

SO₂ VE PM₁₀ HAVA KİRLİLİĞİ PARAMETRELERİNİN CBS İLE KONUMSAL ANALİZİ: KOCAELİ ÖRNEĞİ

Özer Akyürek¹, Ozan Arslan¹, Aykan Karademir²

¹KOÜ, Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, ozer.akyurek@kocaeli.edu.tr

²KOÜ, Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, aykan@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Hava kirliliği, canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen veya maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşmasıdır. Bu çalışmada Kocaeli İlinde bulunan 9 adet Hava İzleme İstasyonundan elde edilen veriler yardımıyla kirlenici parametrelerin konumsal analizi yapılmıştır. CBS tekniği ile kirlenici parametrelere ilişkin konumsal örüntüler belirlenerek mekansal kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuş ve istasyon bazındaki istatistikler dinamik haritalama ile değerlendirilmiştir. Hava kirlenicilerin konumsal değişkenlikleri ile konumsal bağımlılık ilişkileri incelenmiştir. Kirlenici parametre konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri ve yönsel bir eğilim gösterip göstermediği, anizotrop bir yapıya sahip olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kirlilik Tespiti ve Takibi, Konumsal Analiz, Çevre Yönetimi, Kükürt Dioksit, Partikül Madde

ABSTRACT

SPATIAL ANALYSIS OF AIR POLLUTION PARAMETERS SO₂ AND PM₁₀ WITH GIS: A CASE STUDY OF KOCAELİ PROVINCE

Air pollution is the condition, which the air of impurities reach beyond the normal quantity and density levels, adversely affect the health of living things. Spatial analysis of pollutants were made with the help of data obtained from the air monitoring stations in the province of Kocaeli in the study. Spatial patterns of pollutants in the region were determined with GIS technology and spatial distribution maps of air pollution were generated. In addition, station based statistical parameters were evaluated with dynamic mapping tools in GIS. The spatial variability and dependency relationships of air pollutants were examined and the time-dependent variability of concentrations of pollutant parameters and directional influences and anisotropic trends were investigated.

Keywords: Air Pollution Monitoring, Spatial Analysis, Environmental Management, GIS, Sulphur dioxide, Particulate Matter

1. GİRİŞ

Hava yaşamsal özellikteki bir çevresel ögedir. Yaşamın sürdürülmesi için zorunluluk olan bu çevresel öge, fiziksel bir etken olarak insan yaşamının olmazsa olmazlarından. Günde kişi başına 10 bin ile 20 bin litre arasında hava solumaktayız. Bu yüksek miktar soluduğumuz havanın içinde bulunan maddelerin etkilerini çok küçük konsantrasyonlarda da olsa önemli kılmaktadır (Özdemir, 2008). Hava kirliliği, canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen veya maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşmasıdır. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklarla hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. En önemli hava kirlenicileri Partikül Madde (PM), Kükürt dioksit (SO₂), Karbon monoksit (CO), Karbondioksit (CO₂), Ozon (O₃), Azotoksitler (NO_x) ve Hidrokarbonlar (HC)'dir.

Hava kirliliği kaynakları doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılmaktadır. Doğal kaynaklar; volkanlar, orman yangınları, polenler ve rüzgar etkisiyle oluşan tozlardır. Yapay kaynaklar ise alansal, çizgisel ve noktasal olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır. Alansal kaynakların en önemli bölümünü ısınma amacıyla konutlarda kullanılan fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Evsel ısınma amacıyla yakılan fosil yakıt emisyonları, kullanılan yakıtların düşük kalorili olması, yüksek oranda kükürt ve kül içermesi, ısıtma sistemlerinde yanmanın tam olmaması gibi faktörler ile meteorolojik etmenlerin bir araya gelmesi, daha çok kış aylarında şehirlerde yüksek düzeyde hava kirliliğine sebep olmaktadır. Kış sezonunda ısınma için kullanılan fosil yakıtların yanması hava kirliliğinin %80'ini yaratmaktadır (Gümrükçüoğlu ve Soylu, 2011). Çizgisel kaynakları ulaşım amacıyla kullanılan araçlardan yayılan emisyonlar oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı kirlenici türleri için ulaşım sektörünün hava kalitesine olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. Özellikle karayollarında seyir halinde olan motorlu karayolu taşıtlarının egzozlarından kent atmosferine verilen kirlenicilerin bölgenin hakim meteorolojik ve topoğrafik koşulları ile zaman zaman insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaştığı bilinmektedir. Ayrıca karayollarındaki ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliği gibi deniz kıyısında bulunan kentlerde deniz yolu ulaşımdan ve taşımacılığın kaynaklanan hava kirliliğinin de önemli boyutlarda olabileceği yine son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ile ortaya konmuştur (İlek ve Elbir, 2012). Noktasal kaynaklar ise fabrika, enerji santralleri, yakma tesisleri, sanayi tesisleri gibi endüstriyel tesislerdir. Bu işletmelerde üretim için

ihtiyaç duyulan enerjinin elde edilmesinde kullanılan yakıtın yanmasıyla atmosfere kirleticiler çıkmaktadır. Ayrıca noktasal olarak katı atıkların fırınlarda ve açık arazide yanması sonucu kirlenme oluşmaktadır (Özdemir, 2008).

Kükürt dioksit (SO_2), renksiz, boğucu ve asidik bir gazdır. SO_2 kömür ve fuel-oil'in doğal olarak yapısında bulunan kükürt bileşiklerinin yanması ile açığa çıkmaktadır. Mevcut temel kükürt dioksit üretici faaliyetler, endüstriyel uygulamalar, ısınma amaçlı kullanılan evsel yakıtlar, termik santraller ve belli bir miktar da dizel yakıtlı taşıtların kullanımınıdır. SO_2 konsantrasyonları genellikle evsel ısıtma amacıyla kömür kullanımının yaygın olduğu şehirlerin merkezi bölgelerinde ve endüstriyel alanların çevrelerinde yüksek değerlerdedir (Akyürek, 2012).

Partikül Madde (PM), atmosferdeki ağırlıkları nedeniyle hızla çökebilen büyük partiküllerin dışında, atmosferde yayılan çok küçük tanecikli katı veya sıvı partiküllerdir. Kütle ve bileşimi yönünden; aerodinamik çapı 2.5 μm den büyük kaba partiküller, aerodinamik çapı 2.5 μm den küçük ince partiküller olarak iki gruba ayrılır. İnce partiküller; ikincil olarak oluşan aerosoller (gaz-partikül dönüşümü), yanma sonucunda oluşan partikülleri, yoğunlaşan organik ve metal buharlarını içerir. Büyük partiküller; genelde yer kabuğu materyalleri yol ve endüstrilerden atmosfere verilen tozları içerir. Partiküler madde, yakıtların yanması, dizel motorlar, inşaat ve endüstriyel faaliyetler, ikincil aerosoller (amonyak, sülfür ve azot oksitlerinin havada reaksiyonu) bitki polenleri ve yerden kalkan tozlar gibi birçok doğal kaynaktan oluşabilir. Partiküler madde, nitelik ve niceliği bakımından; tanecik boyutları, yoğunluğu, kimyasal bileşimi ve sağlık etkileri potansiyeline bağlı olarak geniş çapta değişim gösterir (Özdemir, 2008).

Jeostatistik, istatistiğin uygulamalı bir dalı olup, yer bilimlerinde konumsal bilgiyle birlikte değerlendirilen istatistik yöntemler bütünüdür. Klasik istatistik yöntemlerden farklı olarak, örneklerin birbirinden bağımsız olması kuralı yerine örneklerin birbirleri ile bağımlı olmasına bağlı popülasyon parametreleri tahmin edilebilmektedir. Jeostatistik yöntemler, örnekler arasındaki konumsal korelasyonu ölçen ve bu korelasyonu örnekleme yapılmamış noktalardaki özellikleri tahmin etmede kullanan uygulamalı istatistiklerdir. Bu yöntemler yardımıyla örnekleme noktalarının konumları ve örneklemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı kestirimler yapılabilmektedir. Jeostatistiksel analizler, gözlem gerçekleştirilmeyen konumların değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda arazide ölçüm yapılamamış noktalarda enterpolasyon yapılarak bilgilerin sürekli yüzeyler biçimindeki haritalarının elde edilmesi sağlanır (Çolak, 2010).

Hava kirliliğinin incelenmesi ve Jeostatistiksel yöntemlerle analizinin yapıldığı yurtiçinde ve yurt dışında birçok çalışma yapılmıştır. Tayanç ve Berçim, yaptıkları çalışmada 1997 yılının kış dönemindeki SO_2 miktarı yüksek oranda ölçülen 3 gün için İzmit Körfezindeki kirlilik dağılımının modellemesini yapmışlardır. Çalışmada 8 adet hava kirliliği ölçüm istasyonundan, belirlenen 3 güne ait saatlik emisyon değerleri elde edilmiş ve California Puff (CALPUFF) adı verilen modelleme yöntemiyle SO_2 'nin İzmit Körfezi üzerindeki konumsal dağılımını belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda her üç günde de kentin sabah saatlerinde SO_2 yönünden yüksek yoğunlukta kirli olduğu, öğle saatlerine doğru yoğunluğun azaldığı ancak akşam saatlerinde tekrar arttığı sonucuna varmışlardır (Tayanç ve Berçim, 2007). Özaslan, Kocaeli il geneline yayılmış 51 noktada yaz ve kış mevsimlerinde birer hafta olmak üzere pasif örnekleme ile elde ettiği kirlilik parametrelerinin (SO_2 , NO_2 , O_3) incelemesini yaparak konumsal analiz yardımıyla il genelindeki dağılımlarını inceleyerek haritalandırmıştır (Özaslan, 2008). Tayanç, İstanbul'da kış sezonu Sülfür dioksit (SO_2) oranlarının konumsal dağılımını incelemiştir. İstanbul'da bulunan 16 adet hava kirliliği izleme istasyonundan elde edilen veriler yardımıyla iki ayrı kış sezonuna ait SO_2 kirlilik haritası oluşturmuştur. İstanbul'da doğalgaz kullanımının artmasıyla birlikte SO_2 kirliliğinin azaldığı elde edilen haritalardan tespit edilmiştir (Tayanç, 2000). Karaca, yaptığı çalışmada Tarihi İstanbul Yarımadasında uçucu organik bileşiklerden BTEK (Benzen, Toluene, Etilbenzen ve Ksilen) grubunun bölge üzerindeki kirlilik seviyelerini konumsal analiz yardımıyla incelemiştir. Tarihi Yarımada da 50 noktada pasif örnekleme yöntemine göre üç ayrı dönem (bahar, yaz ve kış) olmak üzere yapılan ölçümler incelenerek konumsal analiz yardımıyla kirlilik yayılımları haritalandırılarak Tarihi Yarımada'nın kirliliğe en çok maruz kalan bölgeleri belirlenmiştir (Karaca, 2012). Li ve diğ., Çin'in Chengdu şehrindeki hava kirliliğinin konumsal karakteristiğini incelemişlerdir. SO_2 , NO_2 ve PM_{10} 'un neden olduğu hava kirliliği konumsal analiz yöntemlerinden Ters Ağırlıklı Mesafe Enterpolasyonu (IDW) ve Klasik Kriging (Ordinary Kriging) yöntemleriyle incelenmiş ve karşılaştırmışlar ve Klasik Kriging'in Ters Ağırlıklı Mesafe Enterpolasyonu'na göre daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca Chengdu şehrinin altı ana bölgesinden hava kirliliği yönünden en yoğun olan bölgesi saptanmıştır (Li ve diğ., 2011). Chattopadhyay ve diğ., yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Burdwan şehrindeki hava kirletici parametreleri olan SO_2 , NO_2 ve Partikül Maddelerin zamansal ve konumsal dağılımlarını incelemişlerdir. Çalışmada muson yağmurlarından önce ve sonraki dönemlerde şehrin trafik yoğunluklarına ayrılmış üç alt bölgesinde (yerleşim, endüstri ve hassas bölgeler) 25 örnekleme noktasından birer hafta boyunca 24'er saatlik gözlemlerle kirlilik parametreleri elde edilmiştir. Ters Ağırlıklı Mesafe Enterpolasyonu (IDW) konumsal analiz yöntemiyle elde edilen kirlilik parametreleri değerlendirilmiş ve şehrin hangi bölgelerinde hangi hava kirleticisini daha etkili olduğunu haritalandırmışlardır (Chattopadhyay ve diğ., 2010).

Bu çalışmanın amacı; Kocaeli İli geneline dağılmış 9 adet Hava Kalitesi İzleme istasyonundan elde edilen temel iki kirletici parametreye (SO_2 ve PM) ilişkin konumsal örüntülerin belirlenerek mekansal kirlilik dağılım haritaları

oluşturmak ve istasyon bazındaki istatistikleri dinamik haritalama ile değerlendirmektir. İkinci bölümde Kocaeli ilinin durumu, hava kalitesi ölçüm istasyonları hakkında genel bilgi ve analizler için kullanılan jeoistatistik yöntemler hakkında genel bilgi verilmiştir, üçüncü bölümde ise Kocaeli ili için hava kirliliği açısından analizler sonucu ortaya çıkan durum değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL METOD

Kocaeli (29°22'–30°21'E, 40°31'–41°13' N) coğrafi olarak kritik bir bölgede yer alan bir endüstri kenti olma özelliğine bağlı olarak 290.000'i kent merkezinde olmak üzere 1.634.691 kişilik yoğun nüfusa ve günlük araç hacmi 19,000 olan trafik hattına sahip bir ildir. Çok yoğun trafik arterleri (D100 ve E-6(TEM)), üç lastik fabrikası, otomotiv endüstrisi, kağıt fabrikası, petrokimyasal endüstri ve petrol rafinerisini içeren 300'ü büyük 1000'in üzerinde endüstri kuruluşuna sahip bir sanayi şehridir. Ortadoğu'nun en büyük rafinerisi olan TÜPRAŞ Kocaeli' de bulunmaktadır. Günlük yakıt tüketimi 20,000 tondur ve 21 adet gaz yükleme tesisi bulunmaktadır.

Hava kirliliği seviyelerini tespit etmek amacıyla yapılan çok sayıda çalışmanın temel amacı, hava kalitesi standartlarını aşmayacak şekilde kirletici kaynaklardan yayılan emisyonlara müdahale etmektir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilindiğinden emisyonların seviyesini tespit etmek amacıyla belirli sıklıkta hava kalitesi örnekleme verileri toplanmalıdır. Bu amaçla hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi, tüm illerde hava kirliliği politikaları oluşturulması ve bu politikalar çerçevesinde illerin hava kalitesinin bir önceki yılın değerlerinden daha iyi durumlara getirilebilmesi amacıyla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2005-2007 yılları arasında 81 ilde 125 adet (3 mobil) hava kalitesi ölçüm istasyonları kurularak Türkiye genelinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur. Kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının hepsinde Kükürt dioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM₁₀) parametreleri, bazılarında ek olarak Azotoksitler (NO, NO₂, NO_x), Karbon monoksit (CO) ve Ozon (O₃) da tam otomatik olarak ölçülebilmektedir. Ölçüm istasyonlarında toplanan ölçüm verileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait özel bir ağ (VPN) üzerinden GSM Modemler aracılığıyla Bakanlığın Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezine aktararak izlenmekte ve www.havaizleme.gov.tr adresinde eşzamanlı olarak yayınlanmaktadır. Saatlik ortalamalar şeklinde istasyonlardan alınan veriler incelenerek doğrulama çalışmaları yapılmakta olup söz konusu verilerle aylık ve yıllık raporlar hazırlanarak yayınlanmaktadır. Ayrıca 2008 yılında ilgili Bakanlık bünyesi altında kurulan Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü'nün Marmara Bölgesinde kurmuş olduğu 39 adet ölçüm istasyonu da 2013 yılı Mayıs ayından itibaren hava kirliliği ölçüm parametrelerini www.mthm.havaizleme.gov.tr adresinden eş zamanlı olarak yayınlamaya başlamıştır.



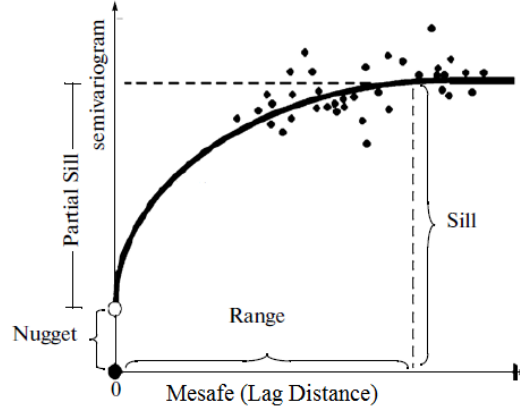
Şekil 1: Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları (Özdemir, 2008)

Kocaeli ilinde de 1987 yılından beri istasyonlarda sürekli olarak bu ölçümler yapılmaktadır. Hava Kirliliği Ölçüm İstasyonlarında saatlik periyodlarla hava kirliliği parametreleri ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Kocaeli İlinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı kontrolünde bulunan 3 adet (Kocaeli-OSB-Dilovası) ve Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü'nün kontrolünde bulunan 6 adet ölçüm istasyonu (İzmit-Körfez-Alikahya-Gölcük-Yeniköy-Kandıra) bulunmaktadır. Bu ölçüm istasyonlarından saatlik ortalamalar şeklinde web ortamında yayınlanan hava kirliliği parametrelerinden hava kalitesi coğrafik veritabanı oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, hava kirletici parametreleri olarak SO₂, PM₁₀, NO ve NO₂ 'nin 2013 yılına ait Haziran, Temmuz ve Ağustos verileri kullanılmıştır. Coğrafik veri tabanı oluşturulurken web ortamından yayınlanan hava kirliliği parametreleri Kocaeli, OSB ve Dilovası istasyonlarından excel tablo formatında kaydedilmiş, İzmit, Körfez, Alikahya, Gölcük, Yeniköy ve Kandıra istasyonlarının web ortamında günlük yayınlanan verileri takip edilerek kayıt altına alınıp veri tabanı oluşturulmuştur. Elde edilen kirlilik değerleri daha sonradan coğrafik veri tabanı formatı olan dbf tabloları

şeklinde saklanarak geodatabase ortamına aktarılmıştır. Veri tabanı oluşturmada sorgulama ve analizlerde ArcGIS 9.x - 10 yazılımlarından faydalanılmıştır.

Belirgin olarak coğrafi bağımlılığın söz konusu olduğu çalışmalarda, klasik istatistik yöntemler yerine jeostatistik yöntemler kullanılmaktadır. Jeostatistiksel analizler, gözlem gerçekleştirilmeyen konumların değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda arazide ölçüm yapılmamış noktalarda enterpolasyon yapılarak bilgilerin sürekli yüzeyler biçimindeki haritalarının elde edilmesi sağlanır. Bu işlemler konumsal modelleme (semivariogram hesaplamaları) ve konumsal enterpolasyon (kriging yöntemi) ile iki adımdan oluşur. Semivariogram örnek varyansının mesafe ile değişiminin bir ölçüsüdür. Birbirine yakın olan örnekler uzak olanlara oranla benzer varyans değerleri gösterirler ve genelde varyans örnekler arasındaki mesafe ile bir artış gösterir. Kriging yöntemi ise semivariogram hesapları ile elde edilen örnekler arasındaki konumsal yapının, örnekleme yapılmamış noktalardaki özelliklerini tahmin etmede kullanılmasıdır (Çolak, 2010).



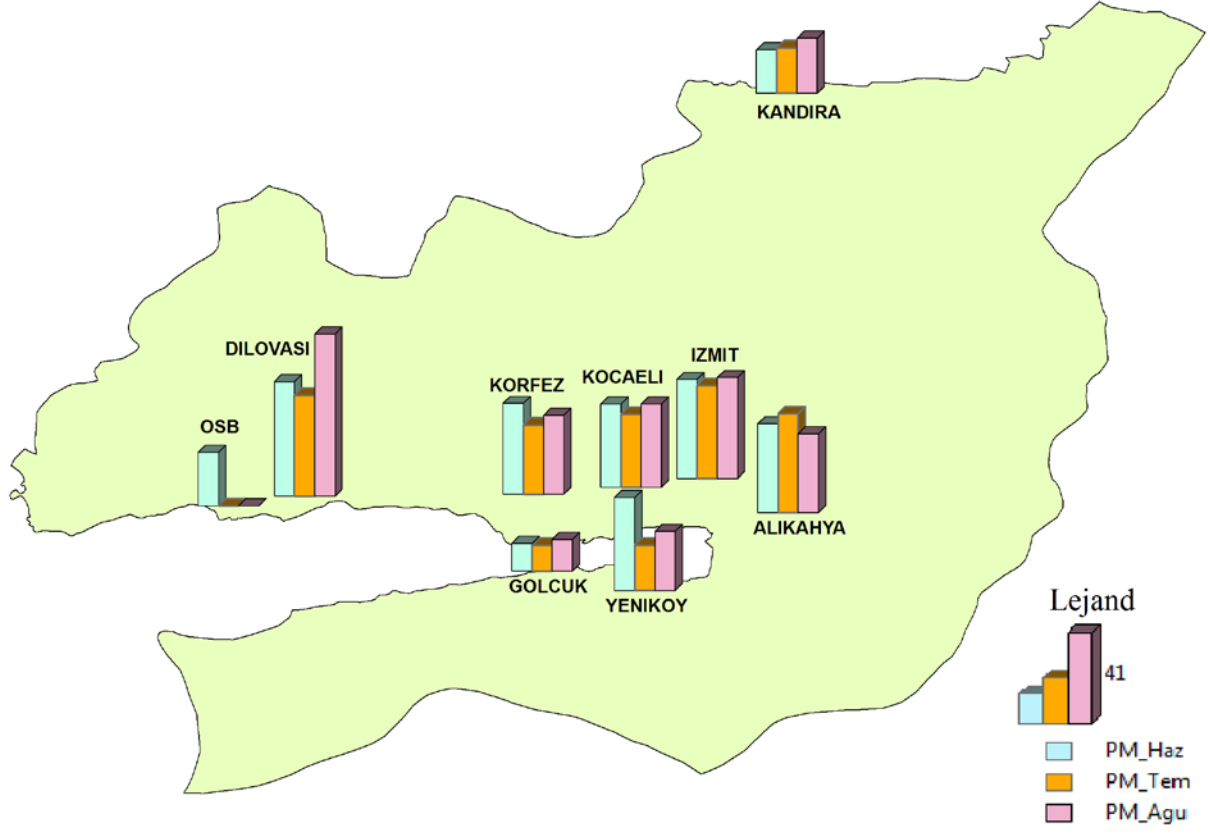
Şekil 2: Semivariogram Modeli ve Parametreleri

Şekil 2'de görülen semivariogram parametrelerinden; nugget (külçe varyansı) teorik eğrinin $h = 0$ noktasında düşey eksenini kestiği noktadır. Kestirim değerini etkilemez sadece Kriging varyansında değişime sebep olur. Partial Sill (yapısal varyans) variogramın yapısal bileşenleri için düşey ölçek değeridir. Range (etki uzaklığı) variogramın yatay uzaklığıdır. Bu uzunluktan sonra veriler artık birbirleri ile korelasyonsuzdur. Variogram ya da kovaryans değerleri bu uzunluktan sonra sabit kalır. Range'deki değişim enterpolasyon değerinin de değişimine sebep olur. Lag distance örnekleme noktaları arası ya da enterpolasyon noktası ile örnekleme noktaları arası yatay uzunluktur. Sill (eşik değer) variogram fonksiyonunun toplam düşey ölçek değeridir. Yaklaşık örnekleme varyansına eşittir. Kestirim değerini etkilemez sadece Kriging varyansında değişime sebep olur.

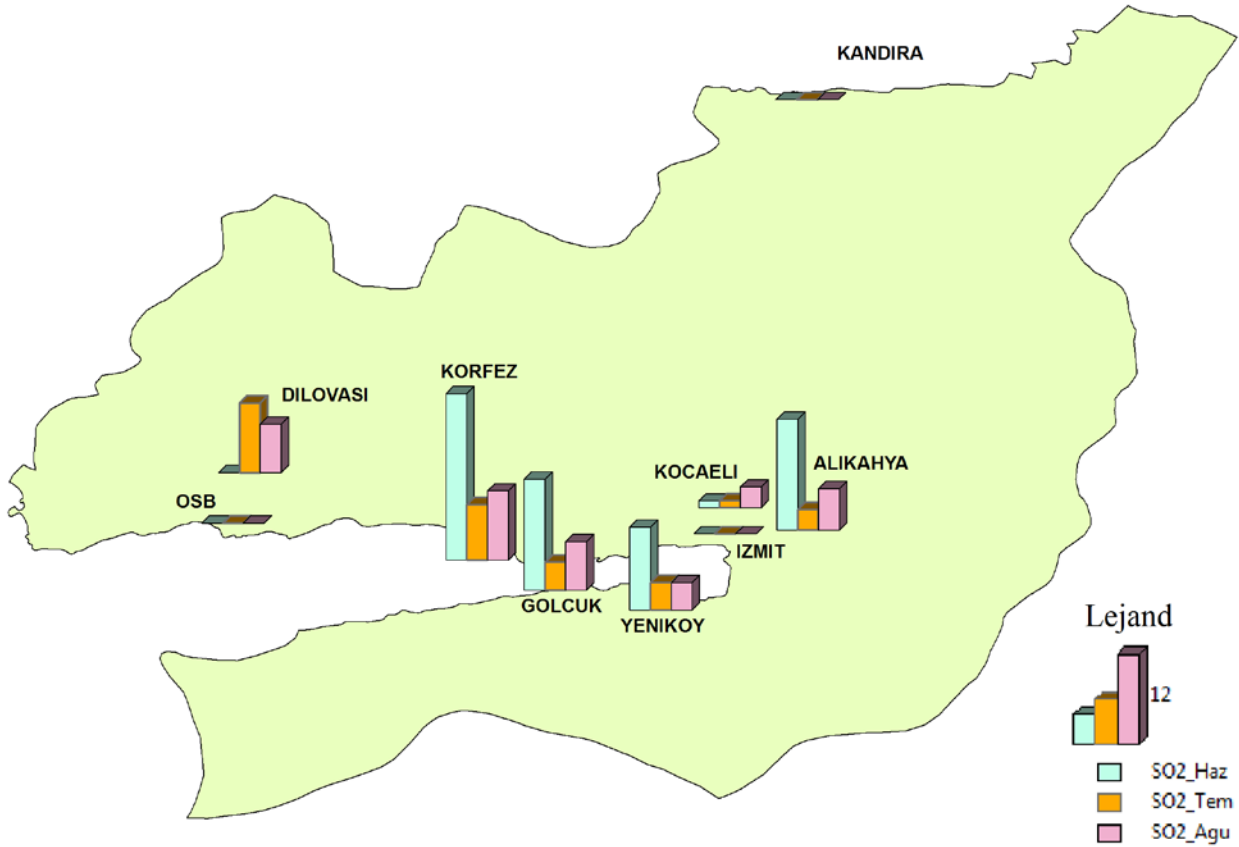
Şekil 3-4-5 ve 6 PM₁₀, SO₂, NO ve NO₂ kirletici parametrelerinin 2013 yılının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarındaki ortalama ölçüm değerlerini göstermektedir. Partikül Madde değerlerinin her ay için yüksek olarak ölçülmesinin sebebi olarak Kocaeli'nin bir sanayi şehri olması gösterilebilir. Özellikle yoğun sanayi tesislerine sahip olan Dilovası ilçesinde ve Tüpraş tesislerinin bulunduğu Körfez ilçesinde ölçülen partikül madde değerleri bu hipotezi desteklemektedir. Ayrıca şehrin tam ortasından geçen iki adet yoğun trafiğe sahip otoyolun da bu sonuca etkisi vardır. Şaşırtıcı olan sanayi tesislerinden ve şehirlerarası ulaşım yollarında uzakta olan Kandıra'da da partikül maddelerin yüksek değerde ölçülmesidir.

En büyük kaynağı yanma olayları ve evsel ısınma amacıyla yakılan katı yakıtlar olan Kükürt dioksit (SO₂) Tüpraş tesislerinin bulunduğu Körfez ilçesinde ve hemen karşısındaki Gölcük ilçesinde yüksek değerlerde ölçülmüştür. Ayrıca lastik ve çeşitli sanayi fabrikalarının bulunduğu Alikahya ilçesinde de yüksek değerlerde ölçülmüştür. Ölçüm yapılan dönemin yaz aylarına denk gelmesinden dolayı, yerleşim yerlerinin yoğunlukta olduğu Kocaeli ve İzmit istasyonlarında ısınmadan kaynaklanan SO₂ oluşmaması nedeniyle söz konusu kirlilik değeri bu istasyonlarda düşük değerlerde kalmıştır. Kandıra ve OSB bölgesinde bu değerlerin sıfır olmasının sebebi Kandıra istasyonunda bu parametrenin ölçülüyor olması, OSB'de ise bu aylarda SO₂ değerinin ölçülmemiş olmasıdır.

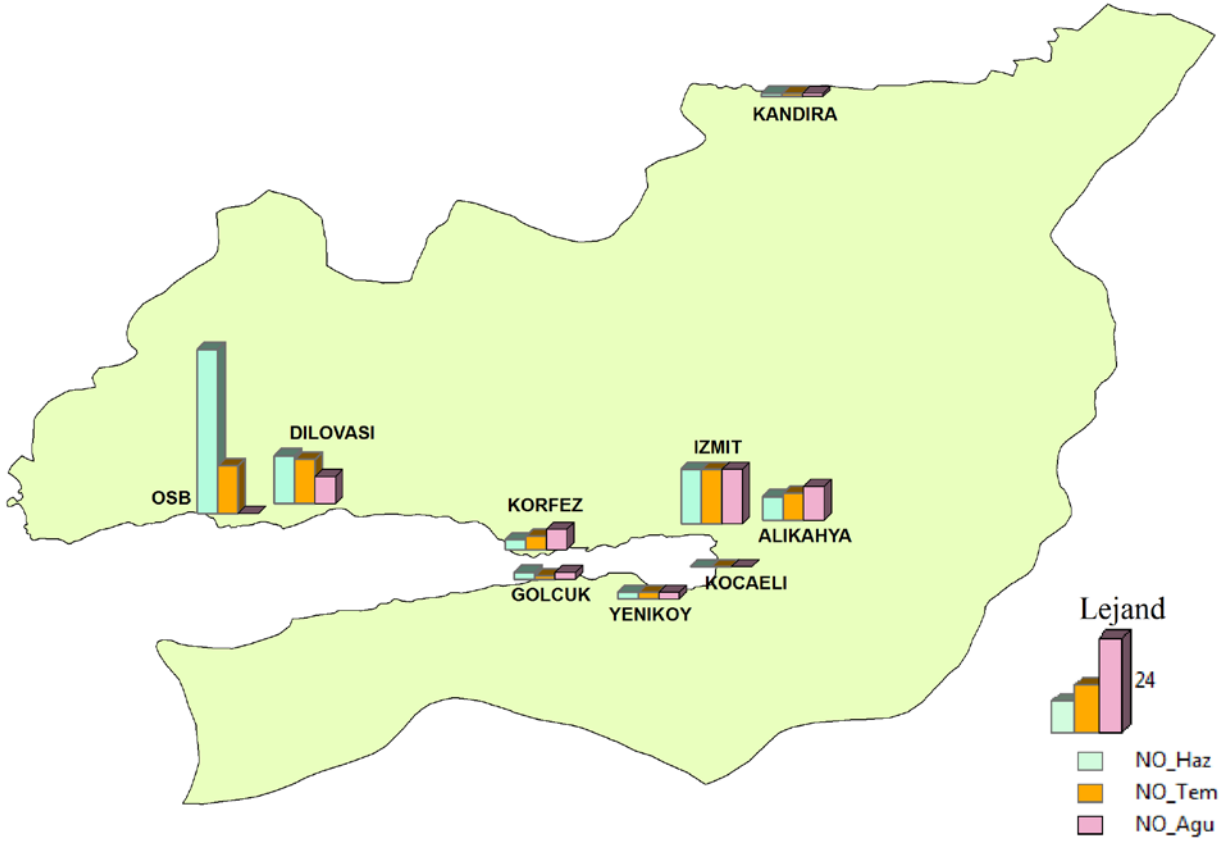
NO ve NO₂'nin en büyük kaynağı motorlu taşıtlarda yakıtların yanması, elektrik üretimi, fabrikaların ısıtılması ve endüstriyel uygulamalardır. Ayrıca atmosferdeki NO₂'nin oluşmasının bir sebebi de NO'nun oksidasyonudur. Hava izleme istasyonlarında NO₂'nin NO'ya göre daha yüksek ölçülmüş olmasının en büyük sebebi budur. Ayrıca yine OSB'de, Dilovası ilçesinde, Tüpraş tesislerinin bulunduğu Körfez ilçesinde ve Alikahya ilçesinde yüksek değerlerde NO₂ ölçülmesinin sebebi buralarda bulunan sanayi tesisleridir.



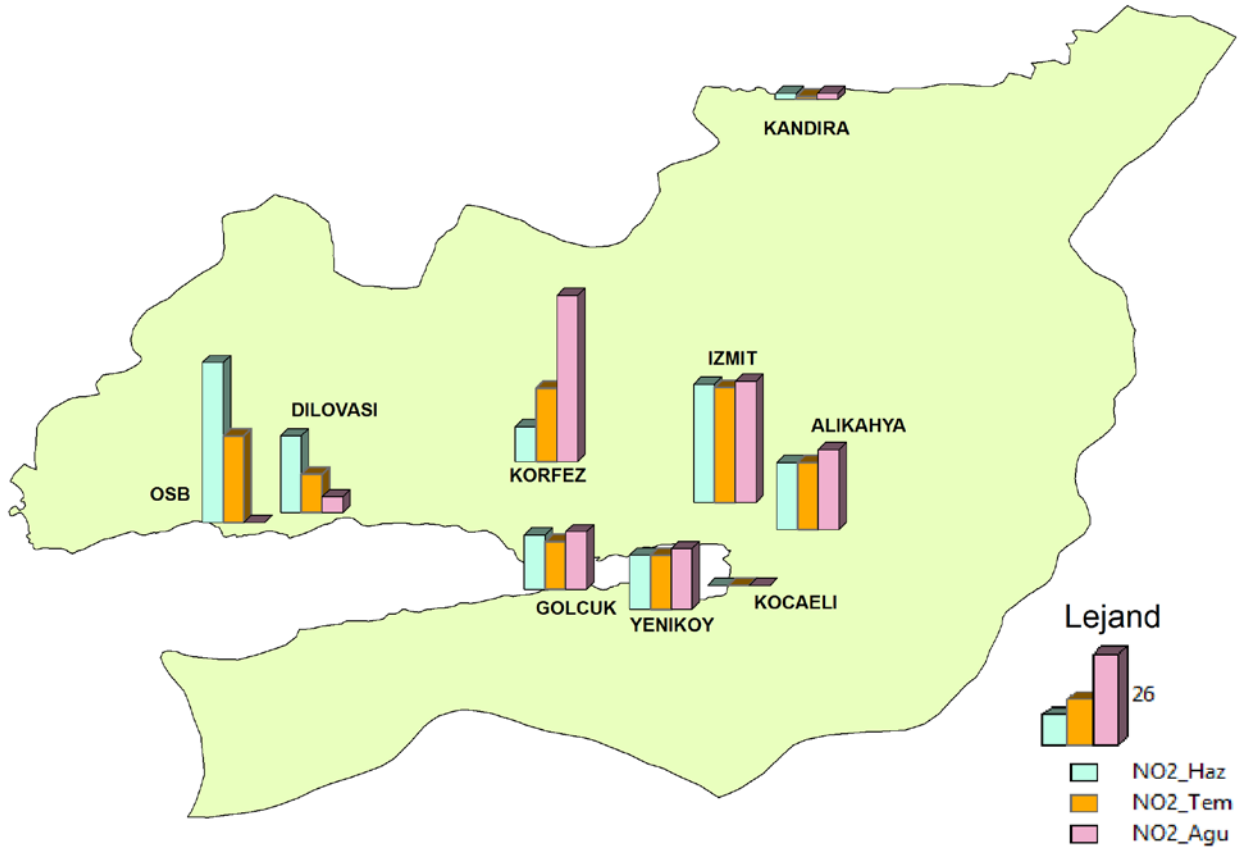
Şekil 3: 2013 yaz döneminde istasyonlarda ölçülen PM₁₀ değerleri (ortalama) dağılımı



Şekil 4: 2013 yaz döneminde istasyonlarda ölçülen SO₂ değerleri (ortalama) dağılımı



Şekil 5: 2013 yaz döneminde istasyonlarda ölçülen NO değerleri (ortalama) dağılımı

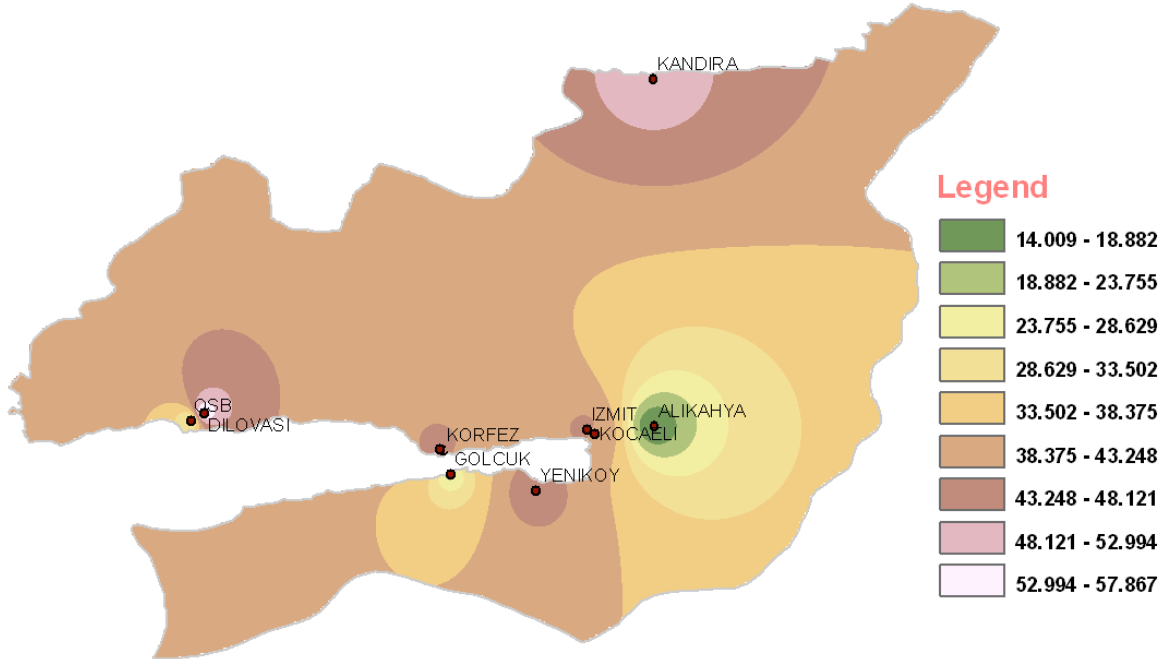


Şekil 6: 2013 yaz döneminde istasyonlarda ölçülen NO₂ değerleri (ortalama) dağılımı

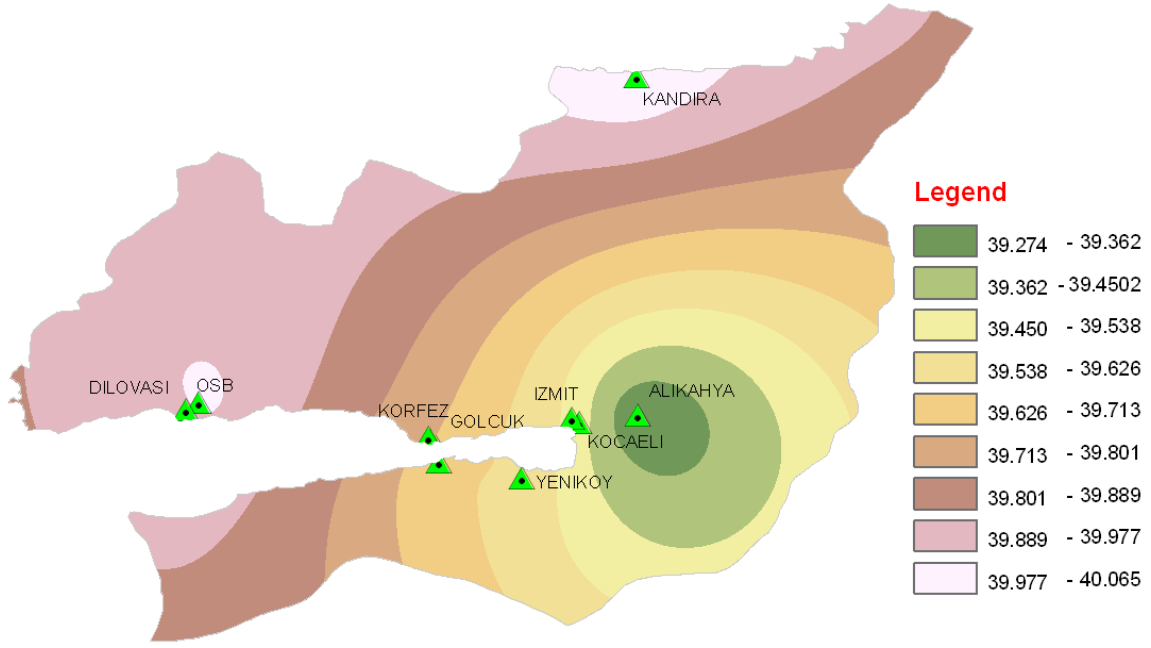
Ters ağırlıklı ortalama yöntemi (Inverse Distance Weighted), kestirim noktasındaki yüzey değeri dayanak noktalarındaki yüzey değerlerinin ağırlıklandırılmış ortalamasının alınmasıyla hesaplanır. Kestirim noktalarına yakın olan dayanak noktalarının etkisi daha fazla, uzak noktaların etkisi ise daha azdır. Ters ağırlıklı ortalama yöntemi ile kestirim sonucunda, yöntemin karakteri gereği dayanak noktaları etrafında kestirilen yüzey değerlerinin birbirlerine yaklaşık eşit olmasından kaynaklanan tepelikler ya da çukurcuklar oluşmaktadır. Bu yöntem aynı alana ait sürekli değişen verilerin tanımlanmasında daha uygun bir yöntemdir. Bu veriler, sıcaklık, yağmur yağıışı, yükseklik, kirlilik vb. bilgiler şeklinde olabilir. Bu yöntemde trendlerin hesaplanmasıyla veya düzgünlüğü ile ilgilenilmez, yaklaşık olarak hesaplama yapılır (Çolak, 2010). Şekil 7'de Haziran ayına ait PM₁₀ kirletici parametresine ait Ters Ağırlıklı Ortalama yöntemi ile oluşturulan kirlilik dağılımı gösterilmektedir.

Kriging yöntemi ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır. Kriging enterpolasyon yönteminde en temel sorun bu ağırlıklarının belirlenmesidir. En uygun ağırlıkları bulmak için, örnekleme noktaları arasındaki konumsal bağımlılıkların bilinmesi gereklidir. Bu konumsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir semivariogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir. Kriging yönteminde ağırlıklar semivariogram modellerinin doğrudan fonksiyonudur. Kriging ağırlıkları enterpolasyon değerini doğrudan etkilemektedir. Bu durumda enterpolasyon değerinin iyi olması için ağırlıkların yansız olması gerekmektedir. Kriging tekniğinin geleneksel enterpolasyon metodlarına göre avantajı daha önceden belirlenmiş standart bir ağırlık alma işlemi yerine, semivariogram diyagramları ile konumsal yapının tahmin edilmesidir. Diğer önemli bir avantaj ise kriging tekniğinin hem tahmini hem de bu tahminden kaynaklanan hatayı belirtmesidir (İnal ve Yiğit, 2003). Şekil 8'da Haziran ayına ait PM₁₀ kirletici parametresine ait Kriging yöntemi ile oluşturulan kirlilik dağılımı gösterilmektedir.

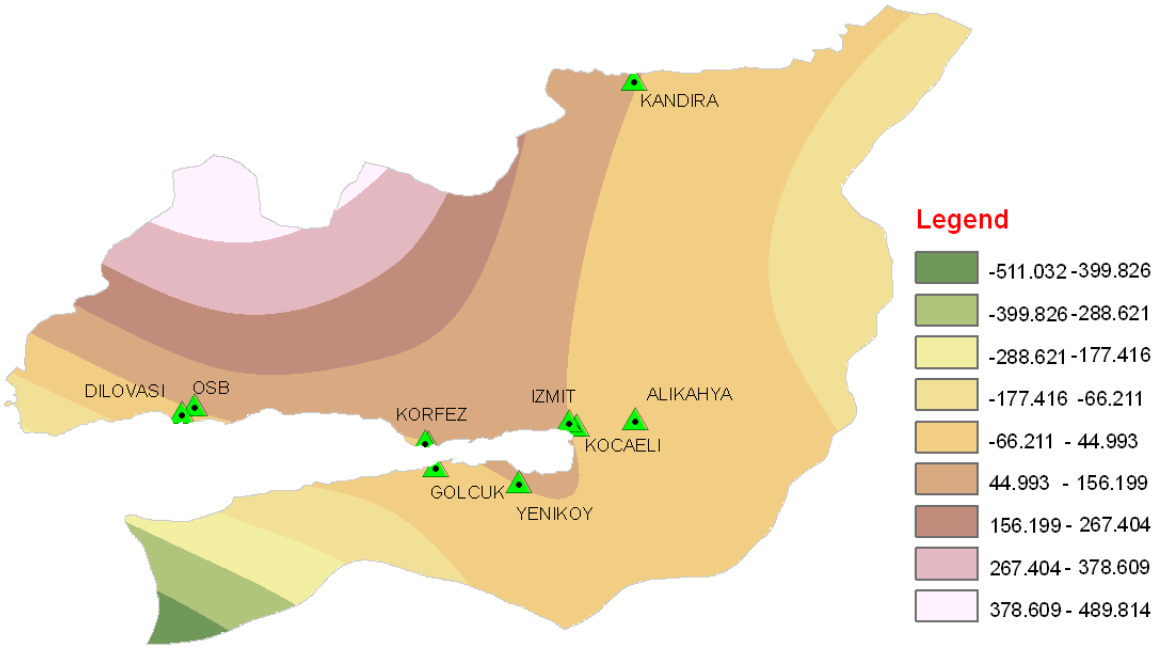
Spline konumsal analiz yöntemi eklemeli polinomun özel bir türüdür ve basit polinom enterpolasyonu için tercih edilir. Enterpolasyon yöntemleri içerisinde polinom yaklaşımları önemli bir yer tutmaktadır. Ancak, nokta sayısının artmasıyla elde edilecek enterpolasyon polinomunun derecesi de artmaktadır. Buna ilaveten bir de noktalar dışındaki ekstrapolasyon polinomunun, asıl fonksiyonda oluşturacağı sapmalar da göz önünde bulundurulduğunda, polinom enterpolasyonundan başka tekniklere de ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Birçok durumda bir diferansiyel denklemin belirli şartlarını sağlayan özel çözüm eğrisini bilinmiyor ya da analitik yollarla çözülemiyor olabilir. Bu durumda bilinmeyen fonksiyon değerlerini, çözümün var olduğu aralığı parçalara bölerek, her bir parçada ikinci, üçüncü ya da daha yüksek dereceden polinom yaklaşımı yaparak yaklaşık olarak hesap edilir. Her bir aralıkta değişik fonksiyonlarla yaklaşımın yapıldığı bu tür enterpolasyona Spline Enterpolasyonu denir. Belirli verilere uyan, bilinmeyen fonksiyonların yaklaşık çözümünde kullanılan Spline fonksiyonları, parçalı polinomların bir sınıfından olup, bu fonksiyonlar, polinomların süreklilik özelliği taşıyan dizilişleri ile oluşmaktadır (Aktaş ve Yılmaz, 2013). Spline fonksiyonu ile oluşturulan dağılım grafikleri verilerin genel trendlerini göstermektedir. Şekil 9'da Haziran ayına ait PM₁₀ kirletici parametresine ait Spline yöntemi ile oluşturulan kirlilik dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 7: PM₁₀ Haziran kirletici verilerinin Ters Ağırlıklı Mesafe yöntemine göre dağılımı

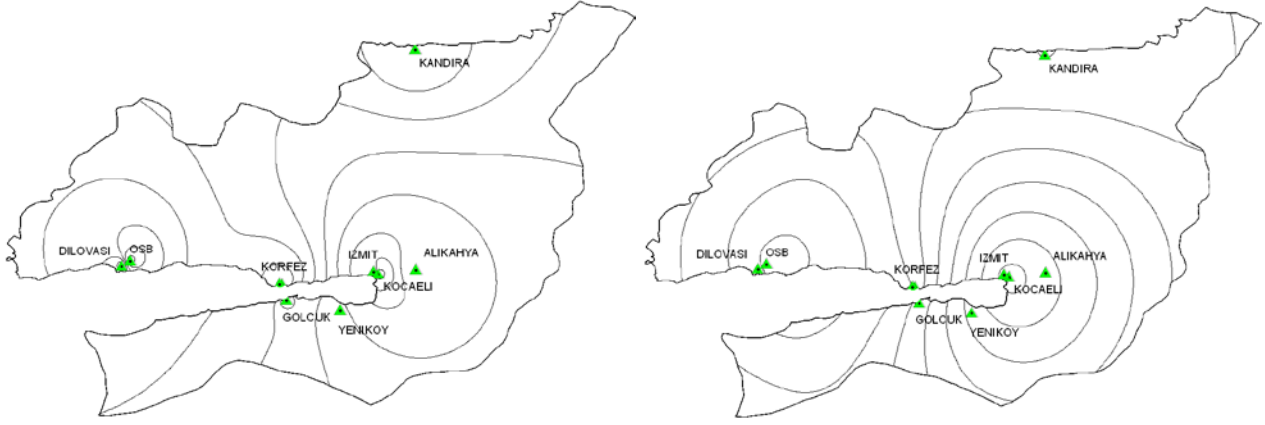


Şekil 8: PM₁₀ Haziran kirletici verilerinin Ordinary Kriging yöntemine göre dağılımı



Şekil 9: PM₁₀ Haziran kirletici verilerinin Spline yöntemine göre dağılımı

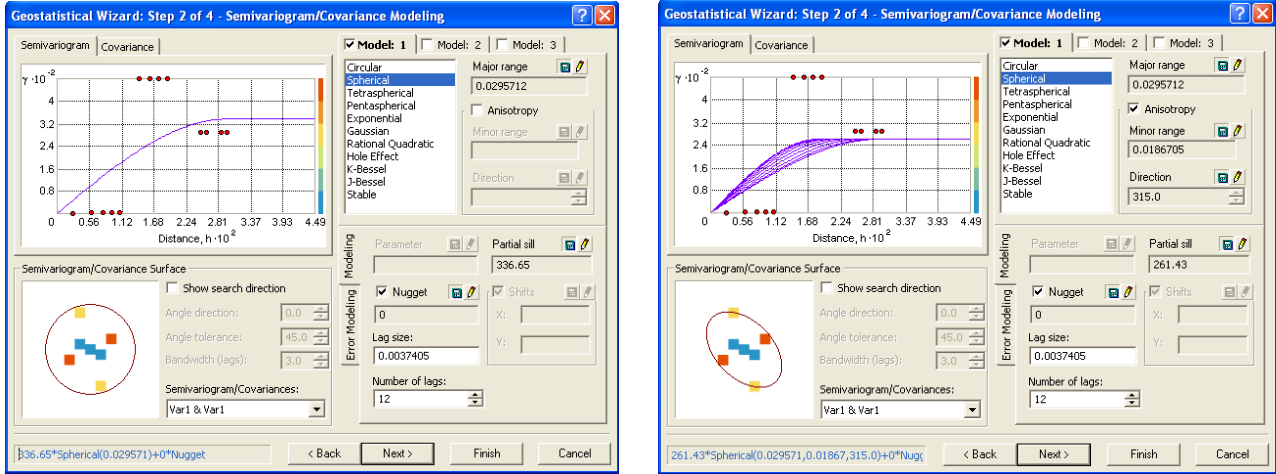
SO₂ kirletici parametresinin temmuz ayı ölçüm değerlerinden kriging ve ters ağırlıklı uzaklık yöntemiyle oluşturulan dağılım grafikleri karşılaştırma yapmak amacıyla Şekil 10' da verilmiştir. Bu noktadan hareketle ters ağırlıklı yöntemin lokal değişimlere daha duyarlı olduğu, spline yönteminin ise daha genel, sürekli ve genel trendi yansıtacak şekilde sonuçlar ürettiği görülmektedir. Konumsal bağımlılıkları ve olasılıklarını dikkate alan kriging yönteminin bu iki yöntemden ayrıldığı ve çevresel çalışmalarda diğer kirletici parametrelerin etkilerini yorumlamaya açık sonuçlar ürettiği görülmektedir.



Şekil 10: SO₂ Temmuz kirlenme verilerinin ters ağırlıklı uzaklık (solda) ve kriging (sağda) yöntemi ile oluşturulan eğri grafikleri

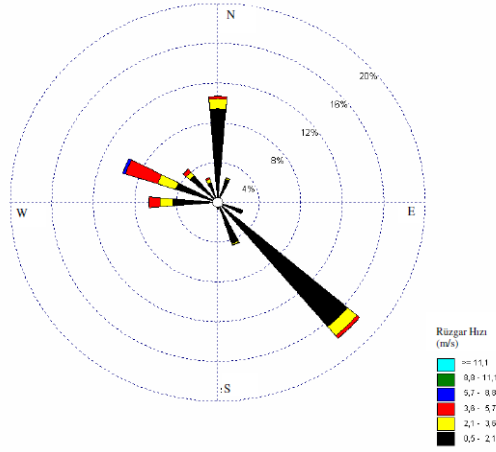
Genel olarak kriging yöntemi, ara değer kestiriminde ağırlık belirlerken basit uzaklık yaklaşımı yerine konumsal yapıya dayalı bir algoritma kullandığı için diğer deterministik enterpolasyon yöntemlerine nazaran daha gelişmiş bir yöntemdir. Ayrıca gözlem noktalarının az sayıda olduğu çevresel uygulamalarda daha iyi bir kestirim yöntemi olarak tercih edilebilir.

Kirlenme parametrelerinin yönsel bir eğilim gösterip göstermediği, eşyönlü olmayan (anizotrop) bir yapıya sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla deneysel varyogramlar incelenmiştir. PM₁₀ Haziran verilerinde Şekil 11'de görüldüğü gibi kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda bu parametreye ait bir bağımlılık olduğu ortaya çıkmıştır. Deneysel varyogramın yönsel değişim göstermesinin sebebi bölgeye ait meteorolojik parametrelerle açıklanabilir. Genel olarak Marmara Bölgesi ve Kocaeli ili bazında rüzgar sistemleri incelendiğinde ise, deneysel varyogramda belirlenen yönde hakim rüzgarların olduğu görülmektedir. Şekil 12-13'te Kocaeli ve ilçelerindeki ölçüm istasyonlarında ölçülen geçmiş yıllara ait "rüzgar gülü" verileri gösterilmiştir.

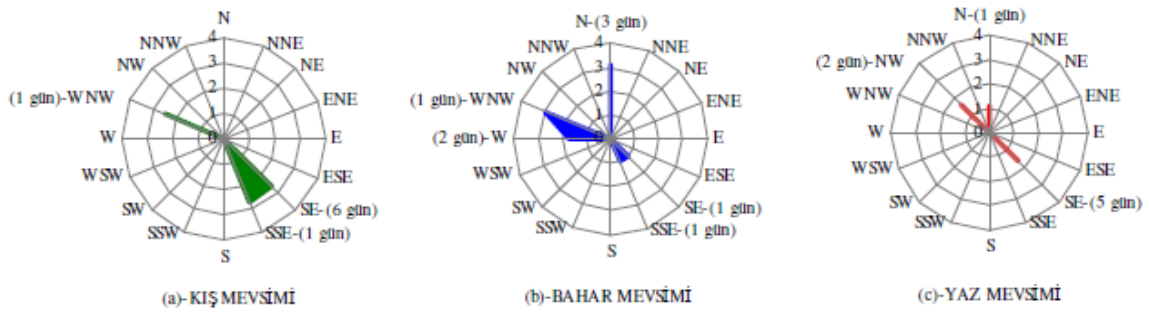


Şekil 11: PM₁₀ Haziran verilerine ait deneysel varyogram grafiği ve anizotropi

Güncel meteorolojik veriler incelendiğinde; Şekil 12-13'te gösterilen geçmiş yıllara ait rüzgar gülü verileri ile güncel değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu ve benzerlikler gösterdiği saptanmıştır.

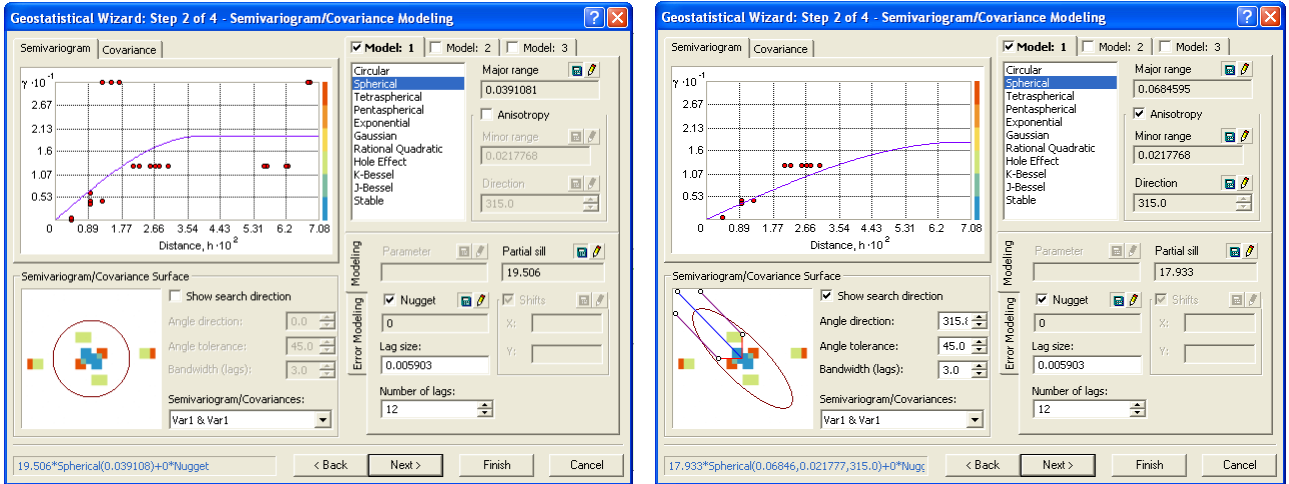


Şekil 12: 2002 yılına ait rüzgar gülü. (Çetin,2006)

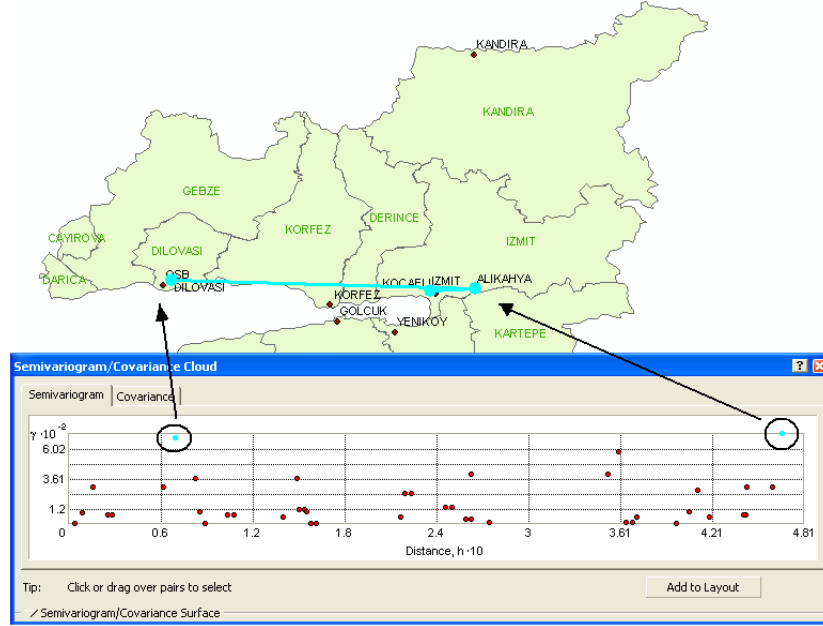


Şekil 13: Yahya Kaptan ilçesine ait rüzgar gülü (28.12.2005 ile 04.01.2006 tarihleri arasında) (Çetin,2006)

Benzer biçimde NO₂ 'nin ağustos ayı ölçüm değerleriyle oluşturulan deneysel varyogramda aynı doğrultuda anizotropi ortaya çıkmıştır. Aynı yönde bulunan ana karayolu güzergahında motorlu taşıtlarda yakıtların yanması nedeniyle böyle bir eğilimin ortaya çıktığı düşünülebilir. (Şekil 14)



Şekil 14: NO₂ Ağustos verilerine ait deneysel varyogram grafiği ve anizotropi



Şekil 15: PM10 Temmuz verileri varyogramı analizi

3. TARTIŞMA SONUÇ

Hava kalitesinin konumsal ve zamansal analizinin yapılmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanan çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmada da belirtilen kapsamda olmak üzere, CBS tekniği ile hava kirliliği parametrelerine ilişkin konumsal örüntülerin belirlenerek mekansal kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuş ve istasyon bazındaki istatistikler dinamik haritalama ile değerlendirilmiştir. Hava kirlleticilerin konumsal değişkenlikleri ile konumsal bağımlılık ilişkileri incelenmiş ve bulgular yorumlanmıştır. Kirlenici parametre konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri araştırılmış ve trend grafikleri yardımıyla analizler yapılmıştır.

Konumsal Analiz yöntemlerinden Ordinary Kriging, Ters Ağırlıklı Mesafe yöntemi ve Spline yöntemleri hava kirliliği parametrelerine uygulanarak hava kirliliği dağılım haritaları elde edilmiştir. Ters Ağırlıklı Mesafe yönteminde yöntemin ana karakterine uygun olarak dayanak noktaları etrafında kestirilen yüzey değerlerinin birbirine yaklaşık eşit olmasından kaynaklanan lokal değerlere duyarlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Spline yönteminde ise ters ağırlıklı mesafe yöntemine zıt olarak hava kirliliği parametrelerinin devamlı ve genel trendlerini gösteren sonuçlar üretilmiştir. Ordinary Kriging yönteminde varyogramlarla belirlenen konumsal bağımlılıklar ve olasılıklar dikkate alınarak elde edilmesinden dolayı dağılım haritalarının en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Kirlilik parametreleri arasında yönsel bir eğilim olup olmadığı varyogramlar incelenerek araştırılmış ve PM₁₀ Haziran ve NO₂ Ağustos verileri arasında bir yönsel eğilim (anizotropi) olduğu tespit edilmiştir. Bu anizotropinin sebebinin neler olabileceği araştırılmış ve meteorolojik parametrelerden rüzgar yönünün Kocaeli iline ait rüzgar gülleri incelenerek bu anizotropinin oluşmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada hava kalitesi yönetimi gibi kompleks çevresel analizlerde kirlilik dağılım haritalarını oluşturulmasında CBS yaklaşımının yararlılığı ve sağladığı avantajlar ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- Aktaş, S., Yılmaz, O. Y.**, 2013. *Meşcere Taslak Haritalarının Mekansal Tahmin Yöntemleri ile Üretilmesi*, Sayı: 62-2, 129-144.
- Akyürek, Ö.**, 2012. *Trabzon Kent Merkezi İçin Hava Kirliliği İle Meteorolojik Koşullar Arasındaki İlişkinin 2006-2011 Arası Verilerine Dayalı Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Chattopadhyay, S., Gupta, S., Saha, R. N.**, 2010, *Spatial and Temporal Variation of Urban Air Quality: A GIS Approach*, Journal of Environmental Protection, Sayı: 10-1, 264-277.
- Çetin, Ş.**, 2006. *Kocaeli İlinde NO_x Emisyon Dağılımlarının Modellenmesi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çolak, H. E.**, 2010. *Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Kanser Vakalarının Konumsal Analizleri*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gümrükçüoğlu, M., Soylu, S.**, 2011. *Adapazarı'nda Isınma Kaynaklı Hava Kirliliğinin İncelenmesi*, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 31 Ekim – 04 Kasım, Antalya, Türkiye.
- İlek, F., Elbir, T.**, 2012. *İzmir Körfezi'nde Toplu Taşım Yapan Deniz Taşıtlarından Kaynaklanan Hava Kirleticilerin Kent Atmosferindeki Dağılımlarının EPA-ISCST3 Modeli ile Belirlenmesi*, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, Sayı: 12-1, 2-9.
- İnal, C., Yiğit, C. Ö.**, 2003. *Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği*, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül, Konya, Türkiye.
- Karaca, F.**, 2012. *İstanbul'un Tarihi Yarımadası'nda BTEK Yüzey Yayılım Profilinin Araştırılması*, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, Sayı: 12-1, 53-65.
- Li, S., Song, S., Fei, X.**, 2011. *Spatial Characteristics of Air Pollution in the Main City Area of Chengdu, China*, 19th International Conference on Geoinformatics, 24-26 June, Shanghai, China.
- Özaslan, Ü.**, 2008. *Kocaeli Kentinde Hava Kirliliğine Neden Olan İnorganik Gaz Kirleticilerinin Düzeylerinin, Dağılımlarının ve Kaynaklarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özdemir, F.**, 2008. *Türkiye Genelinde Kükürt Dioksit Ve Partiküler Madde Kirlilik Dağılımlarının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tayanç, M.**, 2000. *An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over Istanbul, Turkey*, Environmental Pollution, Sayı: 00-107, 61-69.
- Tayanç, M., Berçin, A.**, 2007. *SO₂ modeling in İzmit Gulf, Turkey during winter of 1997: 3 cases*, Environ Model Assess, Sayı: 07-12, 119-129.