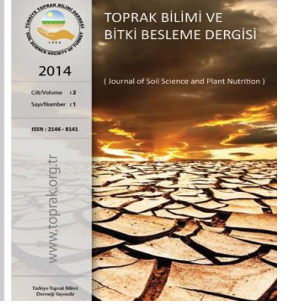




TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Toprak organik karbonu: jeostatistiksel bir yaklaşım

Tayfun Aşkın^{1,*}, Rıdvan Kızılkaya², Vladimir Olekhov³, Natalya Mudrykh³,
Iraida Samafalova³, Ferhat Türkmen¹

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ordu

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

³ Perm Devlet Tarım Akademisi, Perm, Rusya

Özet

Bu çalışmada; Rusya'da Batı Urallar olarak adlandırılan Perm Bölgesi'nde Perm Devlet Tarım Akademisi arazilerinden toprak işlemeli tarım yapılan bir arazide toprak organik karbonunun (SOC) uzaysal değişkenliğini değerlendirmek üzere jeostatistiksel teknikler uygulanmıştır. Yaklaşık 2,35 ha büyüklüğündeki bu arazi 25x25 m aralıklarla karelere bölünmüş ve 0,20 m derinlikten 51 adet toprak örneği toplanmıştır. Çalışma alanının topraklarında, toprak reaksiyonu (pH) en az değişkenlik gösteren özellik iken; değişebilir potasyum (Ex-K) en fazla değişkenlik gösteren toprak özelliği olmuştur. Yine bu alanda toprak organik karbonunun uzaysal değişimini modellemek üzere etki mesafesi 151,04 m olan Gaussian model seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak organik karbonu, uzaysal değişkenlik, alana özgü yönetim.

Soil organic carbon : A geostatistical approach

Abstract

In present study, geostatistical techniques was applied to assess the spatial variability of soil organic carbon content (SOC) in the tilled layer in a Perm State Agricultural Academy Farm site in Perm region, West Urals, Russia. A 250x100 m plot (approximately 2.35 ha) was divided into grids with 25x25 m spacing that included 51 sampling points from 0-0.2 m in depth. Soil reaction (pH) was the least variable property while the Ex-K was the most variable. The range of influence occurred for SOC was 151.04 m.

Keywords: Soil organic carbon, spatial variability, site specific management.

© 2014 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Karasal ekosistemlerin toprak özellikleri, farklı uzaysal ve mekânsal ölçeklerde topraklara karakter kazandıran değişkenler tarafından kontrol edilmektedir. Toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin, tarımsal alanların birkaç hektarı içerisinde kısa mesafelerde dahi belirgin bir şekilde değişebilmesi olasıdır (Benayas ve ark. 2004; Cambardella ve ark. 1994; Chien ve ark. 1997). Küçük ölçekli değişkenlik, gözlemci için çok belirgin olmayıp ölçülmesi de zor olabilir. Küçük ölçekli değişkenliğin analizi, seçilen bir alan için toprak verimliliğinin yönetiminde pratik kullanımlara sahiptir (Brady ve Weil, 2002). Topraklar hem organik hem de inorganik formlarda karbon (C) içerirler. Pek çok toprakta (kireçli topraklar hariç), karbonun büyük bir kısmı, toprak organik karbonu (SOC) olarak tutulur. Toprak organik maddesi terimi (SOM), topraktaki organik bileşenleri tanımlamak için kullanılmaktadır (ölü bitki ve hayvanlardan kaynaklanan dokular, bunların parçalanma ve ayrışma ürünleri ve toprak mikrobiyal kütlesi). Toprak organik karbonu terimi, toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbona işaret etmektedir. Toprak organik maddesinin bileşenleri; şekerler, aminoasitler ve yağlar gibi ayrı ayrı tanımlanabilen humik olmayan maddeler ve daha karmaşık yapıda olup, tanımlanamayan organik bileşenlerden oluşan humik maddeler olarak ayrılabilir. Organik bileşikler ister humik olsun ister humik olmayan olsun, karbon, oksijen ve

* Sorumlu yazar:

Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 52200 Ordu

Tel.: 0(452)2265200

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: tayfuna@odu.edu.tr

hidrojen kapsamakla birlikte; azot, fosfor ve kükürt de kapsayabilir (Batjes, 1996; Batjes ve Sombroek, 1997; Lal, 2004; Smith, 2004).

Klasik istatistiğin temelini, rastgele olayları konu edinen olasılık teorisi oluşturmaktadır. Başka bir ifadeyle, klasik istatistik rastgele değişkenler teorisinin bir sonucudur. Hâlbuki toprak oluşum süreçleri göz önüne alındığında, pek çok toprak özelliği matematiksel bir model ile ifade edilebilen üç boyutlu uzay koordinatında yer alır. Dolayısıyla toprak özellikleri rastgele davranmayıp, fonksiyonlarla ifade edilebilen uzaysal bir davranış sergilemektedir. Son yıllarda jeostatistiksel metotların toprak biliminde kullanılmasıyla birlikte toprak özelliklerinin, istatistiksel olarak daha anlamlı bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlanmıştır. Toprak biliminde kullanımı giderek yaygınlaşan jeostatistik, tarla ölçeğinde toprak örneklemeyle uzaysal bağımlılık gösteren toprak özelliklerinin örnekleme yapılmayan nokta ve alanlarda tahmin edilmesine yönelik olarak oldukça kullanışlı olabilmektedir. Semivaryogram ve otokorelagram toprak özelliklerinin uzaysal yapısını ortaya koymak üzere, jeostatistiksel tekniklerin tipik temsilcileridir (McBratney ve Webster, 1983; Oliver, 1987; Kerry ve Oliver, 2004, Aşkın ve Kızılkaya, 2006; Aşkın, 2010). Toprak organik karbonu, organik maddenin esas bileşeni olduğundan, diğer toprak özellikleriyle olan ilişkilerinin uzun süreli gözlemlerde daha iyi anlaşılabilmesi için uzaysal değişkenliğinin ifade edilmesi daha doğru bir yaklaşım tarzı olarak karşımıza çıkmaktadır (Jiang ve ark. 2008).

Bu çalışmanın amacı; jeostatistiksel teknikleri kullanarak tarla ölçeğinde toprak organik karbonunun (SOC) uzaysal değişkenliğini değerlendirmektir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı: Bu çalışmada kullanılan toprak örnekleri, Batı Urallar olarak adlandırılan Perm bölgesinde yer alan ve Perm Devlet Tarım Akademisi'ne ait toprak işlemeli tarım yapılan bir tarladan toplanmıştır. Perm, Kama nehrinin kenarlarında ve Ural dağlarının Avrupa kesiminde yer alan merkezi bir şehirdir. 1940-1957 yılları arasında Molotov olarak isimlendirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Örnekleme desenini gösteren yer buldur haritası. Koordinatlar metre biriminde ve projeksiyon sistemi olarak UTM kullanılmıştır.

Hafif eğimli bir topoğrafyada yer alan çalışma alanındaki topraklar, iyi drenaja sahiptir ve orta tekstürlüdür. Perm bölgesi, en yüksek sıcaklığı 37.2 °C ve en düşük sıcaklığı ise -47.1 °C olmak üzere yazları sıcak ve kışları uzun soğuk geçen kıtasal bir iklime sahiptir. Uzun yıllar ortalamalarına göre (50 yıllık bir dönem) yıllık ortalama sıcaklık 7.1 °C, yıllık ortalama yağış ise 657 mm olarak kaydedilmiştir.

Çalışma alanı neredeyse tekdüze olup, 25x25 m boyutlarında ızgaralara bölünmüş ve ızgaraların kesişme noktalarından 51 adet yüzey toprağı örneği (0-0.20 m derinlikten) toplanmıştır.

Toprak analizleri: Kimyasal analizler için hava kuru hale getirilen toprak örnekleri, 2 mm elek açıklığına sahip paslanmaz çelikten yapılmış bir test eleğinden elendikten sonra kapalı kutularda muhafaza edilmiştir. pH' sı 7.0 olan 1.0 N amonyum asetat ile ekstrakte edilen toprak örneklerinde, flame fotometre ile Na ve K, EDTA titrasyonu yolu ile de Ca ve Mg (Page, 1982). Toprakların organik karbon içeriği değiştirilmiş Walkley-Black metodu (Nelson ve Sommers, 1982), tane büyüklük dağılımı hidrometre metoduna göre (Gee ve Bauder, 1979), toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenliği (EC) in 1:1 (w/v) toprak-su oranında pH metre ve EC metre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Peech, 1965).

İstatistiksel analiz: Tanımlayıcı istatistikler SPSS 15.0 yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Mesafeye bağımlı yarı-varyanslar (isotropic semivariances) GS⁺ adlı jeostatistik paket programı kullanılarak hesaplanmıştır (GS⁺, 2006).

Yarı-varyans (semivariance), $\gamma(h)$, aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır:

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

Burada: N(h), h ayırma mesafesi ile ayrılan örnek çifti sayısı; Z(X_i) and Z(X_i + h) her bir ayırma mesafesinde belirlenen ölçüm değerlerini göstermektedir.

Yarı-varyogram (semivariogram), her bir ayırma mesafesi ve bu mesafeler için hesaplanan yarı-varyans (semivariance) değerlerinin grafik haline getirilmesidir. Yarı-varyogramın şekli, uzaysal bağımlılık hakkında iyi bir fikir verir. Deneysel yarı-varyogramın külçe etkisi (nugget) (C₀), tepe varyansı (sill) (C₀+C) ve etki mesafesi (range) (A₀) bileşenleri, uzaysal bağımlılığın matematiksel bir model olarak iyi bir şekilde ortaya koyulmasında gerekli model bileşenleridir (Cambardella ve ark. 1994).

Bu çalışmada kullanılan GS⁺ paket programı, yarı-varyogramları oluşturmak üzere birkaç modele sahip olmakla birlikte, bu çalışmada isotropik Gaussian modeli kullanılmıştır:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(\frac{-h^2}{A_0^2}\right) \right] \quad (2)$$

Burada; C₀ külçe (nugget) varyans ≥ 0 , C yapısal varyans $\geq C_0$, (C₀+C) tepe (sill) varyans, and A₀ uzaysal korelasyonun etki aralığı (range) (GS⁺, 2006).

Bu çalışmada; örneklenmeyen noktalarda da veri tahmin etmek üzere nokta kriging (point kriging) kullanılmış ve sonrasında ArcGis paket programı kullanılarak toprak organik karbonu için değişim haritası (contour map) üretilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Toprak özellikleri: Çalışma alanından toplanan 51 adet toprak örneğinin ortalama kum miktarı % 33.6, silt miktarı %39.7 ve kil miktarı da %26.7 olup, toprak tekstür sınıfı tınlıdır. Yine toprak özelliklerine ait bazı tanımlayıcı istatistikler, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Toprak özelliklerine ait özet istatistikler (n = 51)

| Toprak özellikleri | \bar{x} | S _e | Min. | Max. | S _d | Skw | Kur | |
|---|------------|----------------|-------|------|----------------|-------|--------|--------|
| pH (1:1 toprak:su süspansiyonu) | 7.07 | 0.028 | 6.67 | 7.67 | 0.203 | 0.785 | 1.177 | |
| Elektriksel iletkenlik (EC), dS m ⁻¹ | 0.15 | 0.007 | 0.05 | 0.29 | 0.053 | 0.797 | -0.021 | |
| Organik karbon içeriği (SOC), % | 1.15 | 0.060 | 0.45 | 2.75 | 0.430 | 1.560 | 3.420 | |
| Değişebilir | Na (Ex-Na) | 0.22 | 0.006 | 0.15 | 0.35 | 0.041 | 0.839 | 1.227 |
| | K (Ex-K) | 1.08 | 0.083 | 0.48 | 4.32 | 0.591 | 3.526 | 17.695 |
| | Ca (Ex-Ca) | 10.29 | 0.251 | 7.00 | 14.70 | 1.790 | 0.430 | -0.524 |
| | Mg (Ex-Mg) | 1.37 | 0.051 | 0.68 | 2.24 | 0.361 | 0.565 | 0.132 |

\bar{x} , aritmetik ortalama; S_d, standart sapma; S_e, standart hata; Skw, çarpıklık; Kur, basıklık

Çalışma alanındaki topraklar, çoğunlukla orta tekstürde, nötr toprak reaksiyonunda olup, orta derecede organik karbon içeriğindedir (ortalama %1,15) ve düşük elektriksel iletkenliğe sahiptir (<0.98 dS m⁻¹) (Soil Survey Staff, 1993).

Toprak organik maddesinin uzaysal değişkenliği: Toprak organik karbon içeriği değerlerinin elde edildiği örnekleme noktalarından oluşturulan örnekleme çiftleri kullanılarak yarı-varyans (semivariance)

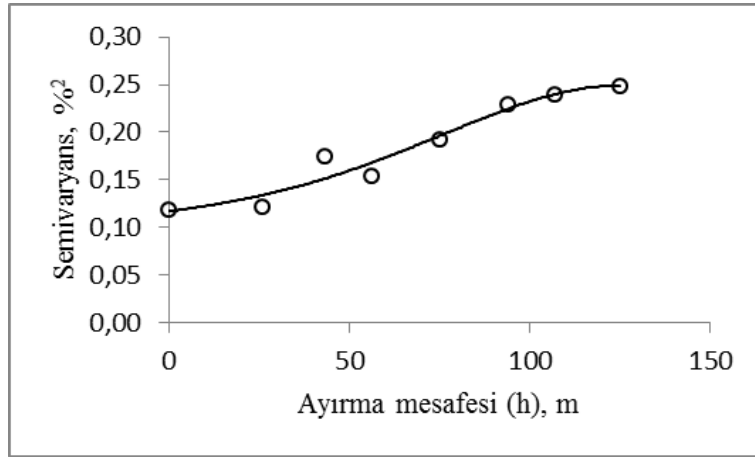
değerleri GS⁺ paket programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu paket programında yer alan matematiksel modellerden en düşük azaltılmış kareler toplamı (RSS) (reduced sums of squares) ve en büyük R² değerine sahip Gaussian modeli çalışma alanında toprak organik karbon içeriklerinin uzaysal değişkenliğini ifade etmek üzere otomatik olarak seçilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Toprak organik maddesinin varyogramına ait isotropik model ve bileşenleri

| Değişken | Nugget Co | Sill Co+C | Range(Ao), m | C/Co+C % | Co/Co+C % | R ² | Model | SD |
|----------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|----------------|----------|----|
| SOC | 0.1183 | 0.2646 | 151.04 | 55.3 | 44.7 | 0.94 | Gaussian | M |

SD, uzaysal bağımlılık; M, orta derecede

Çalışma alanındaki toprakların organik karbon içeriklerindeki uzaysal değişkenliğin ifade edilmesinde kullanılabilir en uygun deneysel varyogram, her bir ayırma mesafesi bağımsız değişken olarak, bu ayırma mesafeleri için hesaplanan yarıvaryans değerleri de bağımlı değişken grafik haline getirilmiş ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



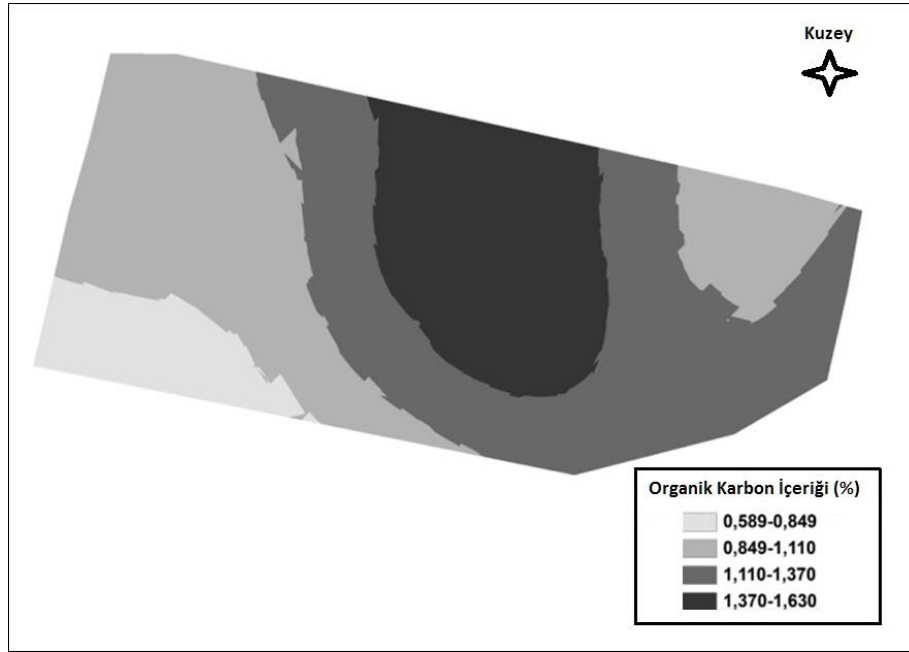
Şekil 2. Toprak organik karbonu için deneysel varyogram

Çalışma alanında toprakların organik karbon içerikleri sadece mesafenin bir fonksiyonu olarak (izotropik) uzaysal bağımlılık göstermiş ve bu değişkenlik Gaussian model ile ifade edilmiştir. Modelin etki mesafesi 151,04 m olarak saptanmıştır. Daha sonra Gaussian model kullanılarak nokta kriging yardımıyla birbirine komşu olan 10 noktadan istifade edilerek, daha önce örnekleme yapılmayan 7875 nokta için toprak karbon içeriklerine ait tahmin değerleri elde edilmiştir. Hem analizle bulunan hem de nokta kriging ile tahmin edilen toprak organik karbon içeriklerine ait bazı tanımlayıcı istatistikler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Toprak organik karbonunun ölçülen ve tahmin edilen değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

| Tanımlayıcı istatistikler | Toprak organik karbonu (SOC), % | |
|---|---------------------------------|---------------|
| | Ölçülen | Tahmin edilen |
| Örnek sayısı (n) | 51 | 7875 |
| Minimum | 0.45 | 0,58 |
| Maximum | 2.75 | 2,42 |
| Aritmetik ortalama | 1.15 | 1.14 |
| Standart sapma | 0.430 | 0.051 |
| Tahmin hataları | | |
| Ortalama | | 0.0049 |
| Hata kareler ortalamasının karekökü (RMS) | | 0.3754 |
| Standardize edilmiş ortalama | | 0.0096 |
| Standardize edilmiş hata kareler ortalamasının karekökü | | 0.980 |

Nokta kriging ile tahmin edilen 7875 değer kullanılarak, çalışma alanı için toprak organik karbonu değişim haritası çizilmiştir (Şekil 3). Şekil 3'ten de görüleceği üzere, çalışma alanındaki topraklar orta düzeyde toprak organik karbon içeriğine sahiptir. Çalışma alanında eğimin arazinin diğer kesimlerine göre nispeten azaldığı orta ve alt kısımlarında yer alan toprakların organik karbon içerikleri artmıştır.



Şekil 3. Nokta kriging ile tahmin edilen toprak organik karbonun değişim haritası

Toprak organik karbon içeriğinin uzaysal bağımlılığı: Külçe etkisi (nugget effect), belirlenemeyen deneysel hatalardan veya toprağın doğasında var olan değişkenlikten ortaya çıkan, teorikte 0 olması gereken ancak hiçbir zaman olamayan, varyogram modellerinin bir bileşenidir. Sill ise toplam değişkenliğin tepe değeridir. Külçe etkisinin (nugget variance) tepe değerine (sill) oranı toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılık derecesini sınıflandırmak üzere kullanılabilen iyi bir ölçüttür. Şayet bu oran değeri, %25'ten küçük ise kuvvetli uzaysal bağımlılık; %25 ile %75 arasında ise orta derecede bağımlılık ve %75'ten büyük ise zayıf derecede bir uzaysal bağımlılık söz konusudur (Chien ve ark. 1997). Bizim çalışmamızda toprakların organik karbon içeriklerine ait uzaysal bağımlılığın orta derecede olduğu ifade edilebilir (Tablo 2). Jiang ve ark. (2008) yaptıkları bir çalışmada, tarla ölçeğinde toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerine ait kuvvetli ve orta derecede uzaysal değişkenlik olduğunu belirtmişlerdir. Yine Jilili ve ark. (2012) gerçekleştirdikleri bir araştırmalarında; 0-10 cm ve 10-20 cm derinlik için toprak organik madde içeriklerine ait uzaysal değişkenliği üssel (exponential) model, 20-30 cm derinlik için küresel (spherical) model ve 30-50 cm derinlik için ise doğrusal (linear) model ile ifade edilebileceğini bildirmişlerdir. Yine bu çalışmada, toprakların organik madde kapsamlarına ait uzaysal değişkenliğin orta derecede bir uzaysal bağımlılık gösterdiği vurgulanmıştır.

Toprak organik karbonu (SOC) ile ilgili Kriging tahminlerinin doğrulanması: Tablo 3'ten de görüleceği üzere; tahmin hatalarına ait ortalama değer neredeyse 0'dır. Ayrıca ölçülen ve tahmin edilen değerlere ait tanımlayıcı istatistikler birbirine oldukça benzerdir. Nokta kriging ile tahmin edilen SOC değerleri (%0.58 ile %2.42 arasında değişmiş, ortalama %1.14 olmuştur) neredeyse ölçülen değerlerle aynı elde edilmiştir (%0.45 ile %2.75% arasında değişmiş, ortalama %1.15 olmuştur). Tahmin edilen değerlere ait standart sapma ise ölçülen değerlere ait olandan daha düşük çıkmıştır. Tüm bu yaklaşımlar dikkate alındığında, bu çalışmada seçilen model ve yapılan tahminler doğruya oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla bu alana benzer nitelikteki başka alanlarda da bu çalışmadan elde edilen yaklaşımlar rahatlıkla kullanılabilir (Trangmar ve ark. 1985; Öztaş, 1996; Ardahanlıoğlu ve ark. 2003; Başkan, 2004; Aşkın, 2010; Aşkın ve ark. 2011).

Sonuçlar

Çalışma alanında yer alan toprakların organik karbon içeriklerine ait uzaysal bağımlılık için etki mesafesi 151.04 m olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışma alanında seçilen örnekleme mesafesi (25x25 m) toprak organik karbon içeriğinin uzaysal değişkenliğini ifade edebilmede oldukça yeterli olmuştur. Bu alan veya bu alana benzer özellikteki alanlarda toprak verimliliği ve üretkenliği ile ilgili çalışmalarda, burada seçilen örnekleme deseni kullanılabilir. Ayrıca bu alanda yer alan toprakların orta derecede bir uzaysal bağımlılık gösteren organik karbon içerikleri isotropik Gaussian model ile ifade edilebilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, tarla ölçeğinde yüzey topraklarının organik karbon içeriklerine ait uzaysal dağılımının jeostatistiksel tekniklerden yararlanılarak daha anlamlı bir şekilde ortaya koyulabileceğini göstermiştir. Bu

yaklaşımdan hareketle, tarla ölçeğinde toprak organik karbon içeriği değişiminin doğruya yakın bir şekilde haritalanması da mümkün olmuştur. Jeostatistiksel tekniklerden kriging örnekleme yapılmayan nokta ve alanlarda veri tahmin edebilmek üzere, örnekleme stratejilerinin daha doğru bir şekilde yapılabileceğine vurgu yapmıştır. Ayrıca kriging tekniğinin, yapılan tahminlere ait hata tahminlerine de imkân vermesi en avantajlı yönü olmuştur. Toprak organik karbonunun uzaysal analizi, toprak verimliliği ve toprak kalitesi ile ilgili çalışmalarda örnekleme desenlerinin seçiminde kullanıcılara sağladığı kolaylık ve doğruluğu dikkate alındığında, oldukça faydalı bir yaklaşım tarzı olmuştur. Alana özgü toprak yönetimlerinde, jeostatistiksel tekniklerin kullanılmasıyla birlikte, kullanıcılara karar verme alternatifleri açısından önemli avantajlar sağlanabileceği de ifade edilebilir.

Kaynaklar

- Abuduwaili J, Tang Y, Abulimiti M, 2012. Spatial distribution of soil moisture, salinity and organic matter in Manas River watershed, Xinjiang, China. *J. Arid Land*, 4(4):441-449.
- Ardahanloğlu I, Öztaş T, Evren S, 2003. Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt- and sodium-affected areas of the Iğdır plain (Turkey). *J. Arid Environ.*, 54:495-503.
- Aşkın T, Kızılkaya R, 2006. Assessing spatial variability of soil enzyme activities in pasture topsoils using geostatistics. *Eur. J. Soil Biol.*, 42:230-237.
- Aşkın T, 2010. Evaluation of some soil properties as related to landscape position using geostatistical techniques, International Scientific and Practical Conference on Scientific Support – To Innovative Development of the Agro-Industrial Complex), 18-19 November, Perm State Agricultural Academy, Perm-Russia, p. 34-40.
- Aşkın T, Sinitisa YN, Kızılkaya R, 2011. The spatial variability of arylsulphatase activity: A study from agricultural ecosystems, International Conference on "Resource Potential of Soils – The Basis of the Food and Ecological Safety of Russia", 1-4 March, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg-Russia, p. 324-327
- Başkan O, 2004. Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeostatistik uygulaması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Ankara.
- Batjes NH, 1996. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.*, 47(2):151-163.
- Batjes NH, Sombroek WG, 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and sub-tropical soils. *Global Change Biol.*, 3(2):161-173.
- Benayas JMR, Sacher-Colomer MG, Escudero A, 2004. Landscape- and field-scale control of spatial variation of soil properties in Mediterranean montane meadows. *Biogeochemistry*, 69: 207-225.
- Brady AC, Veil RR, 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13th ed. New Jersey:Prentice Hall.
- Cambardella CA, Moorman AT, Novak JM, 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511
- Chien YJ, Lee DY, Guo HY, 1997. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Sci.*, 162:291-298.
- Gee GW, Bauder JW, 1979. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1004-1007.
- GS+, 2006. *Geostatistics for the Environmental Sciences*, Gamma Design Software, Plainwell, MI, USA, 2006.
- Jiang Y, Zhang Y, Liang W, 2008. Field-scale variability of soil exchangeable cations in a Chinese Ecological Research Network (CERN) Site. *Agric. J.*, 3(3):208-215.
- Kerry R, Oliver MA, 2004. Average variograms to guide soil sampling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5: 307-325.
- Lal R, 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123:1
- McBratney AB, Webster R, 1983. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties: V. Co regionalization and multiple sampling strategy. *J. Soil Sci.*, 34:137-162.
- Nelson DW, Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis* (ed. Page AL) Part 2, ASA, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, p. 539-580
- Oliver MA, 1987. Geostatistics and its application to soil science. *Soil Use and Manag.*, 3:8-19.
- Öztaş T, 1996. Identifying spatial variability of soil depth lost to erosion in a rolling landscape using Kriging analysis. *Symposium on Agriculture-Environment Relations*, 327-335, Mersin, Turkey.
- Page AL, 1982. Chemical and Microbiological Properties. In: *Methods of Soil Analysis* (ed. Black CA) Part 2, ASA, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA p. 149-166.
- Peech M, 1965. Hydrogen-Ion Activity. In: *Methods of Soil Analysis* (ed. Black CA) Part 2, ASA, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, p. 914-925
- Smith P, 2004. Soils as carbon sinks: the global context. *Soil Use & Manag.*, 20: 212-218 Suppl.
- Soil Survey Staff, 1993. *Soil Survey Manual*. USDA Handbook No. 18, US Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Trangmar BB, Yost RS, Uehara G, 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agron.*, 38:45-93.