

# MEKANSAL ANALİZ İÇİN JEOİSTATİSTİK YAKLAŞIM

E. Sertel, H. Demirel, S. Kaya

İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, 34469 Maslak İstanbul, Türkiye –  
(elifsertel, hdemirel, skaya@ins.itu.edu.tr)

**ANAHTAR KELİMELER:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Kalite, Jeoistatistik, Çevre, Doğal Afetler

## ÖZET:

Mekansal dağılıma bağlı olan çok disiplinli karar-verme sistemlerinde, çevre yönetimi, yer bilimleri, ulaşırma gibi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) sıklıkla kullanılmaya başlanmış, günümüzde mekansal verilerin bütünleştirilmesi, modellenmesi, analizi ve sunulması için standart hale gelmiştir. Farklı disiplinlerin uzmanlığına ihtiyaç duyan sistemlerin ortak noktası, maliyetlerin fazlalığı ve ölçme tekniğine bağlı olarak sınırlı sayıda, tüm çalışma bölgesine dağılmış örneklerden tüm proje alanı için bir model oluşturup karar-vericilere destek olmaktır. Bu disiplinler arası çalışmalarda genellikle kullanılan tüm veriler ve modeller belirli bir doğruluk derecesine sahip olarak kabul edilirken, mekansal verilerin dünya gerçeğini tam ve doğru olarak temsil ettiği düşünülmektedir. Fakat mekansal veriler konumsal, topolojik ve konumsal olmayan özniteliklerinde belirsizlik içermektedir. Jeoistatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin ortak kullanımı bu belirsizliklerin derecesini ortaya koyup, karar vericilere güvenilir sonuçlar sunabilmektedir. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve jeoistatistiğin mekansal analizlerde karar vericilere sunduğu olanaklar iki farklı uygulamada sunulmuştur. Birinci uygulamada, 1999 yılında meydana gelen İzmit depreminin Adapazarı şehir merkezinde meydana getirdiği ağır hasarlı alanları tespit edebilmek amacıyla semivariyogram yaklaşımı kullanılmıştır. İkinci uygulamada ise, İstanbul ili Avrupa yakasında yersel hava kalitesi ölçme istasyonlarından Ocak 2003-Aralık 2006 tarihleri arasında elde edilen ölçme değerleri kullanılarak, Avrupa yakasına ait hava kalitesi bilgileri üretilmiştir. Öncelikle, bu tarihler arasındaki zaman serileri oluşturularak, CO, SO<sub>2</sub> ve askıda katı madde parametrelerinin zamana bağlı davranışları ve periyodiklikleri analiz edilmiştir. Zaman serileri yardımıyla seçilen Ocak-2005 ve Ağustos-2005 tarihleri için ise istasyonlardan temin edilen değerler kullanılarak tüm Avrupa yakası üzerinde bu değerlerin ne olabileceği kriging yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar tartışılmış ve yöntemlerin avantajları ortaya konulmuştur.

**KEYWORDS:** Geographic Information Systems (GIS), Quality, Geo-statistics, Environment, Natural Disasters

## ABSTRACT:

Spatial decision making systems have been widely used in interdisciplinary studies such as environmental management, earth sciences, transport, where data integration, modelling, analyses and presentation of spatial data via GIS is becoming the standard approach. These systems, requiring varying skills, expertise and knowledge have a common approach, being the data collection process. The data required is not collected for the whole study area, instead taking samples representing the study area is followed as the data collecting process, due to measurement technique and high costs. Frequently, the spatial data are considered to be near perfect representations of the real world, where other data and models are accepted to have a certain degree of uncertainty and errors. However, spatial data and associated attributes contain uncertainties. The integrated usage of geostatistics and GIS aids to assess the level of uncertainty and provide opportunities to decision-makers for making informed and reliable decisions. Two different applications were demonstrated to emphasize the integrated usage of GIS and geostatistics. In our first case study, semivariogram analysis method was used to determine the heavy damaged areas at the İzmit earthquake in Adapazarı inner city. In the second case study, air quality parameters of the European side of the İstanbul Metropolitan area were evaluated by means of geostatistics. For assessing the uncertainty and accuracy; time series plots and comparison of predicted and observed concentrations of parameters for each monitoring station were produced. For mapping the air pollution levels, kriging method was used. The obtained results were discussed and possible advantages of this common approach were presented.

## 1. GİRİŞ

Karmaşık problemleri anlamak ve problemlerin çözümüne yönelik karar verebilmek için mekansal dağılımları incelemek pek çok farklı disiplinde – sağlık, çevre, jeoloji, ormancılık, ulaşırma vd.- ana sorulardan biri haline gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarının çeşitliliği, fiyatlarının alternatif sistemlere göre uygunluğu ve geliştirilen basit arayüzler sayesinde mekansal analizler pek çok disiplinde ve disiplinler arası çalışmada sıklıkla kullanılmaktadır. Bu disiplinler arası çalışmalarda genellikle kullanılan tüm veriler ve modeller belirli bir doğruluk derecesine sahip olarak kabul edilirken, mekansal verilerin dünya gerçeğini tam ve doğru olarak temsil ettiği düşünülmektedir. Fakat mekansal veriler konumsal, topolojik ve konumsal olmayan özniteliklerinde belirsizlik içermektedir.

Modellerde kullanılan mekansal verilerde bulunan belirsizlikler ve aralarındaki ilişkiler alınan kararları olumsuz yönde etkilemektedir. Karar vericilere destek amacı taşıyan bu sistemlerde güvenilirliğin artırılması için belirsizliklerin ortaya konması gereklidir. Jeoistatistik, ölçmelere ve diğer ilgili verilere dayanarak, tahminlerin doğruluğunun bilindiği çözümler sunmaktadır.[Burrough, 2002] Jeoistatistik, noktalara dayalı mekansal analizlerde sıklıkla kullanılmakta mekansal karar verme sistemlerinde farklı tipteki (noktasal, çizgisel, alansal) verilerin entegrasyonunda hataları bilinen güvenilir yöntemler sunmaktadır. Çevre yönetimi, hava kirliliği, afet yönetimi gibi sistemlerin temel verileri, tüm çalışma bölgesine dağılmış sınırlı sayıda örnek nokta/alandan oluşmaktadır. Bu nokta/alanlardan tüm çalışma bölgesi için çeşitli interpolasyon yöntemleri ile veriler üretilmektedir. Son yıllarda buna benzer

çalışmalarda jeoistatistik kullanılmaktadır. Kullanılan bu yaklaşımla, yeni değerlerin doğruluğu hakkında bilgi elde edilmektedir. Aynı zamanda örnekleme noktaları için optimum dağılım, hataların belirlenmesi ve yayılması ile ilgili bilgileri elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama ve jeoistatistiğin mekansal analizlerde karar vericilere sunduğu olanaklar iki farklı uygulamada sunulmuştur. Birinci uygulamada 1999 yılında meydana gelen İzmit depreminin Adapazarı şehir merkezinde meydana getirdiği ağır hasarlı alanları tespit edebilmek amacıyla semivariyogram yaklaşımı kullanılmıştır (Saroğlu ve Kaya, 2005) Deprem öncesi ve deprem sonrası elde edilmiş uydu görüntü verilerinden belirlenen kesitler için semivariyogramlar hesaplanarak, değişimin çok olduğu bölgeler semiyogram parametreleri ile ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Sonuçlar Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün yersel çalışmalarla oluşturduğu hasar haritası ile kıyaslanarak, semivariyogramların deprem nedeniyle meydana gelen ağır hasarlı alanları tespit edebilmekteki kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. İkinci uygulamada ise, İstanbul ili Avrupa yakasında yersel hava kalitesi ölçme istasyonlarından Ocak 2003-Aralık 2006 tarihleri arasında elde edilen ölçme değerleri kullanılarak, Avrupa yakasına ait hava kalitesi bilgileri üretilmiştir. (Sertel vd, 2007) Öncelikle, bu tarihler arasındaki zaman serileri oluşturularak, CO, SO<sub>2</sub> ve askıda katı madde parametrelerinin zamana bağlı davranışları ve periyodiklikleri analiz edilmiştir. Zaman serileri yardımıyla seçilen ve sürekli veriye sahip olan Ocak-2005 ve Ağustos-2005 tarihleri için ise istasyonlardan temin edilen değerler kullanılarak tüm Avrupa yakası üzerinde bu değerlerin ne olabileceği kriging yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Semivariyogramlar, jeoistatistiğin temel anahtarı olup, ilk uygulamada semivariyogramların bir afet bölgesinde ağır hasarlı alanların tespitinde kullanılabilmesi gösterilmiştir. Kriging yöntemi ise, jeoistatistikte yaygın olarak kullanılan bir interpolasyon yöntemi olup, ikinci uygulamada bu yöntemin hava kalitesi çalışmaları için kullanılabilirliği ortaya koyulmuştur. Çalışmanın sonucunda jeoistatistiğin mekansal analiz ile kullanıldığında karar vericilere sağladığı avantajlar tartışılmıştır.

## 2. MEKANSAL ANALİZ VE JEOİSTATİSTİK

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), 1960'lı yıllardan beri otomatik harita yapımı ve mekansal verilerin yönetimi için kullanılmaktadır. Bu sınırlı kullanım, verileri depolama, saklama ve sunma yöntemlerinin gelişmesi doğrultusunda artırılmıştır ve veri altyapısının oluşturulması işlemi tamamlanmıştır. Mekansal analizlerin gelişmesi 1990'lı yıllarda hız kazanmıştır. Goodchild (1991) tarafından yapılan tanıma göre mekansal analiz ve CBS arasındaki ilişki entegre, sıkıca bağlı ve ilişkilendirilmiş olarak ele alınabilir. Günümüzde ise karmaşık olmayan analizler için CBS yazılımlarında pek çok mekansal analiz yöntemi entegre edilmiş olarak bulunmaktadır. Jeoistatistik yöntemleride mekansal analiz çerçevesinde ele almak gereklidir. Bu yöntemlerin özeti Tablo 1.1'de bulunabilir (Bailey, 1998). Tablo'da veri yapıları konumsal veriler, öznelik verileri ve etkileşim halinde olan veriler şeklinde üçe ayrılmıştır. Konumsal veriler ilgilenilen olayların olduğu konumlardır. Bu verilere örnek trafik sisteminde kaza olan noktaların yerleri olarak verilebilir. Öznelik verileri bir nokta, çizgi ve grid ile mekansal olarak ilişkilendirilebilen değerler ve ölçülerdir. Etkileşim halinde olan veriler ise tek bir geometrik yapı ile ifade edilemeyen (nokta, çizgi, alan) nesnelere ifade etmektedir. Örnek olarak karayolu ağı kenarı (iki nokta ve bir

kenardan oluşmaktadır.) verilebilir. Tabloda tekil değişken olarak tanımlanan kolon tek bir patternin araştırıldığı, çoklu değişken ise değişkenler arası ilişkilerin tanımlanabildiği yapılarıdır. İkisi arasındaki fark, tekil değişkenlerin konuma bağlı olarak mekansal yapılarıdaki değişimleri incelemesi, etkileşimde olan tüm komşular aynı yapıyı izlemektedir. Çoklu değişkenlerde ise tüm değişkenler ayrı ayrı mekana ilişkilendirilebilir ve aralarındaki etkileşim karmaşık yapıdadır.

Veri Yapısı	Boyut	
	Tekil Değişken	Çoklu Değişken
Konumsal veriler	En yakın komşuluk K- Fonksiyonları	Bivariyant K Fonksiyonları Mekan Zaman Etkileşimi
	Kernel yoğunluk tahmini Kernel regresyon Bayesian Smoothing - ICM	Kernel yoğunluk tahmini uyarlaması Kernel regresyon Bayesian Smoothing - ICM
Öznelik verileri	Mekansal Otokorelasyon Mekansal Korelogram Variogramlar	Çok değişkenli Mekansal Korelasyon
	Yüzey trend analizi Kriging	Mekansal Regresyon Ko-kriging Mekansal - zamansal modeller
		Mekansal Linear Modelleme
Etkileşim verileri	Mekansal Etkileşim Yöntemleri	Mekansal Etkileşim Modelleri - Augmented

Tablo 1.1 CBS'de mekansal analiz için bazı jeoistatistik teknikler (Bailey, 1998).

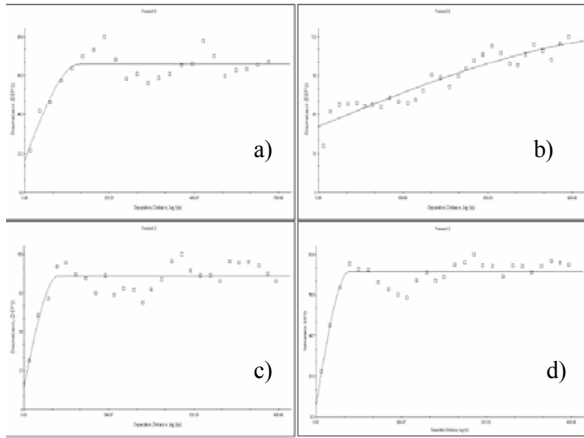
Burada yöntemler detayları ile incelenmeyecek, sadece Coğrafi Bilgi Sistemleri, uzaktan algılama ve jeoistatistik yöntemlerin ortak kullanımının avantajlarına değinilecektir. Avantajlar; i)ham ve işlenmiş veriyi konum ile ilişkilendirerek görselleştirme, ii)örnekleme verinin optimum şekilde ve tüm alanı kapsayarak elde edilmesi, iii)örnek verilerden yola çıkarak tüm verilerin konuma bağlı olarak doğruluk bilgilerini de içerecek şekilde ilişkilendirilmesi, iv)veri yapısı ve ilişkilerin incelenmesi için analizler, v)iki boyutlu, üç boyutlu ve zaman ilişkin verilerin görselleştirilmesi ve sunulması, vi)eksik ve yaklaşık değerlerin elde edilmesi için tekniklerin geliştirilmesi, vii)mekansal işlemlerdeki hataların izlenmesi ve viii)tam olarak anlaşılmanın olmayışları için etkileşimlerin anlaşılması olarak özetlenebilir.

## 3. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Avantajların daha detaylı incelenmesi ve karar vericilere sağladıkları olanaklar iki farklı örnek ile bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Birinci örnekte dünyanın önemli aktif faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin da oluşan 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde meydana gelen ağır hasarlı alanların belirlenmesi sırasında semivariyogram kullanılmıştır. (Saroğlu ve Kaya, 2005) Sürekli değişen olguların konumsal bağımlılığının ölçülmesini sağlayan bölgesel değişkenler teorisi, jeoistatistikte kullanılan çok önemli bir araçtır. Bölgesel değişkenler teorisinin anahtarı semivariyogramdır. Variyogram bölgesel değişkenlerin (zaman ya da uzaydaki konumu bilinen rastgele değişken) konumsal değişimini ifade eder ve uzaktan algılanmış verilerin bağımlılığını ifade etmek için kullanılmaktadır (Curran, 1988, Armstrong, 1998, Curran ve Atkinson, 1998, Burrough, 2002). Çalışmada ağır hasarlı alanların belirlenmesi amacı ile deprem bölgesini temsil eden 24 tane kesitin deprem öncesi ve deprem sonrası semivariyogramları çizilmiştir. Kesitler yerine gridler veya farklı bölümlendirme yöntemleri de kullanılabilir. Semivariyogram parametreleri ve deprem kaynaklı ağır hasarlı

alanlar arasında ilişkiyi kurabilmek amacı ile deprem öncesi ve deprem sonrası SPOT HRVIR PAN verilerinden oluşturulan semivariyogramlar arasındaki farklılıklar incelenmiş ve semivariyogram sonucu bulunan parametreler yorumlanmıştır. Kesitlere ait deprem öncesi ve deprem sonrası parlaklık değerleri çıkartılarak; görüntü verileri, semivariyogram analizi için hazır hale getirilmiştir. Aralık değerleri 30m olarak belirlenmiştir. Deprem öncesi ve deprem sonrasına ait semivariyogram parametreleri arasında önemli farklar tespit edilmiştir. (Şekil 1.1.) Şekilde a ve c seçenekleri deprem öncesi, b ve d deprem sonrası görüntülerden alınan kesitlerdir. a ve b aynı kesite ait deprem öncesi ve deprem sonrası görüntülerden elde edilmiştir. Bu kesitte deprem sonrası ağır hasar olduğu bulunmuştur. c ve d hasarın olmadığı aynı kesite ait farklı görüntülerden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar: i) ağır hasarın olduğu kesitlerde deprem öncesi ve sonrasına ait semivariyogramların şekilleri, menzil, eşik ve nugget değerleri büyük farklılıklar gösterirken, ağır hasarın olmadığı alanlarda semivariyogram şekilleri ve belirtilen parametre değerleri birbirine benzer çıkmıştır, ii) yıkılan binalar, yollar ve köprüler nedeni ile deprem sonrası çalışma alanının yüzeyi daha heterojen hale gelmiştir ve menzil değerlerinden elde edilen sonuçlar bu durumu doğrulamaktadır, iii) verilerin süreksizliği hakkında bilgi edinilmiştir ve ağır hasarların olduğu alanlarda süreksizliğin arttığı gözlemlenmiştir, (iv) depremin en çok etkilediği hatlar bulunmuştur (v) semivariyogram yöntemi ile elde edilen sonuçlar hasar haritası ile karşılaştırılmış ve bu yöntemin deprem nedeniyle meydana gelen ağır hasarlı alanları tespit etmede kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

Jeoistatistik yöntemler ve uzaktan algılama teknikleri kullanarak karar vericiler deprem gibi doğal afetlerde kısa zaman içerisinde ve bölgeye ulaşımın kısıtlı olduğu durumlarda problemi tanımlayabilir ve öncelikleri belirleyebilir. CBS ve mekansal analizler yardımı ile öznel bilgileri ilişkilendirilerek (hasarlı kesitteki gece-gündüz nüfusu, önemli bina ve yapılara olan mesafeler vd.) sağlıklı, güvenilir kararları hızla alabilirler.

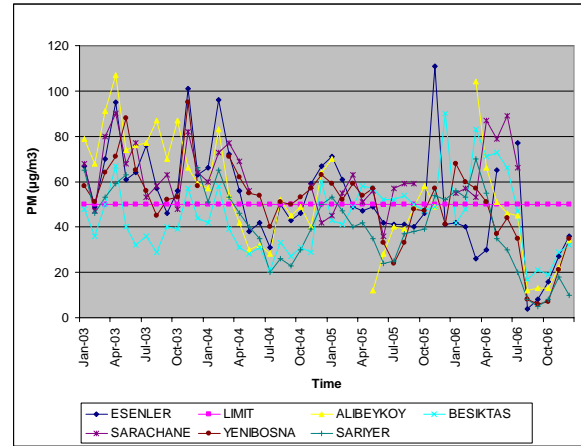


Şekil 1.1. İki farklı kesite ait semivariyogramlar

İkinci örnek ise İstanbul Metropolitan alanında gerçekleştirilen hava kalitesi ölçümlerinin ulaştırma sistemleri ile ilişkilendirilmesi ve ulaştırmadan kaynaklı hava kirliliği analizlerinin yapılması hedeflenmiştir (Sertel vd, 2007). İstanbul'da ulaştırmadan kaynaklı emisyon değerlerinde hızlı artış gözlenmiş, yapılan araştırmalarda 1990 ve 2000 yılları arasında CO, SO<sub>2</sub> ve insan sağlığına çok zararlı partiküler maddelerdeki artış sırası ile 50.1%, 55.7% ve 82.5% olarak tespit edilmiştir. (Becin, 2002) Çoklu-değişken teknikleri çalışma amacına uygun olmasına rağmen, hava kalitesi ölçüm

istasyonlarının sık olmaması sebebi ile kullanılmamakta, hava kalitesi verileri için kriging yöntemi önerilmektedir. (Sampson ve Guttorp, 1999; Shaddick ve Wakeeld, 2002; Diem ve Comrie, 2002, Nunnari vd., 2004, Potoglou ve Kanaroglou, 2005). Çalışma kapsamında hava kalitesi ölçümleri için zaman serileri ve kriging yöntemi mekansal analizler ile bütünleştirilmiştir. Zamansal analizler İstanbul Avrupa yakasında seçilen 6 istasyondan hava kalitesi emisyon parametreleri günlük olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi web-sayfalarından (IBB, 2007) 2003 ve 2006 yılları için elde edilmiştir. Burada hedeflenen her bir parametrenin zaman içerisindeki davranış yapısını anlayabilmek ve kriging testleri için en uygun zamanı bulabilmektedir. Partiküler maddeler için elde edilmiş sonuçlar Şekil 1.2'de sunulmuştur. Limit değer olarak Avrupa Birliği tarafından ilan edilen 50µg/m<sup>3</sup> alınmıştır. Elde edilen verilere göre kış aylarında tüm parametreler sınır değerlerini aşarken, ulaştırma ile direkt ilişkilendirilebilecek yaz aylarında emisyon değerleri CO, SO<sub>2</sub> için sınırların altında, partiküler maddeler için bazı istasyonlarda halen sınır değerleri üzerindedir. Uzaktan algılama verileri ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak istasyonların etki alanlarındaki arazi kullanım değerleri belirlenmiş ve ulaştırma altyapısı (hava alanı, otobüs terminali, karayoluna olan mesafe) ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca her istasyon için doğruluk istatistikleri çıkartılmıştır.

Kriging haritaları üretmek için, verilerin sürekli olduğu Ocak ve Haziran 2005 tarihleri seçilmiştir. Ölçme istasyonlarının dağılımının kriging yöntemine olan etkisini araştırmak ve arazi kullanımının ölçme istasyonu seçimindeki rolünü belirlemek amacı ile 5 noktadan farklı kombinasyonlar ile kriging haritaları üretilmiştir. Yapay alanlarının en az olduğu Sarıyer bölgesi göz önüne alınmadığında elde edilen haritalarda fazla değişiklik olmazken, yapılaşmanın yoğun olduğu istasyon Alibeyköy göz önüne alınmadığında haritaların tamamen değiştiği görülmüştür. Enterpolasyon ile elde edilen tüm değerler için doğruluklar bilinmektedir.



Şekil 1.2. 2003-2006 senelerinde partiküler madde davranışları

Jeoistatistik yöntemler ve mekansal analizlerin birleştirilmesi sonucunda karar-vericiler örnekleme istasyonlarının sıklığı, dağılımı ve etkisi üzerine karar verebilir, ulaştırma ve hava kirliliği etkileşimini analiz edebilirler. Geoistatistik aynı zamanda kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda farklı veriler kullanarak, örneğin zaman bağlı veriler, daha güvenilir verileri karar-vericilerin kullanımına sunabilir. Ayrıca jeoistatistik, ulaştırmadan kaynaklı hava kirliliği analizinde çok sık kullanılan pek çok modele doğru ve güvenilir veri sağlayabilir.

#### 4. SONUÇ

Karar vericilere destek amacı taşıyan bu sistemlerde güvenilirliğin artırılması için belirsizliklerin ortaya konması gereklidir. Farklı disiplinler tarafından CBS'nin kullanımı sınırlı olup, genellikle mekansal verilerin sayısallaştırılmasını, modellenmesini ve mekansal analizlerde kullanılmasını içermektedir. Semivariyogramlar, jeostatistiğin temel anahtarı olup, ilk uygulamada semivariyogramların bir afet bölgesinde ağır hasarlı alanların tespitinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Zaman serileri ve kriging yöntemi ise, jeostatistikte yaygın olarak kullanılan bir interpolasyon yöntemi olup, ikinci uygulamamızda bu yöntemin hava kalitesi çalışmaları için kullanılabilirliği ortaya koyulmuştur. Araştırmalar sonucu elde edilen sonuçlar her iki dinamik sistemde de mekansal veri kalitesi ve jeostatistiksel bilgilere ihtiyaç olduğunu ve CBS, jeostatistik, mekansal analiz yardımı ile karmaşık ilişkilerin belirlenebileceğini ve sunulabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar karar-vericilere mekansal analizlerin doğruluğu, kullanılan modellerin etkileri ve zamana ve mekana bağlı değişim hakkında bilgiler sunmaktadır. Hızlı, güvenilir ve anlaşılabilir (ölçülebilir) kararları destekleyebilmek için mekansal analiz, jeostatistik ve CBS ortak olarak kullanılmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- Armstrong, M., 1998. *Basic Linear geostatistics*, Springer, Germany
- Bailey, T.C., 1998. A review of statistical spatial analysis in geographical information systems, *in Spatial Analysis and GIS*, Fotheringham, S., Rogerson, P., Taylor & Francis, pp.13-45
- Becin, A., 2002. Environmental impacts of urban transport, MSc. thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Burrough, P.A., 2002, GIS and Geostatistics for Environmental Modelling, *in Spatial Data Quality*, Shi, W., Fisher, P.F., Goodchild, M.F., Taylor & Francis, pp. 18-35
- Curran, P. J., 1988. The Semi-variogram in Remote Sensing: An Introduction, *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 493-507
- Curran, P. J., and Atkinson, P. M., 1998. Geostatistics and Remote Sensing, *Progress in Physical Geography*, 22, 1, pp.61-78
- Diem, J.E., Comrie, A.C., 2002. Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations, *Environmental Pollution*, 119, pp. 99-117.
- Goodchild, M.F., 1991, Progress on GIS research agenda, in *Proceedings of the second European Conference on Geographical Information Systems*, Harts, J., Ottens, H.F.L. and Sholten, H.J. (Eds.), EGIS Foundation, Utrecht, Netherlands, pp.342-350
- Istanbul Metropolitan Municipality (IBB), 2006, *retrieved on July 10, 2006 from <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/HavaKalitesi/Olcum/>* (15 Mayıs 2007 tarihinde erişilmiştir.)
- Nunnari, G., Dorling, S., Schlink, U., Cawley, G., Foxall, R., Chatterton, T., 2004. Modelling SO2 concentration at a point

with statistical approaches. *Environmental Modelling & Software* 19, pp. 887-905.

Potoglou, D., Kanaroglou, P.S., 2005. Carbon monoxide emissions from passenger vehicles: predictive mapping with an application to Hamilton, Canada, *Transportation Research Part D* 10, pp. 97-109

Sampson, P.D., Guttorp, P., 1999. Operational Evaluation of Air Quality Models, NRCSE Technical Report Series, NRCSE-TRS No:018, pp. 1-22, ([http://www.stat.washington.edu/pdf/trs18\\_aqmodels.pdf](http://www.stat.washington.edu/pdf/trs18_aqmodels.pdf) (15 Mayıs 2007 tarihinde erişilmiştir.)

Saroglu, E, Kaya, S., 2005, Depremin neden olduğu ağır hasarların uydu görüntü verileri ve semivariogram ile analizi, *Bilimde modern Yöntemler sempozyumu BMYS*, 16-18 Kasım, 721-730

Shaddick, G., Wakeeld, J., 2002. Modelling daily multivariate pollutant data at multiple sites, *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* 51, pp. 509- 511.

Sertel, E., Demirel, H., Kaya, S., 2007, Predictive mapping of air pollutants: A spatial approach, *Proceedings of Spatial Data Quality 2007, the Netherlands*, (basım aşamasındadır.)