

İstanbul'da coğrafi bilgi sistemleri ile hava kalitesinin incelenmesi

Esra G. BOZYAZI DAYLAN, Selahattin İNCECİK*

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu 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 mekansal 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.

***Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), hava kirliliği, kriging.*

Investigation of air quality and spatial analysis using GIS approach in İstanbul

Abstract

In this study, the relationships between SO₂ concentrations with land uses and population has been investigated using Geographical Information Systems. The temporal variation of SO₂ concentrations in heating seasons for the period of 1992-2000 has been investigated and a decreased trend has been found. This period covers the application of fuel switching as well as natural gas usage and fuel control program by the local and central government in İstanbul. The spatial analyze showed that, higher pollution concentrations are measured in larger built-up areas and business centers which is located in the European side. Although a decrease observed on SO₂ levels during the heating seasons of the compared to the periods of 1995-96 and 1999-2000, higher air pollution levels have been found in European side for both heating periods. It was found out that there was a positive correlation between population density and air pollution levels during the heating periods and the most polluted areas were the most densely populated areas of the city in each heating period. It is expected that the result of this research can be guide for urban growth and air quality management plans according to the relationship between air pollution sources and effected areas.

***Keywords:** Air pollution, geographical information systems (GIS), kriging.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Selahattin İNCECİK. incecik@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 31 43.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde tamamlanmış "İstanbul'da coğrafi bilgi sistemleri ile hava kalitesinin incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.05.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 22.10.2002 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 28.02.2002 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Türkiye'nin en yüksek göç akımına uğrayan şehri olan İstanbul'da büyüyen endüstri, ısınma ihtiyacı ve kış mevsimlerinde kontrolsüz yakıt kullanımını sonucunda özellikle 1980'li yılların ortalarından itibaren önemli hava kirlenmesi olayları yaşanmıştır. Şehirdeki hızlı nüfus artışı beraberinde düşük standartlı konutların çoğalmasına ve daha fazla yakıt tüketimine yol açmıştır. Dünya Sağlık Organizasyonunun tanımına ve 2000 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre 10 milyonu aşan nüfusu ile İstanbul bir mega şehirdir (WHO, 1992). İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü Hıfzısıhha Enstitüsü, 1985 yılından itibaren yüksek kirlilik olan merkezi alanlarda 24 saatlik ortalamalar şeklinde SO₂ (kükürt dioksit) ve APM (asıllı partiküler madde) kirleticilerinin ölçümüne başlamıştır. İstanbul'da hava kirliliğinin 1980'li yılların sonlarından 1990'lı yılların ortalarına kadar birçok kez sınır değerlerin üzerine çıktığı, hatta bazı günlerde alarm seviyelerini geçtiği görülmüştür. Örneğin Ocak 1993'te şehirde SO₂ seviyesinin 4000 µg/m³'ü ve APM'nin 1400 µg/m³'ü aştığı örnekler bulunmaktadır. Valilik tarafından 1994 yılında doğal gaz hattı döşeme çalışmaları tamamlanmış olan ilçelerde yakıt sistemlerinin doğal gaza dönüştürülmesi hususunda yaptırım uygulanmasına karar alınmıştır. Mage v. diğ., (1996) geliştirmekte olan ve hava kirliliği kontrolü için yeterli maddi gücü olmayan mega şehirlerin kontrol stratejilerini geliştirmeleri ve uygulamaları halinde hava kirlilik potansiyellerini irdelemişler ve buna göre nüfusu 10 milyonu aşan mega şehirlerde: hava kalitesi yönetiminin çok acil devreye sokulması; kısa vadede gerçekçi çözüm arayışlarına daha çok önem verilmesi, enerji tasarrufu, kurşunsuz benzin kullanımı, toplu taşımanın özendirilmesi; uzun vadede uygun şehir ve taşıma planları yapılması ve temiz teknolojilerin kullanılması gerekliliğini belirtmiştir. Şehir atmosferinde oluşan hava kirliliği seviyeleri hava kirleticilerinin taşınımı ve lokal emisyonlar ile bağlantılıdır. Kirleticilerin yayılma yönü ise bir çok faktöre bağlıdır. Bugün pek çok mega şehirde ısınma kaynaklı ve motorlu araç trafiğinden çıkan emisyonlar en büyük kaynak grubunu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul'da hava kirliliği seviyelerinin 1992-2000 yılları arasında değişimi analiz

edilmiş ve ısınma mevsimlerindeki mekansal değişimi CBS kullanılarak araştırılmıştır. CBS konumsal veya coğrafik kordinatların baz alındığı verilerle çalışmak için oluşturulmuş bir bilgi sistemidir (Star ve Estes, 1990). Çalışmada, İstanbul'da 1990 yılı başlarından itibaren değişmeye başlayan emisyon paternine bağlı olarak şehirde ortaya çıkan hava kirliliği seviyelerinin yapısını CBS bakışı altında ortaya koymak ve şehrin gelecekte emisyon projeksiyonu ile planlanmasına ışık tutmak amaçlanmıştır.

İklim ve hava kirliliği kaynakları

28° 01' ve 29° 55' doğu boylamlarıyla 41° 33' ve 40° 28' kuzey enlemleri arasında kalan İstanbul'un il toprakları toplam 5512 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. İl, kuzeyde Karadeniz, doğuda Kocaeli Sıradağları'nın yüksek tepeleri, güneyde Marmara Denizi ve batıda Ergene Havzası'nın su ayırım çizgisiyle sınırlanmaktadır. İstanbul Anadolu ve Avrupa'yı birleştiren şehirdir. Boğaziçi kanalı 26 km uzunluğuyla şehri KD/GB ekseninde ikiye ayırır, Marmara ve Karadeniz'i birleştirir. İstanbul, Akdeniz ve Karadeniz arasındaki geçiş bölgesinde yer alır. Avrupa ve Akdeniz üzerinde etkili olan basınç sistemlerinin sonucu olarak İstanbul ve çevresinde hakim rüzgarlar KD/GB yönünde esmektedir. Aylık ortalama sıcaklık kışın 6.5 °C ve yazın ise 21.8 °C'dir. Yıllık toplam yağış ortalaması 700 mm'dir. Şehirdeki ortalama güneş radyasyonu şiddeti yazın 21 MJm⁻², kışın ise 6 MJm⁻² değerindedir. Şehirde 250 metreye ulaşan tepeler bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şehrin 2/3'ü su havzalarıyla kaplıdır (Topçu v. diğ., 2001). İstanbul, genellikle, Akdeniz iklimi ile Balkanlar ve Karadeniz ikliminin etkisi altında kalmaktadır (İncecik, 1996). Kış ayları çoğunlukla yağışlıdır ve yağışlı periyot Kasım'dan Şubat sonuna kadar devam eder.

İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını konutlarda kış aylarında ısınma maksadıyla kullanılan yakıtların yakılması oluşturmaktadır. Bunların yanında hareketli kaynaklar olarak sınıflandırılan motorlu taşıtlar ve nokta kaynaklar kategorisine giren endüstriyel kaynaklar da bölgesel olarak hava kirlenmesine yol açmaktadır. Şehirde yanma kaynaklarının geçmişi incelendiğinde, 1960-1980 yılları arasında fuel-oil,

1980'den sonra ise linyit kömürü ısınma maksadıyla tüketilen yakıtlar arasında öncelik göstermiştir. Isınma amacı ile 1990 yılında şehirde 6 milyon ton linyit kullanılmıştır. Bunu takip eden yıllarda ise 1992 yılında 8 milyon ton; 1993 yılında 8.5 milyon ton; 1994 yılında 9 milyon ton civarında linyit kömürünün tüketildiği belirlenmiştir. 1995 yılında kömür tüketimi 6 milyon ton, 1996 yılında 2 milyon ton, 1997 ve 1998 yıllarında ise 1 milyon tonun altına kadar inmiştir (Topçu v. diğ., 2001a, 2001b). 1992 yılından itibaren tedrici olarak kullanıma sunulan doğal gaz ise 1994 yılından itibaren önemli bir kullanım yüzdesine sahip olmuş, abone sayısı Eylül 1997'de 1 milyona, 2000 yılında yaklaşık 1,5 milyona ulaşmıştır (İGDAŞ, 1998, 2002). İstanbul özellikle toplu taşıma araçlarından meydana gelen araç emisyonları bakımından önemli ölçüde kontrolsüz bir görünüme sahiptir.

Veri ve metot

İstanbul'da 1985 yılından itibaren; sayısı önce 10 daha sonra da 17'ye ulaşan istasyonlarda 24 saatlik SO₂ ölçümleri yapılmıştır. İstasyonlardan 11'i Avrupa yakasında, 6'sı Anadolu yakasında yer almaktadır. Bu istasyonlarda ölçülen günlük SO₂ konsantrasyonlarının 1992-2000 yılları arasındaki değerleri Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE)'den temin edilmiştir. Hava kirliliği ölçüm istasyonlarının yerleşim koordinatları yüksek lisans tez çalışmasından (Saral, 1995) temin edilmiştir. Çalışmada Ekim ayından Mart ayına kadar olan periyot ısınma mevsimi olarak tanımlanmıştır. Isınma mevsimi ortalama SO₂ konsantrasyonları veri setinin en az %70 doluluk oranında olması kabulü ile hesaplanmıştır. Rutin meteoroloji verileri ikisi Avrupa ikisi Anadolu yakasında olmak üzere Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından dört istasyonda ölçülmektedir.

Arazi kullanım haritasının oluşturulmasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Şehir Planlama Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/250000 ölçekli nazım imar planı kullanılmıştır. İmar planı ARC-INFO programı kullanılarak sayısallaştırılmış ve mekansal analizlerin yapılabilmesi için ILWIS yazılım formatına çevrilmiştir. Çalışmada analizlere uygun olarak imar planı 11

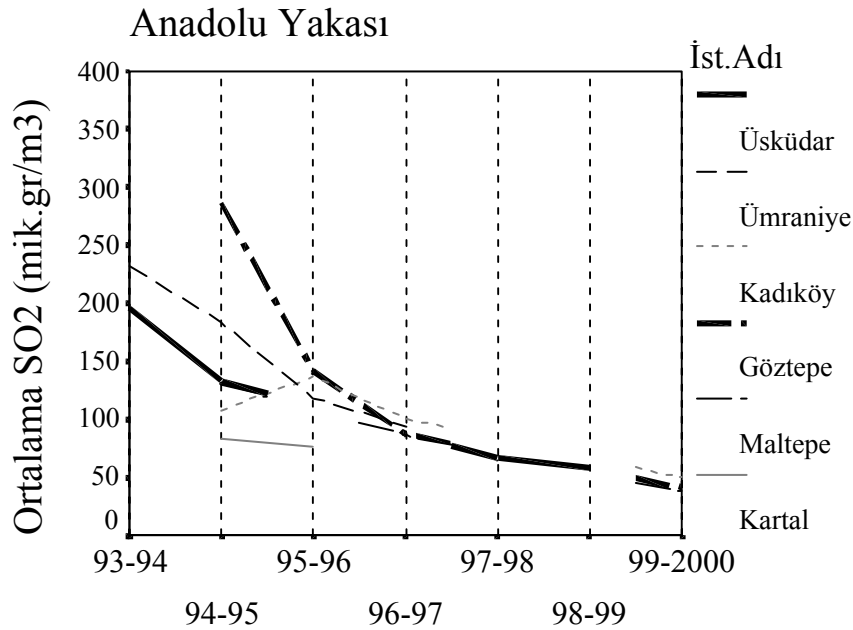
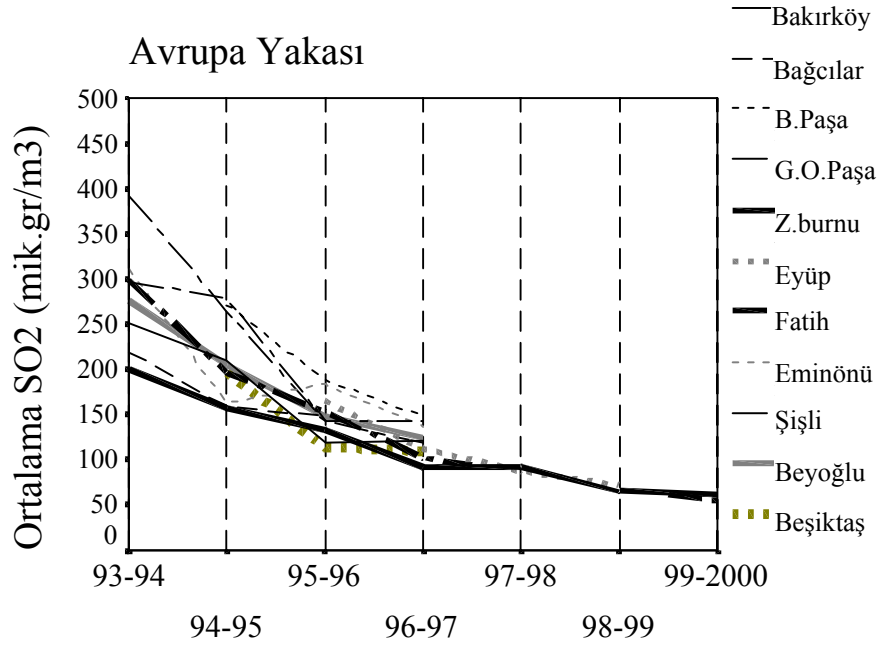
ana arazi kullanım sınıfını (organize sanayi ve küçük sanayi, ticaret, düşük, orta, yüksek yoğunluklu konut alanları, orman, yeşil, askeri, kentsel hizmet alanları ve diğer kullanımlar) içerecek şekilde yeniden sınıflandırılmıştır. İlçe belediyelerinin yüzölçümleri İBB'nden ve herbir ilçeye ait, 2000 yılı geçici nüfus sayımı ile 1996 yılına ait tahmini nüfus verileri DİE'den temin edilmiştir.

Araştırma metodolojisi; 1992-2000 periyodunda ısınma mevsimlerindeki değişimin incelendiği trend analizi ve SO₂'nin arazi kullanımı ile nüfus arasındaki ilişkisinin belirlendiği CBS ile yapılan mekansal analizi içermektedir. Mekansal araştırma, CBS'in en bilinen yönüdür. Ayrıca, CBS, mekansal planlama projelerinde kullanılan çeşitli istatistiksel analizleri de gerçekleştirebilmektedir (Sengupta v. diğ., 1996).

Mevsimsel değişim analizi

Bu çalışmada 1992 yılına ait verilerin eksikliği nedeniyle yedi ardışık ısınma dönemine ait SO₂ seviyelerinin trendinin belirlenmesi için 1993'ten 2000 yılına kadar olan periyot göz önüne alınmıştır. Bu 7 mevsim için karşılaştırma yapıldığında SO₂ seviyesinin İstanbul'un her iki yakasında da düştüğü Şekil 1'de görülebilmektedir. Avrupa yakasında 1993-1994 ısınma mevsiminde tüm istasyonlarda SO₂ konsantrasyonu, 200-400 µg/m³ arasında değişirken 1996-1997 ısınma mevsiminde 100-150 µg/m³ değerleri arasındadır. Bu değerler takip eden ısınma mevsimlerinde de azalarak 1999-2000 döneminde 50 µg/m³ seviyelerine düşmüştür. 1997 yılı sonrasında istasyon ve ölçüm yapılan gün sayısında azalış sebebiyle 1997-1998, 1998-99, 1999-2000 dönemleri bu yakada sadece iki istasyon göze alınarak incelenebilmiştir.

Anadolu yakasında ise 1993-1994 döneminde 200-250 µg/m³ arasında değişen SO₂ konsantrasyonları, 1996-1997 döneminde 90-100 µg/m³ değerlerine ve 1999-2000 ısınma döneminde ise 50 µg/m³'ün altına kadar inmiştir. 1999-2000 ısınma dönemi ancak 3 istasyon ile temsil edilebilmiştir. Düşüş trendi 1996-1997, 1997-1998 ve 1998-1999 dönemlerinde yalnızca 15 nolu Üsküdar istasyonunda ölçümlerin mevcut olması sebebiyle bir istasyonla temsil edilmiş ve bir düşüş gözlenmiştir.



Isınma Mevsimi

Şekil 1. Her iki yakada SO₂'nin 1993-2000 yılları arasında ısınma mevsiminde değişimi

Çevresel parametrelerin ve hava kirliliğinin mekansal dağılımını gösterebilmek, gerçekçi emisyon paternini oluşturabilmek amacıyla kirlilik konsantrasyon haritaları mekansal enterpolasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Hava kirliliği konsantrasyon haritalarının üretilmesi için jeostatistiksel bir yöntem olan kriging (McBartney ve Webster, 1981; Lefhon v. diğ.,

1988; Loibl v. diğ., 1994; Westenberger ve Frisvold, 1994; Ertürk v. diğ., 1995; Liu ve Rossini, 1996; Godzik, 1997; Philips v. diğ., 1997; Mulholland v. diğ., 1998; Holland v. diğ., 2000; Tayanç, 2000; Şen ve Öztopal, 2001) mekansal enterpolasyon metodu kullanılmaktadır. Jeostatik, konumsal değişkenlerin tahmin ve hesaplama problemlerinin çözümüne yönelik

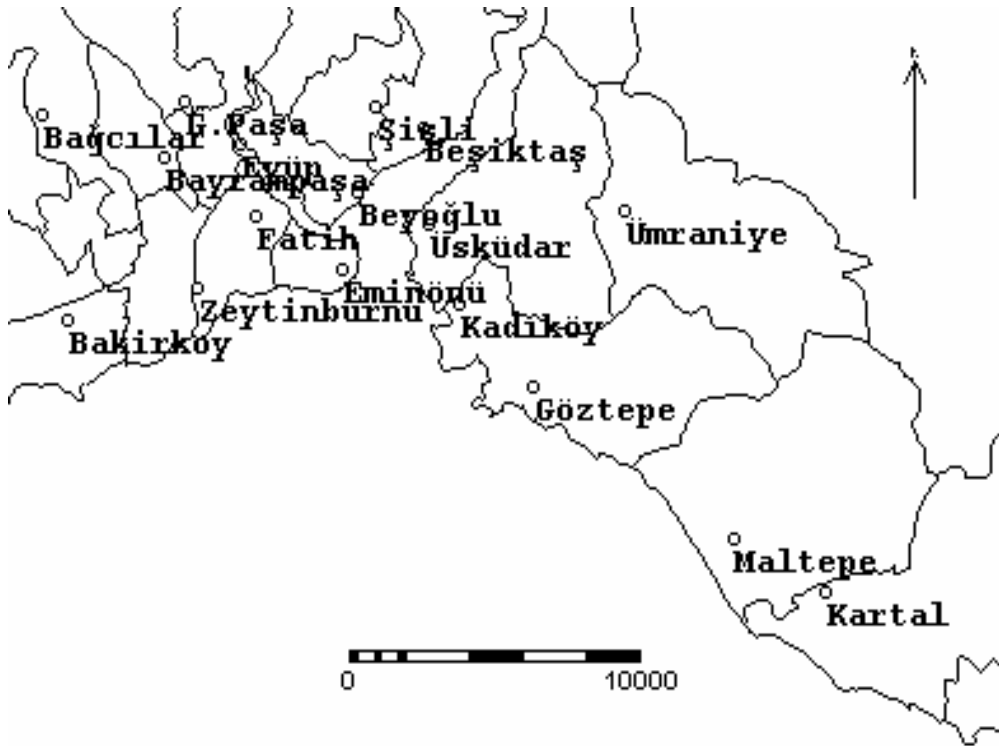
tekniklerin bir toplamı olarak tanımlanmaktadır (Matheron, 1971). Bu yöntem harita yapma, simülasyon ve analiz gibi çeşitli problemlerin çözümlenmesinde uzun zamandan beri kullanılmaya gelmiştir (ASCE, 1990). Jeostatistik, mekansal korelasyona dayanarak konumsal korelasyonun yapısını variogram modelleri kullanılarak göstermektedir (Clark, 1979). Veri setinin deneysel variogram modeli belirlendikten sonra hesaplanan kriging ise belirli bir bölgede veya coğrafik arazide mekansal değişimin en iyi lineer sapmasız hesaplayıcısı olarak tanımlanmıştır. Kriging, CBS ile kullanılan geleneksel interpolasyon metodlarının birçok noksanlıklarını gidermektedir (Oliver ve Webster, 1990).

Collins v. diğ., (1995) CBS'yi minimum bir hata payı ile gerçek dünyayı yansıtan verilerin ve çevresel koşulların modellenmesi için güçlü bir araç olarak sunmuşlardır. Sengupta v. diğ., (1996) CBS kullanarak hava kirliliğine maruz kalan nüfus ve risk alanlarını belirlemiştir. Fiala v. diğ. (2001), kriging yöntemi ile yıllık SO₂ konsantrasyon ve yağış verilerini kullanarak da atmosferde kükürt birikimini CBS ile belirlemiştir. Bunun yanı sıra Zhu v. diğ., (2001) riskli

bölgelerin belirlenmesinde kriging yöntemiyle CBS kullanmıştır.

-Analizler: 1995-1996 ısınma mevsiminde mekansal analiz İBB'nin 935 km²'lik çalışma alanı içinde hava kalite istasyonlarını kapsayan 430 km²'lik bir alanda yapılmıştır. Şekil 2'de görülen 17 hava kalite ölçüm istasyonundan elde edilen günlük verilerden ısınma mevsimi ortalama konsantrasyonları hesaplanmıştır. 17 istasyona ait veri setinin, GEO-EAS yazılımı kullanarak histogram ve normal dağılımları belirlenmiştir. SO₂'nin dağılımı negatif bir çarpıklık gösterdiği için variogram analizi normal veri seti ve dağılımdaki çarpıklık nedeniyle doğal logaritmik dönüşümlü veri seti için Variowin yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Seyhan, 1997).

Variogram modellerinde mekansal korelasyon yapısı görülmekle beraber modelde kullanılan az sayıda (17) hava kalite istasyonu dolayısıyla dağınık noktaların olduğu görülmüştür. Webster ve Oliver (1990)'a göre, az sayıdaki numunelerden hesaplanan variogramlar hemen hemen her zaman düzensizdir. Bunun temel sebebi yetersiz veri kullanımudur. Örnek sayısının az



Şekil 2. 1995-1996 ısınma mevsiminde, hava kalite ölçüm istasyonlarının yerleşimi

olması sebebiyle, variogram modellerinin seçimi zorluklar içermektedir.

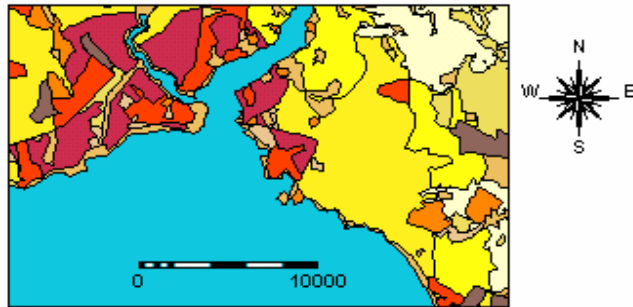
Mekansal analiz yapılıbilmesi amacı ile kirlilik dağılım haritaları SURFER yazılımı ile kriging yöntemi uygulanarak oluşturulmuştur. Deneysel variogram model değerleri ve programın belirlenmiş variogram model değerlerini (PBVMD) kullanarak uygulanan kriging sonuçlarını kıyaslamak için kriging'in artık terimleri yani hataların standart sapmaları hesaplanmıştır. (PBVMD) kullanımı ile daha az enterpolasyon hatası oluşmuştur. CBS yazılımı ile yapılan analizlerde hava kirliliği seviyesinin şehir üzerindeki dağılımı için, PBVMD kullanılarak elde edilen kriging grid sonuçları ILWIS 2.1 CBS yazılım formatına dönüştürülerek kullanılmıştır.

Herbir arazi kullanımı başına ortalama SO₂ konsantrasyonu hesaplanmış en yüksek konsantrasyonların sanayi ve yüksek yoğunluklu yerleşim bölgeleri ile Avrupa yakasında olduğu tesbit edilmiştir. En düşük SO₂ konsantrasyonu ise Anadolu yakasında orman alanlarında ve buraya yakın düşük yoğunluklu yerleşim alanlarında gözlemlenmiştir (Şekil 3). En çok kullanılan ve uluslar arası geçerli olan standartlar WHO, EPA (Çevre Koruma Örgütü) ve AB' ne (Avrupa Birliği) aittir. Diğer standartlardan farklı olarak AB; ısınma mevsimi (1 Ekim, 31

Mart) içinde SO₂ için limitler tanımlamıştır. Bundan dolayı bu standart 1995-1996 ısınma mevsimindeki sınır değerlerin aşımına ait analizde kullanılmıştır.

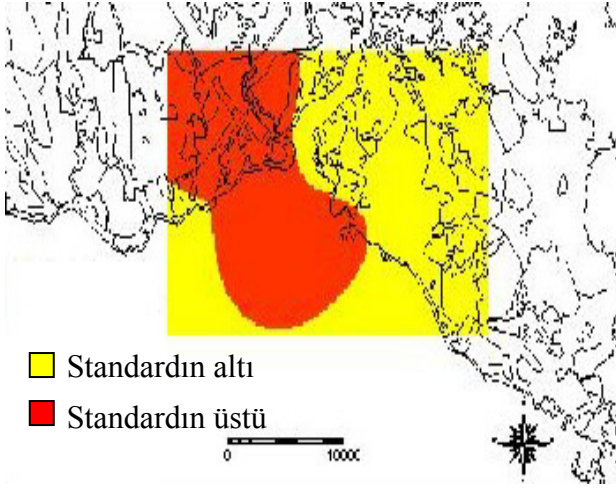
AB standartlarında, SO₂ için 130µg/m³ limit değer olarak verilmiştir. Buna göre SO₂ konsantrasyonunun daha ziyade Avrupa yakasında verilen limitleri aştığı, Anadolu yakasındaki ilçelerde ise kirliliğin limitlerin altında olduğu görülmüştür (Şekil 4). Avrupa yakasında limitlerin aşıldığı alan, yüksek yoğunluklu yerleşim bölgesi ve ticaretin olduğu sabit ve hareketli kaynakların çok olduğu bir bölgedir (Şekil 3).

Sınır değerlerinin aşıldığı bölgelerde kirlilik seviyesinin meteorolojik parametrelerle olan ilişkisine de bakılmıştır. Rüzgar yönü kirliliğin maksimum olduğu alanı belirlemede önemli bir parametredir. Şekil 5'te Göztepe ve Florya meteoroloji istasyonlarına ait rüzgar gülleri verilmiştir. Hakim rüzgar yönü her iki istasyonda da K, KD ve DKD olarak tespit edilmiştir. Avrupa yakasında yer alan Florya meteoroloji istasyonunda ortalama rüzgar şiddeti 2,4 m/s ve Anadolu yakasında, Göztepe istasyonunun da ise biraz daha yüksek 2.9 m/s dir. Anadolu yakasındaki daha yüksek rüzgar hızı, kuzey doğulu rüzgarlar ve arazi kullanımı en yüksek konsantrasyonun oluşma alanını açıkça belirlemektedir (Şekil 4).



Orman: 94 mik.gr/m ³	Askeri Alan: 134 mik.gr/m ³
Düşük Yoğ.K.A.: 96 mik.gr/m ³	Ticaret Alanı: 137 mik.gr/m ³
Diğer Arazi Kul.: 123 mik.gr/m ³	Yüksek Yoğ. K.A.: 139 mik.gr/m ³
Yeşil Alan: 125 mik.gr/m ³	Sanayi Alanı: 140 mik.gr/m ³
Kentsel Hiz. Alanı: 128 mik.gr/m ³	Marmara Denizi
Orta Yoğ.K.A.: 131 mik.gr/m ³	

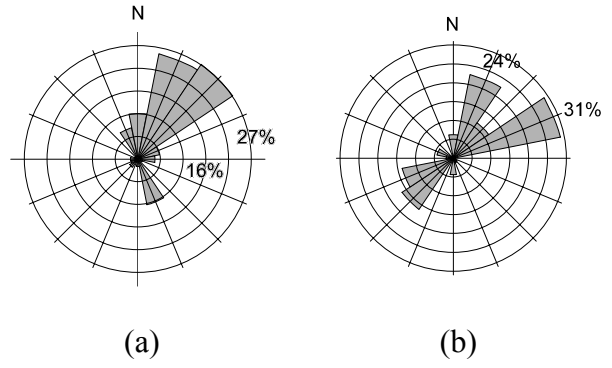
Şekil 3. 1995-96 ısınma mevsiminde arazi başına ortalama SO₂ konsantrasyonu



Şekil 4. Isınma mevsiminde sınır değerleri aşan SO₂ konsantrasyon dağılımı

-Hava Kirliliği ve Nüfus Arasındaki İlişki: Bu analiz 1996 yılındaki tahmini nüfus dikkate alınarak yapılmıştır. Şehrin Avrupa yakasında Anadolu yakasına nazaran daha yüksek nüfus yoğunlukları görülmüştür. Nüfus yoğunluğu en yüksek ilçeler sırasıyla Güngören, Fatih, Bayrampaşa, G.O.Paşa ve Bahçelievler ilçeleridir (Şekil 6). İlçelerde 1995-96 ısınma dönemi nüfus yoğunluğu ile SO₂ arasında 0.01 anlamlılık seviyesinde %53'lük doğrusal pozitif bir ilişki bulunmuştur. Evsel ve endüstriyel ısınma amaçlı yakıt kullanımı ısınma mevsiminde ısınma dışı döneme nazaran daha fazla SO₂ oluşmasına neden olmaktadır.

-Isınma Mevsimlerinin Karşılaştırılması: 1997 yılı sonrasında, hava kalitesi ölçü istasyon sayısı

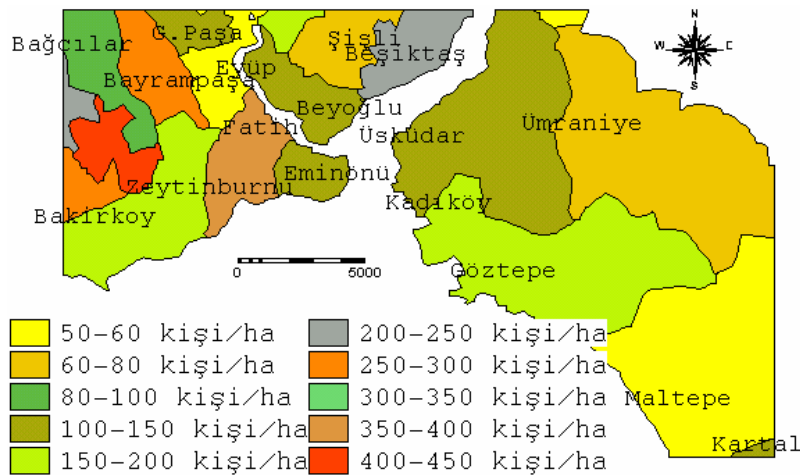


Şekil 5. İstanbul'da 1995-96 ısınma mevsimine ait rüzgar gülleri (a) Göztepe, (b) Florya

azalmıştır. Bu durum 1995-96 ve daha sonraki ısınma mevsimlerinin karşılaştırılmasında kısıtlama getirmiştir. 1995-96 ısınma mevsiminden sonraki ısınma mevsimleri incelendiğinde bu altı aylık ısınma dönemini %70 verinin doluluğu ile temsil eden en çok istasyon sayısının beş istasyon ile 1999-2000 ısınma mevsiminde olduğu belirlenmiştir

Mekansal analiz için istasyon sayısı çok az olsa da mevcut veri durumu göze alınarak hava kirliliği değişimini ve kirliliğin arazi ve nüfusla ilişkisini görmek ve kıyaslamak amacı ile 1995-96 ile 1999-2000 ısınma mevsimleri irdelenmiştir. Karşılaştırma her iki ısınma mevsimindeki aynı beş istasyon seçilerek yapılmıştır.

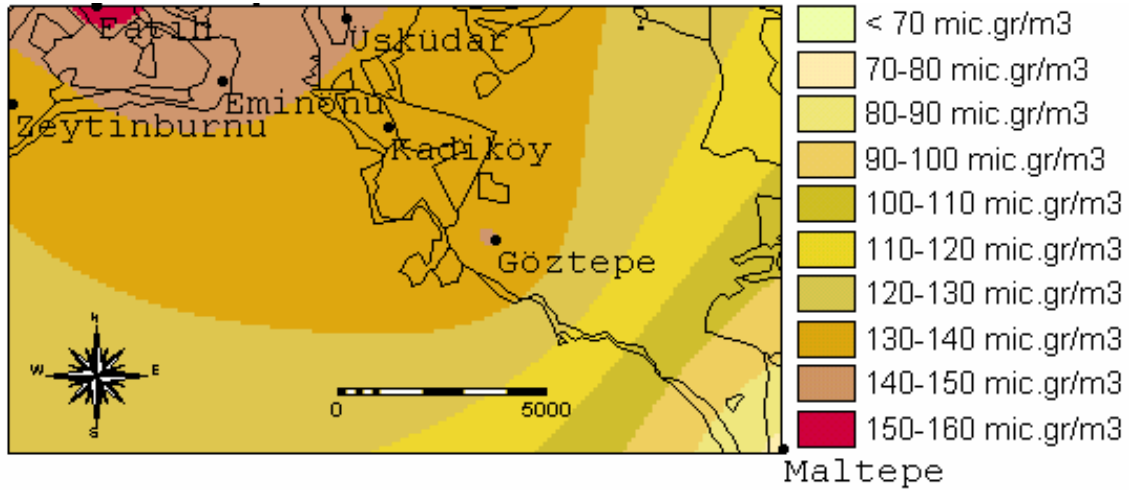
Her iki mevsimde ölçüm yapılan ve analiz kriterine uygun beş istasyon Avrupa yakasında Fatih, Zeytinburnu ve Anadolu yakasında Kadıköy,



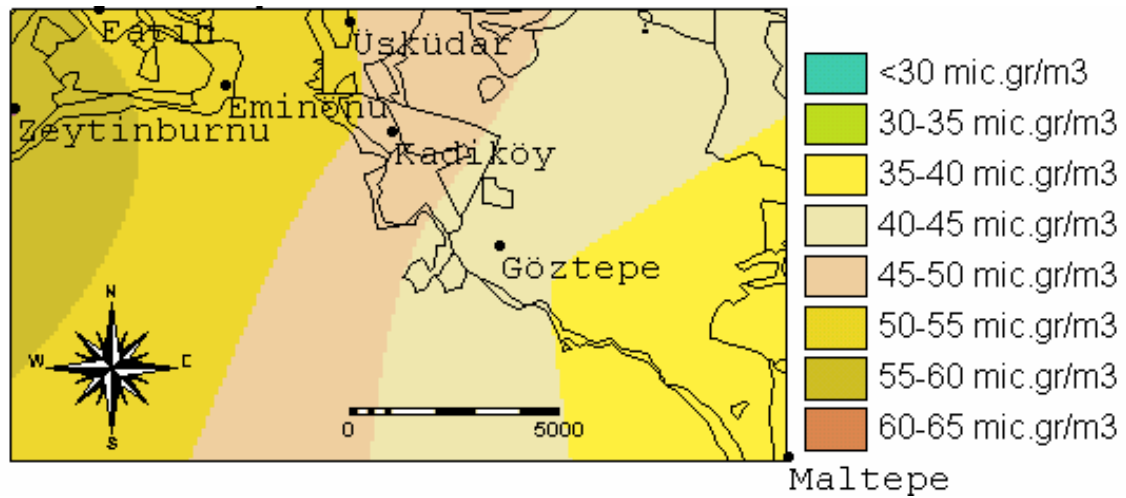
Şekil 6. Şehirde 1996 yılında ilçe bazında nüfus yoğunluğu

Göztepe ve Maltepe istasyonlarıdır. Variogram analizinde 5 istasyonu içeren veri setinin oluşturduğu toplam örnek çiftlerinin sayısının 10 olduğu bulunmuştur. Örnek değerleri içeren veri gruplarından doğru semivariogramın belirlenmesi için mevcut veri çiftlerinin sayısı en az 30-50 olmalıdır (Journel ve Huijbregts, 1978; Cooper ve İstok, 1988). Bu kural dolayısıyla deneysel variogram modeli belirlenememiştir. SURFER yazılımında programda önceden belirlenmiş variogram model değerleri (PBVMD) kullanılarak elde edilen her iki ısınma mevsimine ait kriging sonuçları CBS analizlerinde kullanılmıştır. Buna göre, Avrupa yakasında her iki ısınma döneminde de daha yüksek kirlilik

gözlenmiştir. 1995-96 ısınma mevsiminde SO₂ konsantrasyon dağılımında değişim aralığı 70-160 µg/m³ iken 1999-2000 ısınma mevsiminde yaklaşık %50 azalarak 35-60 µg/m³ aralığında değişim göstermiştir. 1995-96 ısınma mevsiminde en yüksek SO₂ konsantrasyonlarının 150-160 µg/m³ ile Fatih ilçesinde, 1999-2000 ısınma mevsiminde 55-60 µg/m³ ile Zeytinburnu ilçesinin de oluştuğunu görülmektedir (Şekil 7). Her iki ısınma mevsiminde kirlilik dağılım haritaları arazi kullanım haritaları ile karşılaştırılarak her bir arazi kullanımındaki ortalama SO₂ konsantrasyonları hesaplanmıştır (Şekil 8). Karşılaştırma analizi 5 istasyonun bulunduğu İstanbul'un toplam alanı içinde 193 km²'lik bir alanı içermektedir.



(a)



(b)

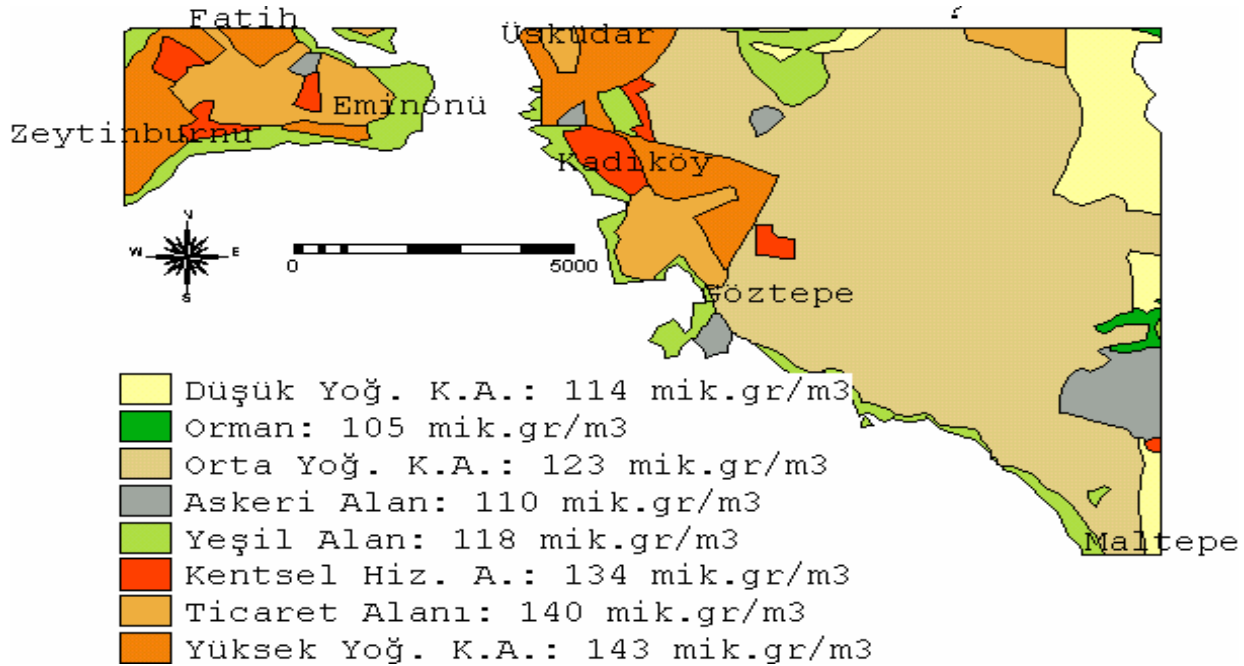
Şekil 7. İki ısınma mevsiminde SO₂'nin dağılımı a) 1995-96; b) 1999-2000

Şekil 8'de görülebileceği gibi daha önce 17 istasyonu içeren ısınma döneminde açıklandığı şekilde en düşük konsantrasyon ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yerleşim bölgesine yakın ve şehir merkezinden uzak orman alanında oluşmuştur. Yüksek kirlilik seviyeleri Avrupa yakasında Eminönü ticaret alanlarında, Fatih ve Zeytinburnu ile Anadolu yakasında Kadıköy ve Üsküdar'da yoğun konut alanları ve ticaret alanlarında tesbit edilmiştir. 1995-96 ve 1999-2000 ısınma mevsimlerinde mekansal dağılım ve arazideki ortalama SO_2 seviyelerindeki değişimi tespit edebilmek için her iki ısınma dönemi haritaları karşılaştırılmış ve değişim haritaları elde edilmiştir. 1999-2000 ısınma mevsiminde arazi kullanımında SO_2 konsantrasyonunun 1995-96 ısınma mevsimine kıyasla %60 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 1999-2000 ısınma mevsiminde görülen azalmanın yakıt cinsinde ve nüfusta meydana gelen değişimlerle olan ilişkisi araştırılmış ve 2000 yılı nüfus verileri kullanılarak ilçelerdeki nüfus yoğunluğu haritası hazırlanmıştır (Şekil 9).

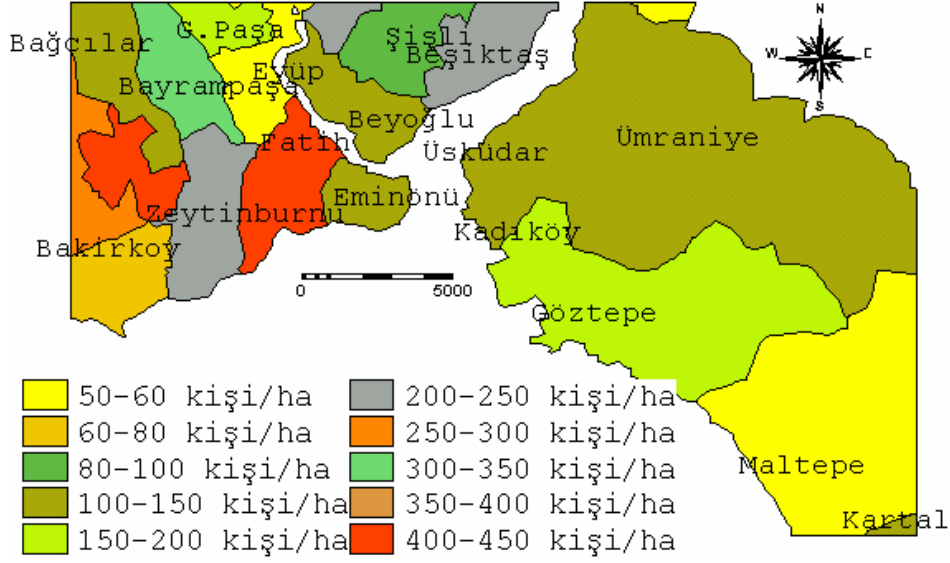
Fatih ve Güngören'in 400-450 kişi/ha ile en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip olduğu ve bu ilçeye komşu Bayrampaşa ve Bahçelievler ilçelerinin de sırasıyla 300-350 kişi/ha ve 250-300

kişi/ha ile diğer en yüksek yoğunluklu ilçeler olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde yüksek nüfus yoğunluğu kirlilik seviyelerinde Şekil 7 (a) ve (b) de görülen 99-2000 ısınma mevsiminde %60'lara varan düşüğe rağmen yine aynı bölgelerde yüksek olan kirliliğin sebebini açıklamaktadır. Anadolu yakasında ise en yüksek nüfus yoğunluğu 150-200 kişi/ha ile Kadıköy ilçesindedir.

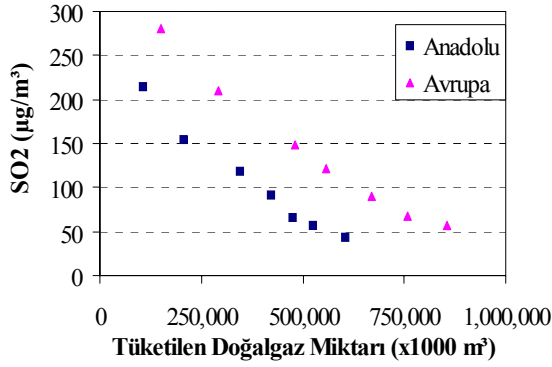
1995-96 ısınma mevsimi ile 1999-2000 ısınma mevsimi arasında SO_2 konsantrasyonlarında gözlemlenen genel azalış ile doğalgaz tüketim miktarları karşılaştırılmıştır. Şekil 10, 93-94 ile 99-2000 arasındaki 7 ısınma mevsimi için doğalgaz tüketim miktarları ile SO_2 arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Avrupa yakasında 93-94 ısınma sezonunda doğalgaz tüketimi 125 bin m^3 iken $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olan SO_2 konsantrasyonu doğalgaz tüketimi 1 milyara yaklaştığında $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerlerine inmiştir. Buna göre artan doğalgaz miktarı dolayısıyla azalan kömür ve fuel-oil tüketimi, ortalama SO_2 miktarında azalışa neden olmaktadır. Doğalgaz miktarının artmasıyla beraber kömür ve fuel-oil'in verimli yakılması ve kalitesiz kömür, fuel-oil kullanımı gibi hava kirliliğini etkileyen faktörler de azalmıştır.



Şekil 8. 1995-96 ısınma mevsiminde arazi kullanımında SO_2 konsantrasyonu (5 istasyon)



Şekil 9. 2000 yılında ilçelerde nüfus yoğunluğu



Şekil10. Isınma mevsimlerinde doğal gaz tüketimi

Sonuç ve öneriler

1. 1993-94'den 1999-2000'e kadar olan ısınma mevsimlerinde SO₂ seviyeleri azalmıştır. Sana-yide ve ısınmada düşük kaliteli kömürün (yerli ve ithal) kullanılmasını yasaklayan yakıt kullanımına yönelik yaptırımlar ve doğal gaz tüketimindeki artış konsantrasyon seviyesindeki bu düşüşün en önemli nedenidir. Ayrıca, egzoz gazı kontrolü ve LPG kullanımının yaygınlaşması da hava kirliliği üzerinde trafiğin katkısını bir ölçüde azaltmıştır. Avrupa yakasında, Anadolu yakasına göre daha yüksek SO₂ konsantrasyonu tespit edilmiştir.

2. Hava kirliliği seviyesi ve arazi kullanım biçimi arasındaki ilişki incelendiğinde, endüstriyel, yüksek yoğunluklu konut ve ticaret alanları gibi arazi kullanım birimlerinde yüksek konsantrasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Yoğun yerleşim ve ticaret alanlarını içeren Avrupa yakasına ait trend analizinde gözlemlenen seviyenin yüksekliği arazi kullanımının etkisini net olarak açıklayabilmektedir.

3. Nüfus yoğunluğu ile ilgili 1995-96 ısınma döneminde yapılan mekansal analiz hava kirliliği seviyesi ile ilçe nüfus yoğunluğu arasında pozitif bir korelasyonun olduğunu göstermiştir. 1999-2000 ısınma mevsiminde SO₂ konsantrasyonu %60 oranında azalmasına rağmen yüksek nüfus yoğunluğu olan bölgelerde hava kirliliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Hava kirliliğinin mekansal analizleri en yüksek kirliliğin Bayrampaşa, Zeytinburnu ve Gaziosmanpaşa, Fatih ilçelerini kapsadığını göstermiştir. Şehrin en yüksek kirliliğin tespit edildiği bu alanlarda emisyon kontrol tekniklerinin uygulanması ve kontrolü gerekmektedir. Hava kirliliği açısından hassas olan bu bölgelerde imar planlarında bina yükseklikleri-binalar arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak dispersiyon ortamlarının sağlanması gerekmektedir.

Uygulanan metodoloji tek ve en iyi metot olmakla birlikte; İstanbul'daki hava kalitesi yönetimi için etkin bir strateji olabilecektir. CBS'nin minimum hata payı ile gerçek dünyayı yansıtması hava kalite planlarının en doğru şekilde uygulanmasına imkan verecektir. Şehirdeki nüfusun ve insan aktivitelerinin, nüfus dağılımı ve ilgili arazi kullanımının daha güvenilir analizlerini yapabilmek için, hava kirliliği izleme istasyonlarının sayısı ve ölçüm periodu artırılmalı, ölçümlerin eksiksiz ve düzenli yapılması sağlanmalıdır. Şehrin emisyon envanterinin sonuçlandırılması, mevcut hava kirliliği dispersiyon modellerinin uygulanmasını ve şehir üzerinde kirlilik dağılım seviyelerinin daha iyi analizini sağlayacaktır.

Kaynaklar

- ASCE. (1990). Task Committee on Geostatistical Techniques in Geohydrology. Review of Geostatistics in Geohydrology. I: Basic Concepts, *J. Hydraul. Engineering*, **116**, 5.
- Clark, I., (1979). *Practical Geostatistics*, Applied Science Publishers Ltd., London.
- Cooper, R. M. ve Istok, J. D., (1988). Geostatistics Applied To Grounwater Contamination. I: Methodology, *Journal of Environmental Engineering*, **114**, 2, 270-286.
- Collins, S., Smallbone, K., Briggs, D., (1995). A GIS Approach to Modelling Small Area Variations in Air Pollution Within A Complex Urban Env., in Innovations in GIS, Fisher, P., 245-253.
- DİE, (2001). Hava Kirliliği ve Nüfus Verileri, Devlet İstatistik Enstitüsü
- DMİ, (2001). Meteorolojik Veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Ertürk, F., Karaca, M., Tayanç, M., Saral, A. (1995). İstanbul'da Hava Kirliliği Haritasının Çıkarılması ve Doğalgaz Kullanımına Öncelik Verilecek Bölgelerin Tespiti, Araştırma Projesi, İBB Çevre Koruma Geliştirme Daire Başkanlığı.
- Fiala, J., Rieder, M., Dvorakova, M., Livorova, H., (2001). Trends in the Atmospheric and Hydrological Cycle of Sulphur at Catchments in the Czech Republic, *Atmospheric Environment*, **35**, 1, 55-52
- Godzik, B., (1997). Ground Level Ozone Concentrations in The Krakow Region, Southern Poland, *Environmental Pollution*, **98**, 3, 273-280.
- Holland, D. M., De Oliveira, V., Cox, L. H., Smith, R. L., (2000). Estimation of Regional Trends in Sulfur Dioxide over the Eastern United States, *Environmetrics*, **11**, 4, 373-393.
- İGDAŞ, (1998) Faaliyet Raporu.
- İGDAŞ, (2002). Doğalgaz Tüketim Verileri.
- İncecik, S., (1996). Investigation of Atmospheric Conditions in İstanbul Leading to Air Pollution Episodes, *Atmosp. Env.* **30**, 2739-2749.
- Journel, A. G. Huijbregts, C. J., (1978). *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York.
- Lefhon, A. S., Knudsen, H. P., Logan, J. A., Simpson, J., Bhumralkar, C., (1988). An Evaluation of the Kriging Method to Predict 7-h seasonal Mean Ozone Concentrations for Estimating Crop Losses, *J. Air Poll. Control Assoc.*, **37**, 595-602.
- Liu L. J. S., Rossini, A. J., (1996). Use of Kriging Models to Predict 12-Hour Mean Ozone Concentrations in metropolitan Toronto—a pilot study. *Environment International*, **22**, 6, 677-692.
- Loibl, W., Winiwarter, W., Kopsca, A., Zueger, J., (1994). Estimating The Spatial Distribution Of Ozone Concentrations In Complex Terrain, *Atmospheric Environment*, **28**, 16, 2557-2566.
- Mage, D., Ozolins, G., Peterson, P., Webster, A., Orthofer, R., Vandeweerd, V., Gwynne, M., (1996). Urban Air Pollution in Megacities of The World, *Atmospheric Environment*, **30**, 5, 681-686.
- Matheron, G., (1971). *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*, CG Fontainebleau.
- McBratney, A. B. ve Webster, R., (1981). The design of Optimal Sampling Schemes for Local Estimation and Mapping of Regionalized Variables-II, *Comp. Geosci.*, **7**, 335-365.
- Mulholland, J. A., Butler, A. J., Wilkinson, J. G., Russell, A. G., (1998). Temporal and Spatial Distributions of Ozone in Atlanta: Regulatory and Epidemiologic Implications, *Journal of the Air and Waste Management Association*, **48**, 5, 418-426.
- Oliver, M. A., Webster, R., (1990). Kriging: a Method of Interpolation for Geographical Information Systems, *International Journal Geographical Information Systems*, **4**, 3, 313-332.
- Phillips, D. L., Tingey, D. T., Lee, E. H., Herstrom, A. A., Hogsett, W.E., (1997). Use of Auxiliary Data For Spatial Interpolation of Ozone Exposure in Southeastern Forests, *Environmetrics*, **1**, 8, 43-61.
- Saral, A., (1995). İstanbul'un Hava Kirliliği Haritasının çıkarılması, Y. Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Sengupta, S., Patil, R. S., Venkatachalam, P., (1996). Assessment of Population Exposure and Risk Zone Due to Air Pollution Using The Geographical

- Information System, *Comput, Environ. and Urban Systems*, **20**, 3, 191-199.
- Seyhan, E., (1997). *Exercises on Geostatistical Analysis* Faculty of Earth Science, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Star, J. ve Estes, J., (1990). *Geographic Information Systems*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Şen Z ve Öztopal A., (2001). Assessment of Regional Air Pollution Variability in Istanbul, *Environmetrics*, 12, 401-420.
- Tayanç, M., (2000). An Assessment of Spatial and Temporal Variation of Sulphur dioxide Levels over İstanbul, Turkey, *Env. Pollution*, 107, 61-69.
- Topçu, S., İncecik, S. ve Ünal, Y., (2001a). The Influence of Meteorological Conditions and Stringent Emission Control on High TSP Epidos in İstanbul, *Environ. Sci. And Pollut. Res*, 8, 1-9.
- Topçu, S., Ünal, Y., İncecik, S., (2001b). İstanbul'da Asılı Partiküler Madde Epidoslarına Yol Açan meteorolojik Şartların Analizi, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt:1, Sayı:1, 1-8.
- Westenbarger, D. A., Frisvold, G. B., (1994). Agricultural Exposure to Ozone and Acid Precipitation, *Atmospheric Environment*, **28**, 18, 2895-2907.
- WHO, (1992). Urban air pollution megacities of the world. WHO/UNEP. Blackwell, Oxford, UK
- Zhu, H. C., Charlet, J. M., Poffijn, A., (2001). Radon Risk Mapping in Southern Belgium: An Application of Geostatistical and GIS Techniques, *The Science of the Total Environment*, 272, 203-210.