıntılı bir açıklaması Matheron (1971), Delfiner and Delhomme (1975), Journel and Huijbregts (1978) ve Cressie (1991) tarafından verilmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Çıkarılan Kirlilik Haritaları

İstanbul İl Hıfzısıhha Enstitüsü'nün İstanbul ili genelinde kurduğu 19 ölçüm istasyonunun (Şekil 4.1) düzenli ve devamlı olarak ölçüm yaptığı 15 istasyonunun Aralık 1993 ile Mart 1995 (Ağustos 1993 hariç) tarihleri arasındaki kükürdioksit parametresine ait ölçümlerinin aylık ortalamaları kullanılarak Kriging metodu ile bilgisayar ortamında çizilen Kirlilik Haritaları Şekil 4.2 - Şekil 4.16 arası verilmiştir. Bu çalışmada kriging yöntemi ile çıkarılan hava kirliliği haritalarında, SO₂ kirlilik göstergesi olarak ele alınmıştır.

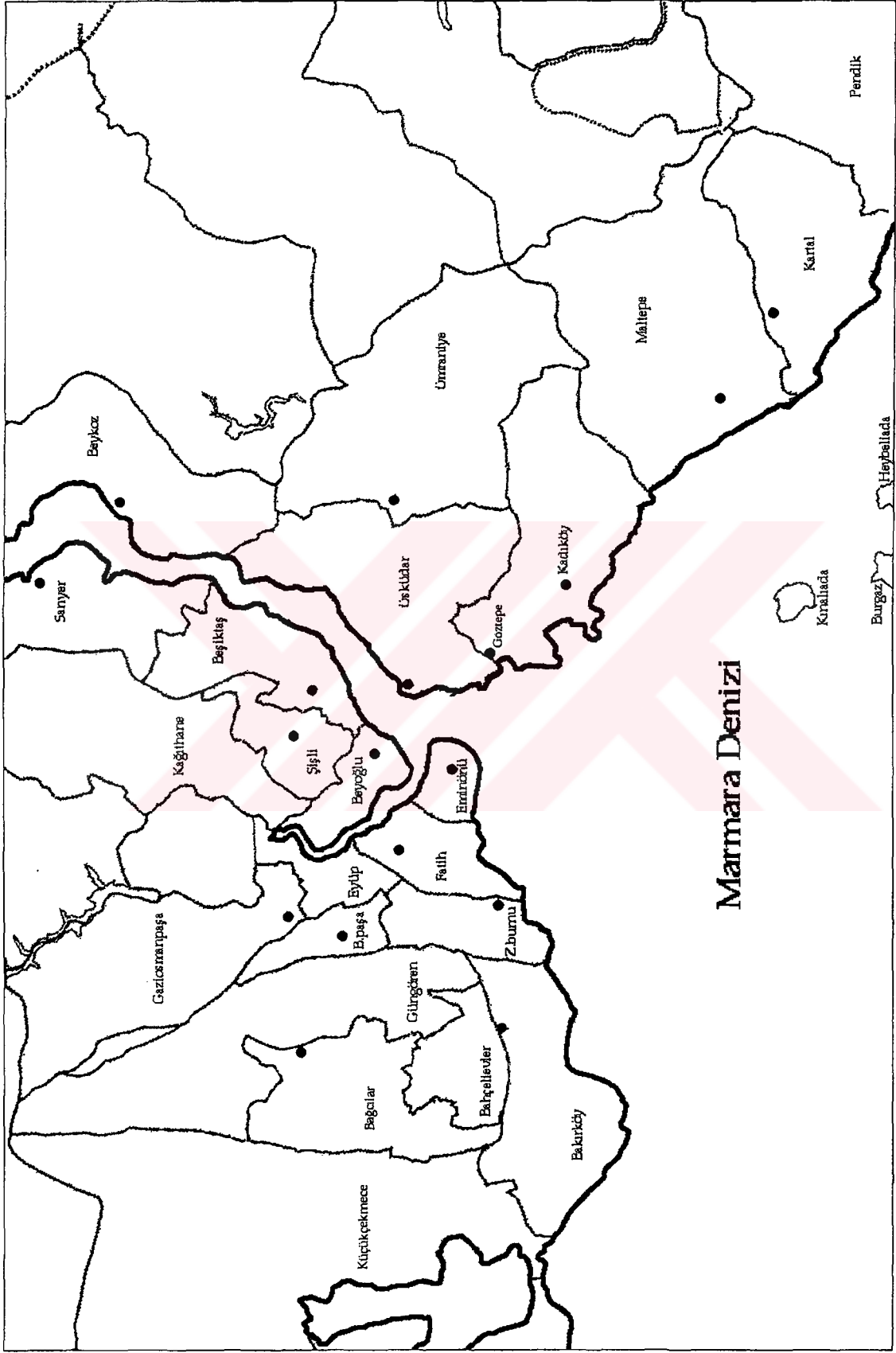
Tablo 4.1. Ölçüm istasyonlarının coğrafi koordinatları

İSTASYON	Koordinat	
	Enlem	Boylam
Eminönü	41.0110535	28.9761735
Şişli	41.0585775	28.9894734
Göztepe	40.9771965	29.0551102
Beyoğlu	41.0338448	28.9824794
Fatih	41.0264509	28.9413364
Gazi Osman Paşa	41.0596708	28.9117788
Bakırköy	40.9948410	28.8650726
Umraniye	41.0294871	29.0913414
Bağcılar	41.0549230	28.8539300
Kadıköy	41.0010255	29.0242254
Beşiktaş	41.0530281	29.0088273
Usküdar	41.0243771	29.0119915
Zeytinburnu	41.0052526	28.9177854
Maltepe	40.9328142	29.1365968
Kartal	40.9173294	29.1738330
Bayrampaşa	41.0429347	28.9034919
Beykoz	41.1120691	29.0874655
Sarıyer	41.1361090	29.0538813
Büyükçekmece	41.0217871	28.5760858

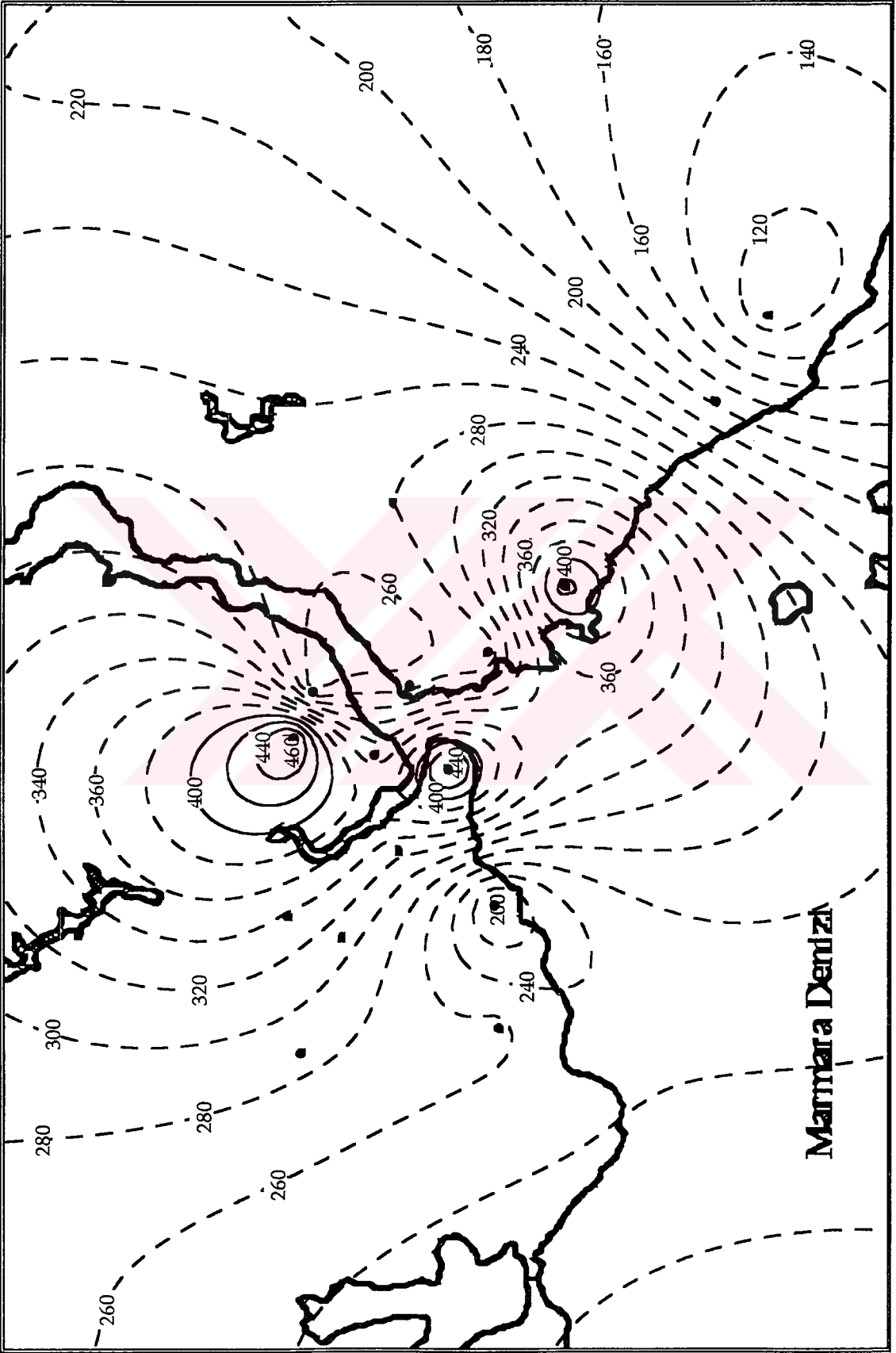
Sarıyer, Beykoz, Büyükçekmece ve Bayrampaşa ilçelerinde de kurulu istasyonlar olmasına rağmen yapılan ölçümlerin tamamı dikkate alındığında en düzenli, en devamlı

ve günümüze en yakın periyot olarak yukarıdaki periyot bulunmuş ve kullanılan bu periyot içinde bu istasyonlardaki ölçümlerin devamlılığı olmadığı için harita çiziminde kullanılmamıştır.

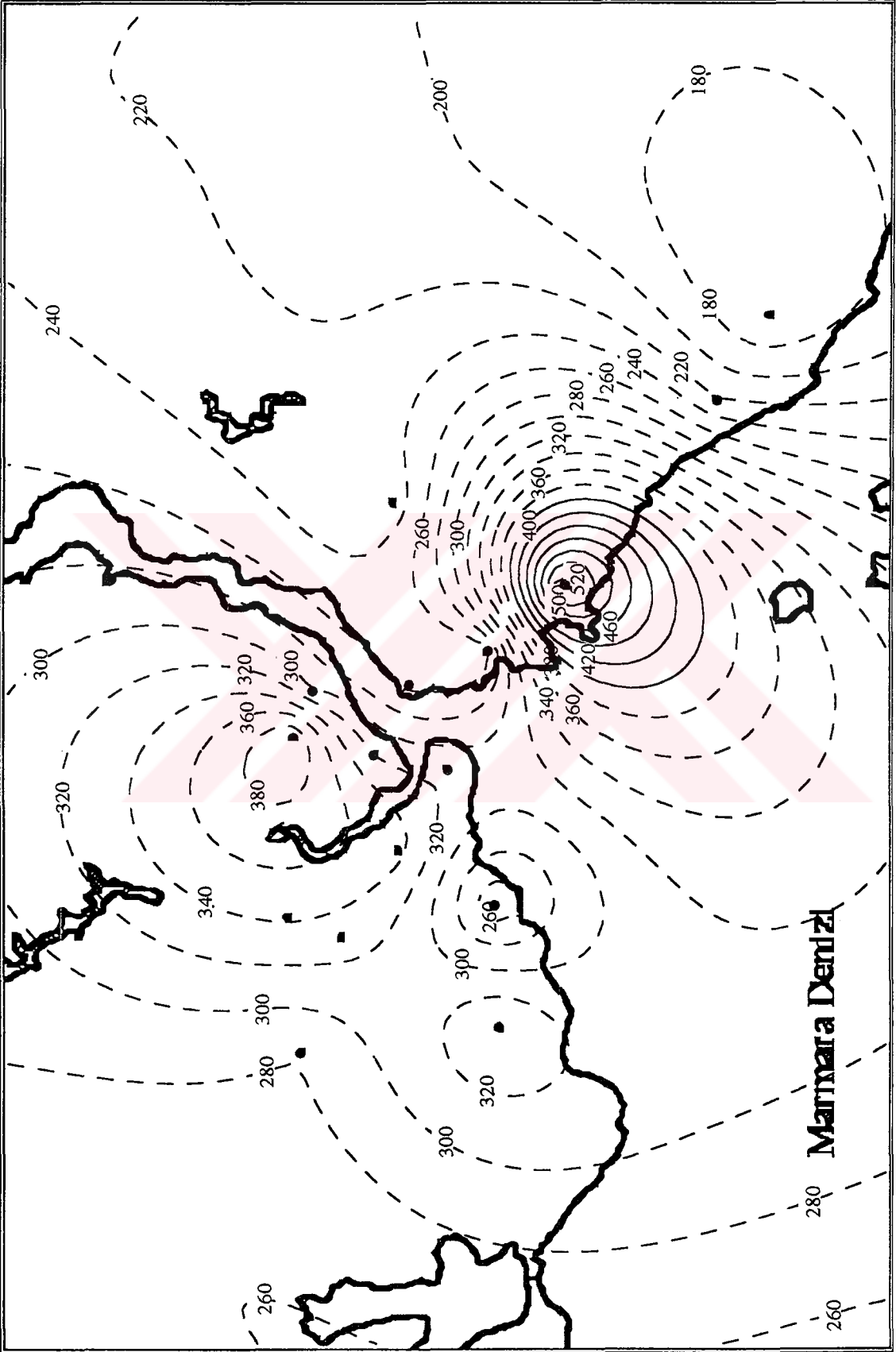
Ölçüm istasyonlarının coğrafi koordinatları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğü'nün yardımıyla hassas bir şekilde tayin edilmiştir (Tablo 4.1). Ölçüm istasyonları İstanbul'un tamamını kapsamadığı için harita çiziminde sadece istasyonları içine alan bir çerçeve kullanılmıştır. Bu çerçevenin sınırları batıda Küçükçekmece Gölü'nün batı ucundan doğuda Ömerli havzasının batı ucuna kadar, kuzeyde Beykoz yerleşim bölgesinin kuzey ucundan güneyde Heybeli Ada üzerine kadar uzanmaktadır. Çerçeve, coğrafi meridyen ve paralellerle kesilmiş olmayıp geometrik bir dikdörtgen şeklindedir ve boyutları yaklaşık olarak kuzey-güney doğrultusunda 28.70 km, doğu-batı doğrultusunda da 43.73 km kadardır. A4 sayfa boyutuna oturtulan bu çerçevenin ölçeği 1/195.220'dir. Harita çerçevesi bu hali ile nüfusun ve yerleşim merkezlerinin ekserisini içine almaktadır.



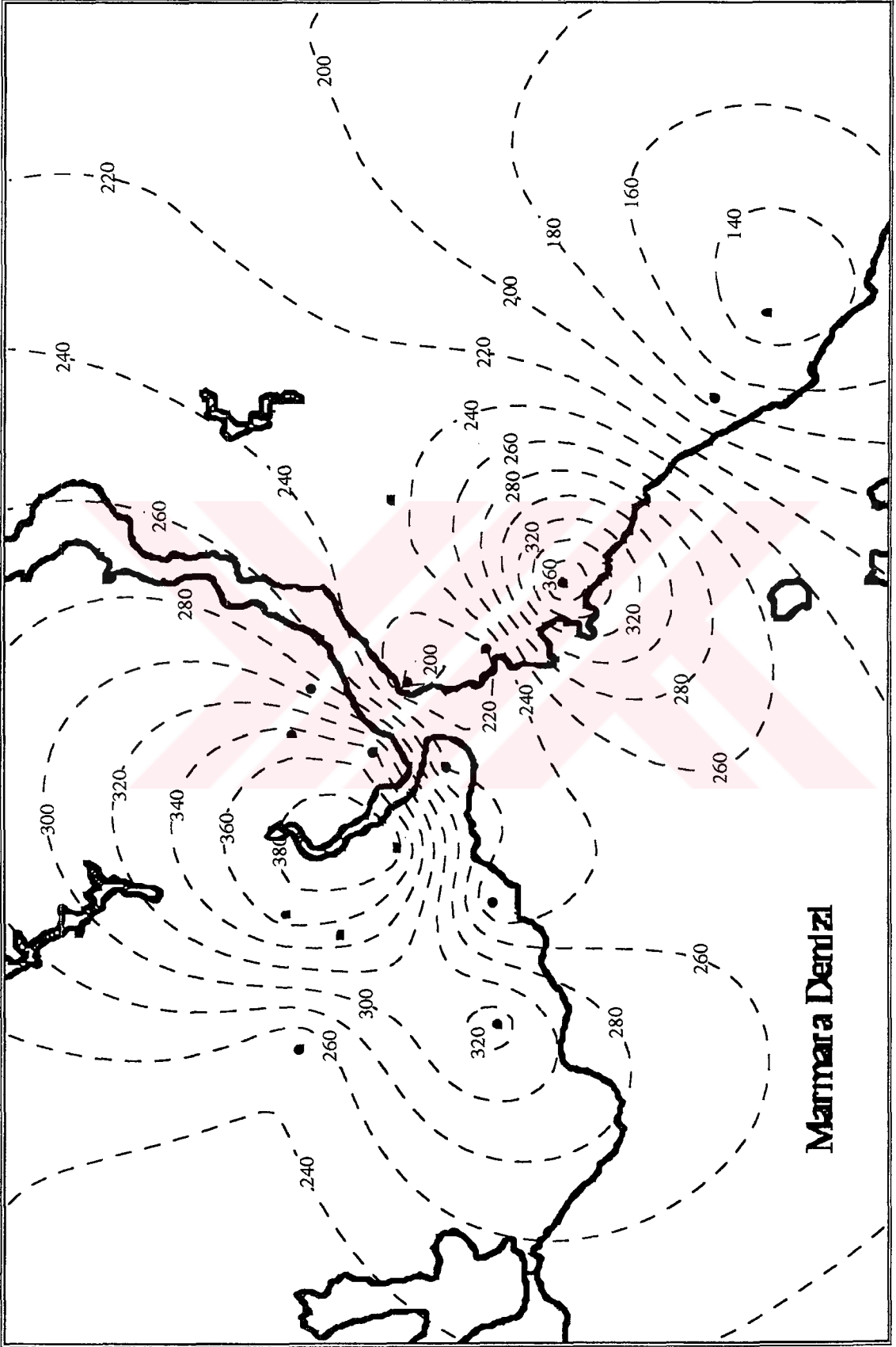
Şekil 4.1. Kirillik haritasının çerçevesi ve kirillik ölçümlerinin yapıldığı istasyonlar



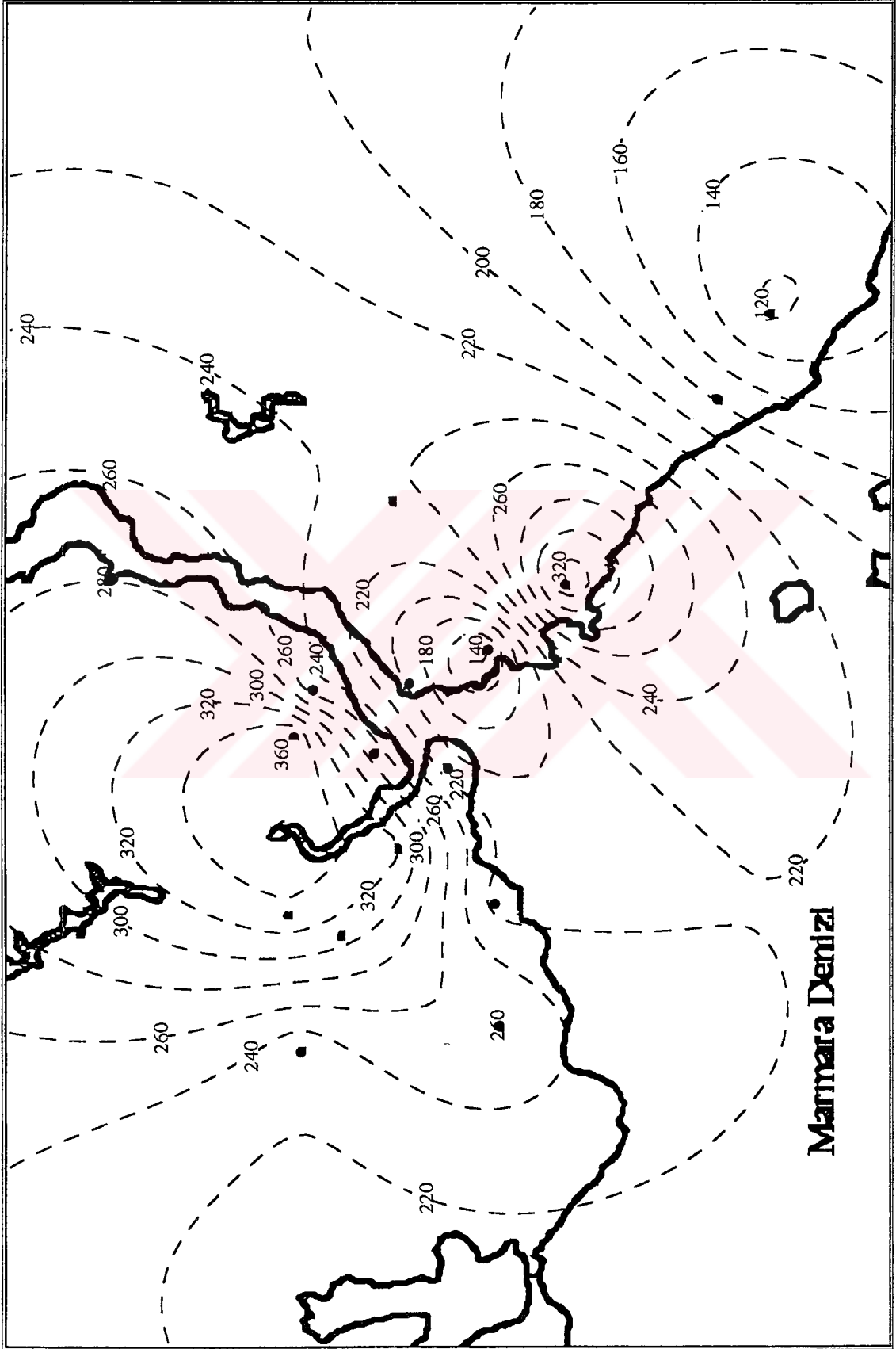
Şekil 4.2. Aralık 1993 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



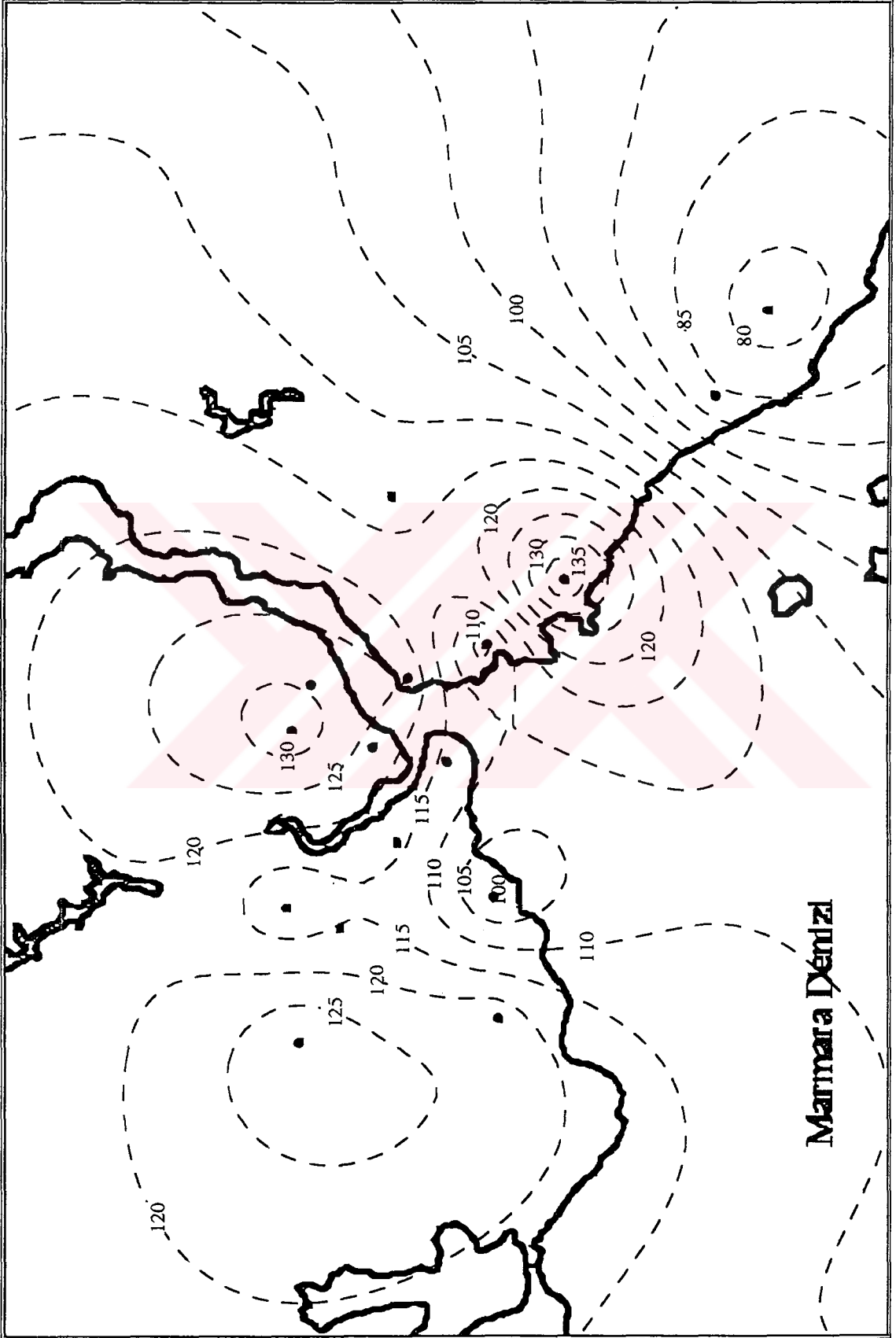
Şekil 4.3. Ocak 1994 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



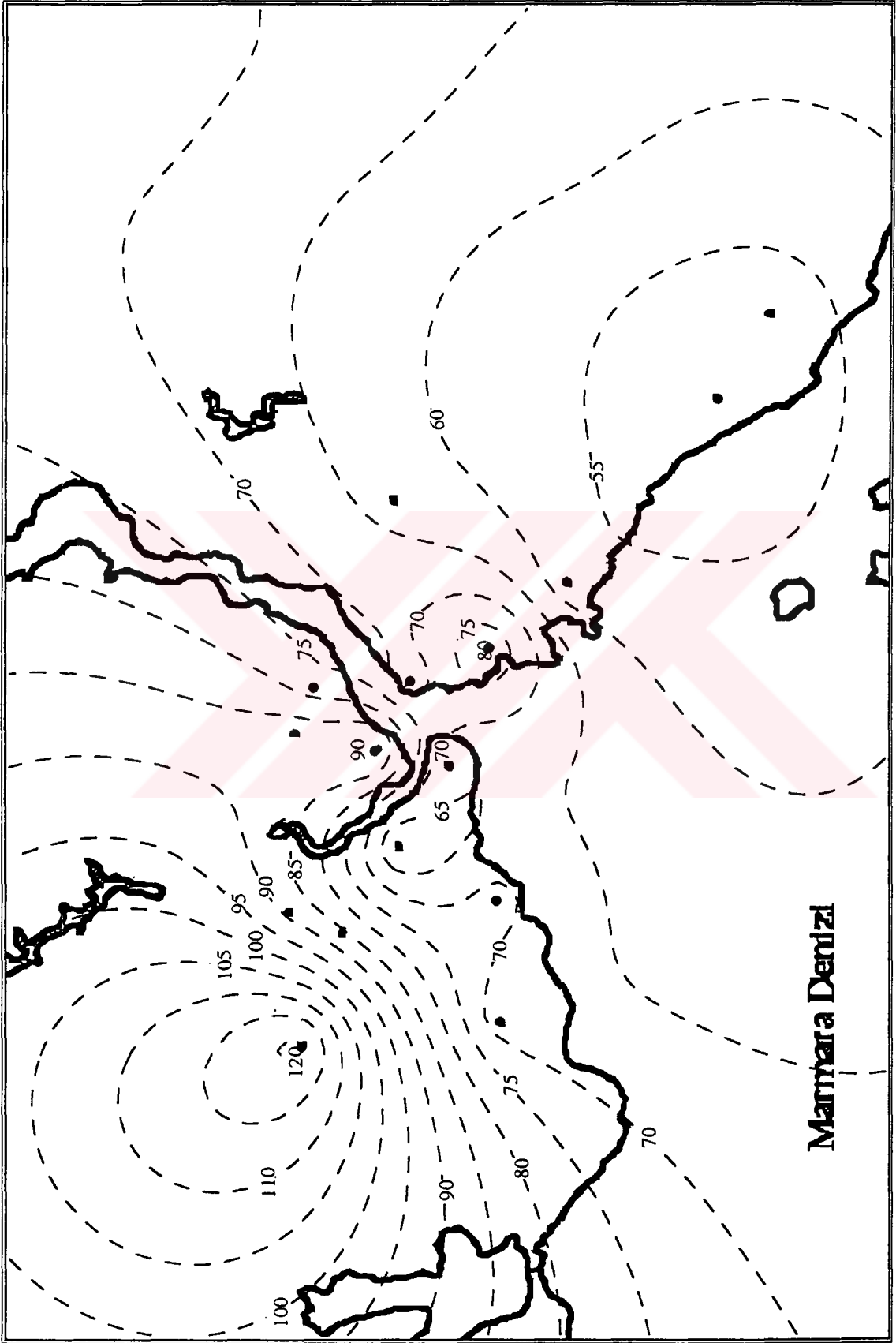
Şekil 4.4. Şubat 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



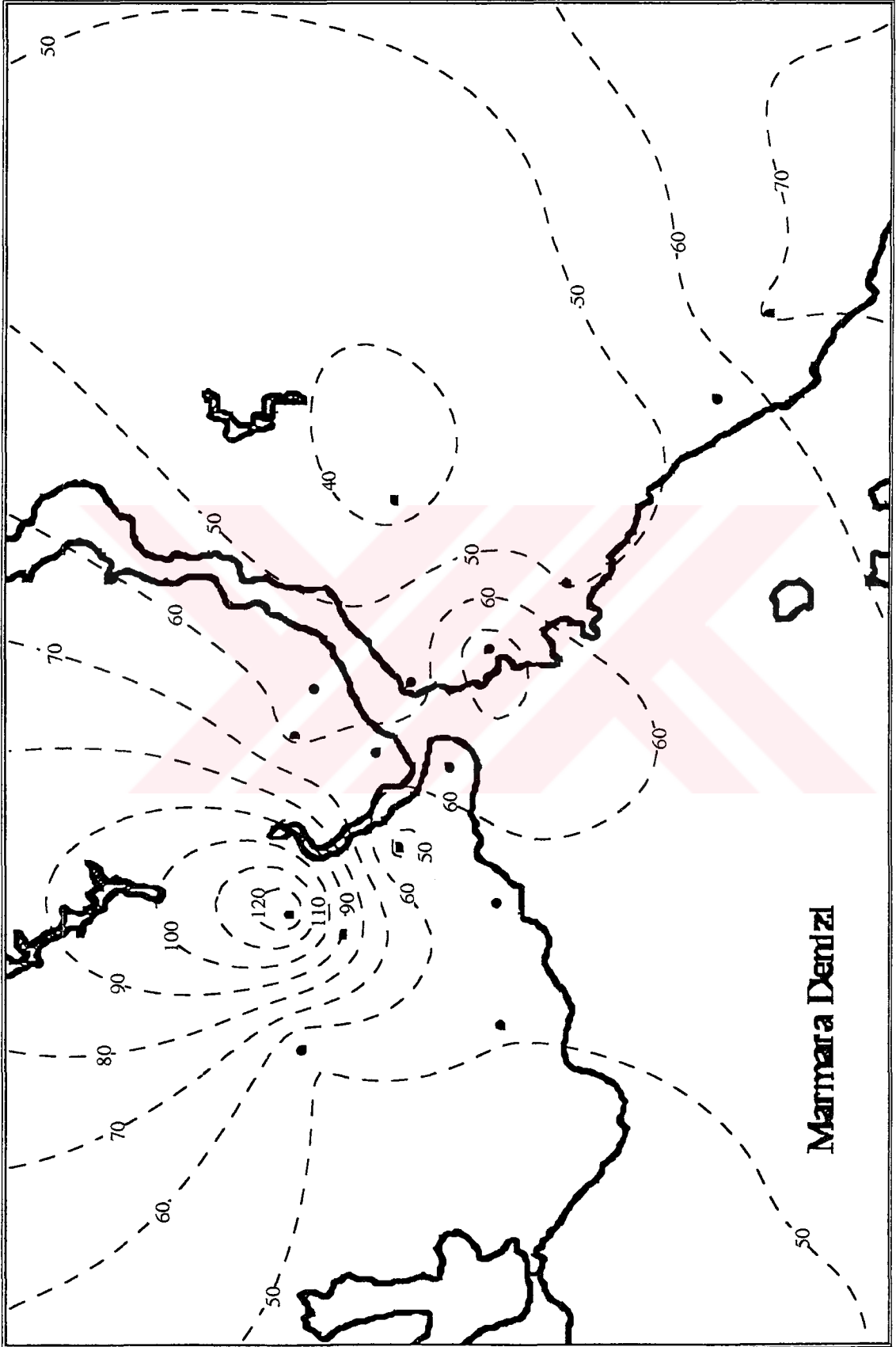
Şekil 4.5. Mart 1994 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



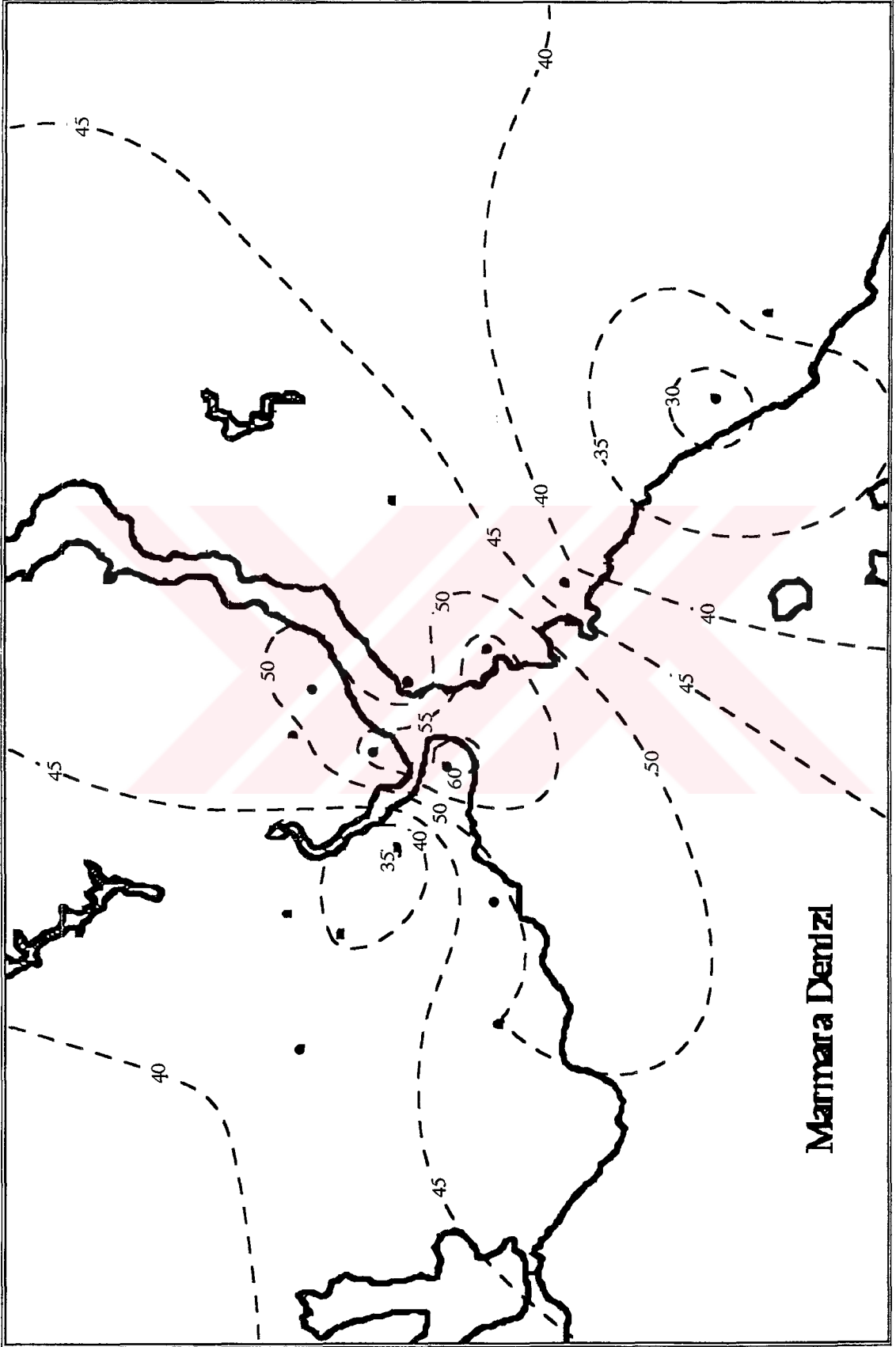
Şekil 4.6. Nisan 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



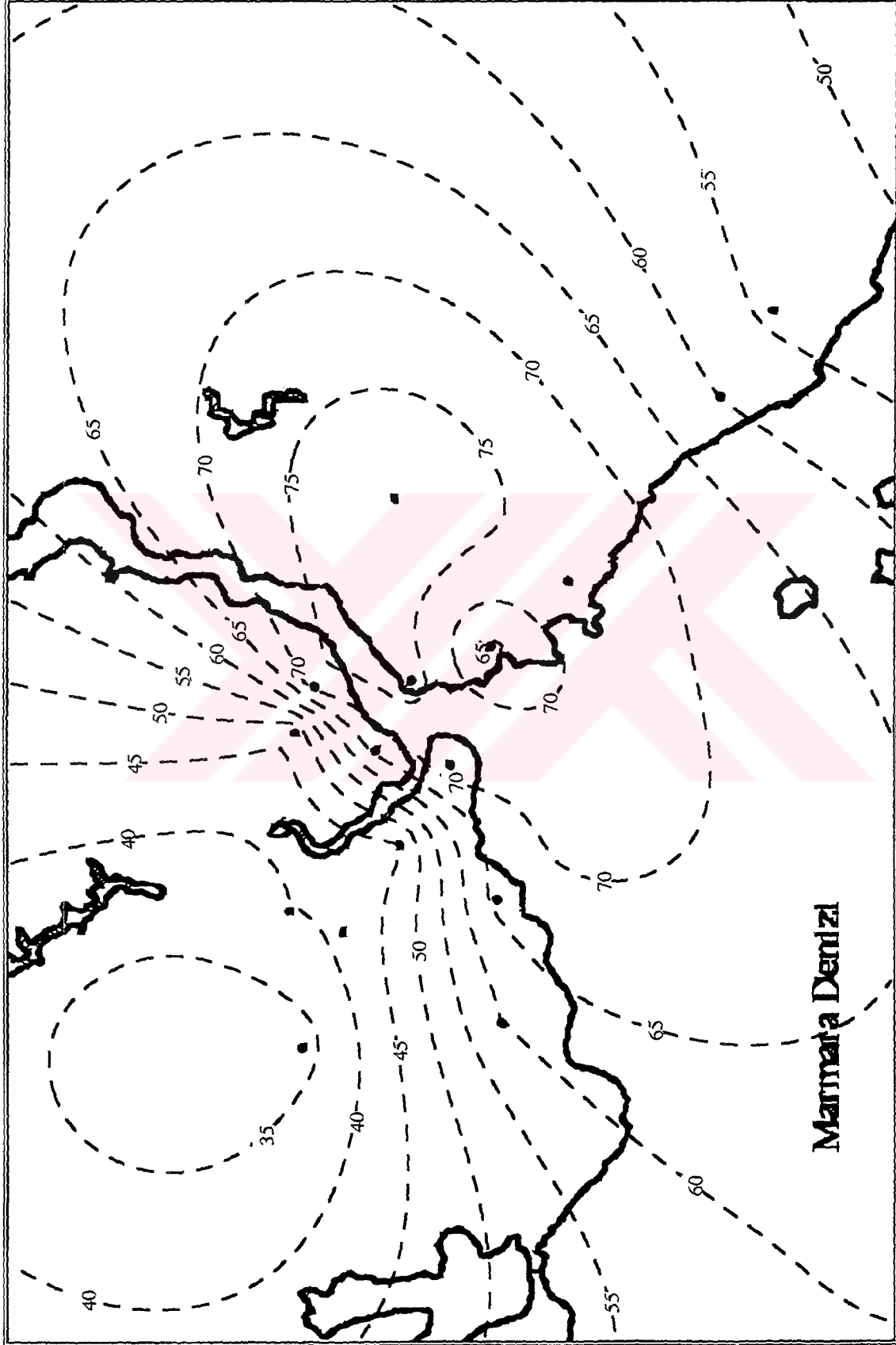
Şekil 4.7. Mayıs 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



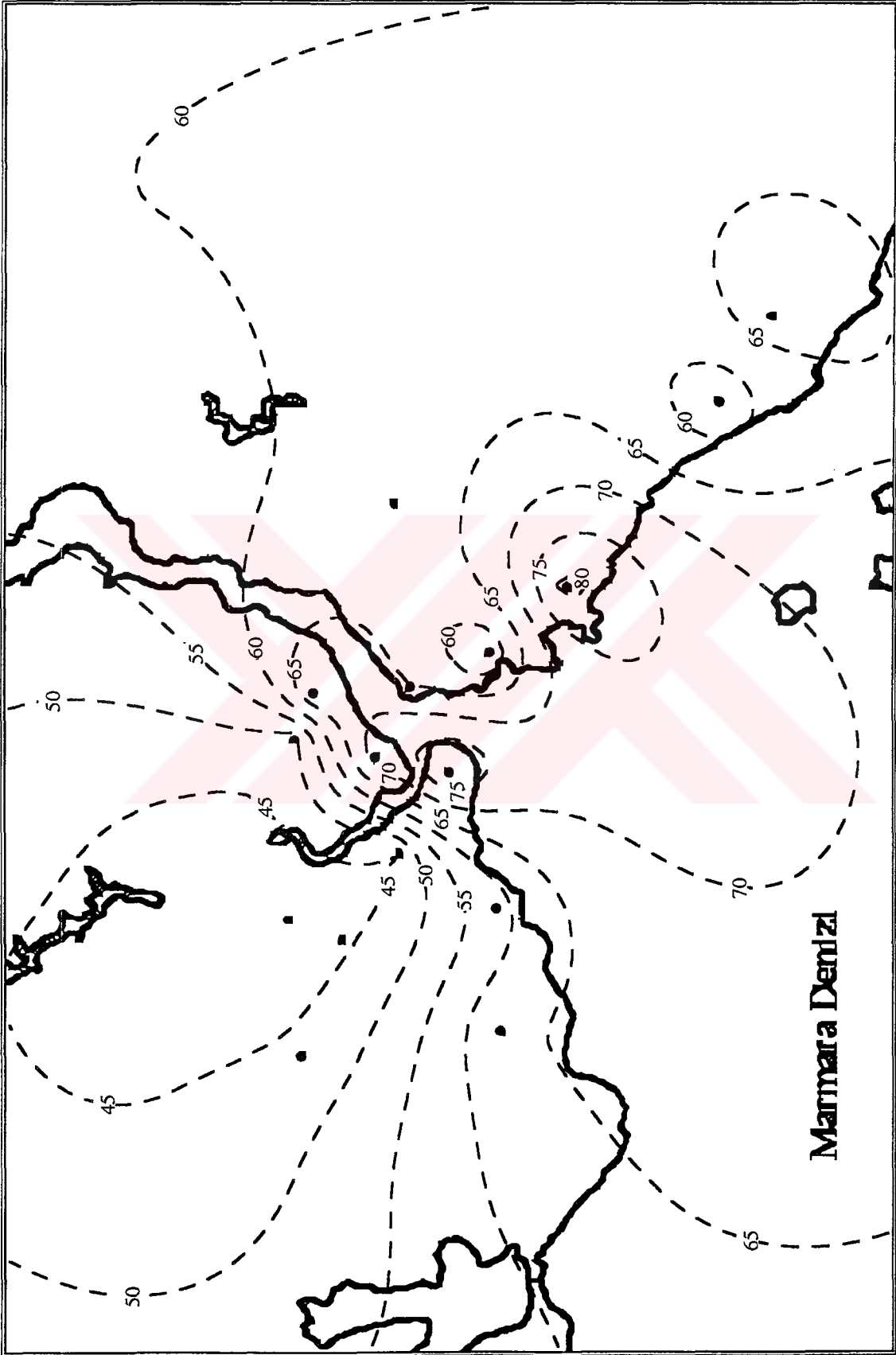
Şekil 4.8. Haziran 1994 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



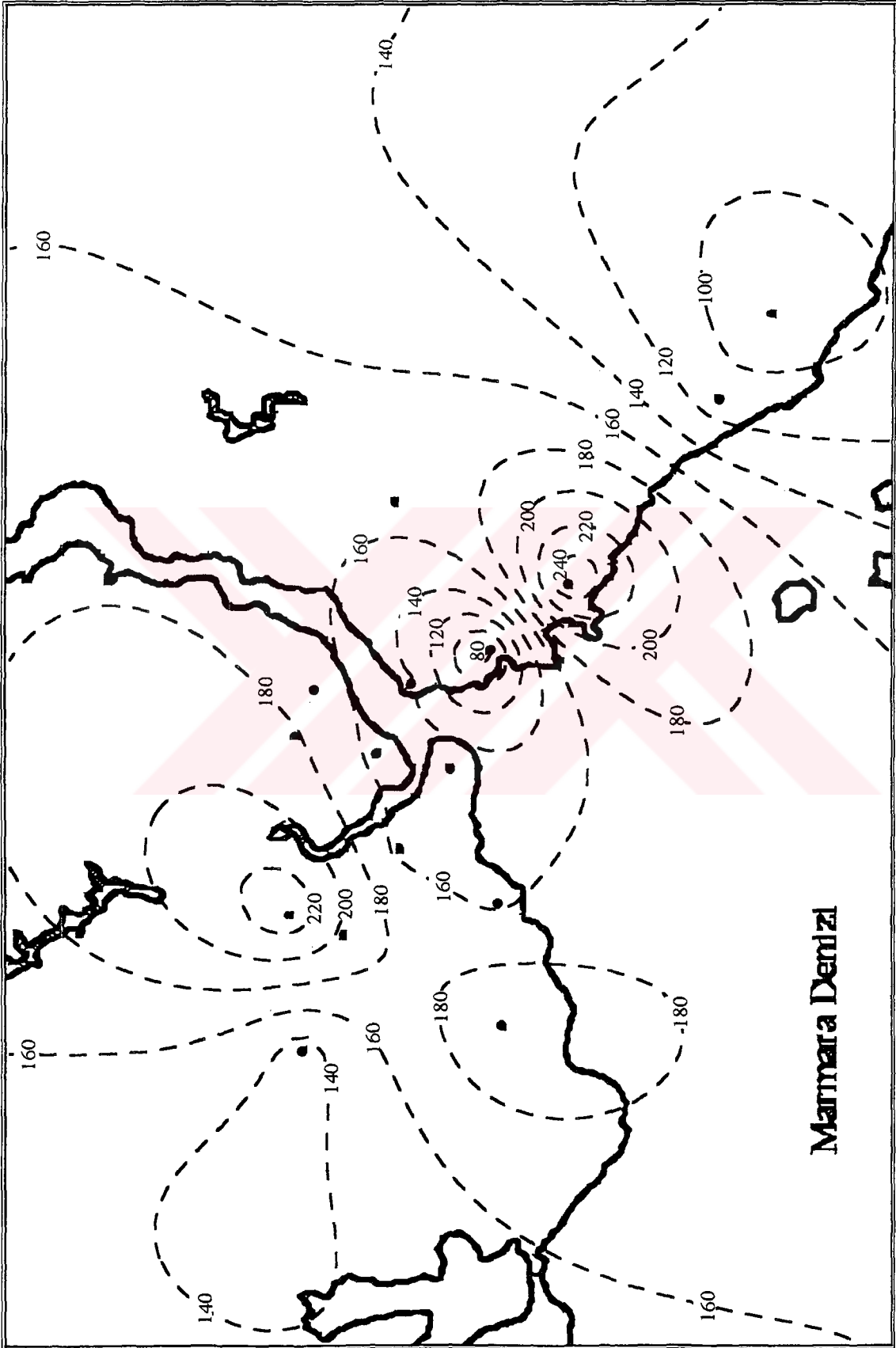
Şekil 4.9. Temmuz 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



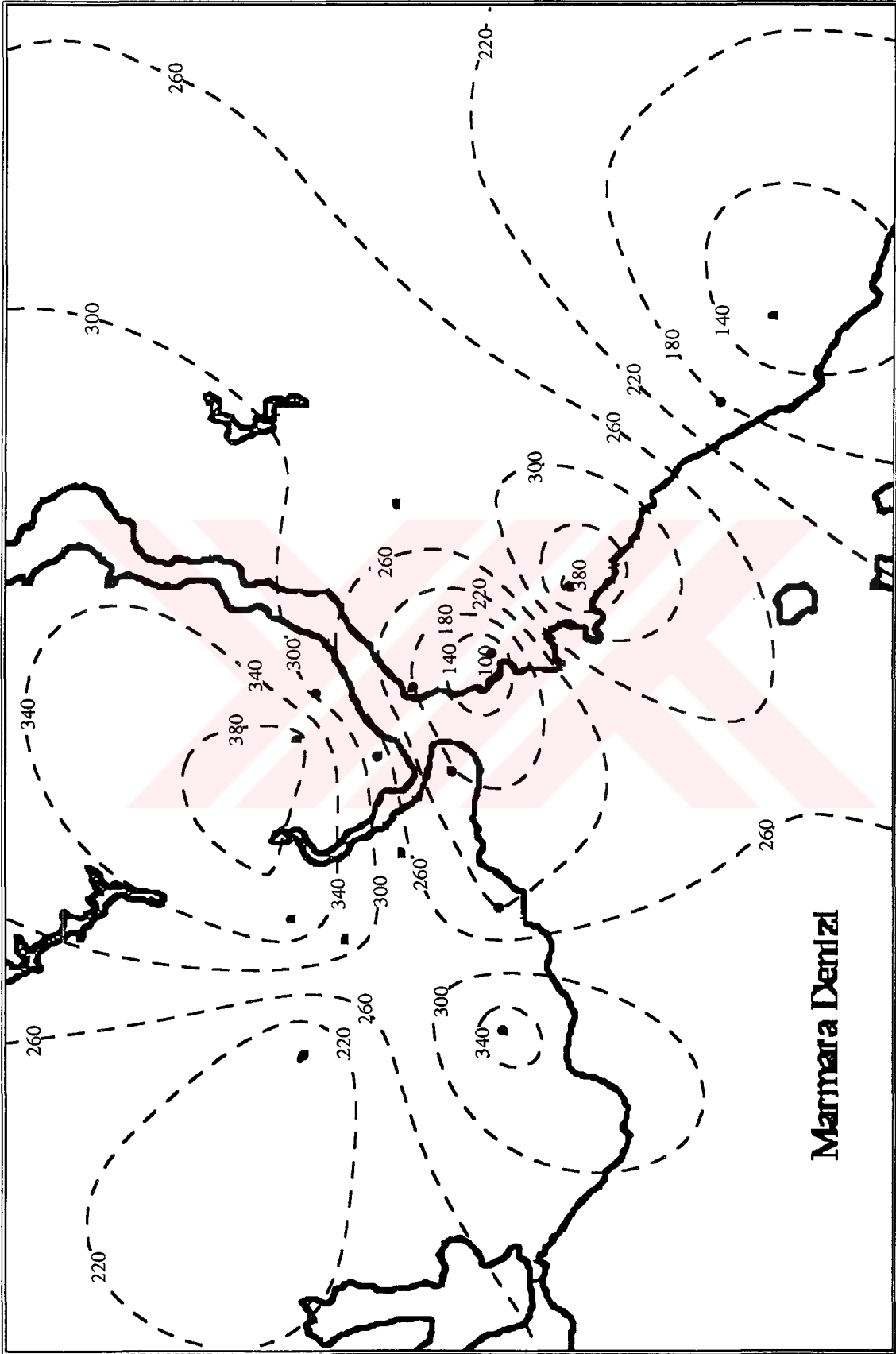
Şekil 4.10. Eylül 1994 SO₂ Ortalamaları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



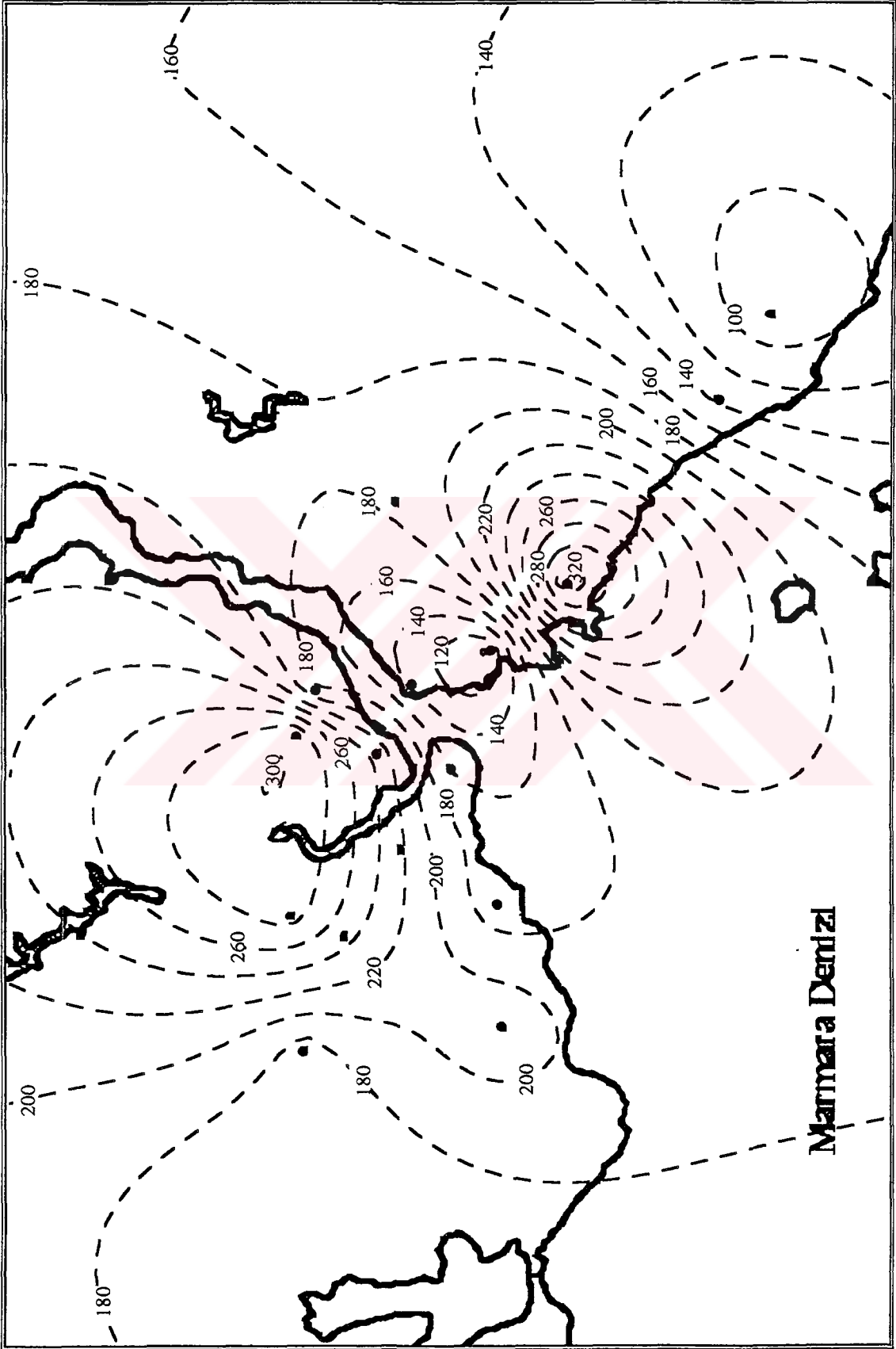
Şekil 4.11. Ekim 1994 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



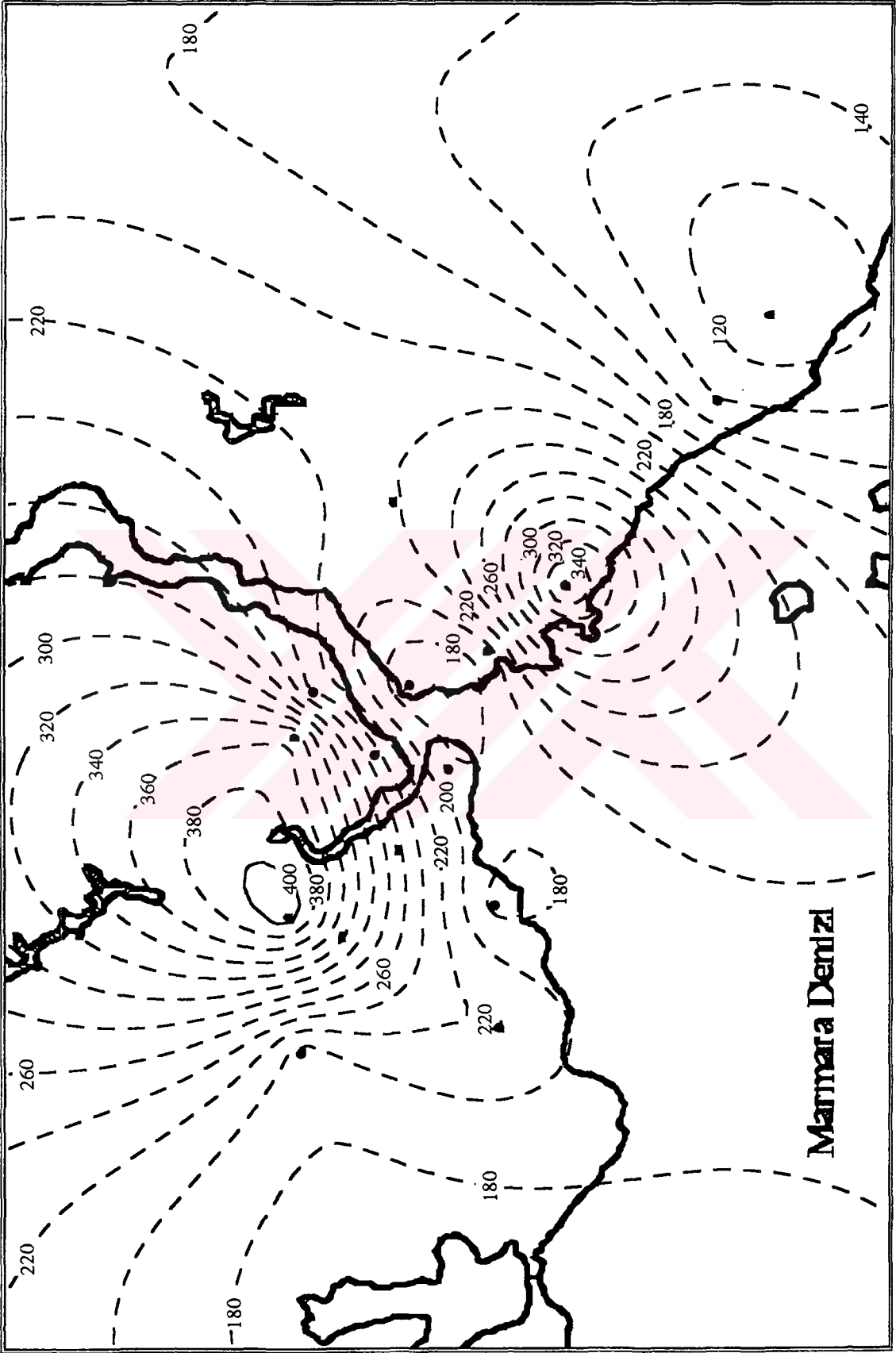
Şekil 4.12. Kasım 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



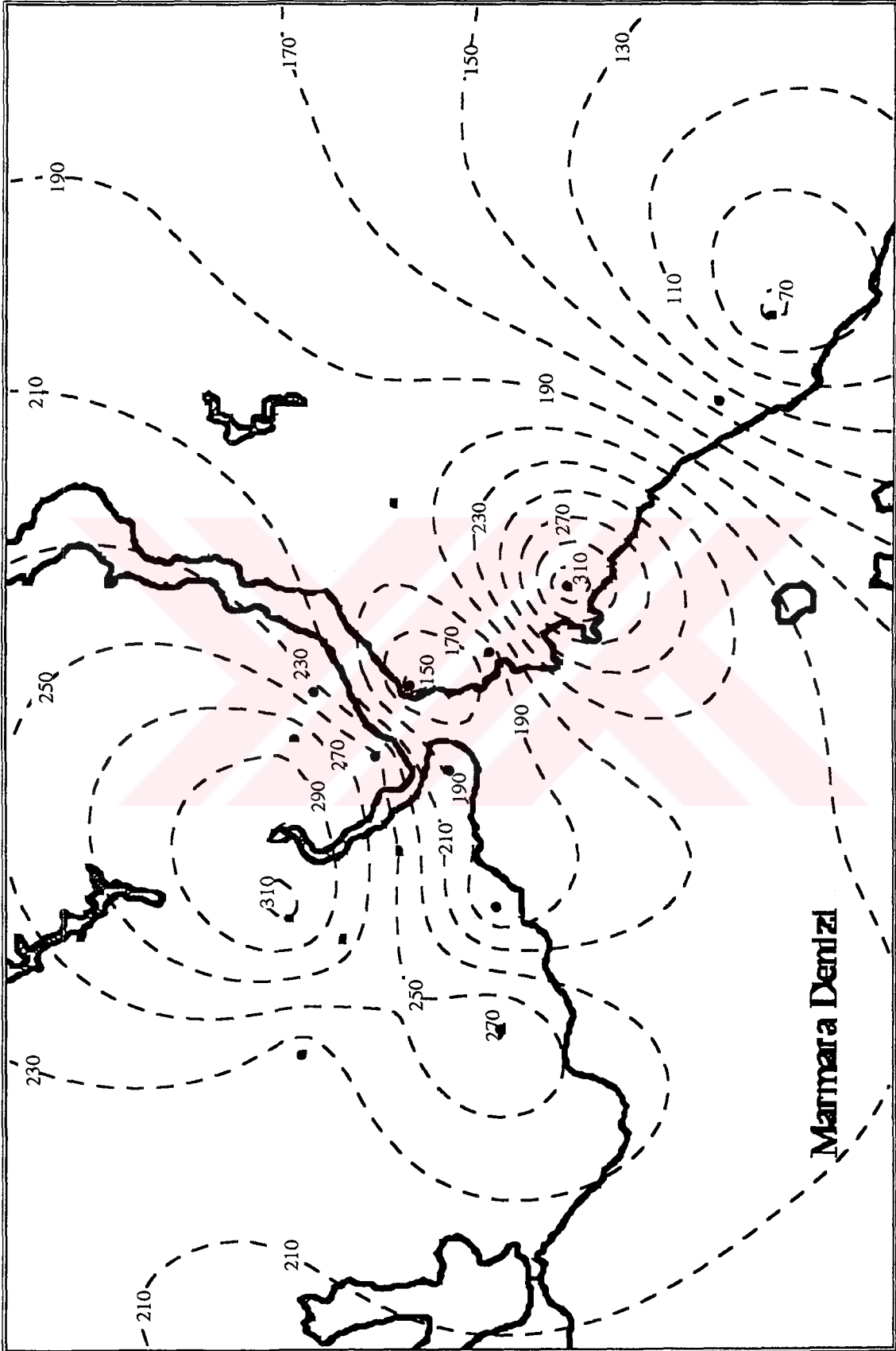
Şekil 4.13. Aralık 1994 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



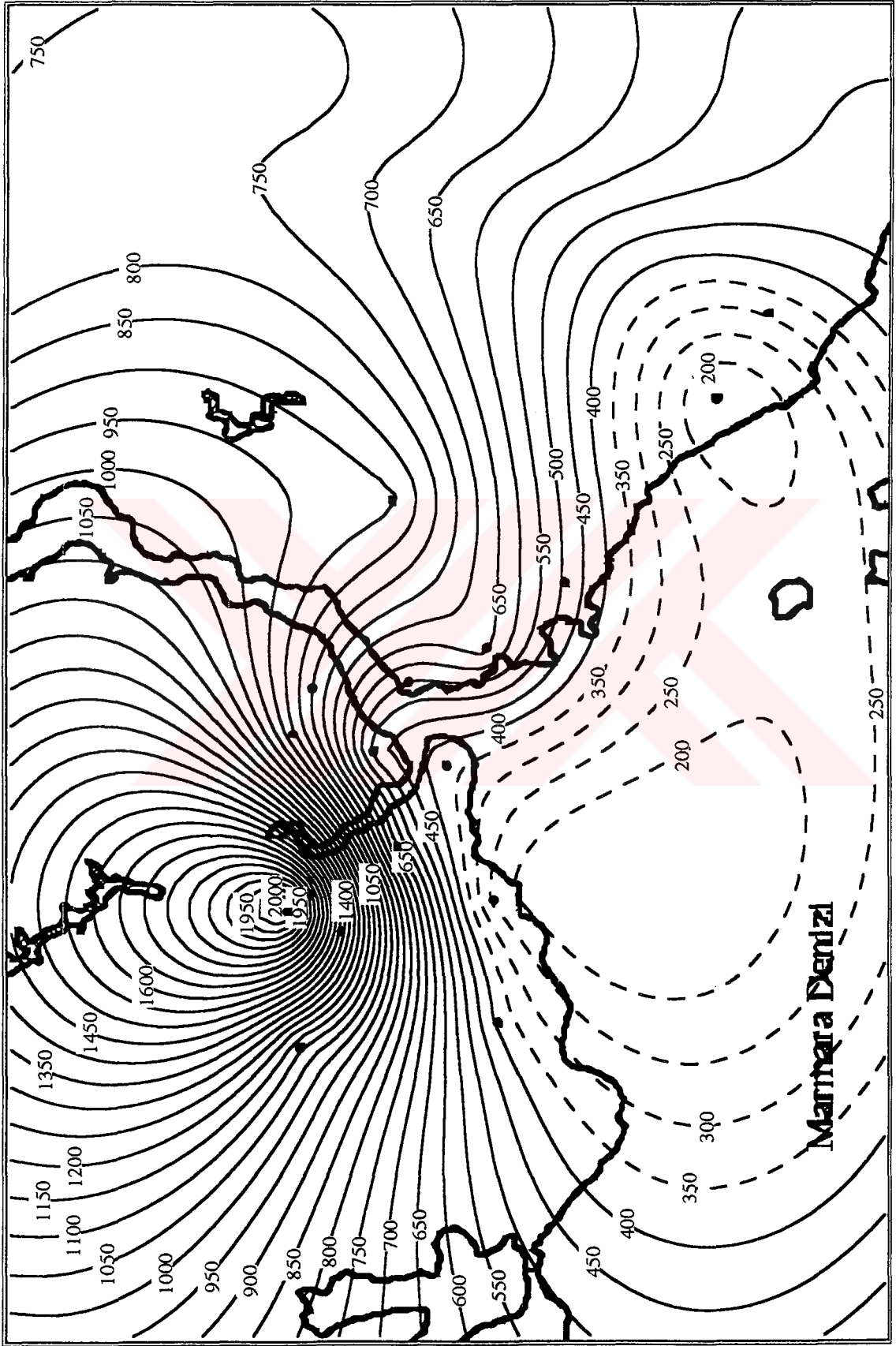
Şekil 4.14. Ocak 1995 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



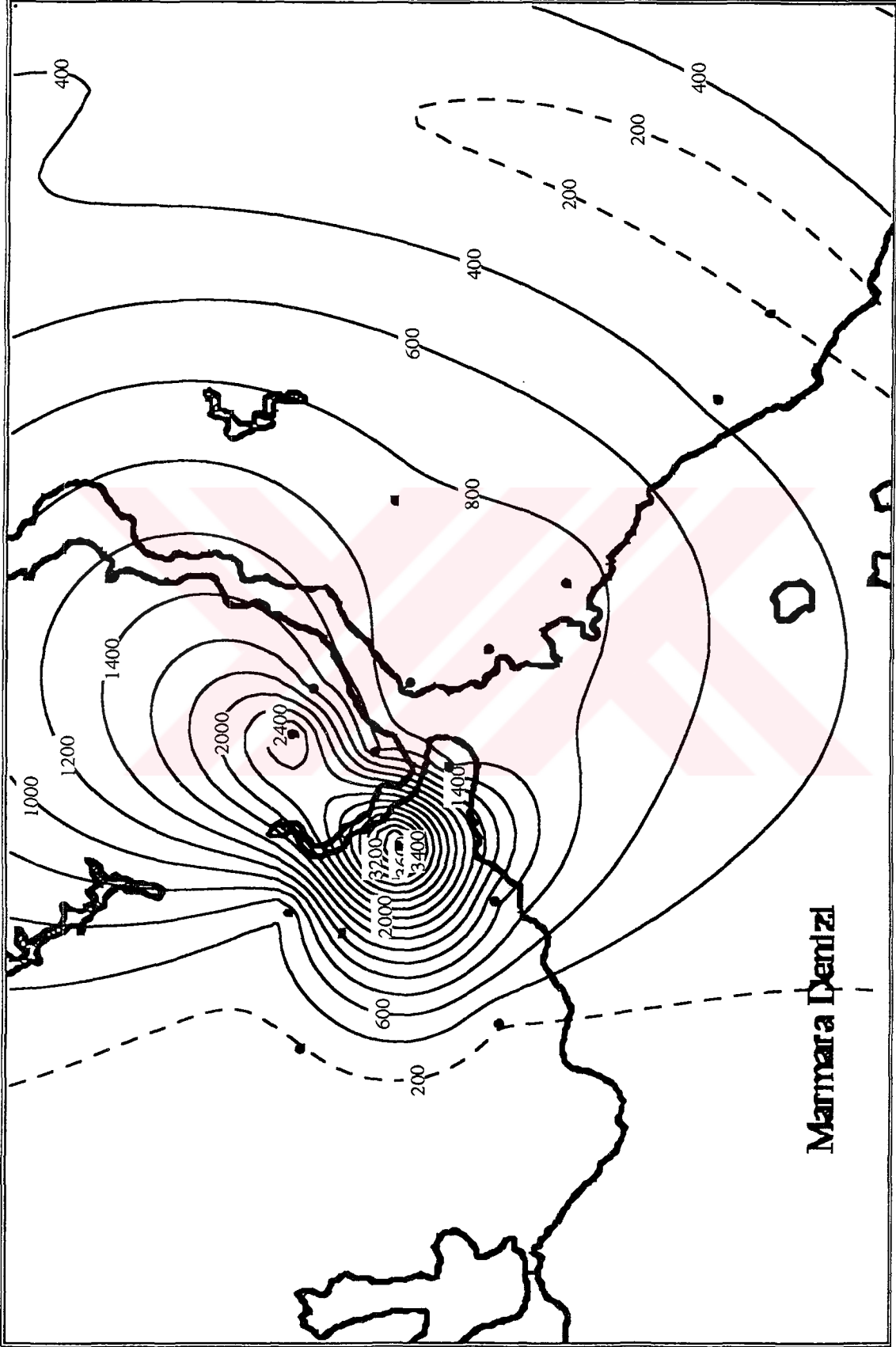
Şekil 4.15. Şubat 1995 SO₂ Ortalamaları (µgr/m³)



Şekil 4.16. Mart 1995 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)



Şekil 4.17. 17 Ocak 1993 SO₂ Ortalamaları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Şekil 4.18. 18 Ocak 1993 SO₂ Ortalamaları (µg/m³)

4.2. Bulgular

Kış mevsimini temsil eden Kasım-Mart aylarında İstanbul üzerinden geçen atmosferik siklon sayısı Şekil 4.19a'da ve aynı aylara tekabül eden çeşitli istasyonlarda ölçülen SO₂ ve PM konsantrasyonlarının ortalamaları da Şekil 4.19b'de gösterilmiştir. Burada, Şekil 4.19b için Devlet İstatistik Enstitüsü Verileri'nden (Devlet İstatistik Enst., 1992) elde edilen ve Ocak 1985'den Mart 1991'e kadar olan ısınma sezonunu temsil eden SO₂ ve PM konsantrasyonlarının aylık ortalama değerlerinin eğilimini gösteren lineer regresyon doğruları da çizilmiştir. Bu doğrulardan da görüldüğü gibi, SO₂ ve PM konsantrasyonları her geçen ayda yüksek bir hızla artmıştır. Ocak 1985'te aylık ortalaması 150 µg/m³ olan SO₂ konsantrasyonu, Ocak 1990'da 510 µg/m³ aylık ortalama değere ulaşmıştır. Her ne kadar, bu değişim inişli çıkışlı bir yol izliyorsa da burada genelde lineer bir artış söz konusudur. Aradaki sıçramaları da tamamıyla o aylarda hüküm süren meteorolojik koşullara bağlamak gerekir. Bunu Şekil 4.19a da doğrulamaktadır. Atmosferik siklonlar birer alçak basınç merkezleridir. Kirliliğe neden olacak enversiyon koşullarının oluşması alçak basınç merkezlerinin mevcudiyetinde mümkün değildir. Şekil 4.19a'da kullanılan siklon sayıları Alman Meteoroloji Örgütü'nün meteorolojik haritalarından sübjektif olarak hesaplanmıştır.

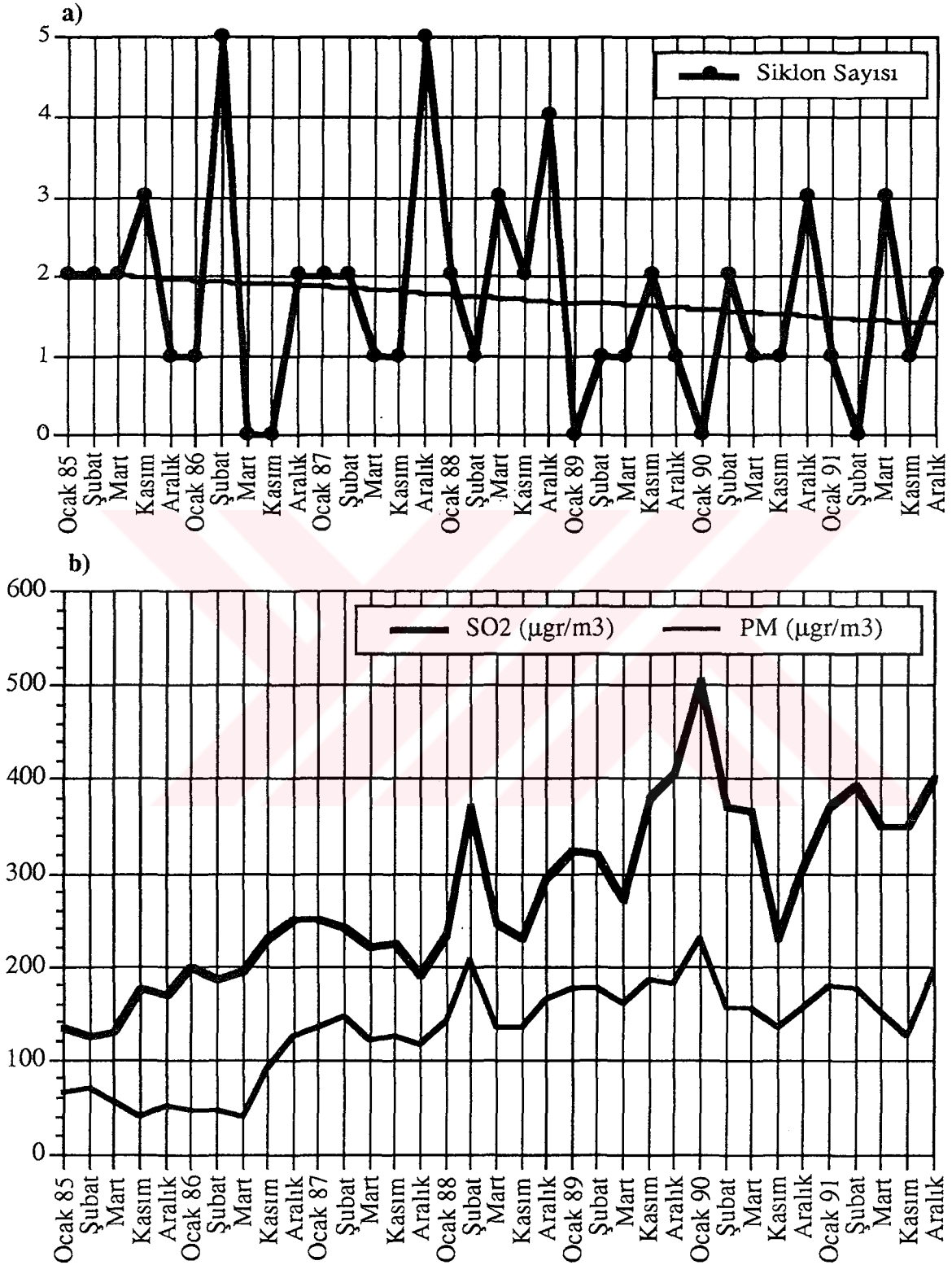
Siklon sayısı artarken SO₂ ve PM'de, dikkat edilecek olursa, azalma görülmektedir. Fakat genel eğilim gözönüne alındığında kirlilikte artış ve siklon sayısında ise azalış görülmektedir. Örneğin, Kasım 1990'da düşük kirletici değerinin bulunması meteorolojik koşulların kirletici konsantrasyonlarının artmasına imkan sağlayacak nitelikte gelişmemesinden kaynaklanmaktadır. Burada ikili bir meteorolojik etkiden bahsedilebilir;

1) Hava sıcaklığının, ortalamanın 3°C üzerinde bulunmasından dolayı (Şekil 4.20) ısınma amaçlı yakıt tüketiminde bir azalış,

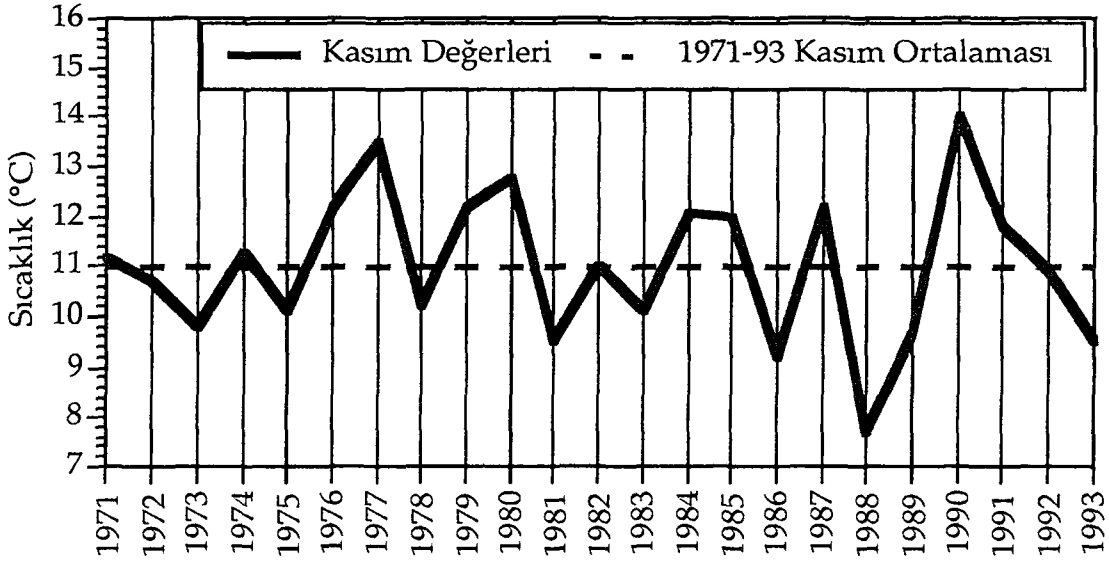
2) Yüksek basınç ve akabinde oluşan enversiyon tabakasının o ayda hakim atmosfer dolaşım sistemlerinden dolayı çok az sıklıkta ve zayıf bir şekilde oluşmasıdır. Şekil 4.21'den görüleceği üzere Kasım 1990'daki mahalli basınç değeri uzun yıllar kasım ortalamasının 2.4 mb altındadır.

İkinci örnek olarak Ocak 1990'da kirletici konsantrasyonlarında çok yüksek değerlerin bulunmuş olması gösterilebilir. Şekil 4.19a'dan Ocak 1990'da sadece bir atmosferik siklonun İstanbul üzerinden geçtiği açıkça görülmektedir. Burada da ikili bir meteorolojik etkiden bahsedilebilir;

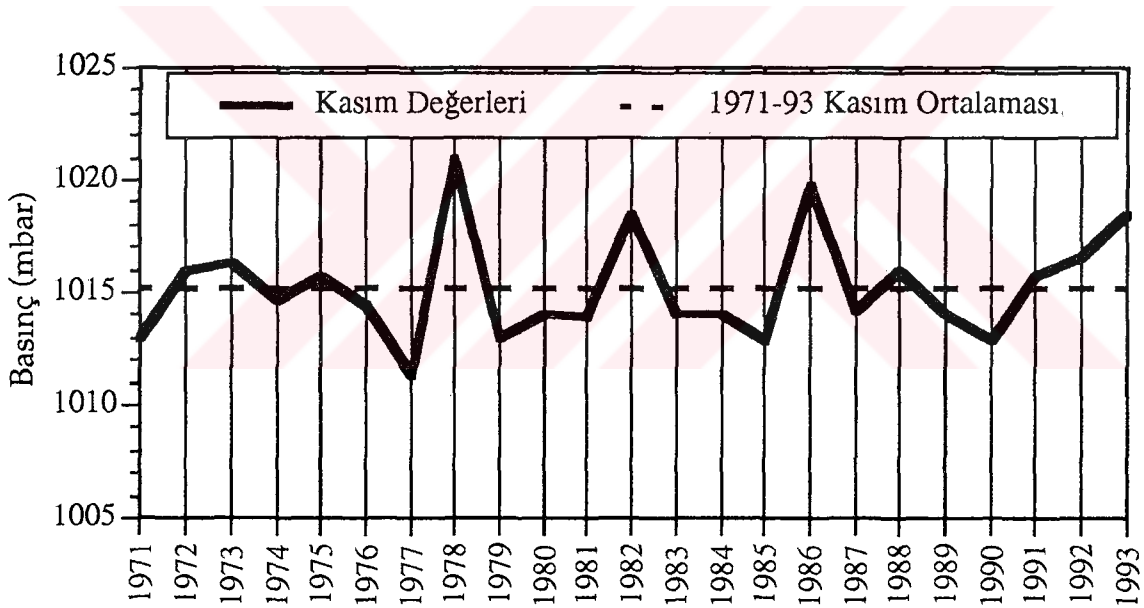
1) Hava sıcaklığının ortalamanın 1°C altında bulunmasından dolayı (Şekil 4.22) ısınma amaçlı yakıt tüketiminde bir artış,



Şekil 4.19. a) 1985 - 1991 yılları kış ayları boyunca İstanbul üzerinden geçen atmosferik siklon sayıları, b) SO₂ ve PM'nin 1985-1991 yılları boyunca kış ayları değişimi



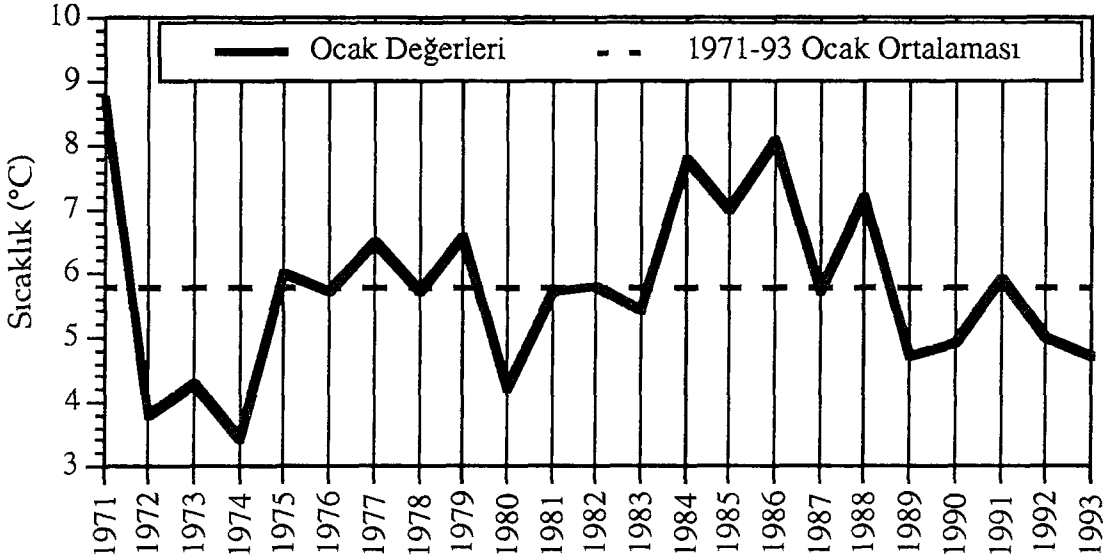
Şekil 4.20. 1971-1993 Yılları Kasım ayları sıcaklık değerleri ve ortalaması



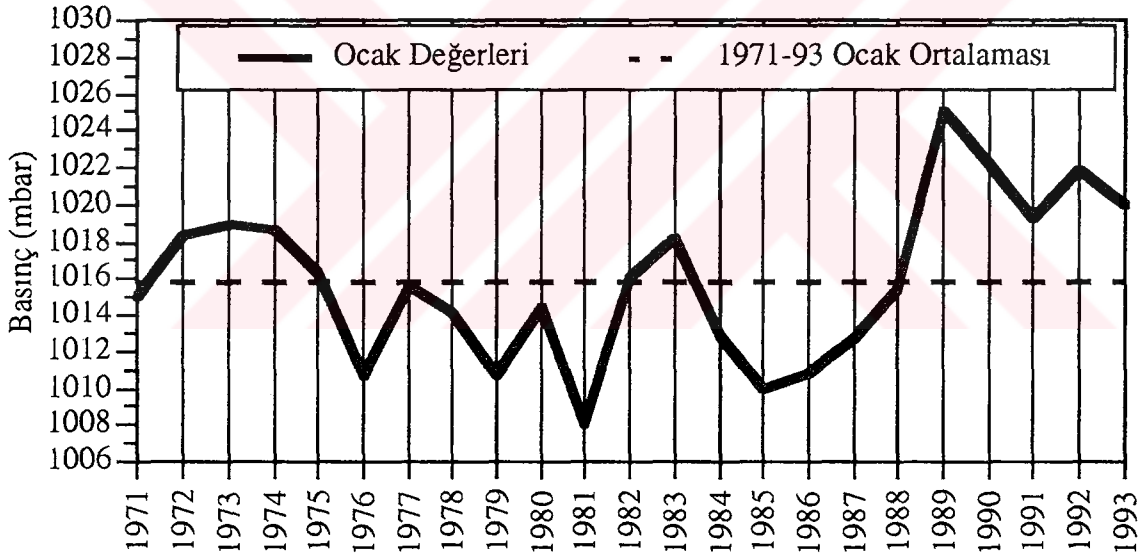
Şekil 4.21. 1971-1993 Yılları Kasım ayları basınç değerleri ve ortalaması

2) Yüksek basınç ve akabinde oluşan enversiyon tabakasının o ayda hakim atmosfer dolaşım sistemlerinden dolayı çok ve şiddetli bir şekilde oluşmasıdır. Şekil 4.23'ten görüleceği üzere Ocak 1990'daki mahalli basınç değeri uzun yıllar kasım ortalamasının 7 mb üstündedir

Şekil 4.24, Dünya Sağlık Örgütü'nün SO₂ için belirlediği 24 saatlik sınır değeri olan 150 µg/m³'ün üzerinde oluşum sayısı ile atmosferin ilk 1500 m'sinde görülen aylık enversiyon sayısının 1993-94 ısınma sezonundaki değişimini vermektedir.



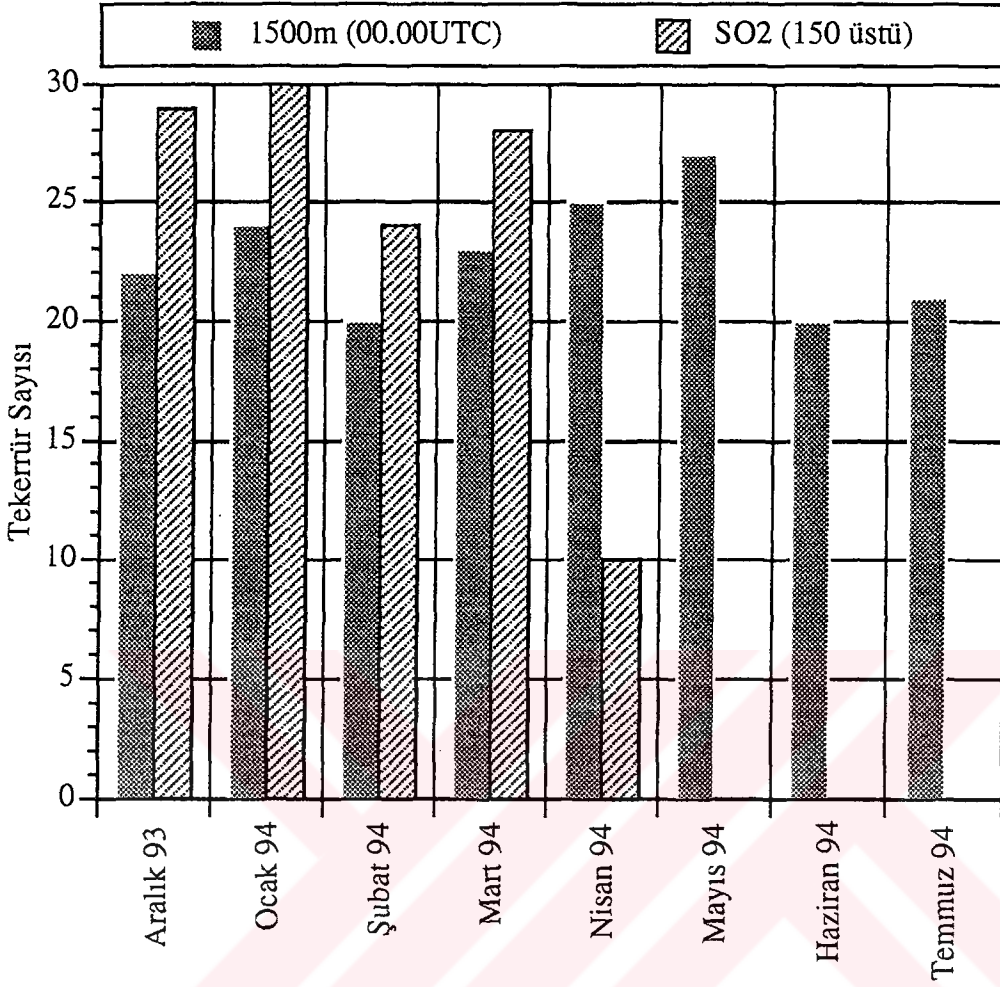
Şekil 4.22. 1971-1993 Yılları Ocak ayları sıcaklık değerleri ve ortalaması



Şekil 4.23. 1971-1993 Yılları Ocak ayları basınç değerleri ve ortalaması

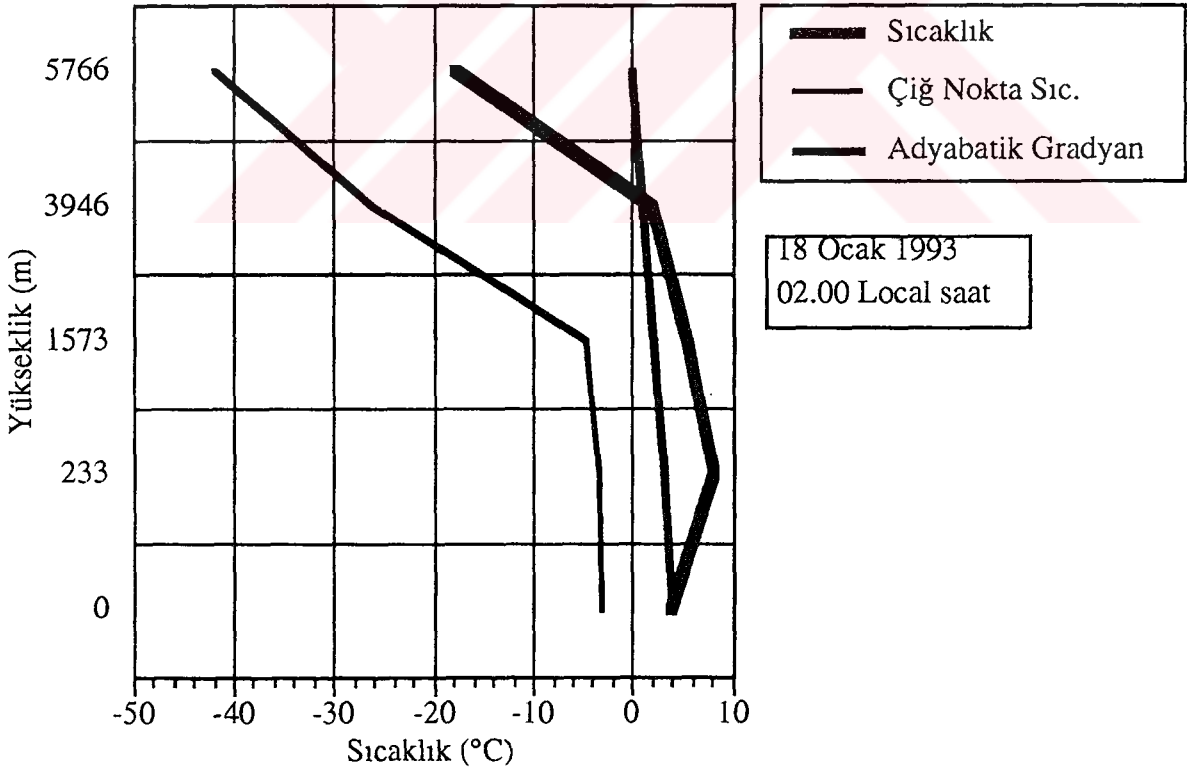
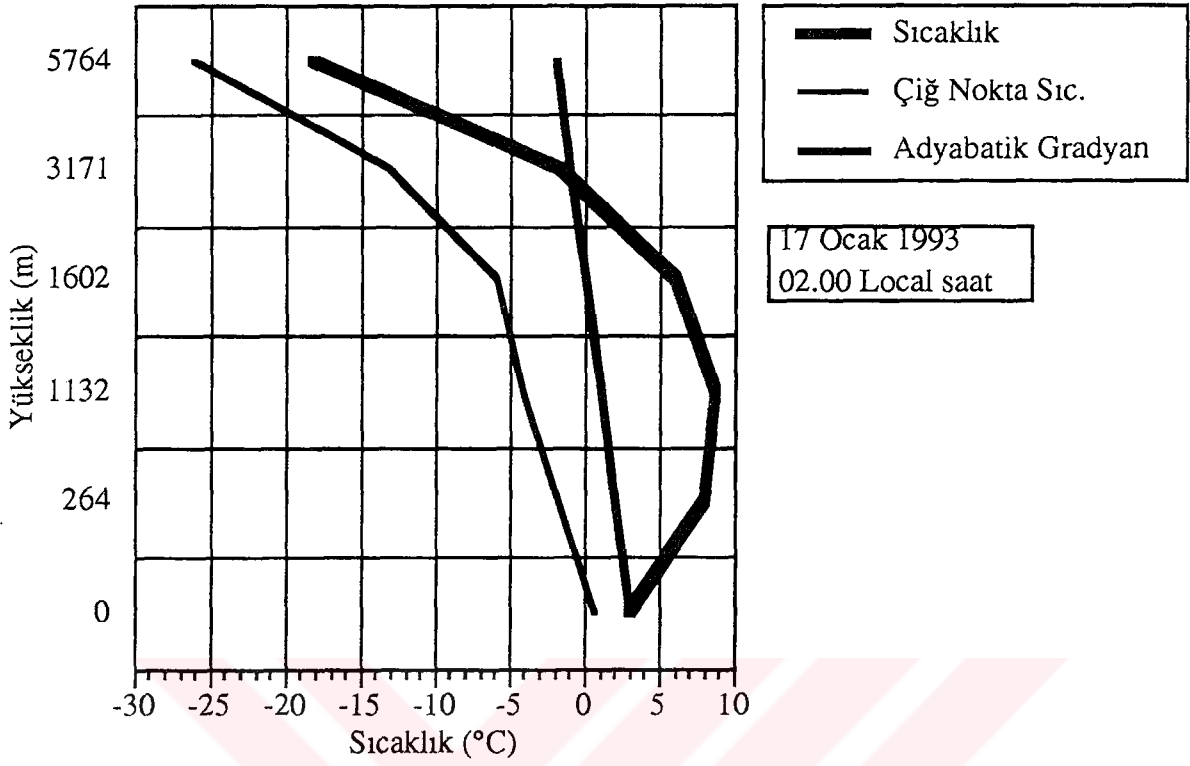
Bu da kirli günlerle meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi bariz bir şekilde göstermektedir. Aylık enversiyon sayısı ile orantılı olarak meydana gelen kirliliğin sınır değerleri aştığı günlerin sayısı da aynı oranda artmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.19b'den görüldüğü gibi, SO₂ ve PM değişimleri birbirlerini yakın bir şekilde takip etmekte ve meydana gelen salınımlar arasında yüksek bir korrelasyon bulunmaktadır.



Şekil 4.24. Aralık 1993-Temmuz 1994 aylarına ait meydana gelen aylık enversiyon sayısı ve SO₂ konsantrasyonunun 150 µg/m³ seviyesini aşan günlerin sayısı (Mayıs, Haziran ve Temmuz 1994 aylarında sınır değeri hiç aşılmamıştır.).

İstanbul'da meydana gelen günlük bazda hava kirliliğinin boyutları, çok çarpıcı bir şekilde Şekil 4.17 ve 4.18'de görülmektedir. 18 Ocak 1993'te son 24 saatte ölçülen SO₂ miktarı, Fatih'te 4000 µg/m³'e ve Şişli'de ise 2600 µg/m³'e ulaşmış ve tüm şehir genelinde sınır değerlerinin çok üzerinde ölçümler tespit edilmiştir. Şekil 4.25'te, 17 ve 18 Ocak 1993 saat 02.00 lokal saatte yapılan meteorolojik rasat sonucu elde edilen sıcaklığın yükseklikle değişimi verilmiştir. Normal koşullarda sıcaklığın yükseklikle değişimi adyabatik gradyanı takip etmesi gerekirken; merkezi Orta Avrupa üzerinde olan yüksek basınç merkezinin sebep olduğu enversiyon tabakası oluşmuştur. Enversiyon tabakasının kalınlığı 17 Ocak 1993 günü yer seviyesinden başlayıp 1132 m'ye ve 18 Ocak 1993 gününde yine yer seviyesinden başlayıp 657 m'ye çıkmıştır. Yine



Şekil 4.25. 17 ve 18 Ocak 1993 saat 02.00 lokal saatte yapılan meteorolojik rasat sonucu elde edilen sıcaklığın yükseklikle değişimi.

aynı günlerde kirliticilerin dağılması açısından önemli bir parametre olan rüzgar hızı, yer seviyesi ortalamaları sırasıyla 1 ve 0.6 metre/saniye seviyelerinde kalmıştır. Tablo 4.2 17-18 Ocak 1993 günleri ve bu günlerden birkaç gün öncesi ve sonrasındaki enversiyonların fiziksel boyutlarını ve Tablo 4.3 ise bu enversiyonların fiziksel kuvvetlerini (düşey sıcaklık gradyanlarını) göstermektedir.

Tablo 4.2. 15-23 Ocak 1993 günlerindeki enversiyonların fiziksel boyutları

GÜN	Birinci Enversiyon (00.00 GMT)				Birinci Enversiyon (12.00 GMT)			
	Başlama (m)	Sıcaklık (°C)	Bitiş (m)	Sıcaklık (°C)	Başlama (m)	Sıcaklık (°C)	Bitiş (m)	Sıcaklık (°C)
15	39	5.2	316	9.2	279	4.0	444	8.0
16	39	3.8	196	8.2	1320	1.8	1600	4.8
17	39	3.0	1132	8.8	515	6.0	906	7.2
18	39	4.0	657	10.8	488	9.2	661	11.2
19	39	4.6	640	11.4	212	8.8	725	10.8
20	314	3.4	549	8.8	657	1.8	856	6.8
21	39	4.8	224	6.0	562	2.0	715	4.0
22	328	2.8	554	9.2	390	5.2	880	6.8
23	39	7.6	210	9.4	188	11.0	512	14.0

Not: 39m olarak verilen başlama yüksekliği Göztepe Meteoroloji İstasyonunun rakımı olup yer seviyesidir.

Tablo 4.3. 15-23 Ocak 1993 günlerindeki enversiyonların fiziksel kuvvetleri

GÜN	Birinci Enversiyonun Kuvveti (°C/100m) (00.00 GMT)	Birinci Enversiyonun Kuvveti (°C/100m) (12.00 GMT)
15	1.44	2.42
16	2.80	1.07
17	0.53	0.31
18	1.10	1.16
19	1.13	0.39
20	2.30	2.51
21	0.65	1.31
22	2.83	0.33
23	1.05	0.93

Hava kirliliğinin meteorolojik olarak boyutunu anlayabilmek için çeşitli basit yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de **havalandırma katsayısının** (ventilation coefficient) belirlenmesidir. Havalandırma katsayısı karışma tabakasının yüksekliği (genelde ilk enversiyon tabakasının yüksekliği) ile o tabakadaki ortalama rüzgar

şiddetinin çarpımı şeklinde tarif edilir. A.B.D. Colorado eyaletinde, hava kirliliğinin boyutlarını anlamak ve bir sonraki gün için tahmin yapabilmek için kullanılan ve havalandırma katsayısına bağlı olarak ele alınan kriter aşağıda verilmiştir (Eagelman, 1991).

Bu katsayı ne kadar küçükse kirlilik te o derece yüksektir (Tablo 4.4). Bunu şu şekilde açıklamak mümkündür:

Rüzgar şiddetinin düşük ve beraberinde karışım yükseliğinin de alçak olması halinde atmosfere büyük miktarda kirlilik emisyonu bırakılmışsa; kirleticiler yayılamayacak, dar bir hacimde kalacak ve yeryüzüne yakın kesimlerde yüksek konsantrasyonlar meydana gelecektir. İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen 1993-94 ısınma sezonuna ait rüzgar şiddeti ve karışma yükseklikleri kullanılarak havalandırma katsayıları hesaplanmıştır. Bu havalandırma katsayılarının 1993-94 yılı ısınma sezonuna ait Colorado'da da kullanılan kriterlere göre sınıflaması Şekil 4.26'da verilmiştir. Geçen yıllara ait veriler tam olmadığından ancak 1993-94 yılına bakılabilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, standartlara göre 90 gün aşırı derecede kirlilik görülmüştür. Bu kriterlere göre, meteorolojik koşullara bağlı olarak havalandırma katsayısının yüksek olduğu 32 gün temiz olarak nitelendirilebilir.

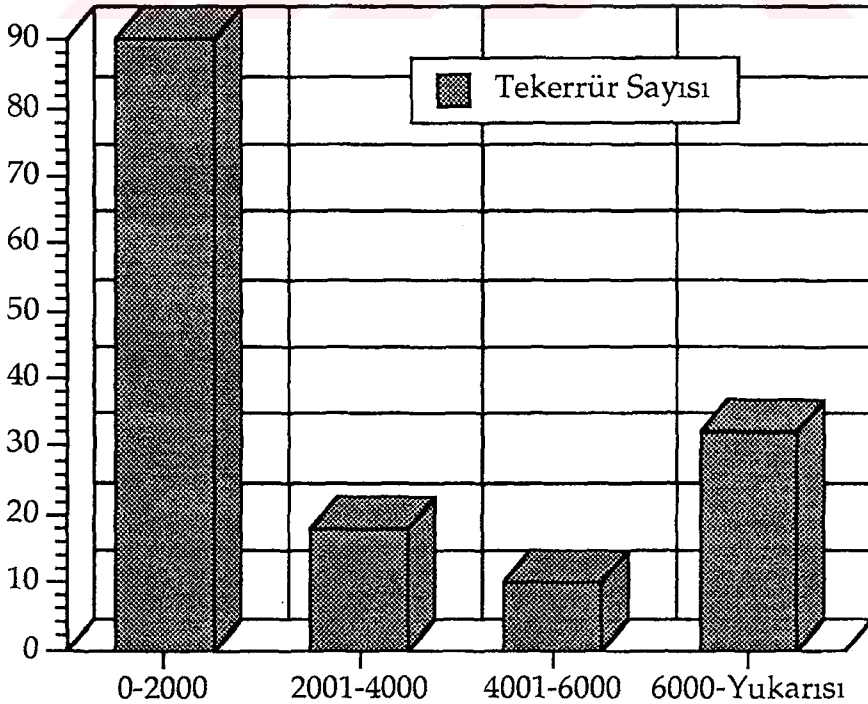
Tablo 4.4. Havalandırma katsayısı ile kirliliğin ilişkisi

Havalandırma Katsayısı (m ² /sec)	Kirlilik Durumu
0 - 2000	Çok kirli
2001 - 4000	Orta derecede kirli
4001 - 6000	Az kirli
6000 - Yukarısı	Temiz

Şekil 4.2 - 4.16, Kriging yöntemi ile bilgisayarda uzaysal enterpolasyonla elde edilen Aralık 1993 - Mart 1995 aylarına ait (Ağustos 1994 hariç) SO₂ konsantrasyonun mekansal olarak dağılımını göstermektedir. Ölçümler yerleşim bölgelerinin yoğun olduğu alanlarda yapıldığından sadece bu bölgeye ait kirlilik haritaları çizilmiştir. Bu haritalarda, Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği'nde (HKKY) SO₂ için aylık ortalama sınır değer olarak belirtilen 400 µg/m³ konsantrasyon seviyesinin üzerindeki yerlerde sınır değerinin aşıldığını göstermek amacıyla kontur çizgileri kesiksiz, bunun altında ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Haritalarda gösterilen bu kontur ayrımları kriging yöntemini kullanan bilgisayar programı ile yapılmıştır.

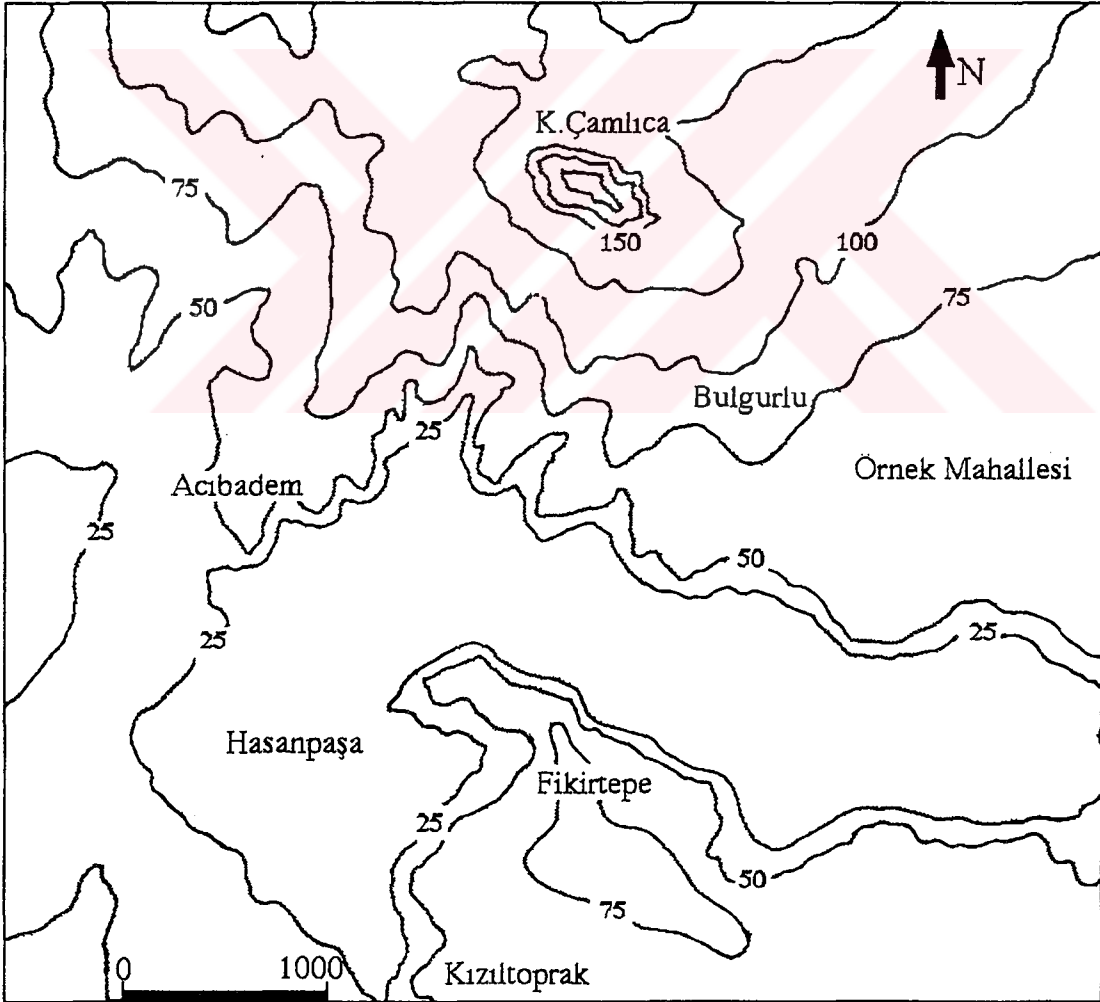
Nisan - Ekim aylarına ait SO₂ Kirlilik Haritaları (Şekil 4.6 : Nisan 1994 - Şekil 4.11 : Ekim 1994) incelendiğinde, aylık ortalama SO₂ konsantrasyonlarının genelde tüm bölgelerde hem HKKY'de belirtilen kısa vadeli sınır değerin (400 µg/m³), hem de Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)'nın öngördüğü müsaade edilen aylık maksimum SO₂ konsantrasyon değeri olan 150 µg/m³ değerinin altında olduğu görülmektedir.

Kış aylarını temsil eden SO₂ Kirlilik Haritaları (Şekil 4.2 : Aralık 1993, Şekil 4.3 : Ocak 1994, Şekil 4.4 : Şubat 1994, Şekil 4.5 : Mart 1994, Şekil 4.12 : Kasım 1994, Şekil 4.13 : Aralık 1994, Şekil 4.14 : Ocak 1995, Şekil 4.15 : Şubat 1995, Şekil 4.16 : Mart 1995) incelendiğinde, kış dönemini temsil eden Kasım - Mart aylarında nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu iki bölgede kirliliğin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerden biri, Eminönü'nden başlayıp Fatih, Eyüp, Kağıthane, Şişli ve Gaziosmanpaşa'ya uzanan Haliç koridoru, diğeri ise Üst Göztepe, Kozyatağı'ndan Hasanpaşa'ya kadar uzanan alandır. Bu bölgelerin kış aylarında sürekli olarak en yüksek kirlenmeye maruz kaldığı görülmektedir. Aynı şekilde diğer aylara da bakıldığında, yine en yüksek kirlenmeye maruz kalan yerlerin bu bölgeler olduğu görülmektedir. Bu iki bölgenin yüksek değerlere sahip olmasının önemli nedenlerinden biri de topografik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Her iki bölge de kirleticilerin birikmesi için uygun topografik yapıya sahiptir.



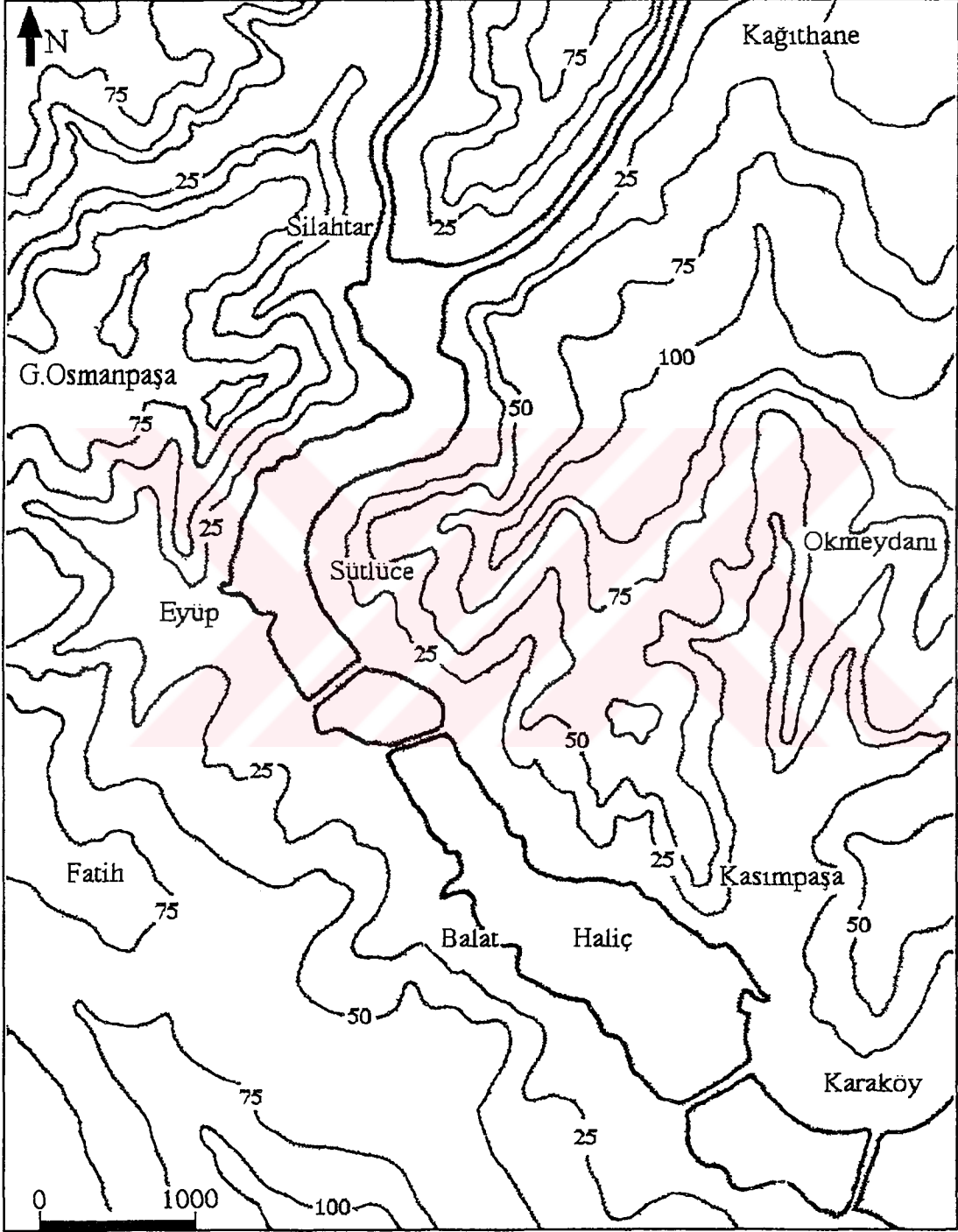
Şekil 4.26. 1993-94 Isınma sezonu havalandırma katsayılarının tekerrür sayısı

Şekil 4.27, hava kirliliğinin en yoğun olduğu iki bölgeden bir olan Göztepe bölgesini göstermektedir. Hasanpaşa'dan başlayan koridor çevre yolunu takip ederek Çamlıca eteklerine kadar uzanmakta ve Doğu Batı uzantısında ise Acıbadem'den Kozyatağı'nın başlangıcını kapsamaktadır. Aynı doğal topografik yapıyı insan müdahalesi ile oluşmuş çarpık yapılaşma büyük oranda değiştirmiştir. Örnek ve Fikirtepe Mahalleleri üzerindeki çarpık yapılaşma ile Soyak sitesi gibi siteler buna örnek gösterilebilir. Benzer olarak Kağıthane ve Gaziosmanpaşa bölgelerinde hızla artan gecekonduların yerine inşa edilen apartmanlar, hem yakıtlardan gelen kirletici miktarını arttırmış, hem de bunların dağılmasını engellemiştir. Denizden esebilecek ve kirleticileri dağıtabilecek deniz meltemlerinin esmesine çarpık ve plansız yapılaşma, maalesef bir bariyer işlevi görmektedir. Ataköy 9. ve 10. kısım, Kozyatağı ve Üst Göztepe'deki yüksek katlı binalar buna birer örnektir.



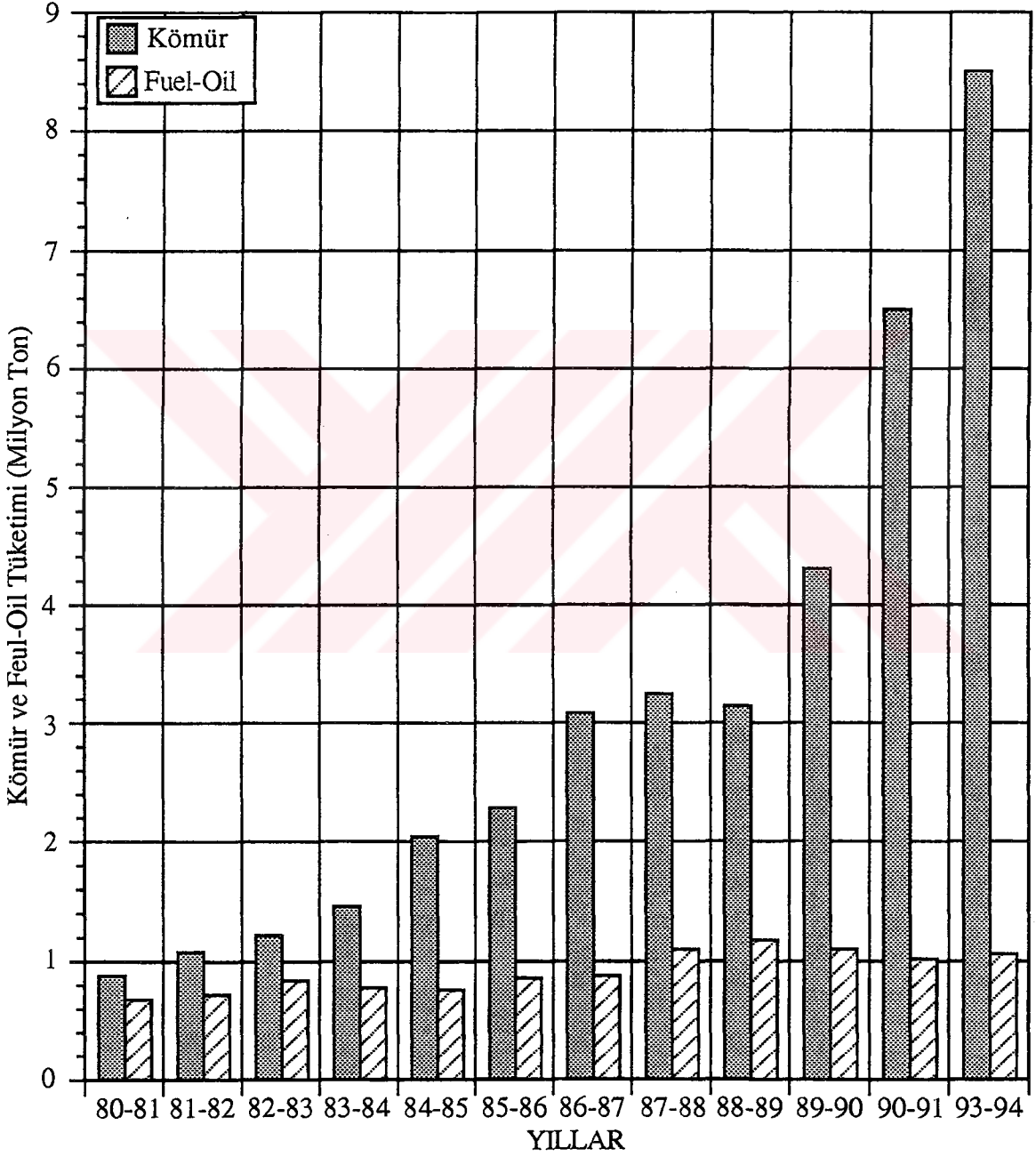
Şekil 4.27. ÜstGöztepe'den Acıbadem ve Hasanpaşa'ya kadar olan bölgenin topografyası. Kontur aralığı 25 m'dir.

Kirliliğin yoğun olduğu diğer bölge de Şekil 4.28'de gösterilen Haliç bölgesidir. Bu şekilden de açıkça görüldüğü gibi Haliç, kirliliğin biriktiği bir çanak işlevi görmektedir.



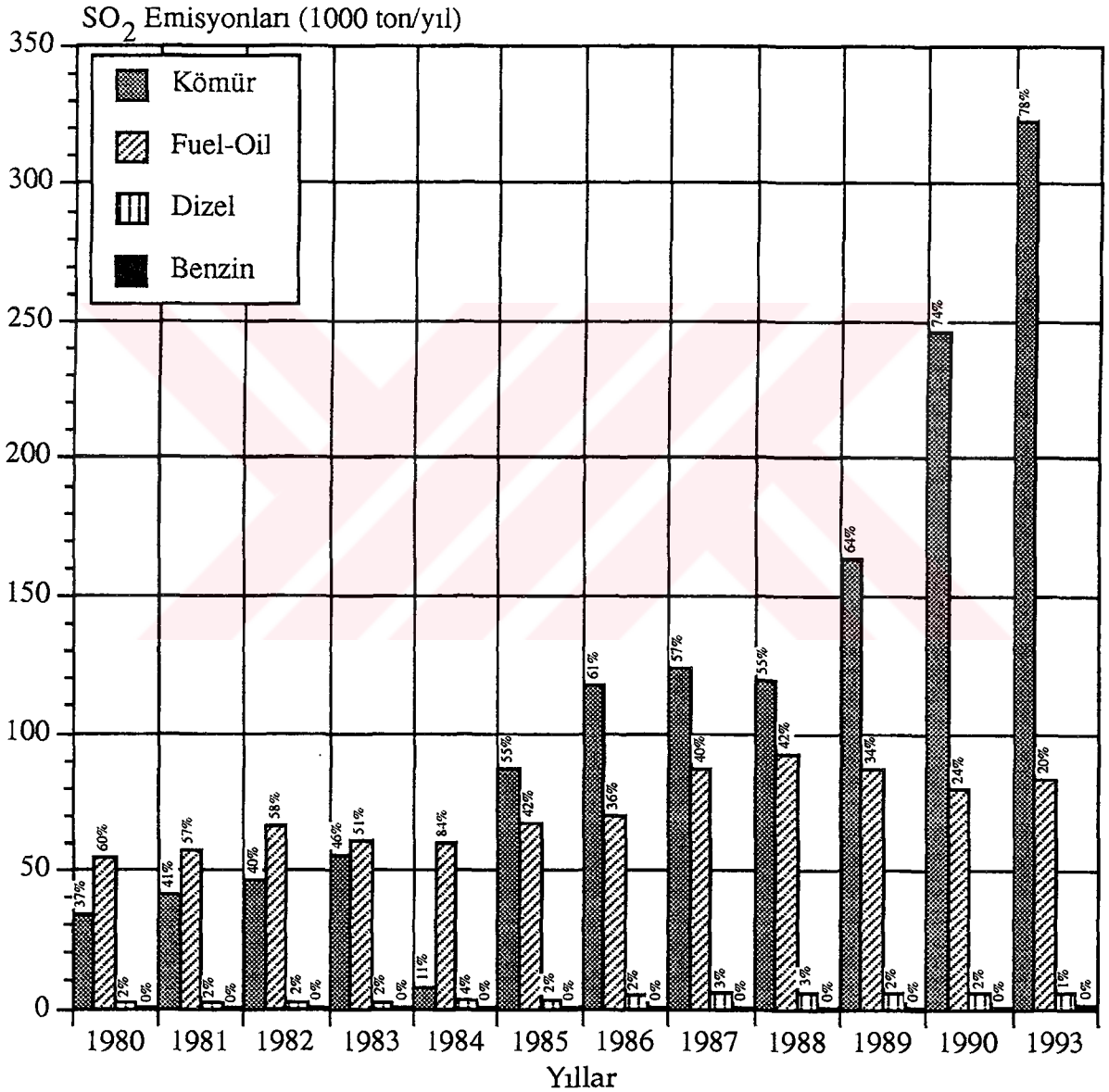
Şekil 4.28. Haliç koridorunun topografyası. Kontur aralığı 25 m'dir.

Hava kirliliği haritaları (Şekil 4.2-4.16) incelendiğinde, yukarıda bahsedilen kirliliğin yoğun olduğu iki bölgede SO₂ değerlerinin birçok defalar Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği'nde (HKKY) belirtilen sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, tüm çerçeve içindeki SO₂ değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değerinin de (150 µg/m³) çok üstündedir.



Şekil 4.29. 1980-81'den 1993-94'e kadar olan dönem içinde İstanbul'da tüketilen kömür ve fuel-oil miktarları

Şekil 4.29'da, 1980-81'den 1993-94'e kadar (1992-93 hariç) İstanbul'da tüketilen toplam kömür ve fuel-oil miktarları verilmiştir. Fuel-oil ile kömürün ısınmadaki payları 1980-81 döneminde hemen hemen eşit iken bu oran 1993-94'de kömür lehine gelişmiş ve fuel-oil kullanımı 1993-94'de sadece kömür tüketiminin yaklaşık %20'sine tekabül etmiştir. 1980'den 1994'e kadar fuel-oil tüketimi hemen hemen sabit kalmış, fakat kömür tüketimi yaklaşık 9 katına çıkmıştır.

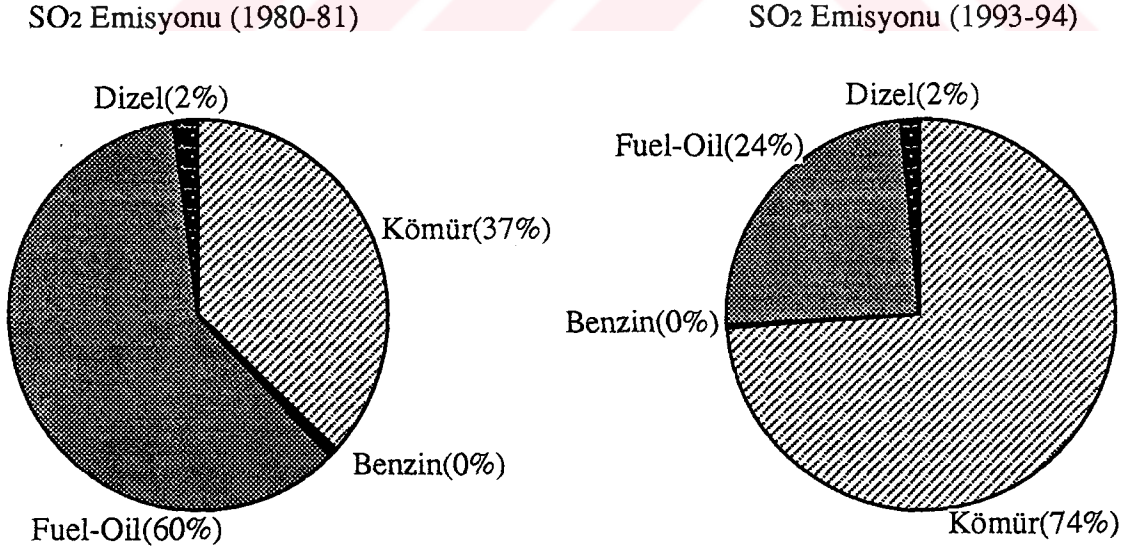


Şekil 4.30. İstanbul'da çeşitli yakıtlardan çıkan SO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi

Kullanılan kömürün büyük bir miktarı da İstanbul'un kuzeyindeki ocaklardan sağlanmıştır. Bu ocaklardan alınan kömürdeki kükürt miktarının ortalama %2 civarında

olduğu bilinmektedir (İst. B.Ş. Belediyesi, Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Bşkliği, 1994).

Tablo 4.5 kullanılarak çeşitli yakıtlardan çıkan SO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 4.30'da verilmiştir. Burada kullanılan veriler Devlet İstatistik Enstitüsü'nden alınmıştır. Bu emisyonlar, kükürt oranı kömürde ortalama %2, fuel-oilde ise %3.5 esas alınarak hesaplanmıştır. Emisyon hesabında Environmental Protection Agency (1980)'de verilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Çubuklar üzerinde verilen rakamlar kullanılan yakıtın SO₂ kirliliğine olan katkısının yüzde payını vermektedir. Fuel-Oil ile kömürün emisyon paylarının diğer yakıtlara göre çok yüksek olduğu görülmektedir. 1980 ve 1990 yıllarına ait kıyaslamalı SO₂ emisyonları da Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Her iki şekil beraberce yorumlandığında fuel-oil ile kömür arasındaki paylar son 14 yılda ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Kömürün payı 1980-81'de %37 iken bu oran 1993-94'te %74'e ulaşmıştır. Fuel-oil ise 1980-81'de %60 iken 1993-94 %24'e düşmüştür. Yıllara göre artan kirlilikteki en büyük payın kalitesiz kömür kullanımından ileri geldiği açıkça görülmektedir. Artan nüfusla orantılı olarak artan yakıt tüketimi, özellikle kükürt oranı yüksek kömür ve fuel-oil, konuta artan talep ve yükselen binalar beraberce kirliliğin bu boyutlara ulaşmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.31. 1980-81 ve 1993-94 yıllarına ait SO₂ emisyon kaynaklarının kıyaslaması.

Tablo 4.5. Yakıt yanması ile ilgili emisyon faktörleri (EPA, 1980)

Yakıt Cinsi	PM	SO _x	CO	HC	NO _x
KÖMÜR	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton
Linyit					
Pulverize	3.2 A	13.6 S	0.45	<0.45	6.4
Siklon	2.7 A	13.6 S	0.45	<0.45	7.7
Spreader Stoker	3.2 A	13.6 S	0.90	<0.45	2.7
Bitümlü Kömür					
Pulverize					
Genel	7.3 A	19.5 S	0.45	0.14	8.2
Islak	6.0 A	19.5 S	0.45	0.14	13.6
Kuru Taban	7.7 A	19.5 S	0.45	0.14	8.2
Siklon	1.0 A	19.5 S	0.45	0.14	25
Spreader Stoker	6.0 A	19.5 S	0.90	0.45	6.8
Elle Besleme	9.0 A	19.5 S	41	9	1.4
FUEL-OIL					
Termik Santral	1.26	20.5 S	0.005	0.50	13.02
Sanayi Tesisi					
Ağır Fuel-oil	2.9	20.1 S	0.25	0.50	8.96
Hafif Fuel-oil	1.9	20.1 S	0.25	0.50	8.96
Ev ve Ticari İşletmeler	0.1	20.1 S	0.25	0.63	1.46
DOĞALGAZ	g/m³	g/m³	g/m³	g/m³	g/m³
Termik Santral	0.24	0.01	0.272	0.016	11.1
Sanayi Tesisi	0.24	0.01	0.272	0.048	3.6
Ev ve Ticari İşletmeler	0.24	0.01	0.272	0.128	1.9
BENZİN (kg/m³)	1.4	1.1	275	24	14
DIESEL (kg/m³)	13.2	4.8	7.2	16.3	26.6

Not: S: Yakıttaki Kükürt yüzdesi A: Kömürdeki kül yüzdesi

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Sonuçlar

Kriging uzaysal enterpolasyon metodu uygulanarak mevcut kirlilik ölçüm istasyonlarından alınan aylık ortalama kükürtdioksit değerleri ile Aralık 1993 - Mart 1995 (Ağustos 1994 ayı hariç) aylarına ait kirlilik haritaları incelendiğinde aşağıda sıralanan kirlilik sınırını aşan ve gelecekte kirlilik potansiyeli olan bölgeler gözlemlenmiştir. Dikkat edilecek olursa iki kış dönemi (1993-1994 ve 1994-1995 dönemleri) haritaları mevcut olup ileriye dönük kıyas ve karşılaştırma imkanı bulunmaktadır.

5.1.1. Kirlilik Sınırını Aşan Bölgeler

Mevcut durum itibarıyla kirlilik haritaları incelendiğinde ısınma sezonlarında kirlilik sınırını aşan yerleşim yerleri üç bölge oluşturmaktadır:

1. Haliç Vadisi (Eminönü, Fatih, Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Eyüp, Kağıthane, Okmeydanı, Kasımpaşa ve Beyoğlu'nu içine alan bölge),
2. ÜstGöztepe, Kozyatağı, Örnek Mahallesi, Bulgurlu, Acıbadem, Hasanpaşa ve Fikirtepe'yi içeren bölge, Şişli'nin Büyükdere caddesini içine alan bölge,
3. Beşiktaş ile Şişli arasındaki bölge (Fulya Mahallesi) olarak görülmektedir.

Bu bölgeler, 1993-1994 ve 1994-1995 kış dönemlerine ait haritalar incelendiğinde bütün aylarda Dünya Sağlık Örgütü'nün kısa vadeli sınır değeri olan $150 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ değerini aşmaktadır. Türkiye'de uygulanmakta olan Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği'ndeki kısa vadeli sınır değeri olan $400 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ değerini de çoğunluk aylarda aşmaktadır.

5.1.2. Gelecekte Kirlilik Potansiyeli Olan Bölgeler

Hava kirliliğine maruz kalabilecek bölgelerden biri yeni sanayi bölgesi ve toplu konut alanları olarak planlanan Mahmutbey, İkitelli, Halkalı, Yenibosna ve Havaalanına uzanan vadidir. Bu bölgede kesinlikle yeşil alan artırılarak kirlilik kaynakları kontrol

altına alınmalıdır. Bu bölgenin vadi özelliği, ileride meydana gelebilecek yoğun hava kirliliğine maruz kalacağına sinyallerini vermektedir. Avrupa yakasında birinci derecede kirlilik potansiyeline sahip bölgelerden biri de Şirinevler, Bahçelievler, Güngören ve Bağcılar'ı içine alan bölgedir. Bu alanlar, Ataköy 9. ve 10. kısımlarındaki yapılaşmanın hem denizden gelebilecek meltem rüzgarlarını hem de siklonik aktiviteden doğabilecek gradyan rüzgarlarını engellemesinden dolayı daha fazla kirlenmeye maruz kalmıştır. Anadolu yakasında ise E-5 karayolu etrafında 1980'den sonra hızla oluşan yeni yerleşim alanları da (ki bu bölgelerde kirlilik ölçümleri yapılmamaktadır) hem kış aylarında evsel ısınma maksadıyla kullanılan yakıtlardan ve sanayiden gelen, hem de motorlu taşıtlardan çıkan egzoz kirliliği açısından büyük potansiyele sahiptirler. Bu kesimde hava kirliliği açısından en kritik bölge, kirlilik haritalarında da görüldüğü gibi, bilhassa Kasım - Mart dönemini içeren kış sezonunda hava kirliliğinin maksimum seviyeye ulaştığı Üst Göztepe - Hasanpaşa arasında bulunan vadidir.

Özetle hızla yerleşim alanı haline gelen ve kirlenmeye maruz kalabilecek bölgeler de sırasıyla aşağıda verilmiştir:

1. Anadolu yakasında E-5 karayolunun kuzeyinde oluşan yeni yerleşim alanları; Küçükbakkalköy, Türkîş Blokları, Esenkent, Cevizli, Yakacık ve Kaynarca.
2. Ümraniye, Dudullu, Sultanbeyli'yi içeren bölge.
3. Bahçelievler, Kocasinan, Şirinevler, Güngören, Bağcılar,
4. Mahmutbey, İkitelli, Yenibosna, Cennet Mahallesi ve Halkalı toplu konutlarını içeren bölge.

5.2. Öneriler

Hava kirliliği sorununun çözümü ancak iki aşamada ele alınabilir:

- Tanım
- Kontrol.

Tanımı, kirlenmede etkili olan bütün faktörlerin belirlenmesini ve bunların kirlenme ile ilgili özelliklerinin ortaya konmasını kapsamaktadır. Bu çerçevede sırasıyla;

- Bölgenin meteorolojik ve topografik özellikleri belirlenir,
- Bölgedeki kirleticilerin kaynakları saptanır. Kirleticilerin emisyon envanterleri hazırlanır. Bu emisyon envanterleri o bölgenin kirliliği hakkında alınabilecek kararların belirlenmesine katkıda bulunur.

Yukarıda elde edilen bulgular, İstanbul'un havasının bilhassa son 10 yılda artan bir hızla kirlenmekte olduğunu göstermektedir. SO₂ ve PM kirliliğinin büyük bir yüzdesi

kalitesiz kömür ve yüksek kükürtlü fuel-oilden kaynaklanmaktadır. Bu iki tip yakıtın ısınma sezonundaki kükürt dioksit ve partiküler madde nitelikli hava kirliliğindeki toplam payları yaklaşık %98'dir. Artan nüfusla birlikte yerleşim birimine olan talebin artması, hava kirliliğinin bu boyutlara ulaşmasında etkili olmuştur. Kirliliğin mertebesini, plansız yapılaşma sonucu insan müdahalesiyle değişen topografya ve bunun beraberindeki meteorolojik faktörler de arttırmıştır.

Özellikle fosil türü yakıtlarda kükürt oksit ve partikül emisyonlarının kontrolü, kirliliği önemli ölçüde azaltacaktır. Tablo 4.5'ten görüldüğü gibi bu kirleticilerin emisyonu doğalgaz için ihmal edilebilecek kadar düşük seviyededir. Bu bakımdan, doğalgaz kullanımının yaygınlaştırılması, bilhassa kış aylarında kükürtdioksit ve partikülden kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden hava kirliliğinin kontrol altına alınmasını sağlayacaktır. Buna en iyi örnek olarak, Ankara'da 1990 yılından itibaren doğalgazın kullanımının yaygınlaştırılması sonucunda hava kirliliğinin önemli ölçüde azalması gösterilebilir (Elagöz ve diğerleri, 1994). Meteorolojik faktörlerin kontrolü mümkün olmadığından insan faktörünün etkili olduğu önlemlerin alınması şarttır.

Şimdiye kadar elde edilen bulgulara ve yapılan analizlere göre fosil yakıtların kullanımını sebebiyle ortaya çıkan hava kirliliğinin kontrolü ve Hava Kalitesi Standartları'nın altına indirilmesi için alınması gerekli kısa ve uzun vadeli tedbirler aşağıda sıralanmıştır.

5.2.1. Kısa Vadeli Tedbirler

Yakıt Kalitesinin İyileştirilmesi:

Genel olarak bakıldığında kullanılan yakıt miktarının azaltılması gerekli olan ihtiyacın altına düşürülemez. Mesela ısınma maksatlı yakıt tüketimi miktarında kısıtlamaya gidilemez. Ancak yüksek kalorifik değerli yakıt (genelde kömür bahis konusudur) kullanılması ile ihtiyaç duyulan ısı miktarı daha az miktardaki yakıttan elde edilebilir. Kirlilik haritalarından da görüldüğü gibi, İstanbul'da SO₂'den kaynaklanan hava kirliliği, kış aylarını kapsayan Kasım - Mart döneminde ısınma maksadıyla kullanılan kükürt yüzdesi yüksek ve kalorifik değeri düşük kömür ve kükürt yüzdesi yüksek fuel-oil (5 ve 6 nolu fuel-oil) kullanımından kaynaklanmaktadır. Daha önce yapılan modelleme çalışmaları, İstanbul'da hava kalitesinin SO₂ ve PM açısından standartlarda öngörülen seviyeye getirilebilmesi için, yerleşim bölgeleri ve sanayi tesislerinde düşük kükürtlü yakıtların (kükürt içeriği %1'in altında olan kömür ve fuel-oil) ve partiküler madde emisyonu düşük olan kaliteli kömürlerin kullanılması gerektiği belirlenmiştir (Ertürk, 1986).

Alternatif Yakıt Kullanımı:

Bu noktada bir başka önlem alternatif yakıt kullanmaktır. İstanbul için mevcut en uygun alternatif yakıt ise doğalgazdır. Doğalgazda SO₂ ve PM emisyonlarının ihmal edilebilecek kadar düşük olması dolayısıyla, öncelikle İstanbul'da mevcut şebekenin yerel yönetimin muhtelif tedbir ve teşvikleri ile tam kapasite ile kullanımının sağlanması, yakıt kullanımından ortaya çıkan ve SO₂ ve PM'den ileri gelen hava kirliliğini önemli oranda azaltabilecektir (Ankara örneği). Doğalgazın ulaşamadığı bölgelerde ise kalorifik değeri yüksek, partiküler madde emisyonu ve kükürt içeriği düşük kömür ve 4 nolu fuel-oil kullanımına öncelik verilmelidir.

Kirleticilerin çıkış kaynakları yeterince kontrol edilse dahi, kirletici emisyonları yine de daha ileri aşamada kontrol edilebilir. Bu da, en büyük kirletici kaynağı olan yakıtların yanmasının kontrolü ile mümkündür. Optimum yanma şartları sağlandığı takdirde kirletici emisyonları da mümkün olabilecek asgari seviyede kalacaktır. Bu noktada merkezi ısıtma sistemli binalarda kalorifer ateşçilerinin eğitimi, bireysel sobalı ısınmada halkın en uygun soba yakılması konusunda pratik bilgilendirilmesi gibi tedbirlerin yanısıra motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının denetiminin yapılması, katalitik konvertör kullanımı ve üretim aşamasında araçlara takılmasının sağlanması ve kurşunsuz benzin kullanımının teşvik edilmesi gibi tedbirler alınmalıdır.

5.2.2. Uzun Vadeli Tedbirler

Yakıt yakılıp ısı üretildikten sonra üretilen ısının muhafaza edilememesinden dolayı da yakıt sarfiyatı artmaktadır. Bu noktada binalarda ısı yalıtımının sağlanması şarttır ve hatta ısı yalıtımının standartlara bağlanması ve yeni yapılan binalarda zorunlu hale getirilmesi elzemdir.

Bunun dışında toplu taşımacılığın teşvik edilmesi ile motorlu vasıtalarda kullanılan toplam akaryakıt sarfiyatının azaltılması ve beraberinde trafikten kaynaklanan kirletici emisyonlarının azaltılması da önemli ölçüde sağlanabilecektir. Yine bu noktada Metro gibi hava kirliliği problemi olmayan toplu taşımacılık sistemlerine geçilmesi de en önemli tedbirler arasındadır.

Düzenli Yapılaşma ve İmar Planlaması:

Yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, en verimli şartlarda yanmasını sağlandıktan sonra dahi asgari miktarda kirletici emisyonu oluşacak ve atmosfere bırakılacaktır. Bu noktada kirleticilerin atmosferde yayılma ve dağılımlarını sağlayacak çeşitli küçük veya bölgesel ölçekli rüzgar hareketlerinin engellenmemesi gerekmektedir. Bunun için şehir

içinde bina yıkımı ve inşaatı kontrol edilerek hava sirkülasyonunu etkileyecek yüksek binaların yapımına kesinlikle izin verilmemelidir. Buna örnek olarak; Şişli Bölgesi'nde, Büyükdere caddesi üzerine yapılması düşünülen gökdelenlerin inşaatı engellenmelidir. Aksi takdirde bu durum, hem egzoslardan hem de evsel yakıttan çıkan kirleticilerin çok yoğun olduğu bir bölge olan Şişli İlçesi'nin daha da kirlenmesine neden olacaktır.

Ayrıca şehir planlamacıları ile beraber atmosfer bilimcilerin birlikte çalışarak yeni yerleşim merkezleri (özellikle büyük siteler, kooperatifler, Emlak Bankası toplu konut projeleri gibi uydu kentler vs.) oluşturulurken bina ve diğer yapıların yerleşiminde ve boyutlandırılmasında doğal hava sirkülasyonlarını engellemeyecek şekilde yerleşim planları ve tasarımları yapılmalıdır. Mesela sokak ve caddelerin kuvvetli hava akımlarına paralel oluşturulması, binaların hakim rüzgar yönüne dik cephelerinin mümkün olduğunca dar tutulması, yüksek yapıların hakim rüzgarın geliş yönünden uzakta yerleştirilmesi (rüzgarı ilk karşılayan binaların daha alçak olması) vs.gibi noktalar bu tür tasarım ve yerleştirme örneklerindedir. Her ne kadar bu tür büyük toplu konut inşaat projelerinde yeşil alanlar oluşturulması zorunluluğu varsa da hava kirliliği açısından değerlendirilmemektedirler. Bu noktada kanuni düzenlemelerin yapılması ve beraberinde denetlemenin şart olduğu aşıkardır. Bundan önce, yerel yönetimlerin hazırladıkları ve ileride hazırlayıp uygulamaya koyacakları yeni imar planları ve yerleşime açılacak yeni alanlar da yine bu noktadan da ele alınarak hazırlanması veya tadil edilmesi gerekmektedir. Hava kirliliği probleminin kökünden çözümü yeni şehircilik anlayışının bir parçası olmalıdır. Kaynak ve emisyon kontrolü konusundaki tedbirler ileride herhangi bir şekilde uygulanamaz hale gelmesi veya kontrolünün mümkün olamaması durumunda dahi, en azından burada belirtilen atmosferin kirleticileri dağıtma ve uzaklaştırma kapasitesinin önüne geçilmemesi gereklidir. Sadece bu tedbir de bazı topografik yapılarda yeterli çözüm olabilmektedir.

Alternatif Enerji Kaynaklarının Araştırılması:

Yukarıda bahsedildiği gibi toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması ve hava kirliliği problemi olmayan elektrikli metro kullanımı bu başlık altında kısa vadede görülebilecek bir tedbirdir. Kaldı ki trafiğin hava kirliliğine katkısı sabit kaynakların katkısı yanında ihmal edilebilecek seviyededir.

Uzun vadede ise fosil yakıtların yerini alabilecek temiz enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, rüzgar enerjisi gibi enerji kaynaklarının ülkemiz için uygulanabilirlik çalışmalarının yapılması zorunludur. Bu enerji kaynakları ile ilgili uygulanabilirlik çalışmaları gelişmiş ülkelerde yapılmış ve plot sistemleri çalışmakta olmasına rağmen fosil yakıtlardan hala gelir elde etmekte olan çok uluslu çıkar

evrelerinin engellemeleri dolayısıyla dünyada yaygın olarak kullanılmamaktadır (Bockris et al., 1991). Ayrıca nükleer enerji de fosil yakıtlara başka bir alternatif olarak gelişmiş ülkelerde halihazırda kullanılan bir enerji kaynağıdır. Bu alışmalar sadece hava kirliliği problemini ortadan kaldırmak için değil çok daha önemli olan tükenmekte olan fosil yakıt kaynaklarının yerine düşünülen alternatifler oldukları için ülkemiz için yapılması zorunlu çalışmalardır.



KAYNAKLAR

1. **Ayalp A.**, 1976, "İstanbul'da Atmosfer Kirlenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
2. **Bilonick R.A.**, 1985, "The Space-Time Distribution of Sulphate Deposition in the Northeastern United States", Atmospheric Environment, **20**, 1829-1845.
3. **Bockris J. O'M.**, **Veziroğlu T.N.**, 1991, "Solar Hydrogen Energy", An Optima Book, Macdonald and Co. Ltd., London.
4. **Borat O.**, **Kadı İ.**, **Uslu M.**, 1990, "İstanbul'da Emisyon Kaynaklarının Öncelikleri ve Motorlu Taşıtların Emisyonlarının Kontrolü", İstanbul'un Çevre Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu, 9-13 Nisan, İTÜ.
5. **Cressie N.A.C.**, 1991, "Statistics for Spatial Data", John Wiley and Sons Publishing Co.
6. **Çataltaş İ.**, 1969, "Kartal'da Endüstriyel Hava Kirlenmesi", İTÜ Bülteni, NO.22, Sayfa 24-42
7. **Delfiner P.** and **Delhomme J.P.**, 1975, "Optimum Interpolation by Kriging" in J.C. Davis and M.J. McCullagh (eds.), Display and Analysis of Spatial Data, Wiley.
8. **Devlet İstatistik Enstitüsü**, 1992, "Çevre İstatistikleri: Hava Kirliliği, 1984 - 1991", T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
9. **Devlet İstatistik Enstitüsü**, 1993, "1990 Genel Nüfus Sayımı, Nüfusun Sosyal ve Ekonomik Nitelikleri", T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara
10. **Environmental Protection Agency**, 1980, "Compilation of Air Pollution Emission Factors", 3rd ed., Office of Air and Waste Management. OAQPS, Publication No. AP-42, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
11. **Ertürk F.**, 1981, "İstanbul'un Haliç Bölgesinde Hava Kirlenmesinin Matematik Modelle İncelenmesi", Doçentlik Tezi, İTÜ.
12. **Ertürk F.**, 1986, "Investigation of Strategies for the Control of Air Pollution in the Golden Horn Region, İstanbul, Using a Simple Dispersion Model", Environmental Pollution (Series B), Vol. 11, pp.161-168.
13. **Ertürk F.**, 1993, "Hava Kirliliğinin Global Etkileri", Türk Devletleri Arasında İ.İlmi İşbirliği Konferansı, s.125-131, 26-29 Haziran, Almatı - Kazakistan.
14. **Ertürk F.**, 1994, "Hava Kirliliği ve Partikül Kontrolü", Ders Notları, YTÜ.

15. **Fedorov V.V.**, 1989, "Kriging and Other Estimators of Spatial Field Characteristics (With Special Reference to Environmental Studies)", Atmospheric Environment, 23, pp.174-184.
16. **Finkelstein P.L.**, 1984, "The Spatial Analysis of Acid Precipitation Data", J. Clim. Appl. Met., 23, pp.52-62.
17. **HKKY** (Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği), 1986 - 2 Kasım, Resmi Gazete, Sayı:19269.
18. **İncecik S.**, 1986, "Hava Kirliliğinin Meteorolojik Parametrelerinin Analizi İle İlgili Bir Uygulama", Çevre, Sayı 1, Sayfa 15-21.
19. **İstanbul Büyük Şehir Belediyesi**, 1994, Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Sözlü Görüşme.
20. **İşli İ.**, 1990, "Statistical Analyses of Air Pollution and Meteorological Data in İstanbul", Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi.
21. **Journel A.G. and Huijbregts C.J.**, 1978, "Mining Geostatistics", Academic Press, London.
22. **Matheron G.**, 1971, "The Theory of Regionalized Variables and Its Applications", Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, No.5 Fontainebleau, France.
23. **Stern A.C.**, 1976, "Air Pollution", Volume I (Air Pollutants, Their Transformation and Transport", Academic Press Inc., New York.
24. **Oke T.R.**, 1987, "Boundary Layer Climates", 2nd. Edition, Routledge Co., London.
25. **Öztürk M.**, 1983, "Şehiriçi Yollarda Taşıtlardan İleri Gelen Karbonmonoksit Kirliliğinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İTÜ.
26. **Rao M.N., Rao H.V.N.**, 1993, "Air Pollution", 5th Edition, Tata-McGraw Hill Publishing Company, India.
27. **Schaug J., Iversen T., Pedersen U.**, 1993, "Comparison of Measurements and Model Results for Airborne Sulphur and Nitrogen Components with Kriging", Atmospheric Environment, Vol.27A, No.6, pp. 831-844.
28. **Tebbens B.D.**, 1970, "Investigating Air Quality in İstanbul", İTÜ Bülteni, Cilt 22, Sayı 2, Sayfa 55-63.
29. **Timothy C.H.**, 1990, "Kriging and Automated Variogram Modelling Within a Moving Window", Atmospheric Environment, Vol.24A, No.7, pp.1759-1769.
30. **Venkatram A.**, 1988, "On the Use of Kriging in the Spatial Analysis of Acid Precipitation Data", Atmospheric Environment, 22, 1963-1975.
31. **Wark K., Warner C.F.**, 1981, "Air Pollution, Its Origin And Control", 2nd. Edition, Harper and Row Publishers, New York.

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Trabzon'da doğmuştur. İlk ve Orta eğitimden sonra İstanbul Bakırköy Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü'nü bitirdi. 1986 yılında Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüne girdi. 1992 yılında mezun olduktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1993 yılında Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Çevre Mühendisliği dalında Yüksek Lisans programına kaydoldu. Halen Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmekte olan Arslan Saral İngilizce bilmektedir.