

# Çukurova'da Alüvyal Bir Tarım Arazisinde Bazı Toprak Verimlilik Parametrelerinin Jeostatistiksel Modellemesi

A. Karabulut<sup>1</sup>, İ. Ünver<sup>2</sup>

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

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

**Özet:** Bu araştırma kapsamında Çukurova'da her yıl mısır ekimi yapılan 38 ha'lık bir çiftçi tarlasında bazı toprak parametrelerinin mekânsal değişkenlik yapısı ve mekânsal bağımlılık seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı örnekleme aralıklarında, 0-30 cm derinliğinden alınmış olan 260 adet toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri [KDK (cmol kg<sup>-1</sup>), kum (%), silt (%), kil (%), EC (dS m<sup>-1</sup>), pH, CaCO<sub>3</sub> (%), (toplam N [tN] (mg kg<sup>-1</sup>), alınabilir P (aP) (mg kg<sup>-1</sup>), alınabilir K (aK) (mg kg<sup>-1</sup>), OM (%)] jeostatistiksel olarak modellenmiştir. Çalışmada aP izotropik bir yapı gösterirken diğer toprak özelliklerinde anizotropik bir yapı gözlenmiştir. Anizotropi modele dahil edilerek majör ve minör yapısal uzaklıklar birlikte modellenmiştir. EC ise tam kontrolsüz etki varyansı (pure nugget) göstermiştir. En yüksek mekânsal bağımlılık kil ve KDK'da, en düşük de aP ve pH'da görülmüştür. Anizotropi giderildikten sonra en yüksek yapısal uzaklık 500 m ile OM'de, en düşük yapısal uzaklık ise 220 m ile siltde belirlenmiştir. En yüksek mekânsal bağımlılık sırasıyla % 2,6 ve % 3,6 derecesi ile kil ve KDK'da gözlenirken, en düşük mekânsal bağımlılık derecesi sırasıyla % 56,1 ve % 53,2 ile aP ve pH'da gözlenmiştir. Toprak özelliklerinin birbirleri ile olan ilişkileri Pearson korelasyon matrisi ile incelenmiştir. Kil aK, OM, tN, KDK birbirleri ile pozitif yönde 0,05 seviyesinde anlamlı bir korelasyon gösterirken, bu toprak özellikleri kum ile negatif yönde anlamlı bir korelasyon sergilemiştir. Aynı toprak özellikleri grubu benzer krigeleme mekânsal dağılım yapısı göstermiştir. Benzer yarıvaryogram ve krigeleme yüzey özellikleri, bu toprak özellikleri arasında eş-krigeleme (co-kriging) yönteminin uygulanabilirliğine önemli bir göstergedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeostatistik, yarıvaryogram, alansal bağımlılık, toprak verimlilik özellikleri, mekânsal değişkenlik

## Geostatistical Modeling of Some Soil Fertility Parameters at an Agricultural Field Formed on Alluvial Material in Çukurova

**Abstract:** This study was focused on determining spatial variability structure and spatial dependence level of some selected soil fertility parameters in a farmer land, site-specific management field, where maize has been planted every year, in Çukurova (the Mediterranean Region), Southern Turkey. Some soil properties [total nitrogen (tN) (mg kg<sup>-1</sup>), available phosphorous (aP) (mg kg<sup>-1</sup>), available potassium (aK) (mg kg<sup>-1</sup>), OM (%), EC (dS m<sup>-1</sup>), pH, CEC (cmol kg<sup>-1</sup>), sand (%), silt (%), clay (%), CaCO<sub>3</sub> (%)] at the depth of 0-30 cm were evaluated geostatistically by georeferenced 260 samples, which were collected in different sampling intervals, within 38 ha area. An isotropic variogram structure was determined for aP, where EC had pure nugget effect and other soil properties showed anisotropic variogram structures within different azimuth angles. The highest spatial dependence ranks were observed in the geostatistical model results of clay and CEC, with the values of 2.6 % and 3.6 %, while the least dependencies were obtained from those of aP and pH, with the values of 56.1 % and 53.2 %, respectively. Major and minor structural ranges were modeled together to remove the anisotropy and while OMs' structural range was found as the longest spatio-structural range with 500 m, silts' was found as the shortest spatio-structural range with 220 m. The majority of soil properties showed strong spatio-dependency level in this study area. Spatial distribution of soil properties was interpolated by ordinary kriging method, depending on variogram structures (isotropic or anisotropic), which were verified by the cross validation. There was strong similarity among the kriging spatial distributions of clay content, CEC, OM, and aK as well as among their semivariograms. These similarities can be a promising indicator for employing co-kriging technique among these soil properties.

**Key words:** Geostatistics, semivariogram, spatial dependence, soil fertility properties, spatial variability

### GİRİŞ

Toprak özelliklerinin mekânsal yapısı belirli stratejilerle toplanmış koordinatlı toprak örneklerinin jeostatistiksel yaklaşımlarla belirlenir. Toprak özelliklerinin mekânsal değişim uzak-

lıklarının artması veya azalması toprak özelliklerinin farklı ölçeklerde kimi faktörlerle etkileşim göstermesinden kaynaklanır. Bu toprak özelliklerine etki eden faktörler iklim, jeoloji,

röliyef, hidroloji, bitki örtüsü, coğrafya, toprak sıcaklığı, mikrobiyal etkiler ve benzerleridir. Her faktör farklı etkileşim ve mekânsal değişim ölçeğinde etkili olabilmektedir. Ayrıca toprak özelliklerindeki değişimler yöne bağlı (anizotropik) bir yapı da gösterebilmektedir. İlgili özelliğin detaylı gözlenmesi örnekleme yoğunluğuna, düzeneğine ve değişim ölçeğine bağlıdır. Toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliği, örnekleme noktaları arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Diğer bir deyişle bu değişkenlik, örnekleme noktası çiftleri arasındaki uzaklıkların ve değer farklarının birlikte değerlendirilmesidir. Mekânsal değişkenliğin belirlenebilmesi için farklı matematiksel yaklaşımlarla uygun varyogram modellerinin oluşturulması gereklidir. Mekânsal değişkenliğin belirlenmesi ve haritalanmasında kullanılan jeostatistiksel modelleme yöntemi hata oranları hakkında da bilgi vermesi açısından en uygun yöntemlerden biridir (McBratney ve Pringle 1997).

Toprak verimlilik özelliklerinin mekânsal olarak değişim göstermesi ve bu değişimin izlenebilir olanakları, girdi optimizasyonu sağlayan, çevreye duyarlı hassas tarım ve değişken oranlı gübre uygulamaları teknolojilerini doğurmuştur. Hassas tarım uygulamaları ile üretimde optimizasyon sağlanabilmekte, çevreye daha duyarlı tarımsal uygulamalar geliştirilebilmektedir (Güçdemir vd. 2004). Değişken oranlı gübre uygulamasının yapıldığı bir araştırmanın ilk yılında taban gübresinde % 50 ve üst gübrede ise % 25 oranında tasarruf sağlandığı, bu tasarrufun verimde bir azalma meydana getirmediği belirtilmektedir (Güçdemir vd. 2008).

Toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğinin ölçek etkisi gözetilerek belirlenmesini amaçlamış olan bu araştırma, Çukurova'da bir çiftçi tarlasında, hassas tarım tekniklerinin uygulandığı bir alanda gerçekleştirilmiştir. Mısır tarımının yapıldığı 38 ha alana sahip bu tarlada yürütülmüş olan araştırmada toprak özelliklerinin mekânsal dağılım yapılarının farklı örnekleme aralıklarında belirlenerek en uygun örnek-

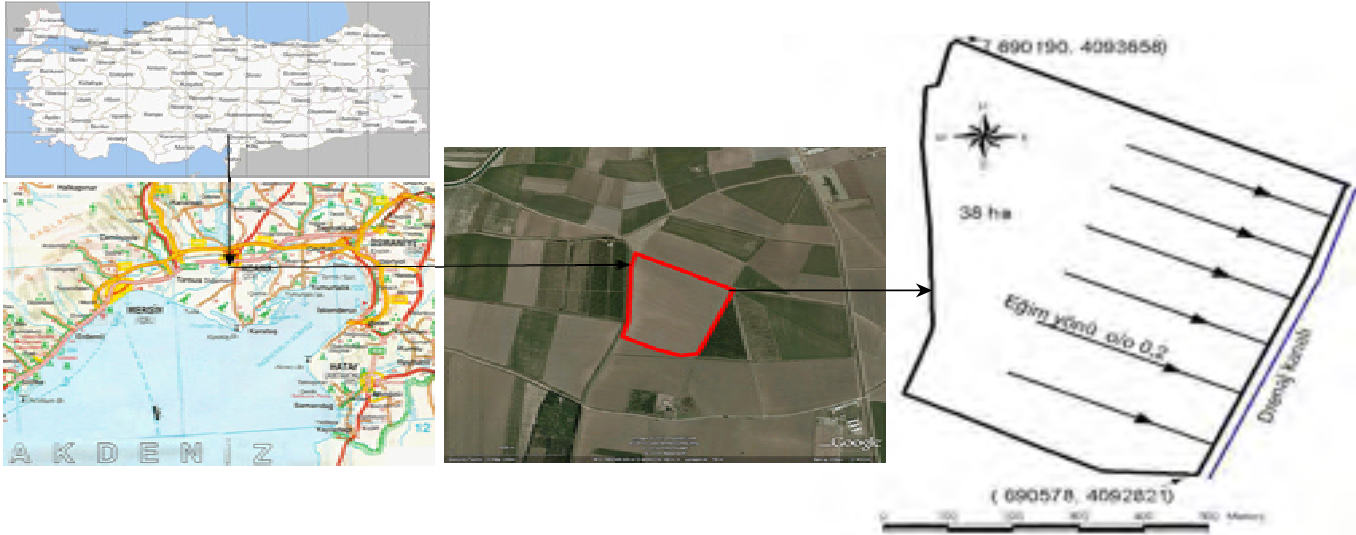
leme aralığı ve mekânsal dağılımın yakalanmasına çalışılmıştır. Ayrıca çok değişkenli mekânsal analizler yardımı ile toprak özelliklerinin birbirleri ile olan ilişkileri incelenmiştir.

Araştırma kapsamında bitki gelişimine etkili olduğu bilinen bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin [KDK ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ), kum (%), silt (%), kil (%), EC ( $\text{dS m}^{-1}$ ), pH,  $\text{CaCO}_3$  (%), (toplam N [tN] ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), alınabilir P (aP) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), alınabilir K (aK) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), OM (%)] mekânsal değişkenlik parametreleri jeostatistiksel modelleme ile belirlenmiş ve kriging interpolasyon yöntemi ile toprak verimlilik özellikleri haritalanmıştır. Her toprak özelliğinin mekânsal değişkenlik parametreleri ve dağılım haritaları değerlendirilerek benzer mekânsal yapı gösteren toprak özellikleri belirlenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Çukurova'da Adana İlinin Yolgeçen köyünde çiftçiye ait bir tarım arazisinde yürütülmüştür. Yaklaşık 38 ha alana sahip olan arazi alüviyal topraklardan oluşmaktadır. Toprak ve Su Kaynakları Tarsus Araştırma Enstitüsü meteorolojik verilerine göre 1950 -2008 yılları arasındaki yıllık yağış ortalaması 616,3 mm'dir. Yıllık buharlaşma miktarının uzun yıllar ortalaması ise 1.479 mm'dir. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması 17,8 °C, en yüksek sıcaklık 43,0 °C ve en düşük sıcaklık ise -8,3 °C dolaylarındadır. Araştırma alanı Pleyistosen yaşlı sedimanter kayalar üzerinde, çevresindeki arazilere göre nispeten ileri bir toprak oluşum evresine sahip ve bunun neticesinde zayıf bir Bw horizonu oluşumu ile morfolojik özellik kazanan Inceptisol toprak ordosunda yer almaktadır (Güçdemir vd. 2008).

Çalışma alanı Çukurova'nın yoğun tarım yapılan ve çoğunlukla yılda iki ürün alınan bölgesinde olmasına rağmen, sürekli mısır tarımı yapılan bu arazide yılda 10–13 t  $\text{ha}^{-1}$  verim ile tek ürün alınmaktadır. Arazi lazer teknolojisi ile tesviye edilmiş olup, eğim % 0,2 ile arazinin güneydoğusunda yer alan tersiyer drenaj kanalına doğrudur (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanı

Hasattan sonra arazide anız bozma, goble disk ve toprak parçalayıcı ile sürme işlemleri yapılmaktadır. 15 Mart–15 Nisan arasında İsrail usulü sırta mısır ekimi yapılmaktadır. Ekimle beraber 15–15–15 ya da 20–20–0 gübresinden 40–50 kg da<sup>-1</sup> taban gübresi uygulanmaktadır.

## YÖNTEM

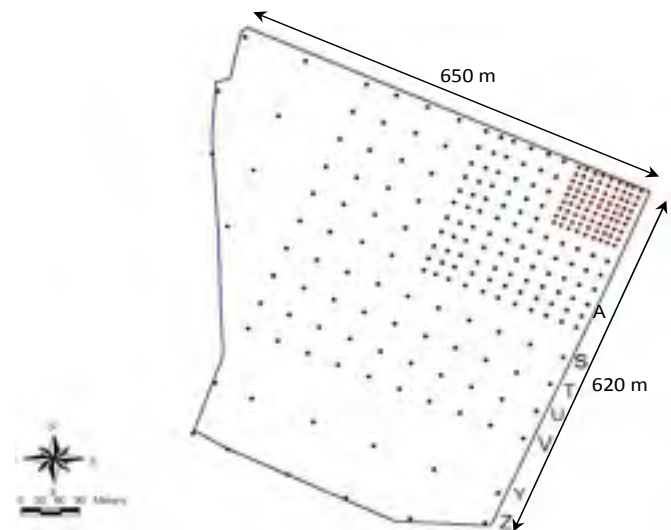
### Toprak örnekleme sistemi

Örnekleme düzeneğinin oluşturulması için daha önce yapılmış olan arazi değerlendirmelerinden yararlanılarak 2006 yılında amaçlı (directed) örnekleme yapılmıştır. Örnekleme optimizasyonu ve ölçeğin mekânsal değişkenliğe olan etkisinin irdelenmesi amacıyla dört farklı ölçekte örnekleme düzeneği oluşturulmuştur. Sınırları DGPS ile koordinatlandırılmış ve sayısallaştırılmış olan araştırma alanına, koordinatları DGPS ile ölçülmüş, başlangıç noktaları belirlenmiş ve toprak örneği alma yerleri 12,5 m, 25 m, 50 m, 100 m aralıklarda, düzenli grid sisteminde, grid düğüm noktalarına yerleştirilmiştir (Şekil 2).

### Laboratuvar analizleri

Toprak örneklerinin laboratuvar analizlerinde toplam azot (tN, mg kg<sup>-1</sup>) Kjeldahl yöntemi (Bremner ve Mulvaney, 1965); alınabilir fosfor (aP, mg kg<sup>-1</sup>) askorbik asit-amonyum molibdat ile (Olsen ve Sommers, 1982); alınabilir potas-

yum (aK, mg kg<sup>-1</sup>) amonyum asetat ekstraksiyon yöntemi ile (1N) (Richards, 1954); organik madde (OM, %) modifiye edilmiş Walkley Black metoduna göre FeSO<sub>4</sub> ile titre edilerek (Richards, 1954); EC (dS m<sup>-1</sup>) elektriksel iletkenlik aleti ile (Richards, 1954); pH su ile doymuş toprakta cam elektrotlu pH-metre ile (Richards, 1954); KDK (cmol kg<sup>-1</sup>) pH'sı 8,2'ye ayarlı sodyum asetat (NaOAc) ve 1N amonyum asetat (NH<sub>4</sub>OAc) ile (Bower vd., 1952; Rhoades, 1986); bünye ise ıslak elemeli Bouyoucos metoduna göre hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951) belirlenmiştir.



Şekil 2. Toprak örnekleme sistemi

### **Jeoistatistiksel modelleme ve mekânsal analizler**

Toprak özelliklerinin mekânsal yapı değişkenliği, jeostatistik teorisiyle açıklanabilmektedir. Jeostatistiksel yöntemlerde yarıvaryogram modellemesi, ölçek ve değişkenlik deseninin yönden bağımsız olarak açıklanmasını sağlayan bir araçtır. Örnekleme noktaları arasındaki bağımlılık veya mekânsal korelasyon derecesi, yakın noktaların birbirine uzak olan noktalara göre daha benzer olduğu ilkesiyle yarıvaryogram modelleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Webster ve Oliver 1990).

### **Yarıvaryogram modellemesi**

Bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri varyogram fonksiyonu ile ortaya konur. Varyogram fonksiyonu, birbirinden  $h$ , adım (lag) uzaklığı ile ayrılmış iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansıdır. Yarıvaryogram ise bu varyansın yarısıdır. Araştırmada yarıvaryogram modelleri GS+ 7 (Gamma Design Software, 2005) yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.

### **Krigleme ve çapraz doğrulama**

İçkestirim (interpolasyon), bir alanda mevcut veri noktaları yardımı ile veri noktası mevcut olmayan alanlardaki değerlerin tahmini işlemidir. Toprak özellikleri için uygun yarıvaryogramlar uygun modelle üretilmiş ve daha sonra model parametreleri kullanılarak kriging interpolasyon yüzeyleri 4x4 m grid çözünürlüğünde oluşturulmuştur.

Krigleme, alana dağınık yayılmış bir Z noktaları dizisinden bir yüzey oluşturmak için kullanılan yaygın bir jeostatistik yöntemidir. Varyogram kullanılarak bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır (Webster ve Oliver 1990). Araştırma kapsamında kriging yüzeyleri ArcGIS yazılımı kullanılarak, yarıvaryogram modelleri sonuçlarına göre trend analizi uygulanarak yapılmıştır.

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 1'de görülmektedir. Wilding (1985)'e göre yapılan değişkenlik katsayısı sınıflaması-

na göre kum ve aP yüksek (>%35); tN, aK, OM, kil ve EC orta (% 16-35 arasında); silt ve pH ise düşük değişkenlik sınıfında yer almıştır. Mısır verimine direk etkisi olması beklenen (OM, aP ve aK) bitki besin maddeleri orta ve yüksek değişkenlik sınıfında yer almıştır. Varyasyon katsayısı (CV) mekânsal değişkenlik ve mekânsal bağımlılık yapısı hakkında bilgi vermez. Yüksek değişkenlik katsayısına sahip bir toprak özelliği çok zayıf alansal bağımlılık yapısı gösterebilir. Nitekim bu çalışmada da kuvvetli alansal bağımlılık gösteren siltin değişkenlik katsayısı düşük bulunmuştur (Çizelge 1 ve 2).

Toprak özellikleri, mekânsal yapı ve bağımlılıklarının belirlenmesi amacı ile jeostatistiksel olarak modellenmiştir. Çalışma alanı içindeki maksimum diyagonal uzaklık 898m'dir. Eksenik adım (lag distance) uzaklıkları 450-550 m ile en uzun eksenin boyutunu aşmamaktadır (Verfaillie vd., 2006). Toprak özelliklerindeki olası anizotropinin araştırılması için 22,5° tolerans açısında ana eksenin azimut açısı farklı yön ve açılarda değiştirilerek (0°, 45°, 90°, 135°) incelenmiştir. Anizotropik varyans haritası ve varyogramların major-minör uzaklıklarının oranları dikkate alınarak anizotropi gösteren toprak özellikleri belirlenmiş ve kriging interpolasyonu öncesi trend analizi yapılmıştır. Yarıvaryogram modellemesinde yapısal uzaklık yönün bir fonksiyonu olarak değişiyorsa incelenen değişkenin geometrik anizotrop olduğu söylenir. Yapısal uzaklık (etki aralığı) aynı kalıp eşik (nugget) ve yapısal varyans değerleri değişiyorsa bu durumda varyogram zonal anizotropik özelliktedir (Tercan ve Saraç 1998; Wackernagel, 2002). Nitekim çalışma kapsamında toprak özelliklerinde farklı oranlarda geometrik anizotropi gözlenmiştir (Çizelge 2). Eğer anizotropi yoksa, örnek çiftleri sayısını arttırmak için çok yönlü (omnidirectional, 90°) yarıvaryogram tercih edilmiştir (Webster ve Oliver 1990).

Anizotropi, nugget varyansı, yapısal varyans, majör ve minor uzaklıklar tüm anizotropi açılarında eş zamanlı olarak değiştirilmek ve uyumlandırmak suretiyle giderilmiştir. Anizotropi

**Çizelge 1.** Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri

	aN mg kg <sup>-1</sup>	aP mg kg <sup>-1</sup>	aK mg kg <sup>-1</sup>	OM %	Kum %	Silt %	Kil %	EC dS m <sup>-1</sup>	pH	CaCO <sub>3</sub> %	KDK cmol kg <sup>-1</sup>
Ortalama	993	8,22	460	1,46	8,8	41,8	49,4	0,391	7,80	25,8	28,5
Medyan	1020	7.61	484	1,48	6,2	40,2	52,8	0,382	7,81	25,7	29,8
SD	154,4	3,8	122,4	0,38	7,9	5,3	11,4	0,1	0,9	0,9	3,7
CV	15,6	46,3	26,6	18,3	89,4	12,8	23,1	19,5	1,3	3,5	12,8
CV sınıfı	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Düşük
Basıklık	0,1	1,7	0,1	1,7	4,7	-0,7	-0,9	11,6	0,3	1,1	0,0
Çarpıklık	-0,3	1,2	-0,7	-0,6	1,9	0,5	-0,6	2,6	-0,2	0,1	-0,9
Varyans	23.825	14,5	14.983	0,1	61,7	28,6	130,7	0,006	0,005	0,8	13,3
Max	1380	22,8	763	2,5	53,5	54,9	64,5	0,981	8,0	28,3	33,8
Min	540	2,3	99	0,5	1,5	27,8	18,7	0,324	7,6	22,5	17,0

SD: Standard sapma, CV: Varyasyon katsayısı (CV = (SD/ortalama)\*100), MAX: Maksimum değer, MIN: Minimum değer

**Çizelge 2.** Toprak özelliklerinin varyogram modeli ve model parametreleri

TÖ	VT	Model	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	Mj Rg	Mn Rg	RgF	AR	R <sub>SD</sub> . %	R <sub>S</sub> dC	R <sup>2</sup> CrV	MSRE	MSE
tN mg kg <sup>-1</sup>	İzo	Gauss	1.25x10 <sup>4</sup>	4.4x10 <sup>4</sup>	440	378	400	85x10 <sup>-2</sup>	28.2	M	0.96	7.4x10 <sup>-8</sup>	2.2x10 <sup>-1</sup>
aP mg kg <sup>-1</sup>	İzo	Küresel	1.3x10 <sup>-2</sup>	2.3x10 <sup>-1</sup>	-	-	372	-	56.1	M	0.87	1.8x10 <sup>-2</sup>	1.9x10 <sup>-1</sup>
aK mg kg <sup>-1</sup>	Anizo	Gauss	2.3x10 <sup>3</sup>	3.8x10 <sup>4</sup>	467	316	386	67x10 <sup>-2</sup>	6.1	S	0.98	1.9x10 <sup>-4</sup>	8.0x10 <sup>-2</sup>
OM %	Anizo	Gauss	4.6x10 <sup>-2</sup>	1.6x10 <sup>-1</sup>	586	408	500	69x10 <sup>-2</sup>	27.4	M	0.92	2.4x10 <sup>-2</sup>	1.8x10 <sup>-1</sup>
Kum %	Anizo	Gauss	1.4x10 <sup>-1</sup>	1.51	455	292	352	64x10 <sup>-2</sup>	9.1	S	0.96	1.2x10 <sup>-2</sup>	1.0x10 <sup>-1</sup>
Silt %	Anizo	Gauss	1.76x10 <sup>-3</sup>	3.2x10 <sup>-2</sup>	245	180	220	73x10 <sup>-2</sup>	5.4	S	0.79	2.0x10 <sup>-3</sup>	1.1x10 <sup>-1</sup>
Kil %	Anizo	Gauss	4.02x10 <sup>-3</sup>	1.5x10 <sup>-1</sup>	435	321	365	73x10 <sup>-2</sup>	2.6	S	0.97	2.9x10 <sup>-5</sup>	6.0x10 <sup>-2</sup>
EC dS m <sup>-1</sup>		Pure n.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	Anizo	Gauss	3.48x10 <sup>-3</sup>	6.4x10 <sup>-3</sup>	330	245	276	74x10 <sup>-2</sup>	53.2	M	0.49	2.66x10 <sup>-5</sup>	3.7x10 <sup>-1</sup>
KDK mol kg <sup>-1</sup>	Anizo	Gauss	1.62x10 <sup>-3</sup>	4.4x10 <sup>-2</sup>	442	320	380	72x10 <sup>-2</sup>	3.6	S	0.97	1.9x10 <sup>-3</sup>	9.0x10 <sup>-2</sup>
CaCO <sub>3</sub> %	İzo	Üssel	4.86x10 <sup>-4</sup>	1.8x10 <sup>-3</sup>	-	-	295	-	25	S	0.95	1.28x10 <sup>-6</sup>	2.0x10 <sup>-1</sup>

TÖ: toprak özelliği, VT: varyogram tipi, Co: Külçe yarıvaryans, Co+C: yapısal yarıvaryans, MjRg: major range (m), MnRg: minor range (m), RgF: düzeltilmiş range (m), AR: anizotropi oranı, Rsd: Mekansal bağımlılık, RsdC: mekansal bağımlılık sınıfı, R2 CrV: çapraz doğrulama regresyon katsayısı, MSRE: artık hatanın kareler ortalaması, MSE: ortalama standart hata, Iso: isotropik, Anizo: anizotropik, M: orta, S: kuvvetli

giderilmeden önce ana ve yan eksenlerdeki majör ve minör uzaklıklar (range) arasında oranlama yapılarak ( $AR = \frac{R_{angeminör}}{R_{angemajör}}$ ) anizotropi oranı belirlenmiştir (Webster ve Oliver, 2001; Verfaillie vd., 2006) (Çizelge 2). Anizotropi, oran sifıra yaklaştıkça artmaktadır. Bu çalışmada değeri 0,8'e kadar olan oranlar anizotrop olarak kabul edilmiştir. EC, aP ve CaCO<sub>3</sub> dışındaki tüm toprak özellikleri farklı oranlarda yönün bir fonksiyonu olarak değişim göstermiştir. Kum, silt kil, pH ve KDK farklı ana azimut açılarında (45<sup>0</sup> ve 90<sup>0</sup>) orta düzeyde bir anizotropi göstermiştir (Çizelge 2).

Deneysel varyograma en uygun teorik varyogramın belirlenmesi için olası tüm model parametreleri (aktif adım uzaklığı, adım aralığı, yapısal varyans, külçe varyansı ve yapısal uzaklık) değiştirilerek uyumlandırma yapılmış ve en uygun MSRE belirlenmiştir (Wackernagel, 2002; Yasrebi vd., 2008). Aynı zamanda çapraz doğrulama ile model sonuçları test edilmiştir. Toprak özelliklerinin çoğu en iyi uyumu Gauss modeli ile gösterirken, aP küresel, CaCO<sub>3</sub> ise en iyi uyumu üssel varyogram modeli ile göstermiştir. EC'de tam külçe etkisi gözlenmiştir (Çizelge 2). Yani örnekleme

noktaları arasında alansal bir ilişki olmadığından jeostatistiksel yaklaşımla krigleme yönteminin diğer interpolasyon yöntemlerine (IDW, spline) göre bir avantajı yoktur.

Toprak özelliklerinin yapısal uzaklıkları 220 m (silt) ve 500 m (OM) arasında değişmektedir (Çizelge 2). Yapısal uzaklık örnekleme noktalarının birbirleri ile mekânsal ilişkili olduğu en uzun mesafedir ve bu mesafe dışındaki noktalarla mekânsal ilişki yoktur. Bu nedenle yapısal uzaklık örnekleme optimizasyonunda en çok kullanılan parametredir (Isaaks ve Srivastava, 1989; Kerry ve Oliver, 2004).

Gübreleme amaçlı uygulamalar için OM, tN, aP ve aK' arasında en düşük yapısal uzaklık değere sahip olan tercih edilmelidir. Araştırma sahasında aP seviyelerinin, hasattan sonra önemli ölçüde azaldığı bölgelerin olduğu göz önünde bulundurulduğunda (Karabulut, 2010); mısır tarımı yapılan bu arazi için örnekleme aralığı seçiminde, toprak özelliklerinden yapısal uzaklığı en düşük olan aP'un değerlendirilmesi gerekir. Arazide izotrop bir yapı gösteren aP'un, yapısal uzaklığının yarısı olan (Kerry ve Oliver, 2004) 186 m bu arazi için örnekleme aralığı olarak seçilebilir. Diğer toprak özelliklerinden tN, OM ve aK'un yapısal uzaklığı bu değer üzerinde olduğundan, aP için düzenlenen örnekleme sistemindeki örnekler tN, OM ve aK'un krigleme mekânsal dağılımlarını elde etmek için de uygun olmaktadır. Ancak kontrolsüz etki varyansının da etkisi dikkate alınmalıdır. İki varyogramın eşik değeri ve yapısal uzaklığı aynı olsa da yüksek  $C_0$  değeri, varyogram modellemesi yapılan örnek setinin aslında o toprak özelliği için çok da uygun aralıklarda alınmadığının bir göstergesidir.  $C_0$  değeri arttıkça örnek aralıklarından daha kısa mesafelerde bir değişim olmaktadır.

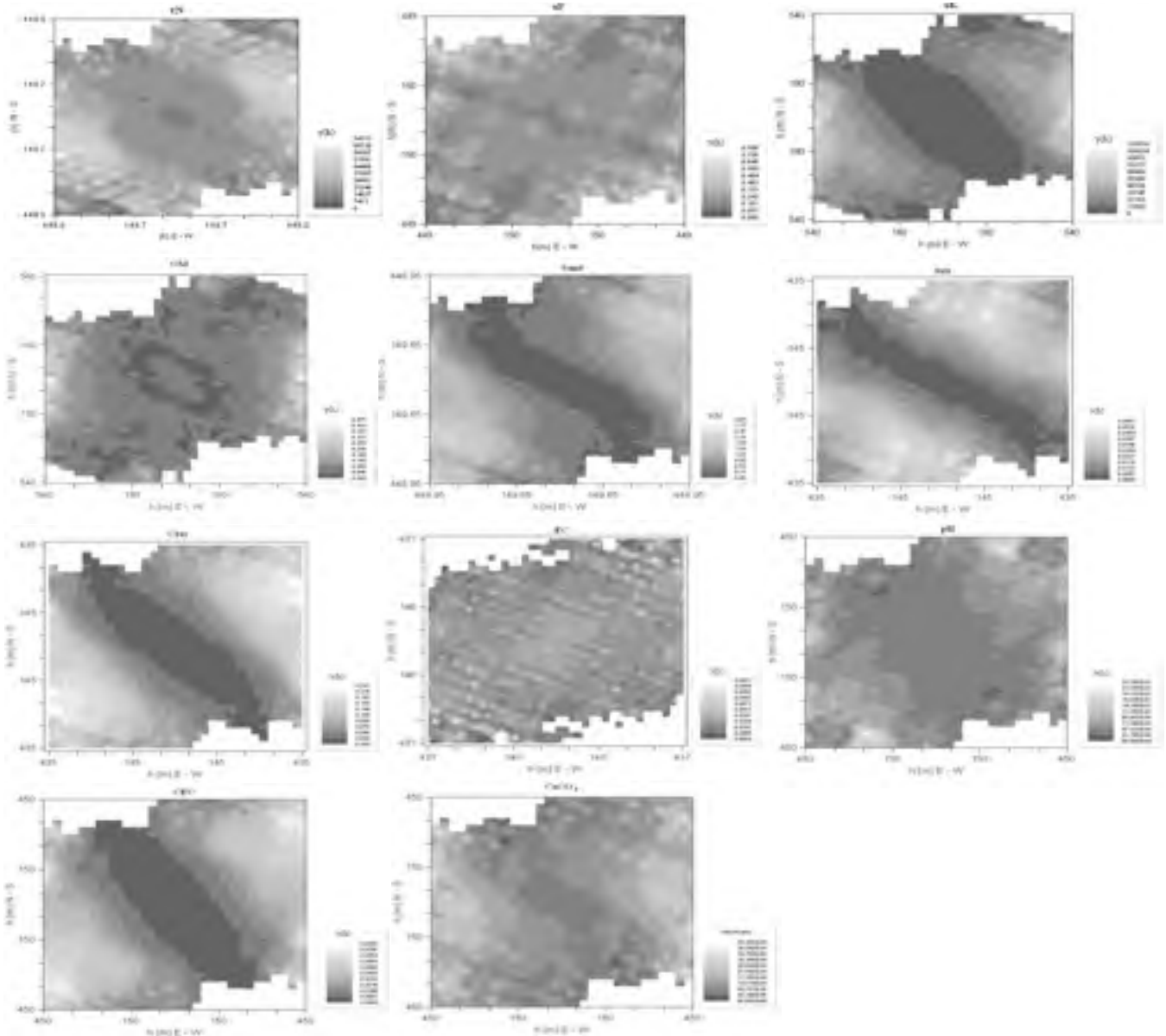
Gübreleme amaçlı örnekleme yapıldığında, bu örnek setinde varyogramlar arasında en yüksek  $C_0$  değerleri aP ve tN'da görülmüştür. Her iki toprak özelliğinin düşük  $C_0/C_0+C$  değerine ve yapısal uzaklığına sahip olanını seçmek doğru bir yaklaşım olacaktır.

Çalışmada orta ve kuvvetli olmak üzere iki mekânsal bağımlılık seviyesi tespit edilmiştir (Çizelge 2). Mekânsal bağımlılık, örnekleme noktaları arasındaki otokorelasyon seviyesini göstermektedir. Eğer mekânsal bağımlılık kuvvetli ise örnek noktaları arasındaki alansal korelasyon da yüksektir. Çalışma alanında aK, kum, silt, kil KDK ve  $CaCO_3$  kuvvetli, tN, aP, OM ve pH ise orta seviyede alansal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 2). Birçok literatürü bir araya getiren Whelan vd. (1996) yapmış olduğu derleme çalışmasında toprak bitki besin maddelerinin yapısal uzaklık aralıklarının geniş bir yelpazede değiştiğini belirtmiştir. Buna göre farklı alansal ölçeklerde yapılmış olan çalışmaların sonucunda, yapısal uzaklıkların N'da 5-900 m, P'da 50-900 m ve K'da ise 40-400 m arasında değiştiği belirtilmiştir (Whelan vd., 1996). Bitki besin elementlerinin yapısal uzaklıklarındaki bu geniş yelpazenin en önemli nedenleri çalışma alanlarının boyutlarının farklılığı, alanların farklı toprak ve fizyolojik özellikleri ve iyon mobilitelerinin farklı olmasıdır.

Varyans haritası uygun varyogram modelinin seçiminin yanı sıra anizotropi yapısının ve yönünün incelenmesinde de kullanılmaktadır. Bu haritalar toprak özelliklerinin anizotropi özelliğini açıkça sergilemekte olup, bu çalışmada aK, kil, silt, kum ve KDK'nın benzer anizotropi yönü ve yapısı gösterdiği görülmüştür (Şekil 3). Aynı şekilde bu toprak özelliklerinin yarıvaryogram modelleri de benzerlikleri sergilemektedir (Şekil 4).

Toprak özelliklerinin pearson korelasyon matrisi incelendiğinde (Çizelge 3) aK, OM, KDK, tN, kil ve kum'un birbirleri ile korelasyonu 0,05 anlamlılık seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu parametrelerin yarıvaryogramları ve krig yüzeyleri de (Şekil 4 ve 5) benzer uyumu göstermektedir.

Değişik krigleme yöntemlerini (basit, evrensel, gösterge krigleme vb..) içeren jeostatistiksel interpolasyon teknikleri diğer deterministik interpolasyon tekniklerine göre önemli avantaj-



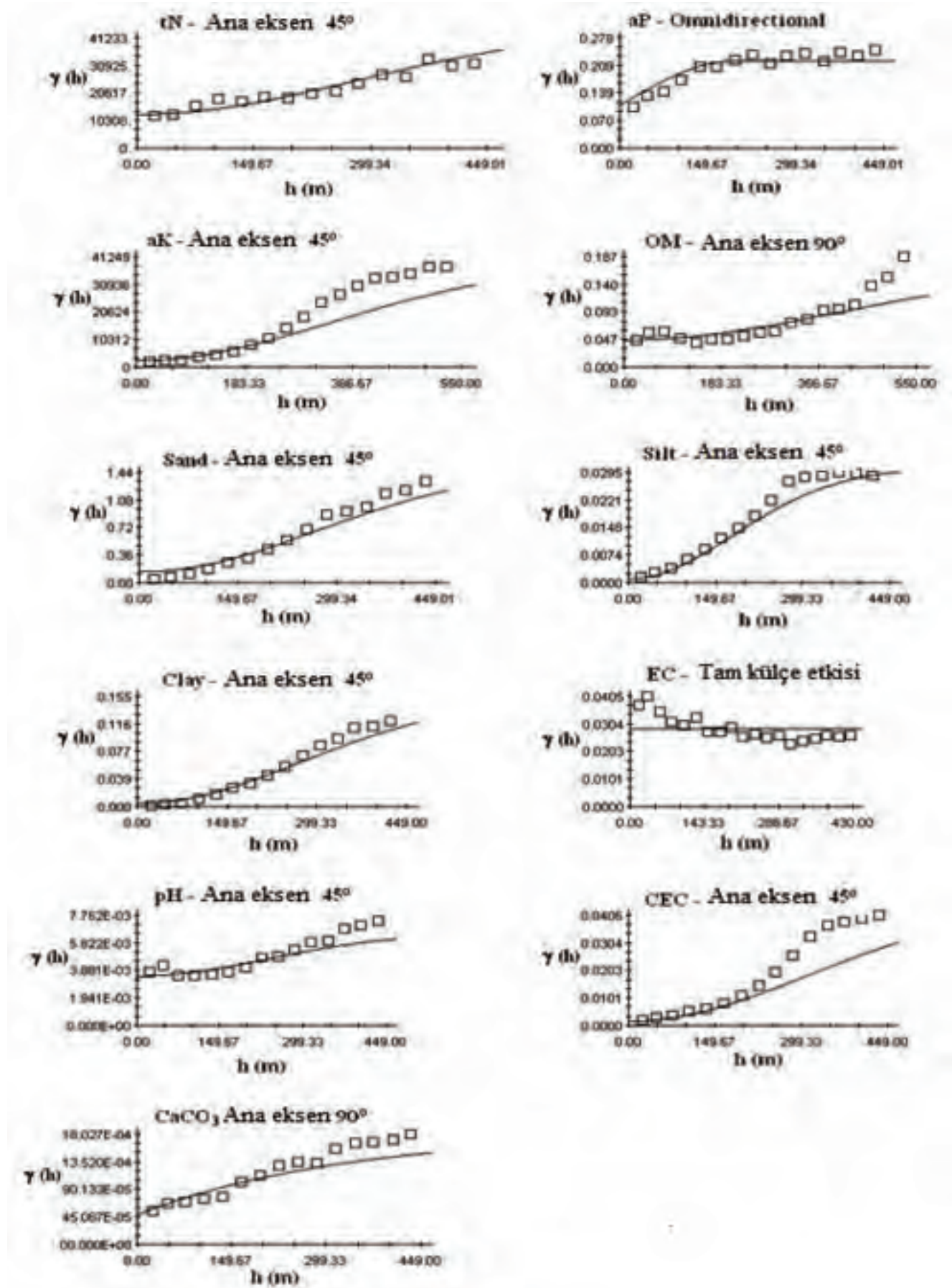
Şekil 3. Toprak özelliklerinin varyans haritası

lara sahiptir. Bu teknikler, ölçüm değerleri kullanılarak tahmin edilen değerlerin varyans yüzeylerinin oluşturulmasını ve buna bağlı olarak da hata değerlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu da mekânsal interpolasyondaki belirsizliklerin giderilmesinde önemli bir hassaslık getirir (Goovaerts, 1997; Burrough ve McDonnell, 1998; Verfaillie vd., 2006).

Toprak özelliklerinin alansal dağılım haritaları en uygun yarivaryogram parametreleri kullanılarak basit kriging yöntemi ile belirlenmiştir. Ancak krigleme yüzeyleri oluşturulmadan önce ikinci dereceden polinom ile toprak özelliklerindeki trend giderilmiştir.

Toprak özelliklerinde aP, pH ve siltin krig yüzeyleri benzer mekânsal dağılım özelliği göstermekle birlikte bu toprak özelliklerinin korelasyonları 0,05 ve 0,01 arasında değişen anlamlılık seviyelerinde önemli bulunmuştur. aK, OM, kil ve KDK birbirleri ile pozitif yönde anlamlı bir ilişki gösterirken, bu toprak özellikleri kum ile negatif yönde anlamlı bir ilişki göstermiştir (Çizelge 3).

Krig yüzeylerinde çalışma alanının güney-batı, batı, kuzey-batı kısımlarında yüksek oranda kum içeriği gözlenmiştir. Bu bölgede Kuvaterner döneminin Pleyisyosen devrinde



Şekil 4. Toprak özelliklerinin yarıvaryogram modelleri



**Çizelge 3.** Toprak özelliklerinin Pearson korelasyon matrisi

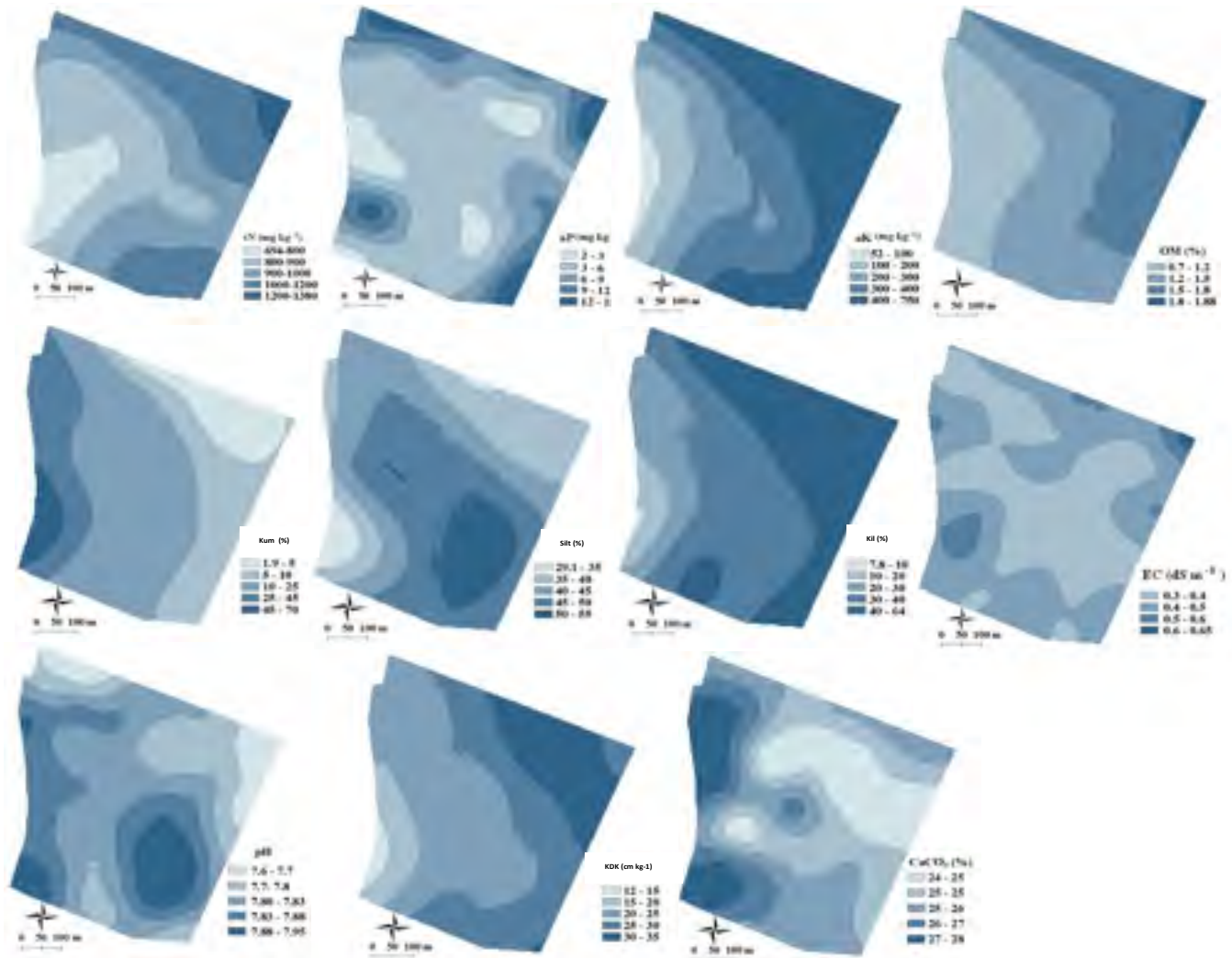
	N mg kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	OM %	Kum %	Silt %	Kil %	EC dS.m <sup>-1</sup>	pH
P	0,495**								
K	0,728**	0,588**							
OM	0,515**	0,512**	0,749**						
Kum	-0,609**	-0,236	-0,823**	-0,601**					
Silt	-0,241	-0,365*	-0,277	-0,103	-0,135				
Kil	0,688**	0,405**	0,913**	0,621**	-0,88**	-0,341*			
EC	0,198	0,399**	0,245	0,125	0,084	-0,425**	0,128		
pH	-0,423**	-0,515**	-0,554**	-0,389*	0,319*	0,296	-0,442**	-0,389*	
KDK	0,610**	0,259	0,858**	0,583**	-0,891**	-0,149	0,916**	0,048	-0,371*

\*\* Korelasyon 0,01 seviyesinde önemli (2-1)  
\* Korelasyon 0,05 seviyesinde önemli (2-1)

eski bir nehir yatağının sedimantasyon süreçleriyle oluşmuş çakıllı kum bandı olduğu belirtilmiştir (Usta ve Beyazçiçek, 2006). Bu kum bandı, arazinin bu bölgesinde çiftçinin 50 cm derinliğinde kazıma yapması ve araziye tesviye etmesiyle yüzeylenmiştir. Kum ve kilin krig

yüzeylerinde kazıma ve tesviye yapılan bu bölgelerde kum yüzdeleri yüksek değerlerde iken arazinin doğusunda ise kil içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5).

Toprak tekstürünün çalışma alanında bitki besin elementlerinden özellikle aK ve OM miktarlarını üzerinde baskın etkisi olduğu benzer yarıvaryogram ve krig yüzeylerinden ve anlamlı pozitif bir korelasyon göstermesinden anlaşılmaktadır. Kil ve OM kolloidlerinin özgül yüzey alanları kum ve silte göre daha yüksek olduğundan katyon değişim kapasiteleri de kum ve silte göre daha yüksektir (Şekil 5). Bitki besin elementlerinden aK'da aynı fiziko-kimyasal zincirin etkisi ile arazide kuzeydoğu- doğu yönlerine doğru artış göstermektedir. Bitki



**Şekil 5.** Toprak özelliklerinin varyans haritası

besin elementleri arasındaki bu ilişkileri ortaya koymak için alansal benzerlik analizleri daha sağlıklı yorumlar yapmayı sağlayabilir. Yine de elde olunan bulgularla bu çalışma alanında tekstürün, özellikle kil içeriğinin ve OM miktarının KDK ve aK'un mekânsal dağılımında etkili olduğu düşünülmektedir.

## SONUÇ

Bu araştırma Çukurova'da alüviyal bir tarım arazisinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bu arazi koşullarını temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar, toprak verimliliği göstergelerinin yere ve zamana bağlı değişimlerinin, jeostatistiksel yöntemlerle önemli ölçüde izlenebileceğini ve bu yolla, emek, zaman, harcama konularında ciddi azalmalar sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

Örneğin jeostatistiksel model parametreleri yardımı ile çok geniş alanlarda örnekleme optimizasyonu yapılabildiği için analiz giderlerinde önemli tasarruflar yapılabilmektedir. Ancak örnekleme optimizasyonunda dikkat edilmesi gereken arazinin mekânsal yapısını temsil eden en az örnek sayısı ile çalışmanın sürdürü-

lebilirliğini olanaklı kılmaktır. Bu tür çalışmalar özellikle alana özgü hassas tarım uygulamalarında zamansal–alansal değişkenliğin belirlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü'nün desteği ile Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü tarafından Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı Başkanlığı işbirliği ile yürütülmüştür. Projeye katkılarından dolayı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü'ne, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı Başkanlığı'na ve Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederiz. Arazisinde çalışmamızı sağlayan Durdu Mehmet ve Hamit Danışoğlu kardeşlere, TÜBİTAK tarafından desteklenmiş olan "1050243-Değişken oranlı gübre uygulaması projesi"nin koordinatörü Dr. İbrahim Güçdemir, Yrd. Dç. Dr. Ufuk Türker ve proje ekibine toprak örneklerinin toplanmasındaki desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Bouyoucos, G.J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43, 435–438.

Bower, C.A., Reitmeir, R.F. and Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci*, 73, 251–261.

Bremner, J.M. and Mulvaney C.S.(1965). Total nitrogen in: *Methods of soil analysis*. Am. Soc. Argon., Madison, WI. USA., pp:596-624.

Burrough, P.A. and McDonnel, R.A. (1998). *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, 333 p.

Gamma Design Software. (2005). *GS+ Geostatistics for the environmental sciences version 7.1*, Gamma Design Software L. L. C., Plainwell, Michigan, USA.

Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford Univ. Press, 483 p, NewYork.

Güçdemir, İ., Türker, U., Karabulut, A., Arcak, Ç., Karuç. ve K., Gedikoğlu, İ. (2004). Hassas tarım teknikleri kullanılarak hububat ekim alanlarında verime etki eden değişkenliklerin belirlenmesi. *Tübitak Araştırma Projesi*, 103 s. Ankara.

Güçdemir, İ., Türker, U., Karabulut, A., Arcak, Ç., Usul, M. ve Bozkurt, M. (2008). Çukurova'da mısır tarımında hassas tarım teknikleri kullanarak değişken oranlı gübre uygulamaları. IV. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 116–125 s, Konya.

Isaaks, H.E. and Srivastava, R.M. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, N.Y.

Karabulut, A. (2010). Çukurova'da flüviyal bir tarım arazisinde bazı toprak verimlilik özelliklerinin jeostatistiksel modellenmesi, doktora tezi, A.Ü.Z.F. F.B.E toprak anabilim dalı.

Kerry, R. and Oliver, M.A. (2004). Average variograms to guide soil sampling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, 307–325.

- McBratney, A.B. and Pringle, M.J. (1997). Spatial variability of soil: Implications for precision agriculture. Proceedings of the Precision Agriculture '97, 1, 3–31 p, Oxford, UK.
- Mdr., [http://www.mta.gov.tr/v1.0/bolgeler/adana/pdf\\_doc/adanaJEO%5B1%5D.pdf](http://www.mta.gov.tr/v1.0/bolgeler/adana/pdf_doc/adanaJEO%5B1%5D.pdf) Reach:17.04.2009.
- Olsen, S.R. and Sommers L.E. (1982). Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis, Am. Soc. Argon. Madison, WI, USA, pp:403-430.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvements saline and alkali soils, U.S. Dep. Agr. Handbook, No. 60, USA.
- Rhoades, J.D. (1986). Methods of soil analysis, Part II, 149–157 p.
- Tercan, A.E., Saraç, C. (1998). Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, JMO yayınları, No: 48, Ankara.
- Usta, D. and Beyazççek, H. (2006). Adana ilinin jeolojisi, MTA-Doğu Akdeniz Blg.
- Verfaillie, E., Lancker V. V. and Meirvenne M.V. (2006). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. Continental Shelf Research 26, pp: 2454-2468.
- Wackernagel, H. (2002). Multivariate geostatistics, Springer, 387 p, Berlin.
- Webster R. and Oliver M.A. (1990). Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, 328 p, Oxford.
- Webster, R. and Oliver, M. (2001). Geostatistics for environmental scientists, John Wiley & Sons publications, 271 p, England.
- Whelan, B.M., McBratney, A.B. and Rossel, R.A. (1996). Spatial prediction for precision agriculture. Precision Agriculture Proceedings of the 3rd International Conference, 331–342, Madison, WI.
- Wilding, L.P. (1985). Spatial variability: It's documentation, accommodation and implications to soil surveys. Proceedings of a workshop of the ISSS and the SSSA. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 166–189 p, Wageningen, The Netherlands.
- Yasrebi, J., Safari M., Fathi H., Karimian, N., Emadi M. And Baghernejad, M., (2008). Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. Journal of Applied Sciences 8 (9), 1642–1650.