



The importance of geostatistics in psychical geography

Fiziki coğrafyada jeoistatistiğin önemi

Olgu Aydın¹
Necla Türkoğlu²
İhsan Çiçek³

Abstract

Geostatistic in geographical science is an important method used to consistently determine the spatial variation of an event. Geostatistics look at where the geographical variables take place, i.e. the location, the spatial interaction and the effects of geographical variables affecting the distribution of variables at the location. In short, geostatistics are interested in the spatial organization of the related research subject. Therefore, it has an important place in the geographical study of events that occurred in geographical space with the aid of geostatistical techniques. The aim of this study is to provide a general look at the basic concepts and techniques of geostatistics as a part of applications to physical geography studies using a case study.

Keywords: Geography variable; geographical location; spatial interaction; physical geography; geostatistics

[\(Extended English abstract is at the end of this document\)](#)

Özet

Coğrafya biliminde jeoistatistik, bir olayın mekânsal değişkenliğini tutarlı bir şekilde ortaya koyabilmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Jeoistatistik, coğrafi değişkenlerin nerede yer aldığı, yani lokasyonu, değişkenlerin mekânsal etkileşimi ve değişkenlerin bulunduğu alanda dağılımlarını belirleyen diğer coğrafi değişkenlerin etkilerini inceler. Kısaca jeoistatistik, ilgili olduğu konuya ait sistemin mekânsal organizasyonu ile ilgilenmektedir. Bu nedenle coğrafi mekânda meydana gelen olayların jeoistatistik teknikleri yardımıyla araştırılması coğrafya çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmanın amacı jeoistatistik tekniklerini fiziki coğrafya uygulamaları açısından kısa bir literatür dâhilinde gözden geçirerek, temel kavram ve teknikler açısından genel bir bakış açısı sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi değişken; coğrafi mekân; mekânsal etkileşim; fiziki coğrafya; jeoistatistik

¹ Ph.D., Asst. Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, oydin@ankara.edu.tr

² Ph.D., Assoc. Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, nturkoglu@ankara.edu.tr

³ Ph.D., Prof., Ankara University, Faculty of Humanities, Department of Geography, Ihsan.Cicek@ankara.edu.tr

1. Giriş

Mekânsal veri analizi içerisinde farklı bir metodoloji olan jeoistatistik, çeşitli araçları ve modelleme tekniklerini içermektedir. Jeoistatistik, uygulamalı bilim üzerine çalışan araştırmacılar ve matematikçiler tarafından geliştirilmiştir. Verinin nokta veya küçük düzenli alanlar üzerine olduğu jeoistatistiğin, çevre bilimleri, yer bilimleri ve bu gibi çeşitli bilimlerin çalışmalarında uygulanan uzun bir geçmişi vardır. Jeoistatistik, beşeri coğrafyadan çok fiziki coğrafya alanında yaygın bir kullanıma sahiptir. Öznitelik değerlerinin bir bölgede her yerde tanımlanmış olmaması yani veri değerlerinin düzensiz mekânsal birimler için tanımlanmış olmasından dolayı, beşeri coğrafyacılar tarafından jeoistatistik yöntemlerine çok az ilgi duyulmuştur. Jeoistatistik bugün büyük, düzenli veya düzensiz olabilen alansal veriler üzerinde de uygulanabilmektedir. Bir alanda mevcut değişkene ait dağılım haritası oluşturmak, değişken hakkında doğru ölçüm ve güvenilir analizler yapmayı gerektirmektedir. Çünkü coğrafi değişkenler yalnızca mevsimsel olarak değil birkaç saniye içinde de değişim gösterebilmektedir. Örneğin, bitki ve hayvan türleri gibi coğrafi değişkenlerin ölçümlerini yapabilmek oldukça zordur. Genellikle bu türler sık sık ölçülemezler ve özellikle hayvan türleri buldukları lokasyonlarda tahmin edilemez yönlere ve tahmin edilemez mekânsal paternlere doğru değişim gösterirler. Jeoistatistik teknikleri yardımıyla bireylerin dağılımı haritalanabilir ve hayvan türleri yoğunluk ve kütle ölçümleri kullanılarak gösterilebilirler. Diğer taraftan bitki örtüsü haritalarında bitki oluşumunun en yaygın gözlemlenen alanları (0'dan %100 arası) kayıt edilerek gösterilebilmektedirler. Türlerin zamansal dağılımını haritalamak için biyoloji uzmanları, mutlak türler için ekolojik şartları tanımlamada istatistiksel modelleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Habitat haritalama olarak ifade edilen bu tür modeller jeoistatistik yöntemlerle ele alınabilmektedir (Latimer, vd., 2004; Antoni'c, vd., 2005). Zhou vd. (2007) yaptıkları bir bibliyografik araştırmaya göre, jeoistatistiğin en çok kullanılan on alanı (çok sayıda araştırma makalelerine göre) yerbilimi, su kaynakları ve klimatoloji, çevre bilimi, tarım/toprak bilimi, matematik ve istatistik, ekoloji, mühendislik, petrol mühendisliği, gökbilimi olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle fiziki coğrafya çalışmalarını içine alan bu disiplinlerin araştırma konularında jeoistatistik temelli tekniklerin kullanımına son derece önem verilmektedir. Jeoistatistiğin kullanıldığı çok sayıda iklim çalışması bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar jeoistatistik yöntemlerini çalışma alanlarının yağış dağılımı haritalarını ortaya koymak için kullanmışlardır (Atkinson ve Llyod, 1998; Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005; Diadato, 2005; Moral, 2010; Di Piazza, vd., 2011; Silva ve Simões, 2014). Bazıları sıcaklık üzerine çalışmışlardır (Courault ve Monesties, 1999; Im, vd., 2009; Tveito ve Forland, 2010; Zhang, vd., 2011; Rohde, vd., 2013). Jeoistatistik temelli yer altı su analizleri üzerine de çok sayıda çalışma mevcuttur (Flipo, vd., 2007; Pratim, vd., 2010; Hossein, vd., 2013; Machiwal ve Jha, 2014). Biocoğrafya alanında gelişme gösteren jeoistatistik, pek çok araştırmada tür dağılımlarını ortaya

koymak ve örnek alınmamış noktalardaki belli türlerin belirlenebilmesinde kullanılmıştır (Maynou, vd., 1998; Roa ve Tapia, 2000; Petitgas, 2001; Rueda, 2001; P´erez-Castañeda ve Defeo, 2004; Phillips, vd., 2006; Elith ve Leathwick, 2009; Leathwick, vd., 2005; Leatwick, vd., 2006).

Jeoistatistiksel yöntemlerin kullanımı farklı bilimlerde özellikle coğrafyada giderek yaygınlaşmaktadır. Fakat Türkiye’de bu yöntemle yapılan çalışmalar son derece sınırlıdır. Özellikle fiziki coğrafyada dünya geneline kıyasla yok denecek kadar azdır. Bu çalışma jeoistatistik yöntemlerin fiziki coğrafyanın alt dallarında nasıl kullanılabileceğini ortaya koyması bakımından önemlidir.

2. Jeoistatistiğin amacı

Jeoistatistik yönteminde tüm değerlerin bir bağımlı değişken ile birlikte, tesadüfi bir sürecin sonucu olduğu varsayılır. Bu bir para örneğiyle açıklanabilir. 2 adet bir Türk lirası ile yapılan bu uygulamada 1. 1 Türk lirasını havaya üç kez atılıp yazı mı tura mı geldiği tespit edilir. Diğer 1 Türk lirası havaya atılmayıp, yazı mı tura mı olacağı aşağıda verilen kurala göre belirlenir: Eğer ikinci ve üçüncü ”yazı” gelmişse dördüncü birincinin tersi olacak, eğer ikinci ve üçüncü ”yazı” gelmemişse dördüncü birinciyle aynı olacaktır (Şekil 1).



Şekil 1. Bağımlılık kuralının gösterilmesi

Yazı-tura örneğinden de anlaşıldığı gibi dördüncü 1 TL bağımlılık kuralına göre belirlenmiştir. Ancak, gerçekte bağımlılık kuralı bilinmemektedir. Bu örnekten yola çıkarak jeoistatistiğin üç temel amacı olduğu söylenebilir. Bunlardan birincisi bağımlılık kuralının ortaya çıkarılmasıdır. Bu kural yarıvარიogram ve kovaryans fonksiyonlarından yararlanılarak hesap edilir. İkincisi, enterpolasyon ile tahminler yapmaktır. Tahminler, bağımlılık kuralının bilinmesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Jeoistatistiksel analizin temel aşamasını mekânsal modelin ortaya konulması oluşturmaktadır. Bu da bağımlılık kuralının bilinmesiyle mümkündür. Bağımlılık kuralına göre, çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktalardan tahminler oluşturulur. Üçüncüsü ise, tahminlerin doğruluklarının test edilmesidir.

Jeoistatistik uygulamaları bilgisayar programı tarafından yapılmış gibi gözükse de, bu konuyla ilgili çalışan uzmanların değerlendirmesi gereken çok sayıda işlem (doğrusal veya doğrusal olmayan modellerin kullanımının seçimi, mekânsal konumun olup olmadığını dikkate almak, orijinal verilerin dönüştürülüp dönüştürülmeyeceği veya kullanılıp kullanılmayacağı, çoklu bağlantıların olup olmadığını düşünmek vb. gibi) bulunmaktadır. Bu sebeple jeoistatistiğe uzman tabanlı bir sistem demek yanlış olmaz.

2.1. Jeostatistik tekniğinin açıklanması

2.1.1. Yarivariogram

Jeoistatistik analizler, mekânsal ilişkinin gözlenmesi veya varsayımı temeline dayanmaktadır. Birbirine yakın lokasyonlardan elde edilen ölçümler, birbirine uzak olanlara göre daha benzer sonuçlar verir. Yarivariogram/Kovaryans Bulutu, artan mesafe ile ilişkide meydana gelen değişimi ölçmede kullanılan en önemli araçtır. Yarivariogram bulutu mümkün olabilecek tüm gözlem çiftlerinin $(N(N - 1))$ arasındaki farkın karesinin $(Z(X) - Z(X + h))^2$ bu çiftlerin ayırım mesafesine (h) göre gösterilmesiyle elde edilir. Yarivariogram aşağıdaki formülle hesap edilir (Bivand, vd., 2008:196).

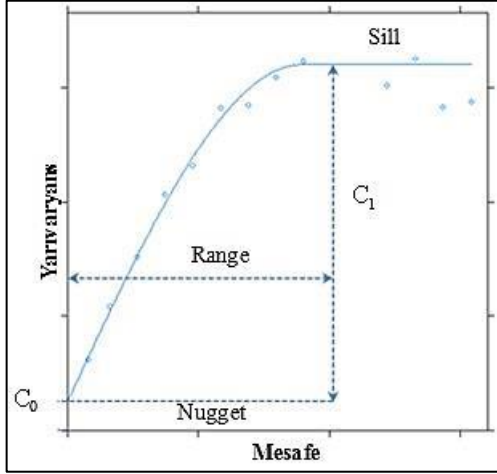
$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E(Z(X) - Z(X + h))^2$$

Örnek sayısı arttıkça, $X + h$ uzaklığı ve $\gamma(h)$ değerinin grafik üzerinde gösterimi ve yorumu güçleşmektedir. Bu nedenle, uygulamada uygun sınıf aralıkları belirlenerek deneysel yarivariogramın oluşturulması yoluna gidilir. Yarivariogram bulutunun yarivaryans değerlerinin belirli sınıf aralığına (lag distance) ayrılıp, o mesafeye düşen yarivaryans değerlerinin ortalamasının alınması “*deneysel yarivariogram*” grafiğini vermektedir (Şekil 2).

$$\hat{\gamma}(\tilde{h}_j) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2$$

Formülde $Z(X_i)$, X_i konumundaki örneğin değerini; $Z(X_i + h)$, $X_i + h$, konumundaki örneğin değerini; N_h ’de h mesafesindeki toplam istasyon çifti sayısını ifade etmektedir (Bivand, vd., 2008:196). Deneysel yarivariogram ile değişkenin mekânsal değişimi hakkında önemli bilgi edinilebilir. Ancak, tahmin analizlerinde doğrudan kullanılamaz. Bundan dolayı, tahmin sürecinde ikinci tip yarivariogram gereklidir. Bu yarivariogram modeline “*teorik yarivariogram*” denir. Mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması yani, teorik yarivariogramın belirlenmesi gerekmektedir. Teorik yarivariogram modeli jeostatistik çalışmalarının en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu yarivariogram matematik modeli temel alır ve deneysel

yarıvariogram oturtularak (fit edilerek) elde edilir (Şekil 2). Kısaca, gözlem değerlerinden yararlanılarak hesapla oluşturulan yarıvariogram deneysel yarıvariogram, deneysel yarıvariogram matematiksel bir fonksiyon uydurularak elde edilen yarıvariogram modeline de teorik yarıvariogram denir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013; Oliver ve Webster, 2014).



Şekil 2. Deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Grafik R 3.0.2 programında çizilerek elde edilmiştir. Grafikte R, gözlemlerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen, etki uzaklığı; c_0 , kontrolsüz etki (nugget); $c_0 + c_1$, eşik değer veya tepe varyans (sill); c_1 , yapısal veya stokastik varyansı (partial sill) ifade etmektedir.

Yarıvariogramda örnekler arasındaki sınıf aralığı arttıkça, yarıvariogram değerleri de artar. Sonunda yarıvariogramın maksimum değerlerine ulaştığı değer yarıvariogramın “tepe varyans (sill)” değerini vermektedir ve gözlem noktaları bu değer etrafında değişim gösterir. Yarıvariogramın tepe varyans’a ulaştığı mesafe ise, “etki uzaklığı (range)” olarak adlandırılır. Gözlem değerlerinin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen mesafeyi ifade etmektedir. Bu mesafeden sonra herhangi iki veri noktası arasında mekânsal ilişki yoktur. Birbirine en yakın iki gözlem arasındaki uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi, veri olmadığından belirlenmemektedir. Bu durum, yarıvariogramın 0’dan farklı pozitif bir değer almasına yol açar. Örnekleme ve analiz hataları da aynı etkiye neden olmaktadır. Teorik olarak h ’in sıfır olması gereken yarıvariogramın, bu nedenlerden dolayı aldığı sıfırdan farklı pozitif değer “kontrolsüz etki (nugget)” olarak bilinir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2010; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013; Oliver ve Webster, 2014). Jeostatistikte, Exponential, Spherical, Gaussian, Circular, Linear yaygın olarak kullanılan yarıvariogram modelleridir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Diğer mevcut modeller arasında Nugget, Exclass (Exponential Class), Matern, Matern, M.Stein’s Parameterrisation, Bessel, Pentaspherical, Periodic, Hole, Logarithmic, Power, Spline, Legendre gibi modeller sayılabilmektedir (Bivand, vd., 2008).

Uzaklığa bağlı ilişkinin yöne göre değişmediği yarivariogramlar izotropik olarak tanımlanır. Mekânsal değişkenin yapısının yöne bağlı olarak değiştiği örnekler ise anizotropiktir. Anizotropi yönleri ve anizotropinin derecesi, teorik yarivariogramın çeşitli yönlerde hesaplanmasıyla belirlenir. Teorik yarivariogramları dört ana yönde hesaplamak yeterlidir. Bu yarivariogramlarda etki uzaklık, yönün bir fonksiyonu olarak değişiyorsa incelenen değişkenin geometrik anizotrop olduğu, etki uzaklık aynı olup eşik değerleri değişiyorsa yarivariogram zonal anizotropik olarak adlandırılır. Yarivariogram hesaplamalarının doğruluğu mevcut olan gözlem noktalarının sayısı ile orantılıdır. Hohn (1999) ve Olea (1994) uygun bir yarivariogram tahmini yapmak için üç kuraldan bahsetmiştir: i) yarivariogramın her bir hesaplanan değeri için örnek çiftlerinin sayısı 30'dan büyük olmalıdır; ii) yarivariogramın ilgilenilen kısmı, genellikle göreceli olarak küçük mesafelerde artış, üç ya da dört değerle gösterilmelidir; iii) maksimum adım mesafesinin sınıf sayısı ile çarpımı, çalışma sahasındaki en uzun mesafenin yarısına eşit olmalıdır.

2.1.2. Kriging tekniği

Deneysel yarivariogram yapısına en uygun teorik yarivariogram modeli seçilerek, alanı temsil eden ortalama yarivariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmiş olur. Belirlenen bağımlılık kuralından sonra, çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların değerleri tahmin edilebilir. Bu amaç için kullanılan Kriging, ölçümü yapılmış lokasyonlardan, ölçüm yapılmamış olan lokasyonlardaki değişkenlerin değerini tahmin etmek için kullanılan tekniklerin genel ismi olarak ifade edilmektedir. Genel olarak tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması ile yapılmaktadır. Temel eşitlik,

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i)$$

biçiminde gösterilir. Bu eşitlikte $\hat{Z}(X_0)$, X_0 noktasına ilişkin Kriging değerini; $Z(X_i)$ değişkenlerin her bir X_i noktasında gözlenen değerleri; W_i , her bir $Z(X_i)$ 'ye karşılık gelen değerlerini; N ise, $\hat{Z}(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir. Son yıllarda, Kriging tekniği jeostatistik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Caruso ve Quarta, 1998; Kalkhan, 2011). En küçük hata kareler ortalaması yöntemine dayanan Kriging yöntemi en iyi doğrusal yansız tahmin edici olarak bilinmektedir (Oliver ve Webster, 2014). Kriging yöntemi ile belirlenen ağırlıklar yarivariograma ve verinin mekânsal konumuna bağlı olup, Kriging hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde hesaplanır.

Ağırlıklar belirlendikten sonra çalışma alanındaki değeri bilinmeyen herhangi bir nokta için tahmin değeri,

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i)$$

eşitliğinden belirlenir (Lichtenstern, 2013). Herhangi bir X_0 noktasında tahmin değerine ulaşmak için kullanılan nokta sayısı, hesaplanacak ağırlıkların sayısını etkilemektedir. Her bir nokta için bir ağırlık hesaplanmaktadır. Bu durum Kriging algoritmasında her bir yeni nokta için ağırlık hesabının tekrarlı olarak bulunması anlamına gelir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Tahmin ile elde edilen hatanın varyansı Kriging varyansı olarak adlandırılır ve Kriging varyansı,

$$\begin{aligned} \sigma_K^2 &= 2 \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j \gamma(X_i - X_j) \\ &= \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda \end{aligned}$$

ile ifade edilir (Lichtenstern, 2013). Kriging varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir, veri sayısının ve verilerin konumları arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Bu nedenle Kriging varyansı verilerin gerçek değerlerinin elde edilmesinden önce olası noktaları test edip, bu noktalar arasında optimum olanları belirlemek amacıyla da kullanılabilir. Kriging yöntemlerinin çalışma alanı ve verilerin yapısına göre uygun kullanılan Ordinary Kriging (OK), Simple Kriging (SK), Universal Kriging (UK), Block Kriging (BK), Indicator Kriging (IK), Co-kriging gibi farklı türleri mevcuttur.

2.1.3. Çapraz Geçerlilik (Cross Validation)

Yarıvariogram model parametrelerinin tahmin edilmesine yönelik sık kullanılan yöntemlerden biri Çapraz Geçerlilik tekniğidir. Çapraz Geçerlilik tekniği, örnek veri setindeki mevcut bilgileri kullanarak, tahmin edilen ve gerçek değerleri arasındaki ilişkiyi inceler (Isaaks and Srivastava, 1989). Teknikte, bir lokasyondaki değer, veri setinden geçici olarak çıkarılır ve geriye kalan diğer değerler kullanılarak çıkartılan bu lokasyon için tahmin yapılır (One Leave Out). Bu işlem aynı şekilde geride kalan tüm örnekler için tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Böylece, gözlemlenen değerler Kriging yöntemiyle tahmin edilir ve aradaki fark hata değeri (residual) olarak kaydedilir. Tahmin haritalarının değerlendirilmesinde çeşitli hata ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Ortalama Hata (ME), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Belirleyicilik Katsayısı (R^2) bu ölçümlerden bazılarıdır.

2.2. Jeoistatistiğin coğrafya için önemi

Coğrafya ayrı ayrı yerlerdeki tüm fiziksel ve beşeri olguların etkileşimi ve yerler arasındaki bu karşılıklı etkilenmenin hangi kalıpları yarattığı ve mekânı nasıl örgütlediğinin incelenmesi olarak tanımlanabilir (Tümertekin ve Özgüç, 2004:2). Tüm çevresel olgular coğrafi bir mekân içinde gerçekleşmektedir. Bir coğrafi mekânda meydana gelen bu çevresel olayların jeoistatistik teknikleri yardımıyla araştırılması coğrafya çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Coğrafyanın diğer disiplinlerden ayırt edici belki de bir anlamda “eşsiz” kılan yanı, olaylara mekânsal yaklaşımıdır. Örneğin, sosyolog, ekonomist, biyolog ve coğrafyacının bir toplumda yer alan etnik gruplara olan ilgi ve gözlemleri değişkenlik göstermektedir. Sosyolog belirli bir sosyal uyum sürdüren bu etnik grupların ev sahibi toplumların yanı sıra diğer etnik grupları ile olan etkileşim süreçlerine odaklanırken, ekonomist bu grupların benzer sanayilerde işe alınma veya kendi işyerini kurma eğilimlerini araştırır. Biyolog, genetik farklılıklarının fiziksel özelliklere olan katkısını açıklamaktadır. Coğrafyacı ise, konumsal ve mekânsal çerçeveden; iki veya daha fazla yerleşim alanında bulunan aynı etnik gruba sahip bireylerin neden toplandığını? Ev sahibi ülkede yeni nesil büyürken bireylerin mekânsal dağılımını göçmen grupların değiştirmiş olup olmadığını? Neden bazı alanların göçmen gruplar tarafından diğer alanlara göre daha çekici olduğu gibi belli sorular sorarak olayları analiz etmeye yönelmektedir. Bu sorular coğrafyada mekân ve lokasyonun ne kadar önemli iki kavram olduğunun bir göstergesidir (Walford, 1995:344-345). Coğrafi dağılım, mekân veya dünya üzerinde bir olgunun paterni ve dağılımıyla ilgilidir. Coğrafi dağılım, mekânsal toplanma, yayılma ve düzenlilik gibi kavramlar ile izah edilmektedir. Örneğin beşeri coğrafyacılar belirli bir olgunun bazı alanlarda diğerlerinden daha fazla toplanıp toplanmadığı veya zamanla toplanmanın değişip değişmediği ile ilgilenirken, fiziki coğrafyacılar belirli bir olgunun dağılım gösterip göstermediğini araştırırlar. İşte bu noktada mekânsal istatistik gözlenen bu toplanmanın belirli bir patern gösterip göstermediğini araştırmak için kullanılmaktadır.

Coğrafyada, mekânsal analiz teriminin kullanımı 1950'lere dayanmaktadır (Berry ve Marble, 1968). Coğrafyacılar bu terimi mekânsal veri analiz yöntemleri olarak ele almaktadırlar (Haining, 1993). Mekânsal veri analizi, mekânda var olan verilerin etkileşimini, yapısını ve süreçlerini açıklayacak yöntemler ile bunların diğer mekânsal olaylarla olası ilişkilerinin açıklandığı veri analizidir (Bailey ve Gatrell, 1995:7). Mekânsal veri analizinin amacı, değişken değerlerin mekânsal olarak dağılımının anlaşılması, paterninin tespit edilmesi ve değişkenler arasındaki ilişkinin test edilmesidir. Jeoistatistik, mekânsal veri analizinin bir alt birimi olup çeşitli araçları ve modelleme tekniklerini içermektedir.

Geleneksel istatistik yöntemleri ile yapılan analizlerde herhangi bir değişkenin varyans ve ortalaması hesaplanırken, gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu ve gözlemler arası mekânsal

otokorelasyonu dikkate alınmamaktadır (Webster, 1985). Sözü geçen mekânsal otokorelasyon kelimesinin coğrafi çalışmalar içerisinde önemli bir yeri vardır. Bir dağılımın mekânsal paterni, mekânın içerisindeki her bir varlığın düzeni ve bunlar arasındaki coğrafi ilişkileri tarafından belirlenir (Hansen, 1997). Mekânsal otokorelasyon, “*her şey başka her şeyle ilişkilidir, yakın olan şeyler uzak olanlara göre daha çok ilişkilidir*” olduğunu ifade eden coğrafyanın ilk prensibine dayalıdır (Tobler, 1970:236). Böylece mekânsal otokorelasyon, bir alan içindeki benzer objeleri veya alandaki bir mekânsal olayın kendisiyle olan bağlılık derecesini ölçmektedir (Cliff ve Ord, 1973, 1981). Karşılıklı bağlantı/etkileşimin coğrafyada önemini Gould (1991) “*bağılantısız bir şeyin coğrafyasını yapamazsınız. Bağlantı yoksa coğrafya da yoktur*” sözleriyle ifade etmiştir (Aktaran: Tümertekin ve Özgüç, 2004:53). Gözlemlerarası korelasyonun önemli olduğu durumlarda, verilerin analizi, gözlemi bulunmayan noktalara ilişkin tahminler yapılması, değişkenin alansal ortalama değerinin tahmin edilmesi ve haritalanması geleneksel istatistik yöntemleri ile mümkün değildir (Olea, 1982). Bu sebeple, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumlarını ve gözlemlerarası korelasyonu göz önüne alan yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaçla, jeoistatistik yöntemler Bölgesel Değişkenler Teorisinin (Theory of Regionalized Variables) geliştirilmesini takiben, pek çok disiplinde hızlı bir şekilde uygulanmaya başlamıştır. Bir değişkenin değerlerini ilgili bütün alan boyunca tahmin etmek mekânsal tahmin veya mekânsal enterpolasyon olarak adlandırılmaktadır ki, bu jeoistatistiğin kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Gözlem verilerinin deneysel yarıvariogram yapısının belirlenmesi ve bu yarıvariogram yapısına teorik bir modelin uydurulması jeoistatistiksel çalışmaların temelidir. Alansal bir değişkenin doğru olarak tahmin edilmesi, gözlem noktalarının sıklığına, gözlem noktalarının mekânsal değişkenliğine ve bu değişkenin göstergesi olan yarıvariogram modelinin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Yarıvariogram modelleri geleneksel istatistik yöntemleri gibi tek bir noktanın örneğin istasyonun gözlem değerleri ile ilgilenmemektedir. Jeoistatistiksel analizler ile bir alan veya doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış mevcut tüm gözlem noktalarının eş zamanlı gözlemleri kullanılmakta ve zaman boyutu yanında, alansal değişkenlik boyutu da araştırmaların içine dâhil edilebilmektedir. Mekânsal değişim ölçeğinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi, bölge tanımlanması, çoklu veri analizi, olasılık haritaları gibi birçok mekânsal problemlerin çözümünde uygulanabilmektedir. Veri noktalarını almak ve “*tüm alanda verilerin nasıl bir dağılım gösterdiği ile ilgili kullanışlı ve ilgi çekici sonuçları anlatan bir model oluşturmak*” jeoistatistik tekniklerin en önemli amaçlarından birini oluşturur (Hengl, 2009).

2.3. Fiziki coğrafya çalışmalarına örnekler

Jeoistatistik yöntemi ilk olarak Güney Afrikalı maden mühendisi D.G. Krige tarafından 1950’li yıllarda cevher rezervi alanlarının daha doğru tahmini için kullanılmıştır (Kalkhan, 2011:85).

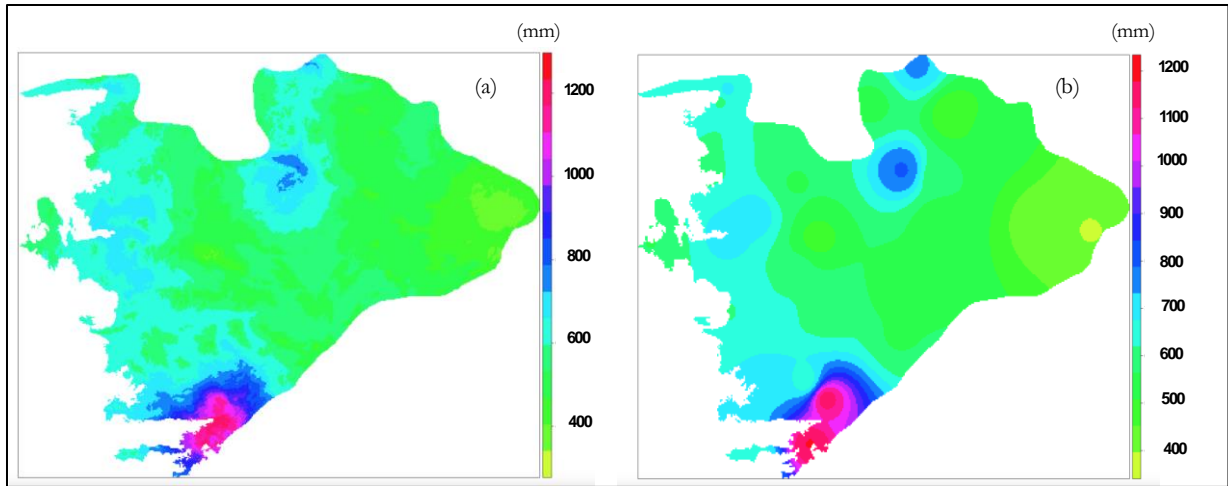
Sonraki yıllarda Fransız maden mühendisi Matheron bu yöntemden yola çıkarak, jeoistatistiğin temellerini oluşturan Bölgesel Değişkenler Teorisini geliştirmiştir. Matheron (1963) jeoistatistik terimini doğal olayların keşfi ve tahmin edilmesi için rastgele bir fonksiyonun oluşturulması olarak tanımlamaktadır. Bu teoride bölgesel değişken, bir noktadan bir başka noktaya süreklilik göstererek değişen, fakat genellikle bir fonksiyonla ifade edilemeyen sayısal bir mekânsal fonksiyon olarak tarif edilmektedir (Olea, 1975; Webster, 1985). O dönemlerde Bölgesel Değişkenler Teorisi'nin uygulandığı alanın jeoloji ve maden olması jeoistatistik terimini daha popüler kılmıştır. Jeoloji biliminde kullanımı yaygınlaşan jeoistatistik yöntemleri, zamanla çok sayıda araştırmacının katkılarıyla geliştirilmiş, özellikle hidroloji olmak üzere, yeraltı suları hidroloji, toprak bilimi, klimatoloji, inşaat ve maden mühendisliği gibi farklı bilim alanlarında da sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Kısa sürede jeoistatistik uygulamalarının faydaları pek çok disiplinde tartışılmaya başlamış ve çok sayıda araştırmacı tarafından kullanım alanları, tekniklerin işleyişi, önemi çıkarmış oldukları yayınlar ile vurgulanmıştır. Jeoistatistiğin tarihsel gelişimi açısından konunun önemini gösteren önemli kaynaklar şu şekilde verilebilmektedir (Agterberg, 1974; Olea, 1977; David, 1997; Journel ve Huijbregts, 1978; Clark, 1979; Henley, 1981; Myers, vd., 1982; Myers, 1982, 1983; Journel, 1983, 1987; Şen, 1989; Subyani ve Şen, 1989; Isaaks ve Srivastava, 1989; Christakos, 1992; Cressies, 1993).

Günümüzde birçok alanda olduğu gibi fiziki coğrafya çalışmalarında da jeoistatistik kullanımında önemli bir artış olmuştur. Jeoistatistiksel yöntemler özellikle iklim çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Goovaerts, 1997). Kayıtların yapıldığı farklı istasyon noktalarından elde edilmiş ölçüm değerleri arasındaki mekânsal korelasyon yapısını değerlendirmesi ve minimum varyans değeri ile birlikte tahmin sonuçları vermesi jeoistatistik tekniklerinin en önemli avantajlarını oluşturmaktadır (Gambolati ve Volpi, 1979; Myers, 1982; Martinez-Cob, 1996; Holawe ve Dutter, 1999). Bazı çalışmalar jeoistatistiğin, diğer istatistik tekniklerinden daha doğru tahmin sonuçları verdiğini göstermiştir (Phillips, vd., 1992; Goovaerts, 2000). Jeoistatistik analizler sonucunda tahmin hata ölçümü gösteren sonuçlar elde edilmesi, enterpolasyon yapılırken bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu düşünülen bağımsız değişkenlerin kullanılması doğru tahminlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu da jeoistatistiği, deterministik yöntemlere (Thiessen Poligon (TP), Inverse Distance Weight (IDW), Spline vb. gibi) göre avantajlı kılmaktadır (Goovaerts, 2000; Tobin, vd., 2011). Bu yönü, jeoistatistik tekniklerini yağış değişiminin tahmini üzerine, farklı jeoistatistik teknikleri kullanılarak gösterilebilecek çok sayıda referanstan bahsedilebilir. Bu çalışma kapsamında yağış dağılışı ile ilgili yalnızca bir örnek üzerinde durularak jeoistatistiğin fiziki coğrafya açısından önemi vurgulanmaya çalışılacaktır.

Bhowmik ve Costa (2012), jeoistatistik yöntemlerinden yararlanarak, Bangladeş'teki yağış paterninin mekânsal, zamansal değişiminin Boro pirinç üretimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu

çalışmada 31 meteoroloji istasyonundan elde ettikleri 2006 ve 2007 yılları için mevsimsel yağış değerlerini kullanmışlardır. Bangladeş'teki sulama ve yüksek hasat üzerine yağışın mevsimsel varyasyonunun etkisi özellikle de yağış değişimi ile Boro pirinç üretimi arasındaki korelasyon ve Boro pirinç üretimindeki değişimleri Geo-Band Collection istatistikleri ile incelemişlerdir. Araştırmalarında Thin Plate Spline (TPS), IDW, OK gibi enterpolasyon tekniklerinden faydalanmışlar ve Jack-Knife veya Leave-One-Out Çapraz Geçerlilik yöntemleri ile enterpolasyon yöntemlerinin performanslarını değerlendirmişlerdir. TPS yönteminin diğer yöntemlere göre daha düzgün yüzeyler oluştururken, IDW yönteminden elde edilen yüzeylerin TPS yöntemine göre daha çeşitlilik gösterdiğini izlemişlerdir. OK ile elde edilen toplam yağışın mekânsal paterni ise, TPS veya IDW yöntemlerine göre daha çok değişkenlik içermektedir. Çalışmada kullanılan yöntemlerden OK'nin sonuçlarının en iyi enterpolasyon tekniği ve en az istatistik hatasına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yağışın Boro verimi üzerinde etkisinin fazla olduğunu ve geliştirilmiş hasat çeşitlilikleri ve bunların Bangladeş'teki mevsimsel yağış ile ilişkilerinin mekânsal zamansal paternini anlamaya katkı sağladığını vurgulamışlardır.

Türkoğlu vd., (2015) yaptıkları çalışmada jeoistatistik yöntemlerden biri olan Kriging External Drift'i (KED) kullanarak Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama toplam yağış değerlerini hesaplamışlardır. Jeoistatistik yöntemlerin kullanılmasına örnek oluşturması amacıyla bu çalışmadan elde edilen harita Şekil 3'de verilmiştir.

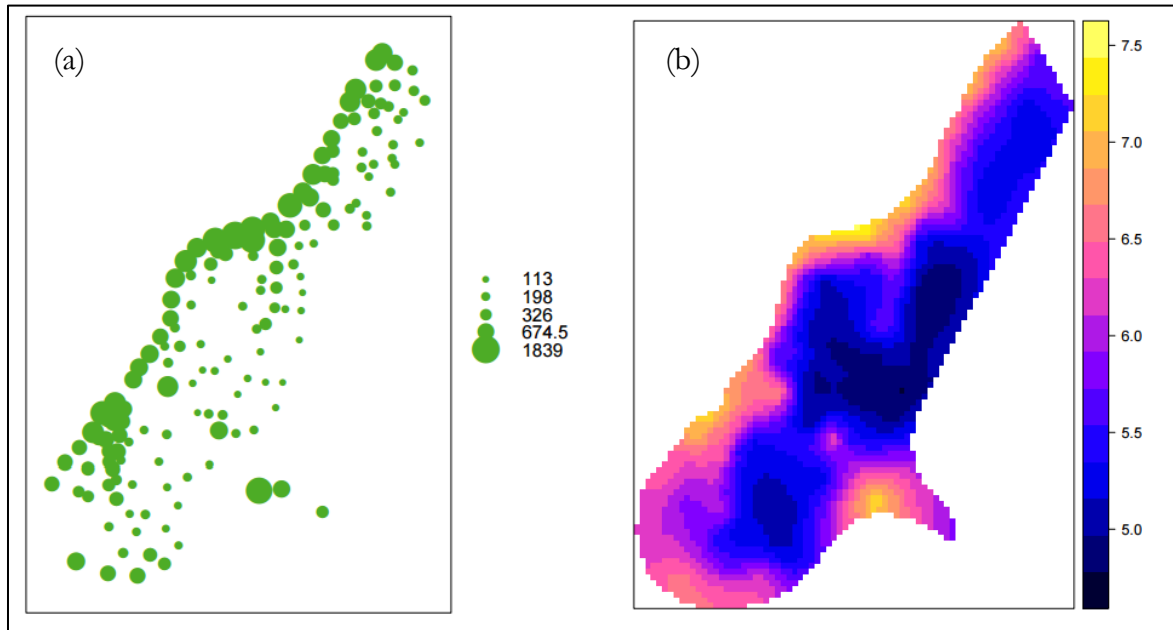


Şekil 3. Ege Bölgesi'ne ait yıllık ortalama toplam yağış haritası, (a) KED yöntemiyle oluşturulan yağış tahmin haritası; (b) deterministik yöntemle oluşturulan yıllık ortalama toplam yağış tahmin haritası

Bu çalışmada kullanılan çok sayıda yardımcı değişkenin hesaplamaya dâhil edilebildiği KED, birincil değişkenin mekânsal trendini etkilediği düşünülen ikincil değişkenlerin kullanımına imkân tanıyan bir Kriging varyansıdır. Bu çalışmada yükseklik ikincil değişken olarak kullanılmış ve yağış değerleri buna göre hesaplanmıştır. Deterministik yöntemlerden biri olan IDW'de istasyon

konumları ve bunların birbirine olan uzaklıkları esas alınmış ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır. İki harita arasında belirgin farklar ortaya çıkmıştır (Şekil 3a, b). KED ile çizilen haritada yağış, topografyaya daha uygun bir şekilde dağılış göstermektedir.

Pebesma (2004), R programı için geliştirdiği jeoistatistik yazılımı olan gstat paketinde verdiği örnekte Hollanda'nın Stein şehrindeki Meuse nehri yakınlarında çeşitli örnek noktalarından elde edilen ağır metal kirliliği ile ilgili konsantrasyon değerlerini ele alarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Örnekte Çinko (Zn)'nun mekânsal olarak dağılımı Kriging yöntemiyle tahmin edilmiştir. Şekil 4 Meuse nehrine yakın alanlarda gözlenen Zn için Kriging tahmin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4. (a) Zn konsantrasyonu (ppm); (b) OK sonucu Zn tahmin haritası Kaynak: Pebesma, 2004.

Fiziki coğrafyanın bir diğer önemli konusu hidroğrafyadır. Jeoistatistik su ile ilgili çalışmalarda özellikle suyun kimyasal özelliklerini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Yer altı ve yerüstü sularının kalitesi, miktarı sudaki kirletici oranı gibi özellikleri ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır. Hem zaman hem de mali nedenlerden dolayı tüm sahanın yerinde analizi zordur ve bu analizler ancak sınırlı bir alanda yapılabilmektedir. Bir alana ait sınırlı sayıda veri olması durumunda jeoistatistik yöntemler tercih edilmektedir. Eldeki sınırlı sayıdaki analiz verileriyle tüm sahada enterpolasyon yapmak yani veriyi tüm alana dağıtmak mümkün değildir. Bu gibi durumlarda jeoistatistik yöntemler mekânsal değişkenliği ve belirsiz verilerin dağılımının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. Jang vd. (2008), Tayvan'ın batı sahillerinde yer alan Choushui Nehri alüvyon yelpazesindeki sulama için kullanılan yeraltı su kalitesini belirlemek için yaptıkları çalışmalarında çok değişkenli IK tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada yeraltı sularının kalite parametrelerinin mekânsal dağılımı lokasyon ve derinliğe göre farklılık gösteren heterojen bir yapıda sahip olmasından dolayı parametrik olmayan jeoistatistik yöntemlerden IK kullanılmıştır. Sulama

için kullanılan yeraltı su kalite standartlarında 185 kuyudan alınan 31 hidrokimyasal parametre analiz edildiği için Kriging hesaplamaları çok değişkenli yaklaşımlar kullanılarak yapılmıştır. Alüvyon yelpaze aşağı, orta ve yukarı olmak üzere üç bölüme ayrılmış olup, 2500 km²lik bir alanı kaplamaktadır. Hidrokimyasal parametreler tuz/sodyum tehlikesi, nitrojen tehlikesi, ağır metal tehlikesi olarak üç ana kategoride incelenmiştir. Su çıkarma açısından merkezi uzak yelpaze ve orta yelpaze akiferlerinin sulama için temiz ve güvenilir alanlar olduğu, derin akiferlerin daha yakın akifer alanlarına göre, temiz ve güvenilir su açısından geniş alanlara sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, çok değişkenli IK tahmin modeli ile sulama için kullanılan kirli ve güvenilir su alanlarının mekânsal değişkenliği ortaya konmuştur.

Jeoistatistiğin son yıllarda yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alan pedolojidir. Castrignanò vd. (2009) toprak kalitesini belirlemek için jeoistatistik yöntemler kullanmışlardır. Çalışmada Güney İtalya'daki Asa-Picentino-Tuscano nehrinin toprak kalitesini ilk defa kendilerinin geliştirdiği sentetik ve oldukça fazla bilgi veren sayısal endekslerle belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada jeoistatistik yöntemler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerini bir arada kullanmışlardır. Çalışmanın amacı toprak kalite endeksinin topografik parametrelerden bakı kullanılarak hesaplanması ve veri setine Gaussian model uygulayarak, CBS temelli toprak kalite tahminlerinin yapılmasıdır. Çalışma sahası içinde, 87 ayrı noktadan üst toprak tabakası (0-20) ve alt toprak tabakası (20-60) örnekleri alınmıştır. Toprak kalite endeksinin belirlenmesinde bakıya ağırlık verilerek basit linear fonksiyon kullanılmıştır. Jeoistatistik tekniği için deneysel ve teorik yarıvariogram hesaplanmış ve OK yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra tahmin verilerine geri dönüşüm uygulanmıştır. Araştırmacılar, uygulanan yöntemin zaman içinde kolaylıkla tekrarlanabilir olduğu ve diğer bölgelerde de vakaya ve özel ihtiyaçlara göre uygulanabilir olduğunu bildirmişlerdir. Bu tür çalışmaların çıktıları hükümetlerin özellikle toprak koruma politikalarını belirlemede fayda sağlamaktadır.

Fiziki coğrafyanın bir diğer alanı olan biocoğrafya çalışmalarında jeoistatistik özellikle flora ve faunanın tür dağılımının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cannavacciuolo vd. (1998) yaptıkları çalışma jeoistatistik uygulamaları açısından verilebilecek sayısız örneklerden biridir. Çalışmanın amacı yer solucanlarının mekânsal değişkenliğinin karakterize edilmesi ve bunların mekânsal dağılımı ile toprak özellikleri arasındaki ilişkinin ortaya konmasıdır. Çalışmada sistematik örnekleme yöntemiyle Le Rheu (Brittany, Fransa) bölgesinden 54x54 m²lik alan içinde 100 örnek alınmıştır. Mekânsal otokorelasyon analizi veriye uygulanmış ve mekânsal korelasyon varlığı gösterilmiştir. Deneysel yarıvariogram oluşturulmuş, matematik model oturtulmuştur. Elde edilen teorik yarıvariogram ile BK (blok boyutu 1m²) gerçekleştirilmiştir. Yer solucanlarının mekânsal dağılımı toprak hidromorfoloji özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta yetişkin solucanların dağılımı

genel eğilime uygun olarak toprak hidromorfolojisi ile ilişkili bulunmuştur. İyi drene olan kuzey doğu bölümü yüksek yoğunlukta yersolucanı içerirken, taban suyunun yüzeye yakın olduğu güney batı kısmının, düşük yoğunlukta yersolucanı içerdiği belirlenmiştir.

3. Sonuç

Coğrafi değişkenlerin haritalaması pahalı ve kompleks sistemler gerektirir. Günümüze kadar çevresel değişkenlerin haritaları zihinsel modeller kullanılarak örneklenmiş veri üzerinden istatistiksel ve/veya mantıksal modellerle tüm çalışma sahasının haritaları oluşturulmaktaydı. Bir araştırmada, veri toplama araştırmanın en pahalı parçası olduğundan sınırlı sayıda lokasyondan örnek alınabilmekteydi. Yapılan coğrafi değişkenlerin haritaları sınırlı, tutarsız ve hayali şekilde olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, coğrafi değişkenlerin değerlerini tahmin etmek ve haritalamak için çeşitli mekânsal enterpolasyon metotları geliştirilmiştir. Bir değişkenin değerlerini ilgili bütün alan boyunca tahmin etmek mekânsal tahmin veya mekânsal enterpolasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu jeoistatistiğin temel kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Jeoistatistik sadece coğrafi bir değişkenin bulunduğu alan boyunca tahmin haritaları oluşturmayı değil, değişkenin niçin orada/o lokasyonda yer aldığını ve buna etki eden nedenleri de anlamayı amaçlamaktadır. Günümüzde jeoistatistik teknikleri birçok bilim dalında kullanılmaya başlamıştır (ekoloji, oşinografi, jeokimya, epidemiyoloji vb. gibi). Dünyada 2000’li yılların başlarında coğrafya çalışmalarında kullanılmaya başlayan jeoistatistik yöntemler özellikle klimatoloji, toprak, biocoğrafya, ve çevre sorunları konularında tercih edilmektedir. Jeoistatistik yöntemlerle ilgili çalışan araştırmacılar (1) Bir değişken mekân-zamanda nasıl bir değişim gösterir? (2) Bu değişimi mekân-zamanda ne kontrol eder? (3) Mekânsal değişkenliği açıklamak için örnekler nerede konumlandırılmalıdır? (4) Mekânsal değişkenliği göstermek için ne kadar örneğe ihtiyaç vardır? (5) Yeni bir lokasyon/zamanda değişkenin değeri nedir? (6) Tahmin edilen değerlerin belirsizliği nedir? şeklinde mekânsal içerikli soruların cevabını aramaktadır. Jeoistatistik çalışmalarında coğrafi değişkenlerin nerede yer aldığı, yani lokasyonu, değişkenlerin mekânda niçin birbiriyle bağlantılı olduğu yani mekânsal etkileşimi ve değişkenlerin bulunduğu alanda dağılımlarını etkileyen diğer çevresel değişkenlerin etkileri incelenmektedir. Kısaca jeoistatistik, ilgili olduğu çalışma konusuna ait sistemin mekânsal organizasyonu ile ilgilenmektedir. Tahmin yapmak, mekânsal değişimin ölçeğini belirlemek, birincil veri toplanmasında örneğin tasarlanması, bölge tanımlama, çok değişkenli analiz, olasılık haritalandırma gibi birçok mekânsal probleme uygulanabilen geniş bir araç ve modelleme tekniklerine sahip olan jeoistatistik, bugün birçok disiplini içine alan bir araştırma literatürüne sahiptir.

Referanslar

- Agterberg, F. (1974). *Geomathematics. Mathematical Background and Geo-Science Applications*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Antonić, O., Kušan, V., Bakran-Petricioli, T., Alegro, A., Gottstein-Matočec, S., Peterel, H., & Tkalčec, Z. (2005). Mapping the habitats of the republic of Croatia (2000-2004), the project overview (in Croatian). *Drypis, Journal for Applied Ecology*, 1(1), 40.
- Atkinson, P.M., & Lloyd, C.D. (1998). Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 65-76.
- Bailey, T.C., & Gatrell, A.C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*. Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- Berry, B.J.L., & Marble, D.F. (1968). *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography*. Englewood Cliffs (N.J), Prentice Hall.
- Bhowmik, A.K., & Costa, A.C. (2012). A geostatistical approach to the seasonal precipitation effect on boro rice production in Bangladesh. *International Journal of Geosciences*, 3, 443-462.
- Bivand, R.S.; Pebesma, E.J. & Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R (Use R)*, Springer, New York.
- Cannavacciuolo, M., Gellido, A., Cluzeau, D., Gascuel, C., & Trehan, P. (1998). A geostatistical approach to the study of earthworm distribution in grassland. *Applied Soil Ecology*, 9, 345-349.
- Caruso, C., & Quarta, F. (1998). Interpolation methods comparison. *Computers and Mathematics with Applications*, 35(12), 109-126.
- Castrignanò, A., Buondonno, A., Odierna, P., Fiorentino, C., & Coppola, E. (2009). Uncertainty assessment of a soil quality index using geostatistics. *Environmetrics*, 20, 298-311.
- Christakos, G. (2005). *Random Field Models in Earth Sciences*. Academic Press Inc., San Diego.
- Chun, Y., & Griffith, D.A. (2013). *Spatial Statistics&Geostatistics*. SAGE Publications Ltd., London.
- Clark, I. (1979). *Practical Geostatistics*. Elsevier Science&Technology, London.
- Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1973). *Spatial Autocorrelation*. Pion Ltd, London, UK.
- Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1981). *Spatial Process: Models and Applications*. Pion Ltd, London, UK.
- Courault, D., & Monestiez, P. (1999). Spatial interpolation of air temperature according to atmospheric circulation patterns in Southeast France. *International Journal of Climatology*, 19, 365-378.
- Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data (Revised Edition)*. John Wiley&Sons, New York.
- David, M. (1977). *Geostatistical Ore Reserve Estimation*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Diodato, N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International Journal of Climatology*, 25, 351-363.
- Di Piazza, A., Conti, F.L., Noto, L.V., Viola, F., & La Loggia, G. (2011). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 396-408.
- Elith, J., & Leathwick, J.R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677-697.
- Flipo, N., Nicolas, J., Poulin, M., Even, S., & Ledoux, E. (2007). Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France): Combined use of geostatistics and physically based modelling. *Environmental Pollution*, 146, 241-256.
- Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000). *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE, London.

- Gambolati, G., & Volpi, G. (1979). A conceptual deterministic analysis of the kriging technique in hydrology. *Water Resources Research*, 15(3), 625-629.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, UK.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Haining, R. (1993). *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press, UK.
- Hansen, H.S. (1997). Avenue-a powerful environment for developing spatial data analysis tools. *12th ESRI European User Conference*, 29 Eylül-1 Ekim 1997, Copenhagen, Denmark.
- Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Henley, S. (1981). *Non-Parametric Geostatistics*. Halsted Press, New York.
- Hohn, M.E. (1999). *Geostatistics and Petroleum Geology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Holawe, F., & Dutter, R. (1999). Geostatistical study of precipitation series in Austria: Time and space. *Journal of Hydrology*, 219, 70-82.
- Hossein, E., Jafar, D., Mohammad, J.R., & Chamheidar, H. (2013). Geostatistical evaluation of graoun water quality distribution with GIS (Case study: Mianab-Shoushtar Plain). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3(1), 78-82.
- Im, H.K., Rathouz, P.J., & Frederick, J.E. (2009). Space-time modelling of 20 years of dairly air temperature in the Chicago metropolitan region. *Environmetrics*, 20, 495-511.
- Isaaks, E., & Srivastava, R. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Jang, C.S., Chen, S.K., & Chieh, L.C. (2008). Using multiple-variable indicator kriging to assess groundwater quality for irrigation in the aquifers of the choushui river alluvial fan. *Hydrological Processes*, 22, 4477-4489.
- Journel, A.G., & Huijbregts, Ch. J. (1978). *Mining Geostatistics*. San Francisco Academic Press, New York.
- Journel, A.G. (1983). Non-Parametric estimation of spatial distribution. *Mathematical Geology*, 15(3), 445-468.
- Journel, A.G. (1987). Non-Parametric Geostatistics for Risk and Additional Sampling Assessment. In: Keith, L.H. (ed.), *ACS Symposium Series: Principles of Environmental Sampling*, (pp. 45-72).
- Kalkhan, M.A. (2011). *Spatial Statistics: GeoSpatial Information Modelling and Thematic Mapping*. CRC Press, USA.
- Latimer, A.M., Wu, S., Gelfand, A.E., & Silander, Jr., J.A. (2004). Building statistical models to analyze species distributions. *Ecological Applications*, 16(1), 33-50.
- Leathwick, J.R., Rowe, D., Richardson, J., Elith, J., & Hastiie, T. (2005). Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish. *Freshwater Biology*, 50, 2034-2052.
- Leathwick, J.R., Elith, J., Francis, M.P., Hastie, T., & Taylor, P. (2006). Variation in demersal fish species richness in the oceans surrounding New Zealand: An analysis using boosted regression trees. *Marine Ecology Progress Series*, 321, 267-281.
- Linchtenstern, A. (2013). *Kriging Methods in Spatial Statistics*. Bachelor's Thesis, Technische Universität München, Department of Mathematics, Germany.
- Lloyd, C.D. (2005). Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 308, 128-150.
- Machiwal, D., & Jha, M.K. (2014). Characterizing rainfall-grandwater dynamics in a hard-rock aquifer system using time series, geographic information system and geostatistical modelling. *Hydrological Processes*, 28, 2825-2843.

- Martínez-Cob, A. (1996). Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*, 174(1-2), 19-35.
- Maynou, F.X., Sarda, F., & Conan, G.Y. (1998). Assessment of the spatial structure and biomass evaluation of *Nephrops norvegicus* (L.) populations in the northwestern Mediterranean by geostatistics. *ICES Journal of Marine Science*, 55, 102-120.
- Moral, F.J. (2010). Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: Application to precipitation. *International Journal of Climatology*, 30(4), 620-631.
- Myers, D. (1982). Matrix formulation of co-kriging. *Mathematical Geology*, 14(3), 249-257.
- Myers, D., Begovich, C., Butz, T., & Kane, V. (1982). Variogram models for regional groundwater geochemical data. *Mathematical Geology*, 14(6), 629-644.
- Myers, D. (1983). Estimation of linear combinations and co-kriging. *Mathematical Geology*, 15(5), 633-637.
- Olea, R.A. (1975). Optimum Mapping Techniques Using Regionalized Variable Theory. Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, 2, Lawrence, Kansas.
- Olea, R.A. (1977). Measuring Spatial Dependence with Semivariograms. Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, 3, Lawrence, Kansas.
- Olea, R.A. (1982). Optimization of the High Plains Aquifer Observation Network. Kansas, Kansas Geological Survey, Groundwater Series, 7, Kansas.
- Olea, R.A. (1994). Fundamentals of semivariogram estimation, modeling, and usage: In Yarus, J. M., Chambers, R. L. (eds), *Stochastic Modelling and Geostatistics: Principles, Methods, and Case Studies*. The American Association of Petroleum Geologist, Computer Applications in Geology. 3, 27-35.
- Oliver, M.A., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: computing and modeling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56-69.
- Pebesma, E.J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30(7), 683-691.
- Petitgas, P. (2001). Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish and Fisheries*, 2, 231-249.
- Pérez-Castañeda, R., & Defeo, O. (2004). Spatial distribution and structure along ecological gradients: Penaeid shrimps in a tropical estuarine habitat of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 273, 173-185.
- Phillips, D.L., Dolph, J., & Marks, D. (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1-2), 119-141.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-662.
- Pratim, P., Chandrasekharan, A.H., Chakraborty, D., & Kamble, K. (2010). Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environmental Monitoring Assessment*, 167, 599-615.
- Roa, R., & Tapia, F. (2000). Cohorts in space: geostatistical mapping of the age structure of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* population off central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 196, 239-251.
- Rohde, R., Muller, R.A., Jacobsen, R., Muller, E., Perlmutter, S., Rosenteld, A., Wurtele, J., Groom, D., & Wickham, C. (2013). A new estimate of the average earth surface land temperature spanning. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 1(1), 1-7.
- Rueda, M. (2001). Spatial distribution of fish species in a tropical estuarine lagoon: A geostatistical appraisal. *Marine Ecology Progress Series*, 222, 217-226.
- Silva, W.M., & Simões, S.J. (2014). Spatial intra-annual variability of precipitation based on geostatistics: A case study for the Paraíba Do Sul Basin, Southeastern Brazil. *International Journal of Geosciences*, 5, 408-417.

- Subyani, A., & Şen, Z. (1989). Geostatistical modelling of the Wasia aquifer in Central Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, 110(3-4), 295-314.
- Şen, Z. (1989). Cumulative semivariogram models of regionalized variables. *Mathematical Geology*, 21(8), 891-903.
- Tobin, C., Nicotina, L., Parlange, M.B., Berne, A., & Rinaldo, A. (2011). Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. *Journal of Hydrology*, 401(1-2), 77-89.
- Tobler, W.R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Tümertekin, E., & Özgüç, N. (2004). Beşeri Coğrafya İnsan Kültür Mekân. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Türkoğlu, N.; Çiçek, İ.; Aydın, O.; Duman, N. (2015). Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Yağış Dağılımının Kriging ve Co-Kriging Yöntemleriyle Analizi. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP), Proje No:15B0759001.
- Tveito, O.E., & Forland, E.J. (2010). Mapping temperatures in Norway applying terrain information geostatistics and GIS. *Norwegian Journal of Geography*, 53, 202-212.
- Webster, R. (1985). Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, 3, 1-70.
- Zhang, K., Oswald, E.M., Brown, D.G., Brines, S.J., Gronlund, C.J.; White-Newsome, J.L., Rood, R.B., & Neill, M.S. (2011). Geostatistical exploration of spatial variation of summertime temperatures in the Detroit metropolitan region. *Environmental Research*, 11, 1046-1053.
- Zhou, F., Guo, H.C., Ho, Y.S., & Wu, C.Z. (2007). Scientometric analysis of geostatistics using multivariate methods. *Scientometrics*, 73(3), 265-279.

Extended English Abstract

In the science of geography, geostatistics is an important method used to consistently present the spatial variability of a phenomenon. Spatial approach of the geographer to the phenomena is the most significant attribute distinguishing this discipline from the other disciplines. Conventional statistic methods don't provide information about the spatial relationship of the points sampled within an area. Therefore, they are not adequate to determine the variability of a sampled attribute. That is, when an unobserved point is estimated through the other observed points, estimations its spatial dependence isn't taken into account in the conventional statistical methods. For this purpose, methods which consider the geographical location and interobservation spatial dependence of the observation place must be used. The interpolation, which is based on the spatial dependence of the observed samples, was used for the first time by D.G. Krige in 1950s to estimate the gold amount in the ore within the mining industry of the Southern Africa. Matheron, a French mining engineer, developed the Regional Variables Theory through this method in 1963. At that time, the fact that geology and mining were the fields where the Regional Variables Theory was applied made the term of geostatistics more popular. Briefly, geostatistics is a statistical calculation method which handles the intersample relationship by considering the coordinates of the taken samples and it is based on the stationary random theory within the functions theory. This calculation method has very important advantages such as the capacity of determining the amount of the errors made at certain confidence levels. In geostatistics, distance-related changes of the regional variables are determined with the semivariogram function and this function is expressed as the variance of the difference between two variables at a distance of h from each other. Increase in the variance is interpreted as the decrease in the relationship between them. The size of the variance of the difference between two points depends on the size of the distance between the points. Semivariogram forms the core of the geostatistical studies. It is an instrument for measuring the spatial dependence of the studied topic. Many estimation and simulation algorithms require an

analytical semivariogram model. The semivariogram analysis is used to determine the variation of the data distribution depending on the distance and the direction. Data are modeled in compliance with the structure of the distribution. Model parameters constitute a basis to be used at the next estimation steps. The Kriging is the main method of the geostatistics. The Kriging is one of the most appropriate spatial regression techniques, which needs the semivariogram model showing the spatial distribution of the data. The Kriging method is defined as the best linear impartial calculator known mathematically. The Kriging estimation consists of the sum of the data and the weights which will be appointed for these data. Weights are obtained from the solution of the linear equations system which is formed considering the criteria of impartiality and least error variance. Coefficients of the linear equations system are comprised of the semivariogram function values. The most significant superiority of the Kriging method is its presentation of an opportunity to assess the magnitude of the estimation error through the Kriging variance. The semivariogram and Kriging methods, which were developed within the geostatistical methods, found many study fields for themselves. Substantial significance has been given to the usage of these techniques in the geographical studies which take hold of many disciplines such as geology, water resources and climatology, environmental science, agriculture/soil science, mathematics and statistics, ecology, engineering, petroleum engineering, astronomy etc. While human geographers are interested in whether a certain case is gathered in some areas more than the others or gathering changes in time, physical geographers research whether a certain case is distributed. At this point, geostatistics is used to research whether this observed gathering presents a certain pattern.

Geostatistics, which examines where the geographical variables are located, that is, their location, spatial interaction and the effects of the other geographical variables that influence the distribution of the variables in their own area, has become a method widely used in the science of geography, especially the field of physical geography, because it exhibits similar attributes with the data and problems of the sciences where geostatistics is commonly applied. Physical geographers have been more interested in the geostatistics, because its attribute values aren't defined in every region and its data values are defined for the irregular spatial units.

Geostatistics, which has many instruments and modeling techniques that can be applied to a lot of spatial problems like estimation, determination of the spatial variation scale, design of the sample in the primary data collection, regional identification, multivariate analysis and probability mapping, possesses a research literature including the fields of soil, biogeography, hydrography and climatology today. For example, regional precipitation estimations made as a result of the geostatistical analysis of the precipitation data, which are obtained from the precipitation observation stations, are important for the climatological studies. Estimation of the pollutant amount in water as a result of the geostatistical analysis, which is conducted on any pollutant taken from water, constitutes a good example for the hydrographic studies. On the other side, geostatistical methods are used for presenting the type distribution in biogeography and determining certain types at the points from where no samples have been taken. In agriculture, geostatistical methods are efficiently used for determining the soil properties, presenting the parameters used in the formation of soils' capability categories, taking productivity inventory of the agricultural soil, determining the physical and chemical properties of the soils and researching their mapping probabilities. Researchers who deal with the topic can find the answers of space-related questions like the following: (1) what kind of a change does a variable exhibit in space and time? (2) how much does it control this change in space and time? (3) where must the samples be positioned to explain the spatial variability? (4) how many samples are needed to demonstrate the spatial variability? (5) what is the value of the variable at a new location/time? (6) what is the uncertainty of the estimated values? Briefly, geostatistical analyses used in the physical geography are useful and effective for the efficient, quick and economic determination of the spatial variation.