

## Toprak Özelliklerinin Mekânsal Değişim Desenlerinin Jeoistatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi

Hakan BAŞBOZKURT<sup>1\*</sup>, Taşkın ÖZTAŞ<sup>2</sup>, Adnan KARAIBRAHİMOĞLU<sup>3</sup>, Recep GÜNDOĞAN<sup>4</sup>,  
Aşır GENÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Konya, (hakan.basbozkurt@gmail.com)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum

<sup>3</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi, Tıp Eğitimi ve Bilişimi AD, Konya

<sup>4</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş Tarihi : 29.11.2014

Kabul Tarihi : 24.12.2014

**ÖZET :** Toprak gibi doğal kaynakların mekânsal değişiminin belirlenmesi, söz konusu kaynakların sürdürülebilir kullanım ve yönetiminde büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada; “Çamgazi Toplulaştırma ve TİGH (Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri) Projesi” kapsamında Adıyaman’ın Merkez ilçesine ait 19 köyü kapsayan alana ait toprak örneklerinde belirlenen; tane büyüklüğü (kum, silt ve kil), % saturasyon, toprak reaksiyonu (pH), çözünebilir tuz, elektriksel iletkenlik (EC), kireç miktarı, değişebilir Ca+Mg ve Na içerikleri ile B (Bor) konsantrasyonu gibi özelliklerin mekânsal bağımlılıklarının jeoistatistiksel metotlarla incelenmesi ve haritalanması hedeflenmiştir. İncelenen toprak özelliklerinden kum, silt, Ca+Mg ve Na izotropik lineer model, % saturasyon, pH, EC, kireç, kil ve B ise izotropik üssel model ile tanımlanmıştır. Toprak özelliklerinin mekânsal bağımlılıkları varyasyon katsayısı, variogram ve Moran’s I indeksine göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada bu üç yöntemle göre saturasyon, tuz, kireç, kil ve B’un mekânsal bağımlılığının orta ve yüksek derecede olduğu görülmüştür. Ayrıca alansal kriging interpolasyon metodu kullanılarak her bir özelliğin çalışma alanında örneklenmeyen alanlardaki değerleri tahmin edilerek dağılım desenleri haritalanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre çalışma alanı topraklarının mekânsal bağımlılık derecelerinin genellikle orta ve yüksek düzeylerde olduğu belirlenmiştir. İncelenen toprak özelliklerine ait yersel değişim haritaları yardımıyla çalışma alanında daha etkin toprak ve bitki yönetim stratejilerinin belirlenmesi mümkün olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Mekânsal analiz, jeoistatistik, variogram, kriging, Moran’s I istatistiği

### Assessment of Spatial Variability Patterns of Soil Properties by using Geostatistical Methods

**ABSTRACT :** Defining spatial variability patterns of natural resources including soil is important for sustainable use and management of these resources. The objective of this study was to define spatial variability patterns of soil characteristics and map the soils in “the Çamgazi Land Consolidation and TİGH (Developing Services In-Field) Project” area which covers 19 villages of the center town of Adıyaman. Spatial distribution patterns of particle size distribution (sand, silt and clay), saturation percentage, soil reaction (pH), soluble salts, electrical conductivity, CaCO<sub>3</sub> content, exchangeable Ca+Mg and Na, and B contents were analyzed using geostatistical methods. Sand, silt, exchangeable Ca+Mg and Na were defined with isotropic linear models, but saturation percentage, pH, EC, CaCO<sub>3</sub>, clay and B with isotropic power functions. Spatial dependency of the measured soil properties determined using the coefficient of variation (CV), variogram analysis and Moran’s I statistics. Spatial dependency of saturation, salt, lime, clay and B were found moderate and strong. Block Kriging analysis was performed successfully for estimating values at un-sampled areas and finally mapped for producing spatial variability patterns of soil properties. Results indicated that most of the measured soil characteristics showed moderate and strong spatial dependency. It may be possible to develop more effective management strategies for the study area by considering the spatial distribution patterns of measured soil properties.

**Key words:** spatial variability, geostatistics, variogram, Kriging, Moran’s I statistics.

### GİRİŞ

Toprak heterojen bir yapıya sahip olup araştırma alanında birçok fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından değişiklik göstermektedir. Bu bakımdan klasik istatistiksel yöntemler, toprağın mekansal olarak gösterdiği bu değişkenliği göstermede yetersiz kalmaktadır. Bunun yanı sıra toprağa ait bilgi toplamak için yapılan örneklemeler ve analizler kolay ve ekonomik değildir. Bu nedenle, toprağa ait değişkenliklerin önemli ölçüde var olup olmadığını değerlendirmek ve daha detaylı araştırmalar için yatırım yapmadan önce düşük maliyetli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Mekânsal analiz yöntemleri toprağa ait değişkenliklerin analizinde kullanılan ve sık sık başvurulan önemli yöntemlerin başında yer

almaktadır (Turgut ve Oztas, 2012; Cobaner et al, 2011; Karaman et al, 2012)

Mekânsal analiz son yıllarda giderek önemi artan istatistiğin en önemli dallarından birisi haline gelmiştir. Tobler (1970)’in “bütün mekânlar ilişkilidir, fakat yakın olanlar birbirleriyle daha fazla ilişkilidir” kuralı özellikle sosyal ve fiziksel unsurlar araştırma konusu olduğunda önem kazanmıştır. Klasik istatistikte, seçilen temsili noktaların birbirlerinden bağımsız oldukları ve örnekleme ortalamasının popülasyon ortalamasını en iyi şekilde temsil ettiği varsayılır. Oysa mekânsal verilerin analizinde komşu verilerin birbirleri ile ilişkili oldukları düşünüldüğünde, klasik istatistiğin temel varsayımları sağlanamaz (Mardia and Marshall,

1984). Diğer bir ifadeyle, birbirlerine yakın olarak örneklenen noktaların kendi aralarında ilişkili ve benzer olmaları olağandır.

Arazide süreklilik ve heterojen bir yapı gösteren toprağa ait özelliklerin her noktada ölçülme olanağı olmadığından mekânsal analizlerin yapılması daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle toprakla ilgili çalışmalarda toprağı temsilen belli aralıklarla örnekler alınarak, incelenen toprak özelliklerinin temsili değerlendirmeleri yapılmaktadır. Toprağa ait incelenen özellikler için toplanan örneklerin birbirlerine benzer ve ilişkili oldukları düşünüldüğünde, ölçülen değerlerin örnekleme noktaları arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Dolayısı ile incelenen toprak özelliklerinin değerleri arasındaki mekânsal değişimin derecesinin veya mekânsal bağımlılığın belirlenmesi gerekmektedir (Turgut ve Oztas, 2012).

Jeostatistik yer bilimlerinde karşılaşılan interpolasyon metotları ile ilgili ortaya çıkmıştır. Jeostatistiksel teori ilk olarak Güney Afrikalı D.G. Krige tarafından ortaya atılmış daha sonra Fransız G. Matheron tarafından geliştirilerek geniş kitleler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Jeostatistik yer bilimlerinin yanı sıra birçok alanda da günümüzde sıkça kullanılmaktadır (Turgut ve Oztas, 2012).

Toprak ve madenlere ait özelliklerin mekânsal dağılımları için jeostatistiksel metotlar kullanımıyla ilgilenilen alanların verimlilik haritaları, risk haritaları vb. çıkarılarak bölge için yapılacak yatırım ve her türlü planlamalar için faydalı veri tabanları oluşturulmaktadır (McGrath et al., 2004; Ongun, 2008; Aksakal and Oztas, 2009; Karabulut, 2010; Turgut ve Oztas, 2012). Son zamanlarda jeostatistiksel metotların kullanıldığı araştırmalarda, verilerin mekânsal bağımlılığı tespit ederken varyasyon katsayısı ve variogram modellerinin yanı sıra, mekânsal regresyon analizlerinde sıkça kullanılan Moran I indeksi birlikte kullanılmaya başlamıştır (Wang and Shao, 2011).

Mekânsal analizde kullanılan iki yöntem olan mekânsal regresyon analizi ve jeostatistiksel analiz için benzer iki aşama uygulanır. Öncelikle araştırmaya konu olan toprak için, incelenen toprak özelliklerinin örnekleme noktaları arasındaki mekânsal bağımlılıklarını tanımlayan modeller belirlenir. İkinci olarak; ilk aşamada belirlenen modeller esas alınarak ileri interpolasyon yöntemlerinin kullanımıyla incelenen toprak özelliklerinin örnekleme noktalarındaki değerleri tahmin edilerek dağılımlarının deseni belirlenir. Bu iki aşama için mekânsal regresyon analizinde sırasıyla mekânsal bağımlılık için Moran's I indeksinden ve interpolasyon için mekânsal regresyon metodundan faydalanılabilir (Anselin, 2002; 2009; and Anselin et al., 2012). Jeostatistiksel analizlerde ise mekânsal bağımlılık için

semivariogram analizinden ve interpolasyon için kriging analizlerinden yararlanılır (Warrick et al., 1986; Kutilek and Nielsen, 1994; Reese and Moorhead, 1996; Bourgault et al., 1997; Goovaerts, 1999, Bocchi et al., 2000; Webster and Oliver, 2001). Bu çalışmada Mekânsal bağımlılık için Moran'ın I indeksi analizi ve variogramdan faydalanılmıştır. İnterpolasyon yöntemi olarak da kriging analizleri kullanılmıştır.

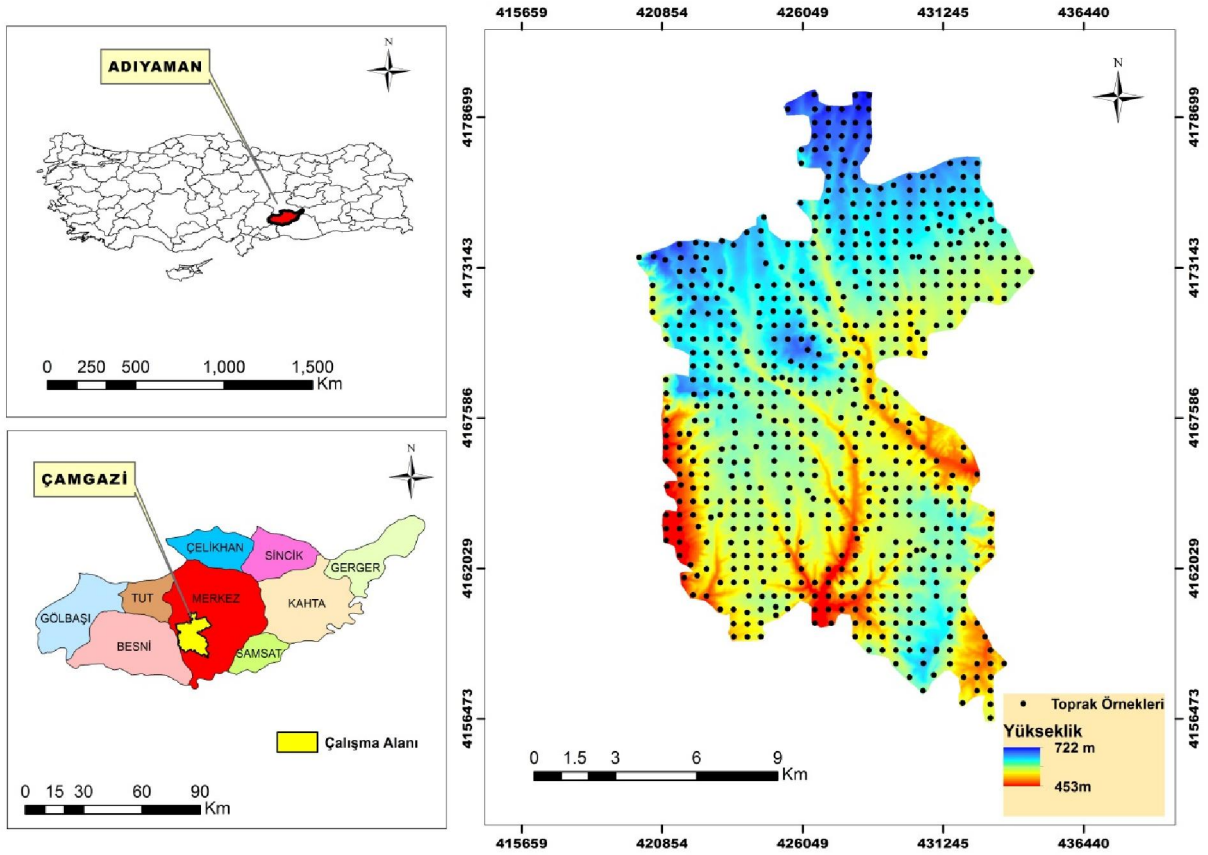
Bu çalışmada benzer metotlar kullanılarak, toprak indekslerinin tanımlanmasına ve tarımsal üretimin artırılmasına yönelik yapılan "Çamgazi Toplulaştırma ve TİGH Projesi" kapsamında Adıyaman Merkez ilçesine bağlı 19 köyü kapsayan alanda araştırma "gridleme örnekleme metoduna" göre alınan toprak örneklerinde; tane büyüklüğü (kum, silt ve kil), % saturasyon, toprak reaksiyonu (pH), çözünebilir tuz, elektriksel iletkenlik (EC), kireç miktarı, değişebilir Ca+Mg ve Na içerikleri ile B miktarına ait özelliklerin mekânsal bağımlılığı ve dağılım desenleri araştırılarak, yapılacak toprak ıslah çalışmalarına faydalı verilerin ortaya konulması hedeflenmektedir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çalışma Alanı

Bu araştırma Adıyaman'ın Merkez ilçesine ait 19 köyde yürütülmüştür. Toprak örnekleme Adıyaman Merkez ilçesine bağlı Akpınar, Battalköyü, Burgenek (Börkenek), Çamgazi, Doyran, Elmacık, Güzelyurt, Hasankendi, Ilıcak, Karakoç, Karıcık, Kayalı, Kızılcahöyük, Kulafhöyük, Paşamezrası, Yarmakaya, Yayladamı ve Yeşilova köylerini kapsayan 23850 ha'lık bir alanda "Çamgazi Toplulaştırma ve TİGH Projesi" nin kapsamında yapılmış ve analiz ettirilmiştir. Bu alanın büyük bir kısmı (17.000 ha) sulu ve kuru tarım arazileri ile meralardan oluşurken, geri kalan kısmını ise yerleşim yerleri, yol, dere, kanal, kayalık gibi tarıma elverişli olmayan alanlar oluşturmaktadır (Eker, 2010).

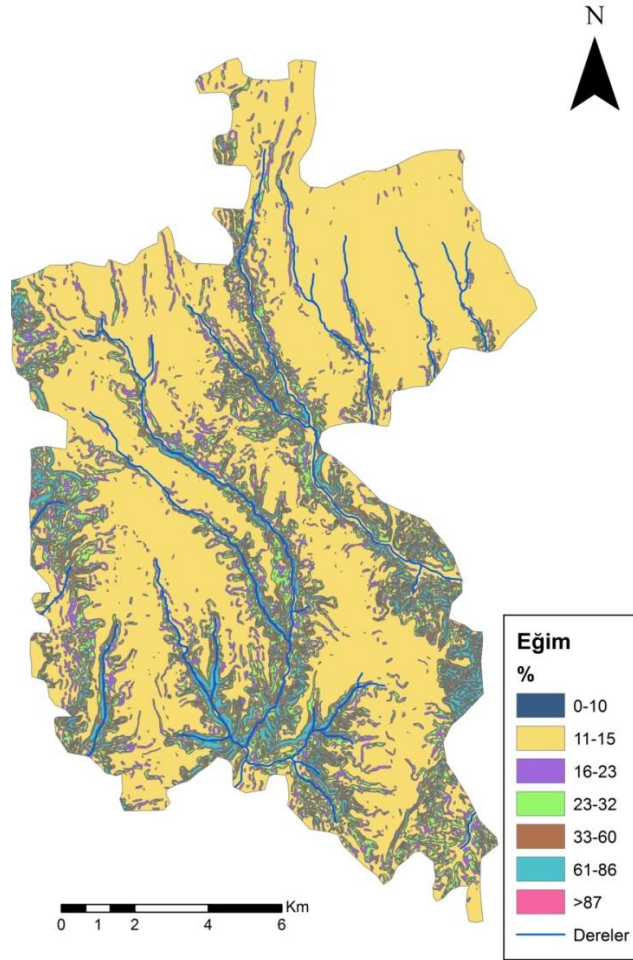
Araştırmanın yürütüldüğü alan  $38^{\circ}5'21''$  ve  $38^{\circ}14'37''$  doğu boylamları ile  $37^{\circ}32'53''$  ve  $37^{\circ}45'15''$  kuzey enlemleri arasında yer alıp, doğu-batı arası yaklaşık 15 km, kuzey-güney arası 20 km olarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Araştırma alanına ait 1/10000 ölçekli ortofoto haritaları ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak araştırma alanına ait eş yükselti ve eğim haritaları oluşturulmuştur (Şekil 1 ve Şekil 2). Tüm çalışmalarda 3 derecelik dilimdeki Universal Transverse Mercator (UTM) ile Gauss Kruger 3 derece projeksiyonları ve WGS-84 (World Geodetic System 1984) datumu kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda Adıyaman için orta meridyen 39 olarak alınmış olup oluşturulan haritalar 1/10000 ölçekli kadastral haritalara uyumlu hale getirilmiştir. Çalışma alanının ortalama denizden yüksekliği 535m ile 701 m arasındadır.



Şekil 1. Araştırma alanı ve örnekleme noktaları.

Tüm örnekler gridleme örnekleme metoduna göre toplanmış olup, ortalama örnekleme mesafesi 500 m, en düşük örnekleme mesafesi ise 100 m dir. Araştırma alanındaki toprağa ait özelliklerin ve toprak sınırlarının tespit edilmesi için 37 adet profil çukuru açılmış, bu profil çukurlarından çeşitli derinliklerde 110 toprak örneği alınmıştır.

Ayrıca 670'i numuneli 2839 adet sonda açılmış ve bu sondalardan çeşitli derinliklerde toplamda 1566 adet toprak örneği alınmıştır. Arazideki toprak kontrol noktalarının koordinatları el tipi GPS'ler ile alınmıştır. Bu çalışmada, 0-30 cm toprak derinliğine ait 643 toprak örneğine ait veriler kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanının eğim haritası

### Toprak Analizleri

Örnekleme sondalarının ve profillerin farklı derinliklerinden ortalama 2 kg toprak örneği alınarak laboratuvara gönderilmiştir. Daha sonra bu örnekler öğütülmüş 2 mm lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Bazı sondaların laboratuvar analiz sonuçlarının kontrolü için alınan toprak örnekleri Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) Arazi İşleri Dairesi Başkanlığı Laboratuvarında analiz ettirilmiştir. Örnek sondalarının atıldığı alanlardan alınan bu toprak örneklerinin her birinde laboratuvarında standart yöntemler kullanılarak tane büyüklüğü dağılımı (kum, silt ve kil) Bouyoucos (1955) hidrometre yöntemine göre, % saturasyon, EC, çözünebilir tuz ve pH saturasyon çamurunda (Horneck,1989), kireç Scheibler kalsimetresiyle (Allison, 1965), değişebilir Ca+Mg ve Na 1 N amonyum asetat çözeltisiyle gerçekleştirilen ekstraktında Ca ve Mg miktarını AAS'de (Thomas,1982), Na ise alev fotometrede okunması yöntemiyle (Knudsen et al., 1982), B analizleri ise

Carmin yöntemi ile belirlenmiştir (Dible et al., 1954).

### İstatistiksel Analizler

Veri setine ait tüm toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri; ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmıştır ve normal dağılıma uyup uymadıkları SPSS ve GS+ programları yardımı ve Shapiro Wilk W testi kullanılarak belirlenmiştir (IBM SPSS, 2011). İncelenen toprak özellikleri içerisinde pH, EC, kireç, silt, Ca+Mg ve Na içeriği değerlerinden normal dağılımı bozan aykırı değerler veri setinden çıkarılarak analizler yapılmıştır.

Her bir toprak özelliğinin mekânsal bağımlılığı semivariogram analizi ile belirlenmiştir;

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

Burada;  $N(h)$  h mesafesi ile birbirlerinden ayrılan deneysel veri çiftlerinin sayısını,  $Z(x_i)$  ve  $Z(x_{i+h})$  ise  $x_i$  ve  $(x_{i+h})$  noktalarındaki ölçüm

değerlerini ifade etmektedir. Semivariogram her bir  $h$  değeri ile birbirinden ayrılan örnek çiftlerinin varyansı ile mesafe arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak ifade etmekte ve mekânsal bağımlılığı tanımlamaktadır (Journel and Huijbregts, 1978; Ongun, 2008; Warrick et al. 1986; Buchter et al. 1991).

Mevcut modeller içerisinde en yüksek  $r^2$  ve/veya en düşük kareler toplamını veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Daha sonra belirlenen semivariogram modelleri ile “Kriging” yöntemi kullanılarak inceleme alanı içerisinde her 10 m için bir tahmin yapılmıştır (Turgut ve Oztaş, 2012).

Ayrıca Moran’ın I indeksi toprağın özelliklerinin mekânsal otokorelasyonunu tespit etmek için kullanılmıştır. Moran’ın I indeksi mekânsal otokorelasyonun derecesinin belirlemede olup, Pearson korelasyonun da olduğu gibi -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Moran’s I indeksi 0’den küçük veya büyük olursa sırasıyla negatif veya pozitif otokorelasyon olduğundan bahsedilir. Eğer Moran I değeri 0 ise değişkenin rastgele bir yapıda olduğu kabul edilir (Iqbal et al., 2005). Moran I indeksi analizi için GeoDa programından faydalanılmıştır (Anselin, 2006).

Eldeki veriler yardımı ile araştırma alanında veri alınmayan noktalarda tahminler yapmak için blok kriging enterpolasyon metodu kullanılmıştır. Kriging metodu mekânsal olarak bağımlı verilerin tahmin haritalarının oluşturulmasında en iyi lineer yansız tahmin edici olup (Isaaks and Srivastava, 1989; Webster and Oliver, 2001) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

Yukarıda ifade edilen eşitlikte  $z(x_0)$ , değeri bilinmeyen ve  $x_0$  noktasında tahmin edilecek değeri,  $z(x_i)$  ise  $x_0$  noktasının tahmininde kullanılacak komşu değerleri,  $\lambda_i$  ise bu verilere atanacak ağırlık değerlerini temsil etmektedir. Semivariogram ve kriging analizlerinde GS+ 9.1 (Gamma Design Software, 2009) programından faydalanılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Tanımlayıcı İstatistikler

Varyasyon katsayısı (VK) farklı ölçek ve birime sahip değişkenlerin karşılaştırılmasına olanak sağlayan önemli bir istatistiktir. Cambardella et al. (1994) toprak değişkenliğini VK’na göre %15’den küçük olanlar az değişken, %16-35 arasında olanlar orta derecede değişken ve %36’dan büyük olanlar ise yüksek derecede değişken olarak üç sınıfa ayırmışlardır. Bu durumda; orijinal verilere ait VK’ı dikkate alındığında (Tablo 1), çalışma alanı topraklarının saturasyon yüzdesi ve pH içeriği bakımından az, tuz, EC, kum, kil ve silt içerikleri bakımından orta, kireç, Ca+Mg, Na ve B içeriği bakımından ise yüksek derecede değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Varyasyon katsayılarına göre yüksek değişkenlik gösteren verilerde mekânsal bağımlılığın düşük, düşük değişkenlik gösteren verilerde ise mekânsal bağımlılığının yüksek olması beklenmektedir (Tekin et al., 2011; Akbas, F., 2011). Araştırma alanında erozyon şiddetli olup ana materyale yüzeye çıkmaktadır. Bu durum ana materyalle ilişkili olan Ca+Mg, Kireç, Na ve B içeriğinin yüksek değişkenlik göstermesine neden olabilir.

Tablo 1. İncelenen toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri

İncelenen Özellik	Ortalama	Standart Sapma	En Düşük	En Yüksek	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı % (VK)
Saturasyon(%)	70.57	6.49	45.00	92.00	-0.12	0.57	9.20
pH (1:2.5)	7.62	0.26	5.69	8.15	-1.45	5.53	3.41
Tuz (%)	0.05	0.01	0.01	0.08	0.31	1.06	20.00
EC (dS/m)	1.03	0.16	0.40	1.78	0.61	3.38	15.53
Kireç (%)	12.16	11.71	0.00	45.64	0.95	-0.27	<b>96.30</b>
Kum (%)	40.25	7.09	19.84	68.56	0.18	0.04	17.61
Kil (%)	40.49	6.78	21.44	59.44	0.01	-0.14	16.74
Silt (%)	19.26	5.19	4.00	46.72	0.76	1.54	26.95
Ca + Mg (mg/kg)	3.05	1.23	0.35	9.03	1.65	3.69	<b>40.33</b>
Sodyum (mg/kg)	0.13	0.09	0.04	0.74	2.33	8.94	<b>69.23</b>
Bor (mg/kg)	0.16	0.08	0.00	0.43	-0.13	-0.33	<b>50.00</b>

*Semivaryans Analizleri*

İncelenen toprak özellikleri için 4 farklı yönde (E-W, N-S, SE-NW ve NE-SW) yönsel semivariogramlar hesaplanarak anizotropik durumun olup olmadığı test edilmiştir (Şekil 3). Maksimum ve minimum değişkenliğin mevcut olduğu yönler için

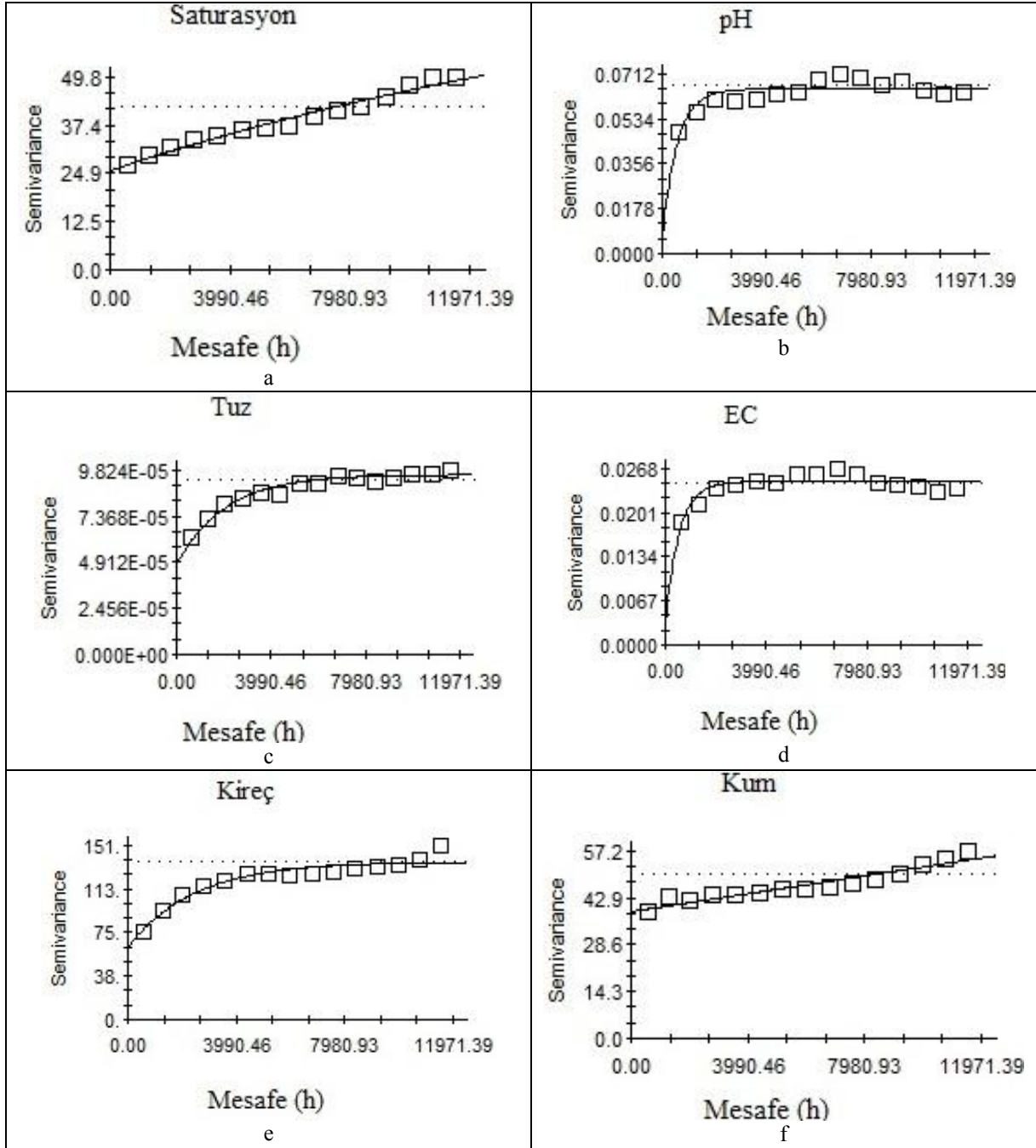
aralık değerlerinin oranı 1.4'den daha küçük olduğundan izotropik değişimin mevcudiyeti kabul edilmiştir. İncelenen özelliklere ait deneysel semivariogram modelleri ve model parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

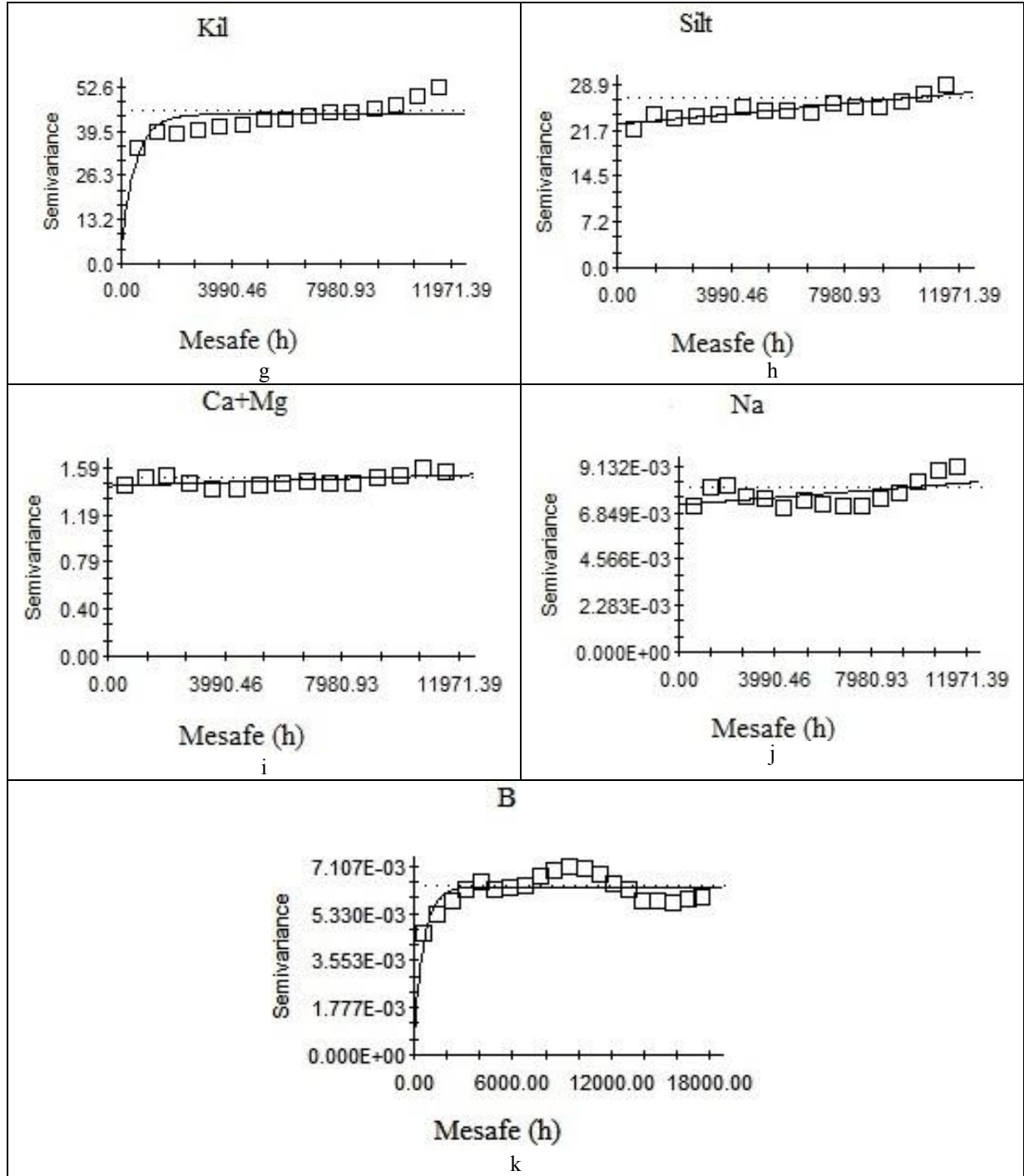
*Tablo 2. İncelenen toprak özellikleri için tanımlanan semivaryogram modelleri ve model parametreleri*

İncelenen Özellik	Model	Nugget (C <sub>0</sub> )	Sill:Nugget+ Yapısal Varyans (C <sub>0</sub> +C)	Yapısal Varyans/Sill (C/C <sub>0</sub> +C)	A	r <sup>2</sup>	Moran I indeksi
Saturasyon (%)	İzotropik Üssel	25.70	82.40	70	65580.00	0.98	0.32
pH (1:2.5)	İzotropik Üssel	0.01	0.07	90	1740.00	0.70	0.00
Tuz (%)	İzotropik Üssel	0.00	0.00	50	6180.00	0.96	0.15
EC (ds/m)	İzotropik Üssel	0.00	0.02	87	1620.00	0.71	0.06
Kireç (%)	İzotropik Üssel	62.70	136.80	54	7320.00	0.92	0.41
Kum (%)	İzotropik Lineer	38.72	54.45	29	11549.00	0.91	0.26
Kil(%)	İzotropik Üssel	5.40	44.54	88	1590.00	0.40	0.19
Silt (%)	İzotropik Lineer	22.67	27.40	17	11550.00	0.77	0.13
Ca + Mg (mg/kg)	İzotropik Lineer	1.43	1.52	6	11550.00	0.28	0.01
Sodyum (mg/kg)	İzotropik Lineer	0.01	0.01	13	11550.00	0.25	0.05
Bor (mg/kg)	İzotropik Üssel	0.00	0.01	51	5610.00	0.90	0.31

Nugget (C<sub>0</sub>)/Sill (C<sub>0</sub>+C) oranı mekansal bağımlılığı vermekte olup (Li and Reynolds, 1995), bu değer %25'in altında olması durumunda yüksek, %25-75 için orta ve %75'in üzerinde olması durumunda ise zayıf mekansal bağımlılığın varlığından bahsedilebilir (Chen et al., 2007, Cambrella et al. 1994). Bu değerlere göre silt,

Ca+Mg ve Na değişkenlerinin mekansal bağımlılıkları yüksek, saturasyon, tuz, kireç, kum ve bor orta, pH, EC ve kil için mekansal bağımlılık düşük olarak görülmektedir. Bu sonuçlar VK değerleri ile de genel olarak uyum içerisinde olduğu görülmektedir.





Şekil 3. Saturasyon (a), pH (b), tuz(c), EC(d), kireç (e), kum (f), kil(g), silt(h), Ca+Mg(i), Na (j), B(k) için tanımlanan teorik modeller

Buna göre incelenen tüm özelliklerin izotropik değişim gösterdiği belirlenmiştir. Yani, çalışma alanını temsilen alınan toprak örnekleri incelenen herhangi bir toprak özelliği için belirlenen etki aralığı içerisinde yönden bağımsız olarak birbiririyle ilişkili sonuçlar üretirler. Bu durum, inceleme alanının düz-düze yakın (arazi eğimi genel olarak 0-15% arasında)

topoğrafik yapısına (Şekil 2) ve benzer ana materyal üzerinde oluşum göstermesinin etkisine bağlanmıştır. İncelenen toprak özelliklerinden kum, silt, Ca+Mg, Na lineer, saturasyon, pH, EC, kireç, kil ve B ise üssel dağılıma sahiptirler (Tablo 2). Lineer modeller ile tanımlanan değişkenlerin yapısal varyansı mevcut örnekleme aralığı ile etkin bir şekilde



belirlenemezken, söz konusu özelliklerin tanımlanmasında daha kısa aralıklı örnekleme yapılmaması durumunda mekânsal bağımlılığın daha yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca her bir lag değerinde minimum 30 örnek çiftinin bulunması modelin güvenilirliği açısından önemli olduğu için bu değişkenleri temsilen lineer model seçilmiştir. Üssel tanımlanan değişkenler için örnekleme alanının uygun olduğu ve bu değişkenlerin orta ve yüksek düzeyde mekânsal bağımlılığa sahip oldukları görülmektedir.

Seçilen modeller için saturasyon, tuz, kireç, kum ve B için  $r^2 > 0.90$  ve pH, EC ve silt için  $r^2 > 0.70$  değerlerine sahip olup variogram analizinde model seçimlerinin genel olarak etkin bir şekilde yapıldığı görülmektedir (Tablo 2). Sadece kil, Ca+Mg ve Na için  $r^2 \leq 0.40$  değerlerine sahip olup, variogram analizi bu değişkenler için model seçiminde zayıf kalmıştır. İncelenen değişken özellikleri içinde temsili variogram modelinin saturasyon, tuz, kireç, kum ve B için en yüksek uyuma sahip olduğu görülmektedir.

Nugget varyansın (kontrol edilemeyen varyans) özellikle değişebilir Ca+Mg ve Na için oldukça yüksek değerlere ulaştığı, bu nedenle de mekânsal bağımlılığın çok düşük olduğu ve inceleme alanındaki mekânsal bağımlılığın tamamen tesadüfi olduğu anlaşılmaktadır. Saturasyon pH, EC ve kil için yüksek; tuz, B ve kireç için orta; kum ve silt için ise düşük mekânsal bağımlılık söz konusudur.

#### Moran I:

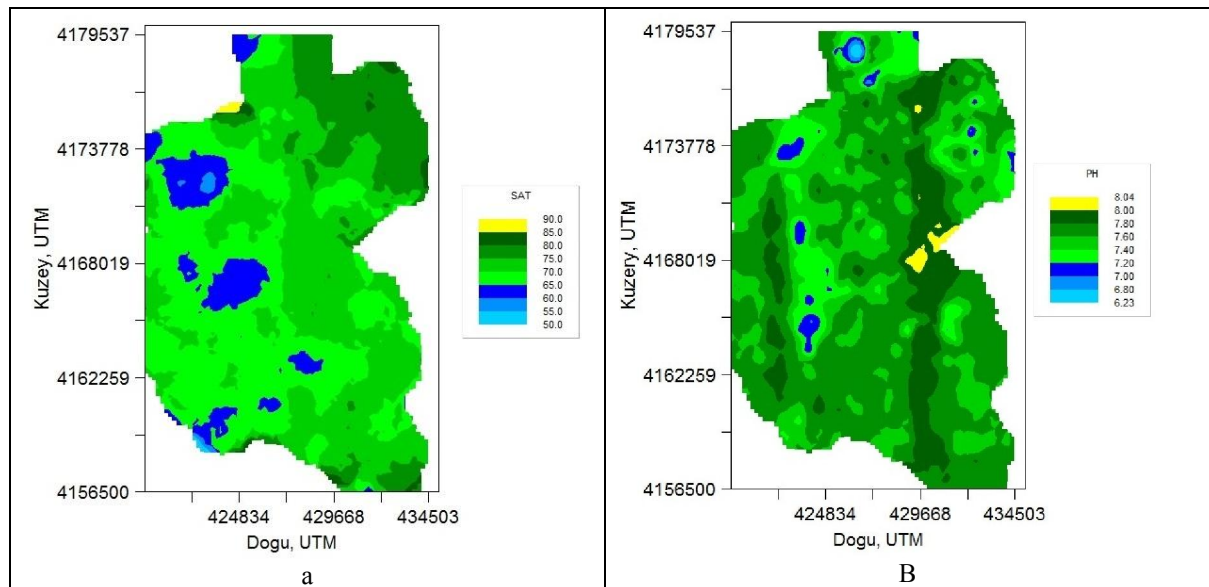
Mekânsal otokorelasyonun bir göstergesi olan Moran I indeksi 0.002 ve 0.41 arasında değişmektedir (Tablo 2). En yüksek mekânsal bağımlılık saturasyon, kireç, kum ve bor (B) için tanımlanmıştır ve bu sonuçlar variogram sonuçları ile uyum içerisindedir. Benzer olarak pH, EC, Ca+Mg, Na için Moran I istatistiklerinin de çok düşük olduğu görülmektedir. Beklenenin aksine orta mekânsal bağımlılık gösteren pH'nın Moran I değeri oldukça düşük bulunmuştur. Bu durum pH değişken aralığının incelenen alanda çok düşük olmasına bağlanabilir.

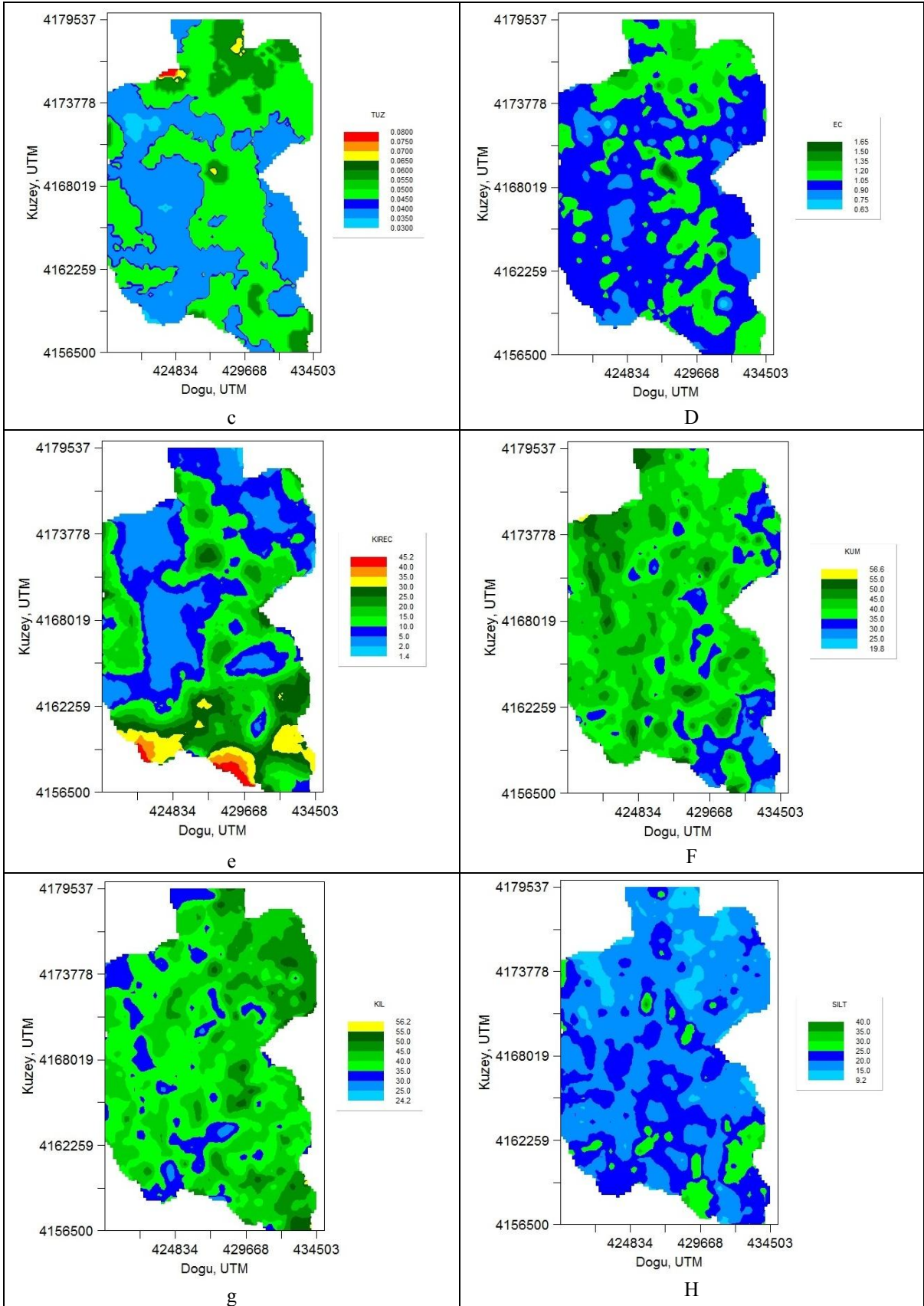
#### Kriging Analizleri

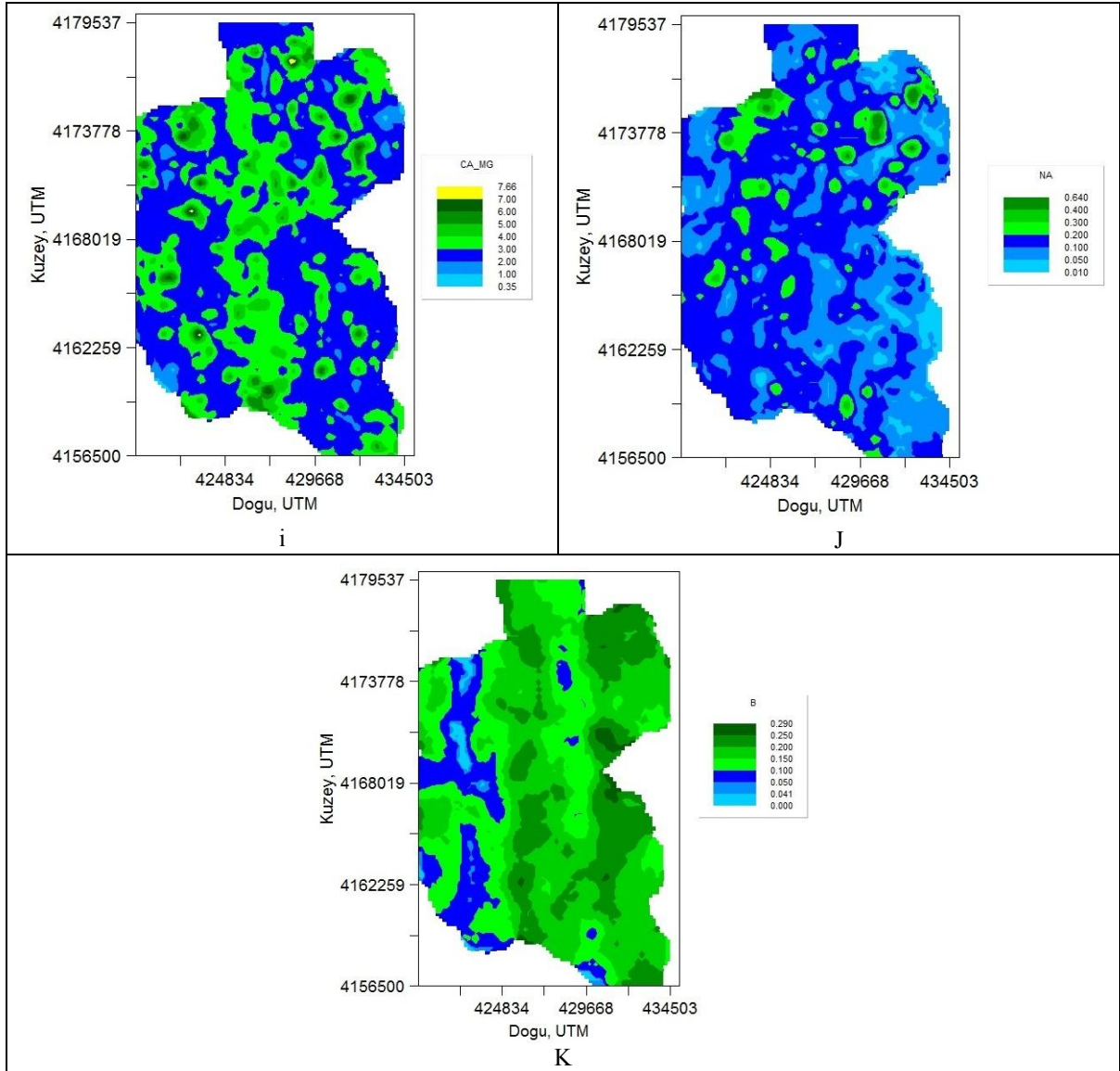
İncelenen toprak özelliklerinin mekânsal dağılımları Şekil 4' te verilmiştir. Toprak saturasyon yüzdesinin inceleme alanının kuzey doğu kısmında en yüksek, güney batı sınır kısmında ise en düşük değerler aldığı görülmektedir.

Toprak reaksiyonu (pH) inceleme alanında, kuzey doğudan- güney doğuya bir şerit şeklinde yoğunlaştığı ve bu şeritin orta kısmında ve inceleme alanının ortadoğu kısmında en yüksek değerlere ulaştığı gözlenmektedir. Bu durum ana kayaların kireçli olmasına, organik madde için bitkisel örtü sıklığı veya ince tekstüre bağlanabilir.

Toprağın tuz içeriği ve EC dağılım haritaları benzer değişim desenlerine sahip olup, inceleme alanının kuzey ve kuzey doğu kısmında diğer alanlara göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.







Şekil 4. İncelenen alana ait Saturasyon (a), pH (b), tuz (c), EC (d), kireç (e), kum (f), kil (g), silt (h), Ca+Mg (i), Na (j) ve B (k) için mekânsal dağılımlar

Toprağın kireç içeriğine ait dağılım haritası incelendiğinde, kireç miktarının inceleme alanının güney ve güneydoğu kısımlarında diğer alanlara göre daha yüksek değerler aldığı anlaşılmaktadır.

Toprağın kum içeriği inceleme alanının kuzeybatı kesiminde %50'nin üzerinde iken güney doğu kısımları hariç diğer alanlarda %35 civarındadır. Buna karşılık, toprağın kil içeriğinin inceleme alanının doğu diliminde %45'ten yüksek olduğu, batı kesiminde ise yer yer %25 in altına düştüğü görülmektedir. İnceleme alanın toprakları silt içerikleri bakımından oldukça homojen görümlü olup, alanın yaklaşık %75 inde %25'in altındadır. Silt

içeriğinin en yüksek olduğu yerler arazinin güney doğu kesimidir. İnceleme alanı topraklarının

Ca+Mg içerikleri muhtelif yerlerde yüksek değerler almakla birlikte kuzeyden güneye orta kısımlarda şerit halinde ve diğer yerlere göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Toprakların Ca+Mg dağılım haritasının özellikle EC kriging dağılımıyla son derece yüksek uyum göstermektedir. Sodyumun (Na) inceleme alanında genel olarak çok az miktarlarda bulunduğu ve inceleme alanının kuzey kısımlarında birkaç farklı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Benzer olarak Na dağılım haritasının toprakta tuz ve EC ile de uyumlu olduğu söylenebilir. Diğer yandan, Bor'un (B), kuzey batıdan güney

batıya inen şeritte düşük değerler aldığı, buna karşılık ortadoğu kesiminde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir.

## SONUÇ

Çalışma alanı topraklarının saturasyon, pH, tuz, EC, kireç, kum, kil, silt, Ca+Mg, Na ve B özelliklerinin mekânsal değişkenlik parametreleri dolayısıyla mekânsal bağımlılıkları jeostatistiksel metotlarla başarılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma alanından alınan toprak örneklerine ait yukarıda sayılan 11 özelliğe ait VK değerlerinden kireç, Na ve B hariç tüm değişkenlerin genel olarak mekânsal bağımlılıklarının orta ve yüksek seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar genel olarak nugget/sill oranları ve Moran I indeksi değerleri ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Yine araştırma alanına ait toprak özelliklerinin mekânsal değişkenlikleri isotropik semivariogram modelleri ile tanımlanmış olup, bu durum incelenen alanın tarım arazisi olmasına ve topografik yapısının düz ve düze yakın yapısından kaynaklanabileceğine bağlanmıştır. İncelenen toprak özelliklerinden kum, silt, Ca+Mg, Na lineer, saturasyon, pH, EC, kireç, kil ve B üssel dağılıma sahiptirler. Üssel dağılıma sahip değişkenlerde mekânsal bağımlılığın orta ve yüksek derecede olması sonucuna, lineer dağılıma sahip olan değişkenlerde ise örnekleme alanları arasındaki mesafenin daha kısa aralıklarla yapılması durumunda mekânsal bağımlılığın daha yüksek olacağı sonucuna varılmıştır. Moran I indekslerine göre ise en yüksek mekânsal bağımlılığın saturasyon, kireç, kum ve B için tanımlanmış olduğunu ve bu sonuçların varyasyon katsayısı değerleri ve variogram sonuçları ile uyum gösterdiği görülmüştür. Toprağa ait özelliklerin kriging analizlerine bakıldığında ise değişim haritalarının toprağın fiziki durumu ile ilişkili olduğu söylenebilir. Bu çalışma ile, bazı toprak özelliklerine ait mekânsal bağımlılığın belirlenmesinde kullanılan farklı metodların birbirleriyle uyum içerisinde ve birbirlerini doğrular nitelikte olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca üretilen interpolasyon haritaları arazi toplulaştırma çalışmalarında sağlıklı veri sağlama ile ilgili kullanılabilirlerdir.

## TEŞEKKÜR

Toprak verilerinin kullanımına izin verdikleri için Tarım Reformu Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Akbas, F., 2011. Tokat Kazova topraklarının yarayışli fosfor düzeyinin jeostatistik tahmin ve simülasyon metodlarıyla modellenmesi ve haritalanması. Tarım Bilimleri Derg., 18: 63-76.  
Akgül, M., Öztas, T. ve Canbolat, M.Y., 1995. Atatürk Üniversitesi Topraklarında Tekstürel Değişimin

Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. İ. Akalın Toprak ve Çevre Semp. I: 82-91, Ankara.  
Aksakal, E.L. and T. Öztas, 2009. Changes in Distribution Patterns of Soil Penetration Resistance within a Silage-Corn Field Following the Use of Heavy Harvesting Equipments. Tubitak, 34: p. 173-179.  
Allison, L. E., Moodie, C. D., 1965. Carbonate, In: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy. 9, ASA, SSSA, WI, USA, pp 1379-1400.  
Anselin, L., 2002. Under the Hood Issues in the Specification and Interpretation of Spatial Regression Models. Agricultural Economics, 27: p. 247-267.  
Anselin, L., 2006. The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association, in Spatial Analytical Perspectives on GIS. Taylor and Francis: London. p. 111-125.  
Anselin, L., 2009. 30 years of Spatial Econometrics. Regional Science, 89(1): p. 3-25.  
Anselin, L., P.V. Amaral and D. Arribas-Bel, 2012. Technical Aspects of Implementing GMM Estimation of the Spatial Error Model in PySAL and GeoDaSpace.  
Bourgault, G., Journel, A.G., Rhoaders, L.D., Corwin, D.L. and Lesch, S.M., 1997. Geostatistical Analysis of a Salinity Data Set. Adv. Agron. 58: 254-291.  
Bocchi, S., Castrignano, A., Fornaro, F. And Maggiore, T., 2000. Application of Factorial Kriging for Mapping Soil Variation at Field Scale. European Journal of Agronomy 13: 295-308.  
Bouyoucos, G. J., 1955. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soils. Agronomy Journal. 4(9):434.  
Buchter, B., P.O. Aina, A.S. Azari and D.R. Nielsen, 1991. Soil Spatial Variability Along Transects. Soil Technology 4: 297-314.  
Cambardella C. A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R. F. & Konopka A. E., 1994. Field scale variability soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society America Journal 58:1501-1511  
Chen, Y.J., Chen, Y.N., Li, W.H., Liu, J.Z. and Huang, H., 2007. Influence of Intermittent Water Deliveries on the Hydrochemistry of Soil in the Tarim River Acta Geogr. Sin., 62 (9):970-980  
Cobaner, M., Cakar, A., Cetin, M., Yurtal, M., 2011. Göksu deltasında bazı yeraltı suyu kalite öğelerinin probabilistic ve jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. İMO Teknik Dergisi 341:5259-5283  
Dible, W. T., Truog, E., Berger, C.C., 1954. Boron determination on soils and plants simplified curcumin procedure. Anal. Chem. 26: 418.  
Eker, O. 2010. Çamgazi Arazi Toplulaştırma ve TİGH Projesi Planlama Toprak Etüdü (PTE) ve Toprak İndeks Raporu. TC Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü.  
Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in Soil Science: State of the Art and Perspectives. Geoderma, 89 (12): 1-45  
GS+, 2009. Gamma Design Software. GS+ Geostatistics for Agronomic and Biological Sciences. Version 9.1 ,MI, USA.  
Hornbeck, D.A., Hart, J.M., Topper, K., and Koepsell, B., 1989. Methods of soil analysis used in the Soil Testing Laboratory at Oregon State University. SM 89: 4 Agric. Expt. Sta., 21 pgs. OSU, Corvallis, OR.  
IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.  
Iqbal J, Thomasson JA, Jenkins JN, Owens PR, Whisler FD. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. Soil Science Society of America Journal 69: 1338-1350. Cliff AD, Ord JK. 1973. Spatial Autocorrelation. Pion: London.  
Isaaks E H & Srivastava R M, 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press: New York  
Journel, A.G. and C.H. Huijbregts, 1978. Mining Geostatistics, Academic Press, New York.

- Karabulut, A., 2010. Çukurova'da flüviyal Bir Tarım Arazisinde Bazı Toprak Verimlilik Özelliklerinin Jeostatistiksel Modellemesi, in Toprak. Ankara Üniv.Yay. p. 167.
- Karaman, M.R., Susam, T., Turan, M., Tutar, A., Sahin, S., 2012. Çilek tarımı yapılan arazide uzaysal doğal organik madde değişimlerinin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi in SAÜ Fen Edebiyat Dergisi.
- Klute, A., 1986. Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods, 2<sup>nd</sup> ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Knudsen, D., Peterson, G. A. and Pratt, P. F., 1982. Lithium, Sodium and Potassium. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No:9 (2 nd Ed.) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Kutilek, M. and Nielsen, D.R., 1994. Soil Hydrology: GeoEcology Textbook.
- Li, H.B. and Reynolds, J.F., 1995. On Definition and Quantification of Heterogeneity. *Oikos*, 73:280-284
- Mardia, K.V. and R.J. Marshall, 1984. Maximum Likelihood Estimation of Models for Residual Covariance in Spatial Regression. *Biometrika*, 71(1): p. 135-146.
- McGrath, D., C. Zhang, and O.T. Carton, 2004. Geostatistical Analyses and Hazard Assessment on Soil Lead in Silvermines Area, Ireland. *Environmental Pollution*, 127(2): p. 239-248.
- Ongun, A.R., 2008. Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Uzaysal Değişkenliğinin Saptanması, in Toprak. Ege Üniversitesi: İzmir. p. 131.
- Oztaş, T., 1995. Jeostatistikün Toprak Bilimindeki Önemi ve Uygulanışı. *İ.Akalin Toprak ve Çevre Semp.* 1:271- 280, Ankara
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney D.R., 1982. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties, second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Reese, R.E. and Moorhead, K.K., 1996. Spatial Characteristics of Soil Properties Along an Elevational Gradient in a Carolina Bay Wetland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1273-1277.
- Tekin, A.B., Gunal, H., Sındır, K., Balcı, Y., 2011. Spatial Structure of available micronutrient contents and their relationships with other soil characteristics and corn yield. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20: 783-792.
- Thomas, G.W., 1982. Exchangeable Cations. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monography. No: 9, A.S.A.-S.S.S.A., Madison, Wisconsin, USA. P. 159- 165.
- Tobler, W.R., 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46: p. 234-240.
- Turgut, B. ve Öztaş, T., 2012. Bazı Toprak Özelliklerine Ait Yersel Değişimin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Suleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2): p. 10-22.
- Wang, S.Y., Yu, T.Q., Wang, J.L., Yang, L. & Lu, P., 2008. Preliminary Study on spatial Variability and distribution of Available Micronutrients in Pinggu County, Beijing, China. *Agricultural Sciences in China*, 7(10), 1235-1244.
- Wang, Y.Q. and M.A. Shao, 2013. Spatial Variability of Soil Physical Properties in a Region of the Loess Plateau of Pr China Subject to Wind and Water Erosion. *Land Degradation & Development*, 24: p. 296-304.
- Warrick, A.W., Myers, D.E. and Nielsen, D.E., 1986. Geostatistical Methods Applied to Soil Science. P. 53-57. In A. Klute (ed) *Methods of Soil Analyses Part I: Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Webster, R. and Oliver, M., 2001. *Geostatistics for Environmental Scientist*. John Wiley & Sons, Chichester.