

## Cokriging Yönteminin Tarla Kapasitesi Tahmininde Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi

Tülay TUNÇAY\*<sup>1</sup> Oğuz BAŞKAN<sup>1</sup> İlhami BAYRAMIN<sup>2</sup> Şeref KILIÇ<sup>3</sup> Orhan DENGİZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

<sup>3</sup>Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ardahan

<sup>4</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

\*Sorumlu yazar e-posta (Corresponding authore-mail): tulaytuncay@gmail.com

DOI: 10.21657/topraksu.338299

### Öz

Jeoistatistik toprak biliminde son yıllarda yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Özellikle yoğun iş gücü ve emek gerektiren analiz sonuçlarının konumsal dağılımlarının belirlemek amacıyla eş kestirim (cokriging) tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada TİGEM'e bağlı Altınova Tarım İşletmesi arazisinde 32 km<sup>2</sup>'lik (8 parsel) bir alanda yürütülmüştür. Toprak örnekleme 500 m aralıklarla grid yöntemi ile toplam 135 adet yüzey örnekleme (0-20 cm) yapılmış ve alınan örneklerinin bünyeleri belirlenmiştir. Çalışmada aynı zamanda co-kriging tekniğinin önemli ölçüde zaman ve işgücü gerektiren tarla kapasitesi değerinin tahmin etmedeki etkinliğinin belirlenmesi amacıyla azaltılmış toprak örnekleme ile tarla kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre tarla kapasitesi ile en yüksek ilişki gösteren kil değeri (R: 0,68) analiz için yardımcı değişken olarak seçilmiştir. Cokriging tekniği tarla kapasitesi değerinin konumsal yapısını tahmin etme etkinliği ortalama mutlak hata (OMH) ve hata kareler ortalaması (HKO) değerleri dikkate alınarak azaltılan oranlarda tarla kapasitesi değerleri ile test edilmiştir. Sonuçlar cokriging tekniğinin toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde önemli avantaj sağladığını göstermiştir. Cokriging tekniği 63 TK değerleri için bile düşük MAE ve MSE değerleri konumsal yapının doğru bir şekilde haritalanmasını sağlamıştır. Araştırma sonucu yüksek korelasyon katsayısının konumsal yapıyı doğru yansıtmada tek başına yeterli olmadığını, bununla birlikte konumsal yapıyı doğru yansıtan yardımcı değişkene gereksinim duyduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Cokriging, jeoistatistik, kriging, yarivariogram

## Determination of the Applicability of the Cokriging Method in Estimating Field Capacity

### Abstract

In recent years, geostatistic has become a commonly used method in soil science. The co-kriging technique is widely utilized in determining the spatial distribution of particularly labor- and effort-intensive analysis results. This study was conducted over a 32-km<sup>2</sup> area (eight plots) within the Altınova Agricultural Enterprise, a subsidiary of the General Directorate of Agricultural Enterprises (TİGEM). A total of 135 soil samples (0–20 cm) were collected on a 500 m-spaced grid, and it was determined to soil texture in all soil samples. Additionally, field capacity (FC) values were determined through reduced sampling with an aim to assess the effectiveness of the co-kriging method in the estimation of FC values that require significant amounts of time and labor. On the basis of the results of correlation analysis, the clay value (R: 0.68) showing the highest correlation with FC was selected as a sub-variable. The effectiveness of the co-kriging technique in estimating the spatial structure of the FC value was tested with reduced proportions of FC values by taking the Mean Absolute Error (MAE) and Mean Squared

Error (MSE) values into account. The results obtained highlighted the significant advantages of the co-kriging method in the estimation of soil properties. The co-kriging technique enabled accurate mapping of the spatial structure even for 63 FC values with low MAE and MSE values. The current study has shown that a high correlation coefficient is insufficient in accurate representation of the spatial structure by itself, but it requires an auxiliary variable.

**Anahtar Kelimeler:** Cokriging, geostatistic, kriging, semivariogram

## GİRİŞ

Jeoistatik metotlar, araştırma alanı içerisinde incelenen toprak özelliğinin konumsal değişikliğini belirlemesi ve bu özelliğin örneklenmeyen bir noktada en az hata ile tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır (Öztaş, 1995; Başkan, 2004). Geoistatistik ilk defa Güney Afrika'da madencilik araştırmalarında D.G. Krige tarafından (1951) kullanılmış, temel prensipleri ise ilk olarak Matheron (1963) tarafından belirlenmiştir.

Konumsal özellikler yarıvariogramlarla ifade edilmektedir. Uygun konumsal yapının tahmin edilmesi ve haritalanması faktöriyel kriging veya kriging analizleri olarak bilinen kriging varyasyonlarının kullanılması ile yapılmaktadır (Matheron, 1982; Goovaerts, 1992).

Örnekler arasındaki konumsal bağımlılık mesafe boyutundan başka yöne göre de oluşabilir. İncelenen özellikler için belirlenen yarıvariogram değerlerinin yönere göre değişiklik göstermesi yönsel bağımlılığın (anisotropik) bir göstergesidir. Yön sel bağımlılığın olduğu durumlarda, varyasyonun maksimum ve minimum olduğu yönler dikkate alınarak hesaplanan bir katsayının yarıvariogramın eğim bileşimine ilave edilmesi gerekmektedir (Webster ve Oliver, 1990).

Hassas tarımın etkinliğinin toprak özelliklerinin doğru ve etkili şekilde haritalanmasına bağlı olduğu bilinmektedir. Toprak özelliklerinin haritalanmasında toprak örnekleme sayısı, örnekleme noktaları arasındaki mesafe ve interpolasyon işlemlerinin seçimi gibi birçok faktör etkili olmaktadır. Kravchenko (2003), bu amaçla yaptığı çalışmada, farklı örnekleme yoğunluğunda grid toprak örneklemesini, iki interpolasyon işleminin performansı üzerine verilerin uzaysal korelasyon kuvvetinin ve veri değişkenliğinin etkisini değerlendirmesini amaçlamıştır. Sonuç olarak, toprak örneklerinin %12-67 arasında değişen varyasyon katsayısıyla grid noktaları arasında 30 m'lik mesafede düzenli grid yöntemi kullanılarak 20 ha'lık bir alanda

örneklendiği, simüle edilen uzaysal yapıların kuvvetinin zayıf külçe etkisi/ eşik değeri oranında (0,6) güçlü etkisi/eşik değeri oranında (0,1) doğru sıralandığı ve sonuçların değişim katsayısına bakılmaksızın güçlü uzaysal yapıya sahip toprak özelliklerinin zayıf uzaysal ilişkiye sahip toprak özelliklerinden daha doğru olarak haritalandığı belirtilmiştir.

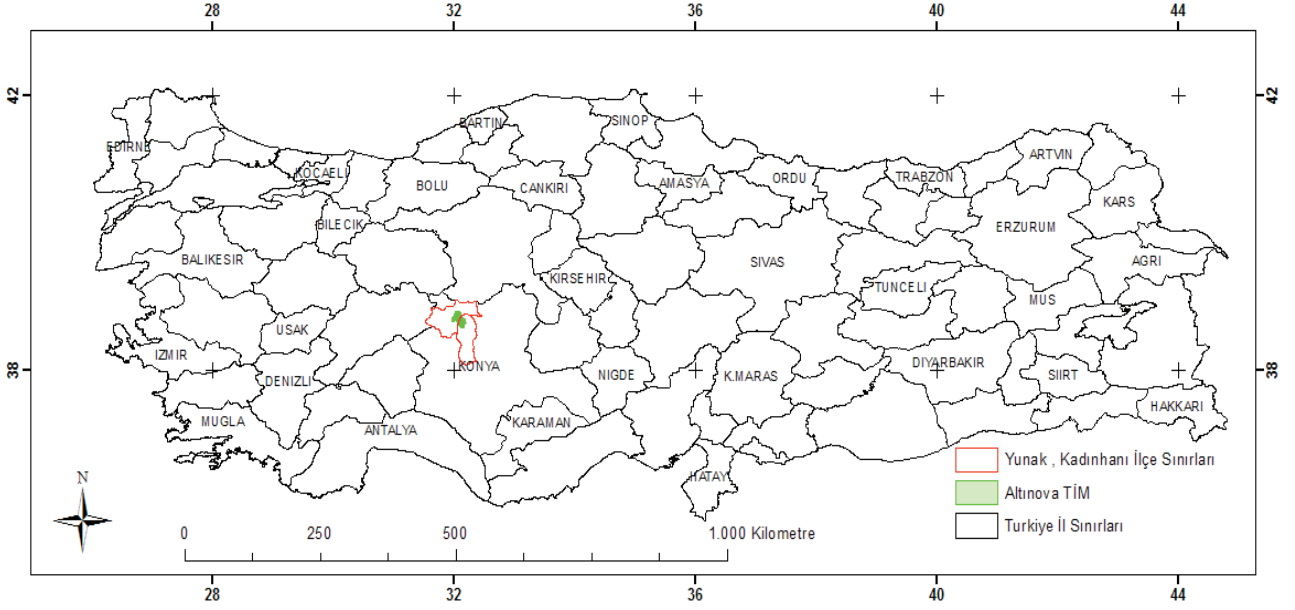
Tarımsal üretimde geleceğe yönelik amenajman uygulamalarına karar verebilmek için öncelikle toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğinin belirlenmesi önem taşımaktadır (Corwin ve Lesch, 2005; Corwin vd., 2006). Bitkisel üretim ve verimlilik için bitkiye yararlı su, infiltrasyon, toprak bünyesi ve strüktürü, toprak derinliği, sınırlayıcı toprak katmanları, organik madde gibi kimyasal bileşenlerle birlikte iklim ve topoğrafya gibi arazi özellikleri de önemli oranda etkili olmaktadır (Black, 1968; Tanji, 1996; Webster, 1985; Hillel, 1991; Sylla vd., 1995; Jordan vd., 2003). Bununla birlikte bazı araştırmacılar kriging yöntemi yerine cokriging (eş kestirim) yöntemi ile yardımcı değişken kullanarak tahmin yapma yoluna gitmişlerdir (Chang, 2002; Pawlowksy vd., 1995).

Bu çalışma ile yoğun iş gücü ve emek gerektiren analiz sonuçlarının konumsal dağılımlarının belirlemek amacıyla eş kestirim (cokriging) tekniğinin kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Araştırma Alanının Coğrafik Konumu ve İklim Özellikleri

Bu çalışma Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne ait Altınova Tarım İşletmesi'nde yürütülmüştür. İç Anadolu Bölgesinin 421239/3535249 m Doğu ve 488389/4272469 m Kuzey enlemleri arasında yer alan ortalama 915 m rakıma sahip Altınova TİGEM, Konya iline bağlı Kadınhanı ilçesinin 60 km kuzeyinde, Ankara'ya 189 km ve Konya iline 126 km uzaklıktadır (Şekil



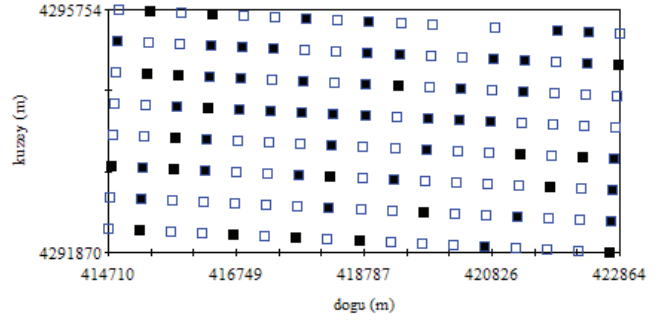
**Şekil 1.** Çalışma alanının yerbulduru haritası  
**Figure 1.** Site location map of the study area

1). İşletme 29608,6 ha'lık arazi varlığına sahiptir. Kültür altındaki alanlarda buğday, arpa, tritikale, yonca, mısır gibi ürünler yetiştirilmektedir. Bunlar arasında buğday yaklaşık 114.000 da'lık alana ekilerek işletme alanının önemli kısmını oluşturmaktadır. Bunu 16.000 da'lık ekimiyle arpa ve yaklaşık 350 da ile tritikale takip etmektedir (<http://www.tigem.gov.tr/>). İşletmede nadas ekim sistemi uygulanmaktadır.

Altınova Tarım İşletmesi meteorolojik verilerinden elde edilen toprak – su bütçesi diyagramına göre; yıllık ortalama toprak sıcaklığının 8 °C'den fazla, fakat 15 °C'den daha az ve ortalama yaz sıcaklığı (Haziran, Temmuz, Ağustos) ile ortalama kış sıcaklığı (Aralık, Ocak, Şubat) arasındaki fark 5 °C'den daha fazla olması nedeniyle araştırma alanı toprakları sıcaklık rejimi Mesic'tir. Ayrıca toprağın ardışık 90 gün den fazla (5 ay ) toprağın kuru kalması nedeniyle araştırma alanı Aridik nem rejimine dahil edilmiştir.

### Toprak örnekleme ve analiz

Bu çalışmada TİGEM'e bağlı Altınova Tarım İşletmesi arazisinde 32 km<sup>2</sup>'lik toplam olarak 8 parselde (P53, 54, 55, 56, 59, 60, 61 ve 62 nolu, yürütülmüştür (Şekil 2). Çalışma alanında 500 m aralıklarla grid yöntemi ile toplam 135 adet yüzey toprak örnekleme (0-20 cm) yapılmış ve alınan örneklerin bünyeleri (Bouyoucos, 1951) belirlenmiştir. Aynı zamanda alınan örneklerin 63 tanesinde tarla kapasitesi analizi (Anonymous, 1992) yapılmıştır.



**Şekil 2.** Örnekleme deseni

**Figure 2.** Sampling design

### Tanımlayıcı istatistikler

Alınan toprak örneklerinde kil içeriği ve tarla kapasitesi verilerine ait minimum, maksimum, ortalama, standart hata, değişim katsayısı ve çarpıklık katsayısı gibi tanımlayıcı istatistikler yapılmıştır. Kil içeriği ve tarla kapasitesi değerlerinin normal dağılıma uygunlukları Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile kontrol edilmiştir.

### Jeoistatistiksel analiz

Çalışma alanında kil içeriği ve tarla kapasitesi değerleri için elde edilen veriler jeoistatistik yöntem ile değerlendirilerek deneysel yarıvariogramlar oluşturulup, konumsal bağımlılık dereceleri belirlenmiştir. Her bir değişken (kil içeriği ve tarla kapasitesi) için en uygun yarıvariogram modelleri, farklı modellerin farklı araştırma stratejileri kullanılarak test edilmesine olanak sağlayan (Goovaerts, 1997) çapraz doğrulama analizi ile belirlenmiştir (Yates ve Warrick, 1987).

Yarıvariogramlar belli bir x mesafesi ile birbirlerinden ayrılan örnek çiftleri arasındaki varyansın mesafeyle olan ilişkisini gösterirler. Diğer bir ifade ile örnekleme çiftleri arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak uzaysal bağımlılığı tanımlar ve matematiksel olarak aşağıdaki Eşitlik 1 ile ifade edilirler (Journel ve Huijbregts 1978).

Her bir h uzaklığı için deneysel variogram

$$y^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (1)$$

ile hesaplanır. Eşitlikte N(h); h uzaklığına karşılık gelen örnek çifti sayısını, Z(x<sub>i</sub>) incelenen özelliğin " i " noktasındaki ölçüm değerini, Z(x<sub>i</sub> + h) incelenen özelliğin " i + h " noktasındaki ölçüm değerini göstermektedir.

Her model için ortalama mutlak hata (OMH) ve hata kareler ortalaması (HKO) değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik 2 ve 3). Yarıvariogram modellerinin oluşturulmasında yönlere göre olası bağımlılık (geometrik anizotropi) test edilmiş, bu amaçla farklı dört yönde (0°, 45°, 90° ve 135°) yarıvariogramlar oluşturulmuştur.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_g) - Z^*(x_t)] \quad (2)$$

$$HKO = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_g) - Z^*(x_t)]^2 \quad (3)$$

g: gözlemlenen değer

t: tahmin edilen değer

### Kestirim (Kriging) ve Eş Kestirim (Cokriging)

Çalışma alanında doğrusal interpolasyon tekniği olan, örnekleme yapılmayan alanların tahmininde kullanılan kriging yöntemi ile kil ve tarla kapasitesi değerleri 100 x 100 m aralıklarla oluşturularak 3159 noktada kestirim yapılmıştır. Kestirim işleminde en az 6 en fazla 9 komşuluk değeri kullanılmıştır (GS+7.0). Yapılan kestirim işlemi variogramın yapısal özelliklerini ve örneklenmiş noktaları kullanarak örnek alınmamış noktalardaki değişkeni tahmin etmeyi sağlayan bir interpolasyon tekniğidir (Tragmar et al. 1985) ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Eşitlik 4).

$$Z_0 = \sum_{i=1}^N Z_i^* W_i \quad (4)$$

Z<sub>0</sub> : Tahmin edilen değer

Z<sub>i</sub> : Ölçülen değer

W<sub>i</sub> : Ağırlığı ifade etmektedir.

Ağırlık (W<sub>i</sub>);

$$W_i = R^{-1} \times C$$

W<sub>i</sub> : Ağırlık vektörü

R : Variogram matrisi

C : Tahmin edilecek nokta ile tahminde kullanılacak örnekler arasındaki uzaklığa ilişkin variogramları içeren vektördür.

Çalışma alanında tarla kapasitesi değerlerinin kil içeriğini yardımcı değişken olarak kullanarak alansal dağılım haritasını oluşturmak amacıyla 100x100 m aralıklarla gridler oluşturulmuş, cokriging yöntemi kullanılarak toplam 3159 noktada kestirimler yapılmıştır (Eşitlik 5).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i + \sum_{j=1}^m \lambda_j y_j \quad (5)$$

$\lambda_j, \lambda_i$  sırası ile Z ve Y değişkenlerine ait ağırlıkları, m ve n'ler ise sırası ile Z ve Y değişkenlerine ait kestirimde kullanılan veri sayısını ifade eder.

Kriging işleminde atanan ağırlıklar aşağıdaki sınırlandırmalara dikkate alarak hata varyansını minimize ederek kestirim yapmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ ve } \sum_{i=1}^n \lambda_j = 0 \quad (6)$$

Eş kestirim (cokriging) kestirimlerde birincil ve ikincil değişkenler arasındaki covaryansdan faydalanmaktadır. Birincil değişkenin yeteri kadar örneklenmediği ve ikincil değişkenin daha iyi örneklendiği, birincil ve ikincil değişkenler arasındaki kovaryansın iyi modellenemediği durumda kestirim kalitesini artırılması için cokriging yöntemi kullanılmaktadır (Gruitjer et al. 1997; Chang, 2002)

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanındaki kil içeriği ve tarla kapasitesi değerlerinin tanımlayıcı istatistik verileri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1'den de görüldüğü gibi kil değerleri tarla kapasitesi değerlerine göre daha yüksek

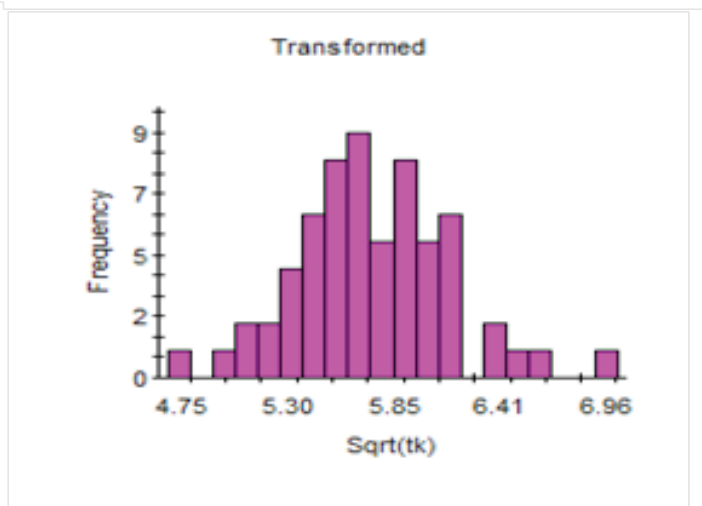
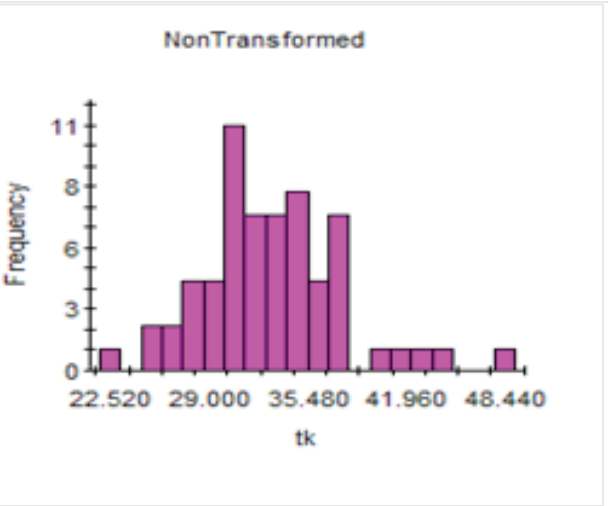
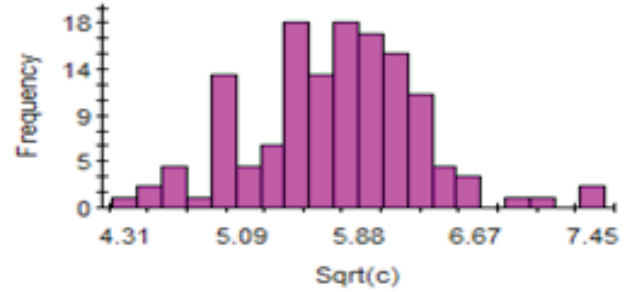
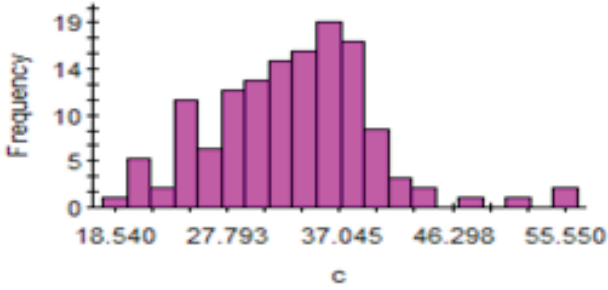
**Çizelge 1.** Kil (%) ve tarla kapasitesi değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

**Table 1.** Descriptive statistic of (%) clay and field capacity

Değişken	N	Ort.	Std. sapma	Minimum	Maksimum	Çarpıklık	Basıklık	Değişim Katsayısı
Kil (%)	135	33,21	6,82	18,53	55,55	0,61	1,39	20,55
TK	63	33,80	4,82	22,51	48,44	0,67	1,16	14,46

değişim katsayısına ve standart sapmaya sahiptir. Her iki değişkenin basıklık değerinin pozitif olması normalden daha dik bir dağılıma ve çarpıklık katsayılarının da 0'dan büyük olması nedeniyle + yöne eğimli ve sağa çarpık bir dağılımın göstergesidir. Verilerdeki çarpıklığı gidermek amacıyla karekök dönüşümü uygulanmış ve histogramlar Şekil 3'de verilmiştir.

Kil ve tarla kapasitesi için oluşturulan yarivariogram modellerinin uygunluğu ortalama mutlak hata (OMH) ve hata kareler ortalaması (HKO) değerleri hesaplanarak kontrol edilmiştir. Küçük OMH ve HKO değerleriyle tüm modellerin konumsal yapıyı doğru tahmin ettiğine karar verilmiştir. Cokriging yöntemi ile tarla kapasitesinin kil yardımcı değişkeni ile tahmin edilmesinde



**Şekil 3.** Kil içeriğine (a) ve tarla kapasitesi (b) değerlerine ve cokriging'e ait variogramlar

**Figure 3.** Variograms of clay content (a), field capacity values and cokriging

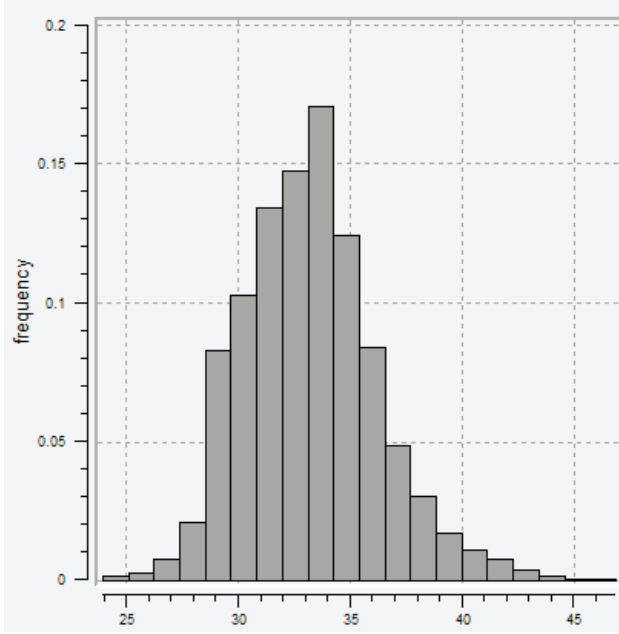
**Çizelge 2.** Kil ve tarla kapasitesi değerlerinin yarivariogram modelleri ve çapraz doğrulama analiz sonuçları

**Table 2.** Semi variogram models and cross validation results of clay and field capacity values

	Model	C0	C0+C	A	C/C0+C	OMH	HKO
Kil	Küresel	0,15320	0,35140	3180	0,5640	4,15	9,15
Tarla Kap.	Küresel	0,00460	0,16620	1450	0,972	3,18	6,55
Kil x TK	Küresel	0,00180	0,15060	1101	0,988	2,13	5,79

C0: kontrolsüz etki varyansı; C0+C: tepe varyansı; A: etki aralığı (m); MAE: ortalama mutlak hata; MSE: hata kareler ortalaması

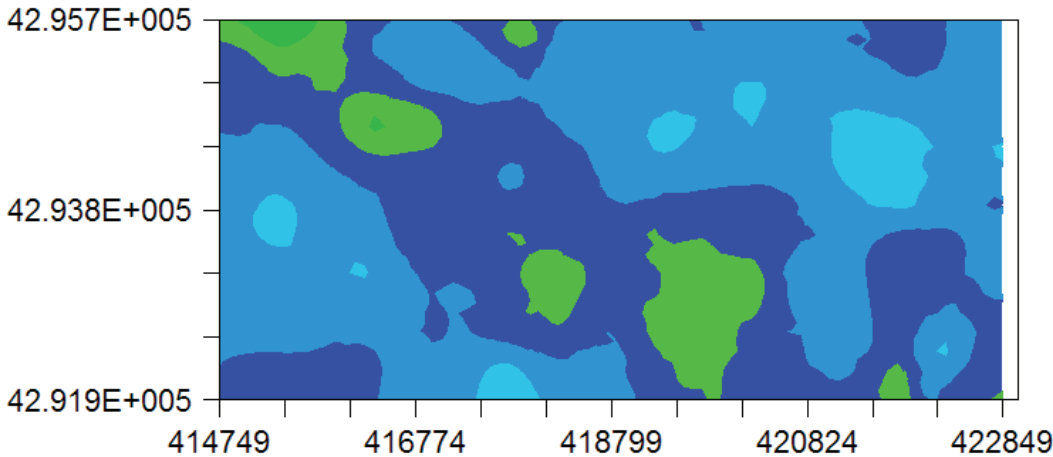
en düşük ortalama mutlak hata ve hata kareler ortalaması elde edilmiştir. Bununla birlikte tarla kapasitesi değerlerinin ortalaması (33,38) ile cokriging eş kestirim ile elde edilen verilerin ortalamasının (33,20) birbirine yakın çıkmış olması yöntemin analizi uzun ve masraflı olan analizlerde kullanılabilirliğinin bir göstergesidir Şekil 4 ve Şekil 5 (Pawlowsky- Glahn & Olea. 2004).



Şekil 4. Cokriging sonucu elde edilen verilerin histogramı

Figure 4. Histogram of datas obtained from cokriging results

Tarla kapasitesi değerlerine ait cokriging haritasında görüldüğü gibi çalışma alanının kuzeybatısında ve güneydoğusuna yakın yerlerde kil içeriğinin yüksek olmasına bağlı eş kestirim yönteminde de aynı yerlerde tarla kapasitesi değerleri yüksek çıkmıştır.



Şekil 5. Tarla kapasitesine ait cokriging haritası

Figure 5. Cokriging map of field capacity

## SONUÇLAR

Bu çalışmada 500 m aralıkla 135 noktadan alınan toprak örneklerinde kil (%) ve tarla kapasitesi değerleri analiz edilerek belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak önce her bir değişken için tanımsal istatistikler yapılmış, daha sonra uzaysal değişkenliği belirlemek amacıyla uygun teorik variogramlar belirlenmiştir. Seçilen variogram modellerinin, alanın uzaysal yapısının doğru olarak yansıtmadığı çapraz doğrulama analizleri ile kontrol edilmiştir. Değişkenlerde yöne bağlı değişim göstermemiştir. Kil ve tarla kapasitesi arasındaki korelasyon katsayısı 0,68 olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında tarla kapasitesi değerlerinin kil yardımcı değişkeni ile cokriging yöntemi ile tahmin edilmiştir. Cokriging yönteminin çapraz doğrulama sonuçlarına göre, ortalama mutlak hata ve hata kareler ortalaması daha düşük çıkmıştır. Uzun ve yoğun iş gücü gerektiren analizlerde cokriging yöntemi ile tahmin edilebilirliğini göstermiştir.

Kriging yönteminde sadece birincil değişkene ait veriler kullanılarak kestirim yapılmaktadır. Ancak eş kestirim yönteminde ikincil veriler de kullanılarak birincil verilerin olmadığı konumlarda ikincil veriler kullanılarak kestirim kalitesi arttırmak mümkündür.

## Teşekkür

Bu çalışma 1100729 kodlu TÜBİTAK TOVAG tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.



**KAYNAKLAR**

- Anonymous (1992). Soil Survey Methods Manual. USDA. Soil Survey Investigations Report No:42.
- Başkan O (2004). "Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik- Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulaması", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 176 sayfa, Ankara.
- Black C A (1968). "Soil-Plant Relationships", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., NewYork, NY.
- Bouyoucos G J (1951). A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agron. J.*, 43, p 434-438.
- Burgess T M, Webster R (1980). Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil Properties. I. The Semivariogram and Punctual Kriging. *J. Soil Sci.* 31:315-331.
- Chang K L (2002). Optimal estimation of the granulometric composition of soils. *Soil Science*, 167, 135-146.
- Corwin D L, Lesch S M, Oster J D, Kafka S R (2006). "Monitoring Management- Induced Spatio-Temporal Changes in Soil Quality through Soil Sampling Directed by Apparent Electrical Conductivity", *Geoderma*, 131, Issues 3-4, pp: 369-387.
- Corwin D L, Lesch S M (2005). "Characterizing Soil Spatial Variability with Apparent Soil Electrical Conductivity I. Survey Protocols", *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, pp: 103-133.
- Goovaerts P., (1992). "Factorial Kriging Analysis: A Useful Tool for Exploring The Structure of Multivariate Spatial Soil Information", *Journal of Soil Science*, 43, pp: 597-619.
- Goovaerts, P., 1997. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*. 89:1-45.
- de Gruitjer J J, Walvoort D J J, van Gaans P F M (1997). Continuous soil maps- a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models, *Geoderma*, 77, 169-195.
- Hillel D (1991). "Research in Soil Physics: A Review", *Soil Sci.*, 151, pp: 30-34.
- Jordan M M, Navarro-Pedreno J, Garcia-Sanchez E, Mateu J, Juan P (2003). "Spatial Dynamics of Soil Salinity under Arid and Semi-arid Conditions: Geological and Environmental Implications", *Environ. Geol.*, 45(4), pp: 448-456.
- Journel A G, Huijbregts C H J (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Pres. London.
- Kravchenko A N (2003). "Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, pp:1564-1571.
- Krige D G (1951). "A Statistical Approach to Some Mine Valuations and Allied Problems at Witwatersrand", M.Sc. thesis, University of Witwatersrand.
- Lark R M, Bishop T F A. Cokriging particle size fractions of the soil. *European Journal of Soil Science*, doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00866.x.
- Matheron G (1963). "Principles of Geostatistics", *Eron. Geol.*, 58, pp:1246-1266.
- Matheron G (1982). "Pour Une Analyse Krigeante de Donnees Regionalisees, Centre de Geostatistique, Ecole des Mines de Paris, Report N- 732, Fontainebleau.
- Öztaş T (1995). "Jeostatistigin Toprak Bilimindeki Önemi ve Uygulanışı", İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, Cilt I. Sayfa: 271-280, Ankara.
- Pawlowsky V, Ole R, Davis J C (1995). Estimation of regionalized comparison of three methods. *Mathematical Geology*, 27, 105-127.
- Pawlowsky- Glahn, V, Olea R A (2004). *Geostatistics Analysis of Compositional Data*. Oxford University Press, New York.
- Sylla M, Stein A, van Breemen N, Fresco L O (1995). "Spatial Variability of Soil Salinity at Different Scales in the Mangrove Rice Agro-ecosystem in West Africa", *Agric Ecosyst. Environ.*, 54, pp: 1-15.
- Tanji K K (ed.). (1996). "Agricultural Salinity Assessment and Management", ASCE, New York, NY.
- Tragmar B B, Yost R J, Uehara G (1985). Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties, *Advance in Agronomy*, 38, 65-91.
- Webster R (1985). "Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field", *Adv. Soil Sci.*, 3, pp: 1-70.
- Webster R, Oliver M A (1990). "Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey", Oxford University Pres, Oxford.
- Yates S R, Warrick A W (1987). Estimating soil water content using cokriging. *SSSAJ*. 51:23-30.