

Mesut BUDAK<sup>1</sup>  
Hikmet GÜNAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hakkari Üniversitesi, Çölemlik Meslek Yüksek Okulu, Bahçe Tarımı Programı, 30000 Hakkari/Türkiye

<sup>2</sup> Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60240 Tokat/Türkiye

e-posta: mesut.budak@hakkari.edu.tr

## Tuzlu-Alkali Topraklarda Bor Konsantrasyonunun Uzaysal Değişkenliğinin Jeostatistiksel Analizi ve Haritalanması

Geostatistical Analysis and Mapping Spatial Distribution of Boron Concentration in Saline-Alkaline Soils

Alınış (Received): 07.01.2015

Kabul tarihi (Accepted): 13.04..2015

### Anahtar Sözcükler:

Bor, jeostatistik, uzaysal değişkenlik, alkalilik, tuzluluk,

### Key Words:

Boron, geostatistics, spatial variability, alkalinity, salinity,

### ÖZET

**K**urak bölgelerde bitkisel üretimi sınırlandıran önemli unsurlardan biri tuzlulukla birlikte suda çözülebilir bor konsantrasyonunun yüksek olmasıdır. Bu çalışmanın amacı, tuzlu ve alkali topraklarda bitkiye yararlı bor konsantrasyonunun mesafeye bağlı değişkenliğinin jeostatistiksel yöntemlerle haritalanmasıdır. Toprak örneklemeleri, Niğde ili, Bor ilçesine bağlı Kızılca Köyünün güneyinde yer alan 2650 ha'lık bir arazide yapılmıştır. Çalışma alanında, 0-30 cm toprak derinliğinden 202 toprak örneği alınmıştır. Toprakların bor konsantrasyonu, tekstür, OM, kireç, pH, EC, ESP ve SAR analizleri yapılmıştır. Jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmiş en uygun model kullanılarak çalışma alanındaki örneklenmeyen noktalar için krigleme yöntemi ile tahminler yapılmış ve her bir toprak özelliği için haritalar hazırlanmıştır. Çalışma alanı bor konsantrasyonu 1.41 ile 97.84 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişirken ortalama konsantrasyonun 47.76 mg kg<sup>-1</sup> olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, çalışma alanı topraklarının büyük bir kısmında bor konsantrasyonunun çoğu ürün için toksik sınır olan 5 mg kg<sup>-1</sup>'in üzerine çıktığını göstermiştir. Arazide oldukça büyük değişkenlik gösteren bor konsantrasyonunun dağılımını gösteren haritalar, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinde gerekli önlemlerin alınması ve ıslah programlarının başarısı için mutlak önem arz etmektedir.

### ABSTRACT

**H**igh level water soluble boron concentration in arid regions is an important factor limiting plant production along with salinity. The purpose of this study was to map the spatial variability of plant available boron concentration in saline and alkaline soils by geostatistical methods. Soil samples were collected from 2650 ha area located at south of Kızılca Village at Bor Town in Niğde province. In the study area, 202 georeferenced soil samples were taken from depth of 0-30 cm. The soils were analyzed for Boron, texture, OM, CaCO<sub>3</sub>, pH, EC, ESP and SAR. Spatial variation of boron concentration was analyzed by semivariograms and data at unsampled locations were predicted and results were mapped by kriging. Boron concentration in study area ranged from 1.41 to 97.84 mg kg<sup>-1</sup> and the mean concentration was 47.76 mg kg<sup>-1</sup>. The result showed that boron concentration of majority of soils in study area is greater than 5 mg kg<sup>-1</sup> that is toxic to many crops. The maps showing the distribution of boron concentration in the study area have great importance to take the necessary measures to maintain and even promote sustainability of agricultural production and for the success of reclamation programs.

### GİRİŞ

Bor, bitkilerin optimum gelişim göstermesi için gerekli olan önemli mikro besin elementlerinden biri olup noksanlığı ve zehirliliği en fazla görülen mikro bitki

besin elementlerinden biridir (Shorrocks, 1997; Yau and Ryan, 2008). Bitkiler için optimum bor miktarı ile zararlı olacak toksik konsantrasyon arasındaki fark oldukça dardır (Rashid and Ryan, 2004; Yau and Ryan,

2008). Toprakta bor içeriği  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ den düşük olduğunda bitkilerde bor noksanlığı ve  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ 'in üstüne çıktığında ise bor fazlalığı nedeniyle bitkiler için toksik etki görülmektedir (Kelling, 2010).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yer alan tuzlu arazilerde, zaman zaman yüksek bor konsantrasyonundan dolayı yetişen bitkilerde tuz stresi yanı sıra bor toksitesi de görülmektedir. Toprakların bor konsantrasyonuna toprak reaksiyonu (pH), toprak tekstürü, (Elrashidi and O'Connor 1982; Shorrocks, 1997; Xu et al., 2001; Sürücü ve ark., 2013), kil mineralinin tipi (Su and Suarez 2004), organik madde (OM) (Havlin et al., 2005; Sürücü ve ark., 2013), toprak nemi ve toprak sıcaklığı (Fleming, 1980; Xu et al., 2001) gibi faktörler etki etmektedir. Bor konsantrasyonuna etki eden faktörlerin doğru belirlenmiş olması, özellikle bor toksikliği sorunu olan arazilerde uygulanacak amenajman programının başarılı bir şekilde tasarlanması için gereklidir. Sürücü ve ark. (2013), Orta Anadolu'da bor konsantrasyonu yüksek olan tuzlu arazilerde yapılacak ıslah programlarında borun arazideki dağılımına etki eden faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Arazideki yüksek bor konsantrasyonunu azaltmak için yapılacak yıkama veya katkı maddesi uygulamasının başarısında borun mesafeye bağlı dağılımının haritalanması gerektiğine de vurgu yapılmıştır. Ayers and Westcot (1994), toprak partiküllerine çok daha sıkı tutunmasından dolayı, bitkiler için zararlı olan bor konsantrasyonunun topraktan yıkama ile azaltılmasının birçok tuz bileşiğine göre daha zor olduğunu belirtmişlerdir. Bu gerçek dikkate alınarak, arazi içi değişkenliği gösteren dağılım haritalarının kullanımının kurak ve yarı-kurak alanlarda zaten sınırlı olan su kaynaklarının arazi ıslahında etkin kullanımını sağlayacağından, iş başarısını da arttıracığı söylenebilir.

Tuzlu alkali topraklarda tuzluluk ve alkalilik parametreleri ile bor içeriği yüksek derecede uzaysal değişkenlik göstermektedir (Xu et al., 2001; Uygan ve Çetin 2012; Sürücü ve ark., 2013). Toprak özelliklerinin homojen bir dağılım göstermiyor olması arazide uygulanan amenajmanların etkinliğine önemli düzeyde etki etmektedir (Van Es et al., 1989). Bu nedenle, toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliklerinin belirlenmesi toprak özellikleri ve çevresel faktörler arasında var olan karmaşık ilişkilerin anlaşılması açısından oldukça önemlidir (Goovaerts, 1998).

Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mesafeye bağlı değişimlerinin incelenmesi ve haritalanması yüksek maliyet, işgücü ve zaman gerektirmektedir. Özellikle çalışma yapılacak alanlarda değişkenliğin fazla olması alınacak örnek sayısının artmasına neden

olduğundan daha yüksek maliyet, işgücü ve zamana gereksinim duyulmaktadır (Mulla and McBratney, 2001). Bu nedenle, daha az örnekle mesafeye bağlı değişimi belirleyecek ve haritalamaya yardımcı olacak yöntemlere gereksinim vardır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mesafeye bağlı değişimlerini ve örnekler arası ilişkiyi tanımlamak için kullanılan en yaygın yöntem jeostatistiktir (Webster and Oliver, 2001).

Jeostatistikte toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğinin yapısını tahmin etmede semivariogram, örnekleme yapılan noktaların belirlenen semivariogram modelinin yardımı ile örneklenmeyen noktalar için tahmin edilmesinde ise krigleme yöntemi kullanılmaktadır (Kalivas et al., 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin kullanımı, tarımsal kaynakların amenajmanı ve sürdürülebilirliği için önemli bir araçtır. Ayrıca CBS amenajman uygulamalarının daha kısa bir sürede ucuz ve az iş gücü ile yapılmasını sağlamaktadır (Uygan ve Çetin, 2012). CBS tekniği kullanılarak hazırlanan toprak haritaları amenajman uygulamalarının etkinliğini artırmasının yanı sıra birçok araştırmacı için toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mesafeye bağlı değişimlerini değerlendirmesine de yardımcı olmaktadır (Dent and Young, 1981). Bu çalışmanın amacı, ıslah çalışmalarının etkinliklerinin artırılmasına katkı sağlayacağından jeostatistiksel modelleme ve CBS tekniklerini kullanarak tuzlu ve alkali topraklarda bor içeriğinin mesafeye bağlı değişimini modelleyerek haritalamaktır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Çalışma Alanı

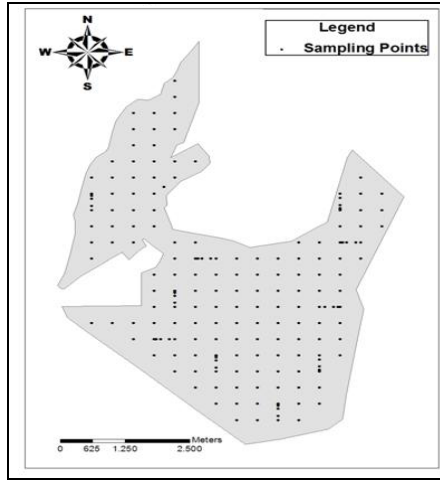
Çalışma alanı Niğde ilinin Bor ilçesine bağlı Kızılca Köyünün 1 km güneyinde yer alan devlet hazinesine ait doğal mera olarak kullanılan bir arazidir. 32 yıllık (1971-2000) ortalama iklim verilerine göre çalışma alanında yıllık yağış miktarı  $322.4 \text{ mm}$  ve ortalama hava sıcaklığı  $11.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Ancak bu meteorolojik veriler, çalışma alanının yaklaşık 30 km kuzey batısında yer alan ve denizden yüksekliği 1220 m olan meteoroloji istasyonuna aittir. Çalışma alanına 2011 yılında kurulan iklim istasyonundan aldığı verilerde son 3 yıllık iklim verilerine göre yıllık ortalama yağış  $175.5 \text{ mm}$ 'dir. Elde edilen iklim verilerine göre toprak sıcaklık rejimi mesic olan çalışma alanının toprak nem rejimi ise aridiktir (Soil Survey Staff, 1999).

Denizsel kökenli çökeller üzerinde gelişen toprakların yer aldığı çalışma alanında eğimin çok düşük olması nedeniyle drenajı oldukça zayıftır. Bunun doğal bir sonucu olarak, uzun yıllar çevredeki yüksek arazilerden gelen yüksek tuz ve bor içeriğine sahip sular

çalışma alanını terk edememiştir. Arazi yüzeyinde göllenen sular ancak buharlaşma ile uzaklaşabilmiştir. Bu nedenle, çalışma alanında tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli problem yüksek tuz ve bor konsantrasyonunun yanında yer yer görülen alkalilik problemleridir.

### Toprak örnekleme

Toplam 2650 ha'lık alandan oluşan çalışma alanı 400x400 m gridlere bölünerek her gridin yaklaşık köşe noktalarından 0-30 cm derinliğinden toplam 152 toprak örneği alınmış ve küresel konum belirleme sistemi (GPS) ile noktaların koordinatları kayıt edilmiştir. Toprak özelliklerinin 400 m'den daha kısa mesafelerdeki değişkenliğini daha doğru modelleyebilmek amacıyla ardışık iki gridin köşe noktası arasındaki 10 hat üzerinde 5-20-50-125-300 m aralıklarla toprak örnekleme yapılmıştır. Bu şekilde yapılan örnekleme ile çalışma alanından toplam 202 toprak örneği alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanında örnekleme deseni  
Figure1. Sampling design in the study area

### Toprak analizleri

Toprak örnekleri oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek laboratuvar analizleri için hazır hale getirilmiştir. Bitkiye yarayışlı bor konsantrasyonu Azometin-H ile oluşturulan kompleksin renk yoğunluğuna dayanılarak belirlenmiştir (John et al., 1975). Tekstür, Bouyoucos Hidrometresi metodu kullanılarak belirlenmiştir (Gee and Bauder, 1986). Elektriksel iletkenlik (EC) ve toprak reaksiyonu (pH) saturasyon çamurunda belirlenmiştir (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954) Organik madde, modifiye edilmiş Walkley-Black metoduna göre yapılmıştır (Nelson and Sommers, 1982).

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), saturasyon çamurlarından alınan süzüklerden Na, Ca ve Mg iyonları

belirlenmiş ve eşitlik (1) ile SAR değerleri hesaplanmıştır (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954). Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)1. N amonyum asetat yöntemi ile değişebilir katyonlar belirlenmiş ve eşitlik (2) ile ESP değerleri hesaplanmıştır (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954).

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad (1)$$

$$ESP (\%) = \frac{\text{Değişebilir Na}}{KDK} * 100 \quad (2)$$

### İstatistiksel analizler

Bor konsantrasyonu ve ilişkili toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistiksel analizler (aritmetik ortalama, en küçük, en yüksek, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık değerleri) SPSS 17.0 paket programı ile hesaplanmıştır (Çizelge 1). Webster (2001)'e göre verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için çarpıklık katsayısının incelenmesi yeterlidir. European Journal of Soil Science adlı derginin İstatistik konusunda danışmanlığını da yürüten Webster (2001), eğer çarpıklık değeri 0.5'den küçük ise veriye dönüşüm uygulamaya gerek olmadığını, çarpıklık değeri > 0.5 ve ≤ 1.0 ise bu durumda karekök alınarak verinin normale dönüştürülebileceğini ve eğer çarpıklık değeri >1.0 ise bu durumda da logaritmik dönüşümün uygulanabileceğini ifade etmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde toprak özelliklerinden EC, SAR ve ESP değerlerine ait çarpıklık kat sayılarının 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle ilgi değişkenlere logaritmik dönüşüm (1. türev) işlemi uygulanmıştır.

Bor konsantrasyonu ile ilişkili olduğu düşünülen toprak özelliklerinin çalışma alanındaki ilişkilerinin düzeyini ve yönünü anlayabilmek amacı ile korelasyon analizi yapılmıştır. Bor konsantrasyonu ve diğer toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılıkları GS+7.0 paket programı kullanılarak oluşturulan semivariogram modelleri ile tahmin edilmiştir. Semivariogram modellerinin tahmininde eşitlik (3) kullanılmıştır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (3)$$

Burada; **h**;  $x_i$  ile  $x_i+h$  arasındaki ayırma mesafesi, **N(h)**; h mesafesi ile birbirinden ayrılan örnek çifti sayısı, **z(x<sub>i</sub>)**; x noktasında ölçülmüş örnek değeri, **z(x<sub>i</sub>+h)**; x+h mesafesi aralığı ile ayrılmış iki noktanın örnek değeri (Emadi et al., 2008).



**Çizelge1.** Çalışma alanı topraklarının (0-30 cm) fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler  
**Table 1.** Descriptive statistics data for physical and chemical characteristics of soils studied at 0-30 cm depth

Toprak Özelliği	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma	VK* (%)	Çarpıklık	Basıklık
Kil (%)	22.00	81.10	52.40	16.29	31.09	-0.12	-1.27
Kum (%)	3.87	61.55	26.08	14.23	54.58	0.43	-0.83
pH	7.51	9.31	8.34	0.30	3.59	0.41	0.46
EC (dS/m)	0.61	27.40	5.97	5.42	90.79	1.38	1.70
OM (%)	0.32	4.50	1.87	0.70	37.20	0.52	0.60
Bor (mg kg <sup>-1</sup> )	1.41	97.84	47.76	31.80	66.58	0.23	-1.46
Kireç (%)	3.99	49.47	31.43	10.81	34.40	-0.70	-0.60
ESP (%)	0.49	55.03	12.56	11.23	89.42	1.31	1.34
SAR	0.23	98.23	14.12	14.77	104.59	2.14	5.97

\* VK: Varyasyon Katsayısı

Toprak özelliklerine ait semivariogramlar oluşturulurken en iyi modelin seçiminde modelin uygunluğunu gösteren  $r^2$  ve ölçüm hatalarından biri olan RSS (artık kareler toplamı (Residual Sum of Squares)) değerlerine bakılarak karar verilmiştir. Bu durumda en iyi modeli seçmek için  $r^2$  değerinin 1'e en yakın ve RSS değerinin 0'a yakın olanı tercih edilmiştir (Yang et al., 2011). Ayrıca oluşturulan modellerin başarısını belirlemek amacıyla çapraz doğrulama işlemi yapılmıştır. Çapraz değerlendirme yönteminde tahmin edilen değerlerin sonucuna semivariogram modelinin bileşenleri (range, sill, nugget, lag sayısı), kullanılan kriging yöntemi ve nokta tahmininde bulunurken seçilen komşu sayısı etki ettiğinden en iyi sonucu elde etmek için bu faktörlerin her biri tek tek değiştirilerek sonuca varılmaya çalışılmıştır. Bu işlemler sonucunda ölçülen ve tahmini yapılan değerler birbirleri ile karşılaştırılarak 1/1 saçılım grafiklerine yerleştirilmiş ve ölçülen değerler ile tahmin değerler arasındaki korelasyonuna bakılarak modelin uygunluğuna karar verilmiştir. Semivariogram ve çapraz değerlendirme sonucunda elde edilen en uygun parametreler kullanılarak ArcGIS programında jeostatistik modülünde yer alan ordinary kriging yöntemi yardımı ile her bir değişken için tahmin haritaları oluşturulmuştur.

#### ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışma alanı toprakları, tuz ve bor içeriği zengin denizsel çökeller ve volkanik sedimentler gibi çeşitli ana materyaller üzerinde oluşmuştur (Driessen et al., 1970). Düz ve düze yakın bir eğime sahip olan çalışma alanı toprakları ana materyalin de etkisi ile tuzlu ve alkali karakterde olup yüksek bor içeriklerine sahiptir. Tuzluluk ve yüksek bor konsantrasyonunun yanında, arazinin çevresine göre çok daha çukur ve düz bir topografyada yer alıyor olması, çevre arazilerden gelen tuz konsantrasyonu yüksek yüzey sularının

araziye kendiliğinden terk etmesini engellemektedir. Özellikle alkalilik sorunu bulunan arazilerde toprak yüzeyinde sık sık yaşanan su göllenmesi, buharlaşmanın yağıştan oldukça yüksek olduğu arazilerde kalın ve geçirimsiz kabuk oluşumuna neden olmaktadır.

Çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma alanında ortalama % 52.4 olan kil içeriği kuzeyden güneye doğru düzenli bir artış göstermektedir. Toprakların bor konsantrasyonu 1.41 ile 97.84 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişirken ortalama kireç içeriği % 31.4, organik madde % 1.87 pH 8.34, elektriksel iletkenlik (EC) 5.97 dSm<sup>-1</sup>, değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) % 12.6 ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) 14,2'dir (Çizelge 1).

Toprak pH'sının artmasıyla beraber bitkiler tarafından alınabilir bor, borat anyonu şeklinde bulunmakta ve toprakta adsorbe edilerek birikmeye başlamaktadır (Goldberg, 1997; Sürücü ve ark., 2013). Kireç, toprak pH'sının artması ve bor için tutunma yüzeyleri oluşturduğundan dolayı toprakta bor adsorpsiyonuna etki etmektedir (Goldberg, 1997). Çalışma alanı topraklarında yüksek düzeyde değişkenlik gösteren kireç içeriği (VK = % 34.4), korelasyon katsayısı düşük olmakla birlikte bor ile istatistiksel olarak önemli (P<0.01) bir ilişkiye sahiptir. Elrashidi and O'Connor (1982)'ye göre toprakta borun tutunma yüzeylerini kalsiyum karbonatlar dışında pH'ya bağlı olarak alüminyum oksit ve demir oksitler de oluşturmaktadır. Toprakta pH 6-8 arasında iken alüminyum oksitler, pH 7-9 arasında iken ise demir oksitler bor adsorpsiyonun en yüksek düzeyde gerçekleşmesine neden olurlar (Su and Suarez, 1995). Çalışma alanı topraklarının % 90'dan fazlasında pH değerleri 8'den yüksek olduğundan dolayı bor adsorpsiyonuna alüminyum oksitlerden çok demir oksitlerin etki ettiği düşünülebilir. Toprakta borun konsantrasyonuna etki eden diğer

önemli faktörler ise toprak nemi ve sıcaklığıdır. Toprak nemi azaldıkça borun yayırlılığı azalmakta, sıcaklık artıkça da toprakta bor adsorpsiyonu artmaktadır (Goldberg, 1997). Çalışma alanında özellikle yaz aylarında sıcaklığın ve buharlaşmanın yüksek ve yağışın düşük olması toprak neminin azalmasına ve bunun sonucunda da borun yayırlılığının azalıp adsorpsiyonunun artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tanımlayıcı istatistikte verilerin yayılma ölçütü olarak kullanılan standart sapma, varyans, yatıklık ve basıklık gibi çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin tamamı, ölçülen toprak özelliğinin skalası ile ilişkili olarak farklı değerler alırlar. Ancak bu değerlerin birbirleri kıyaslanmaları, özelliklerin skalaları birbirlerinden oldukça farklı olmasından dolayı mümkün değildir. Varyasyon katsayısı (VK), ölçülen değerlerin optimizasyonunda kullanılan ve değişkenliklerin kıyaslanabilmesini sağlayan önemli bir parametredir. Standart sapmanın ortalama oranının yüzde olarak ifade edilmesi ile elde edilen VK katsayısının değerlendirilmesinde;  $VK \leq \% 15$  olanlar düşük derecede değişken,  $\% 15-35$  arası olan değerler orta derecede değişken ve  $\geq \% 35$  olan değerler ise yüksek derecede değişkenliğe işaret etmektedir (Yates and Warrick, 2002). Buna göre, bor konsantrasyonu çalışma alanında yüksek düzeyde değişkenlik göstermektedir ( $VK = \% 66.58$ ). Bor konsantrasyonunun çalışma alanında bu kadar değişken olmasının temel nedeni borun toprak içerisindeki konsantrasyonuna etki eden SAR ( $VK = \% 104.59$ ), EC ( $VK = \% 90.79$ ), ESP ( $VK = \% 89.42$ ) kum içeriği ( $VK = \% 54.58$ ) ve organik maddenin de ( $VK = \% 37.20$ ) yüksek değişkenliğe sahip olmasıdır.

### Bor konsantrasyonu ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiler

Bor konsantrasyonu ile toprağın kil, kum, kireç, OM, pH, EC, SAR ve ESP arasındaki ilişkiyi ortaya koyabil-

mek amacı ile korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon verilerine göre, bor konsantrasyonunun yüksek olduğu lokasyonların önemli bir kısmında kil, kireç, pH, EC, SAR ve ESP değerleri de yüksektir ve aralarında  $P < 0.01$  düzeyinde önemli pozitif bir ilişki tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bor ile EC arasındaki önemli pozitif korelasyon, arazinin tuz içeriğinin yüksek olduğu bölgelerinde bor konsantrasyonunun da bitkisel üretimi sınırlandıracak düzeyde yüksek olduğuna işaret etmektedir. Günel ve ark. (2013), Suluova ve Merzifon ovalarında yaptıkları çalışmada, benzer bulgular elde etmiş ve bir kısım tuzlu alanlarda görülen sorunların kaynağının tuzun yanında yüksek bor konsantrasyonu olabileceğini vurgulamışlardır. Yüksek konsantrasyonlarında bitkilerde tuz zararına benzer zararlara yol açan bor, bazı durumlarda tuz zararı gibi düşünüldüğünden ihmal edilebilmektedir. Ancak, bununla birlikte, bor konsantrasyonu ile kum ve organik madde içerikleri arasında ise  $P < 0.01$  düzeyinde önemli negatif bir ilişki söz konusudur (Çizelge 2). Bu negatif ilişki arazide kum ve organik madde içeriklerinin yüksek olduğu yerlerde bitkiye yararlı bor konsantrasyonunun önemli düzeyde düşük olduğunu göstermektedir. Yani arazide kum veya organik madde düzeyinin yükseltilmesi ile borun zararlı etkisinin azaltılması mümkün olabilir. Ancak, toprakların kum içeriğinin değiştirilmesi anlamlı olmamakla beraber, sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin uygulanması ile tarım arazilerinde organik madde içeriğinin artırılması mümkündür. Toprak işlemenin azaltıldığı, rotasyona bitki atıklarını daha fazla bırakacak ürünlerin sokulduğu ve yeşil gübreleme gibi ilave tedbirlerin uygulandığı tarım arazilerinde bir kaç yıl içerisinde organik madde düzeyinin anlamlı bir şekilde artırılması sağlanabilir.

**Çizelge 2.** Bor konsantrasyonu ile diğer toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları  
**Table 2.** Correlation coefficients between the boron concentration and other soil properties

	Kil	Kum	Kireç	OM	pH	EC	SAR	ESP
Bor	0.614**	-0.475**	0.204**	-0.348**	0.509**	0.575**	0.345**	0.531**

\*\*  $P < 0,01$  seviyesinde önemli \* $P < 0.05$  seviyesinde önemli

### Bor konsantrasyonunun mesafeye bağlı değişimi

Çalışma alanı topraklarının bor konsantrasyonu ve ilişkili toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenlikleri modellenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 2-4). Oluşturulan modellere ait parametreler Çizelge 3'te verilmiştir. Bor konsantrasyonunun değişkenliğini en iyi yansıtan modelin küresel model, kil, kum ve kireç için Gaussian model ve

geri kalan toprak özellikleri için ise Üssel model olduğu görülmüştür (Çizelge 3).

Arazide ölçüm veya gözlem yapılan iki nokta arasında mesafeye bağımlılığın olduğu en yüksek mesafeyi semivariogram modelindeki değişim aralığı (range) değerleri yansıtmaktadır. Belirlenen değişim aralığı değeri aralığında kalan noktalar arasında yersel bir oto

korelasyonun olduğu, bu mesafenin dışında kalan noktalar arasında ise yersel bir oto korelasyonun olmadığı kabul edilmektedir (Mulla and McBratney, 2001). İncelenen toprak özelliklerinin yersel oto korelasyon

gösterdiği değişim aralığı değeri bor konsantrasyonu için 1600 m iken kireç, kil, OM ve kum içerikleri, SAR, ESP, EC ve pH değerleri için sırasıyla 8964, 6993, 5386, 3710, 656, 554, 531 ve 104 m olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.** Bor içeriği ve diğer toprak özelliklerine ait semivariogram parametreleri

**Table 3.** Semivariogram parameters of boron content and other soil properties

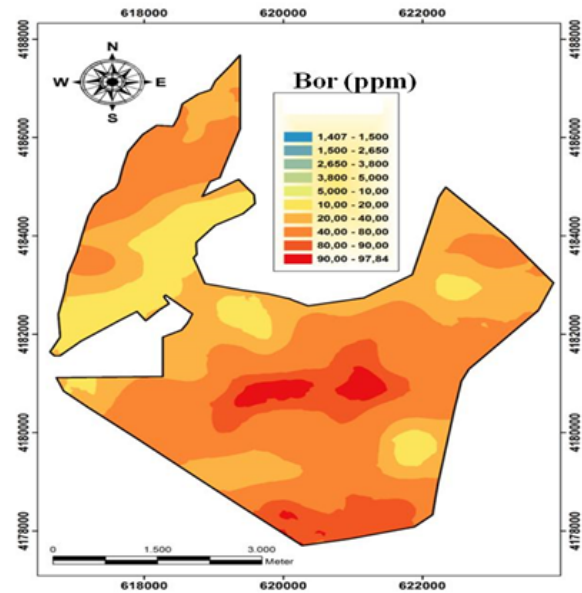
Toprak Özelliği	Model	Nugget Varyans (Co)	Sill (Co+C)	Uzaysal Bağımlılık (%)	Range (Ao)	R 2	RSS
Kil	Gaussian	0.022	0.459	4.79	6993	0.974	8.66E-04
Kum	Gaussian	0.076	0.616	12.34	3710	0.976	7.27E-03
pH	Üssel	0.000199	0.001638	12.15	104	0.706	1.15E-08
EC	Üssel	0.246	0.748	32.89	531	0.812	4.38E-02
OM	Üssel	0.0612	0.2114	28.95	5386	0.914	9.31E-04
Bor	Küresel	0.295	0.841	35.08	1600	0.964	1.22E-02
CaCO <sub>3</sub>	Gaussian	0.009	1.503	0.60	8964	0.968	5.22E-03
ESP	Üssel	0.463	0.979	47.29	554	0.915	1.53E-02
SAR	Üssel	0.368	0.83	44.34	656	0.916	1.45E-02

Bor konsantrasyonu ile ilişkili olan toprak özelliklerinden kireç, kil, organik madde ve kum içeriğinin bu denli yüksek bir uzaysal bağımlılık göstermesi alanda ana materyalin çok değişmediğinin bir göstergesidir. Söz konusu toprak özelliklerinin alanda çok fazla değişmiyor olması bor içeriğinin yüksek mesafelerde bir uzaysal bağımlılık göstermesine neden olmuştur. Toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişimi ana materyalden kaynaklandığı kadar diğer faktörlerden de kaynaklanabilir (Khan et al., 2014). Ardahanlıoğlu ve ark. (2003), tuzlu ve alkali topraklarda yaptıkları çalışmada bor konsantrasyonunun değişim aralığı değerini 598 m olarak belirlemiş ve bor konsantrasyonunun uzun mesafelerde bir uzaysal bağımlılık göstermesini pH, EC ve değişebilir Na içeriği ile ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir

Toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerinin ifade edilmesinde uzaysal bağımlılık yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzaysal bağımlılık değeri, nugget semivaryansın toplam semivaryansa olan oranının (Co/Co+C) yüzde olarak ifadesidir. Şayet uzaysal bağımlılık değeri  $\leq$  % 25 ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmakta, % 25 ile % 75 arasında ise orta derecede uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmakta ve bu oran  $\geq$  75 ise değişken zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır (Trangmar et al., 1985; Cambardella et al., 1994; Emadi et al., 2008; Yang et al., 2011). Bor konsantrasyonu (% 35.08) orta derecede uzaysal bağımlılık gösterirken ilişkili olan toprak özelliklerinden kil (% 4.79), kum (% 12.34), pH (% 12.15) ve kireç (% 0,69) güçlü uzaysal bağımlılık, OM, (% 28.95), EC (% 32.89), ESP (% 47.29) ve SAR (% 44.34) bor konsantrasyonuna benzer

şekilde orta derecede uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 3). Örnekler arası uzaysal bağımlılığın güçlü olması kısa mesafelerde örnekler arası benzerliğin ortadan kalkmadığını ve uzun mesafelerde dahi devam ettiğini göstermektedir.

Toprak özelliklerine ait haritalar incelendiğinde bor konsantrasyonunun alanın hemen hemen tamamında bitkiler için toksik seviyenin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 2).

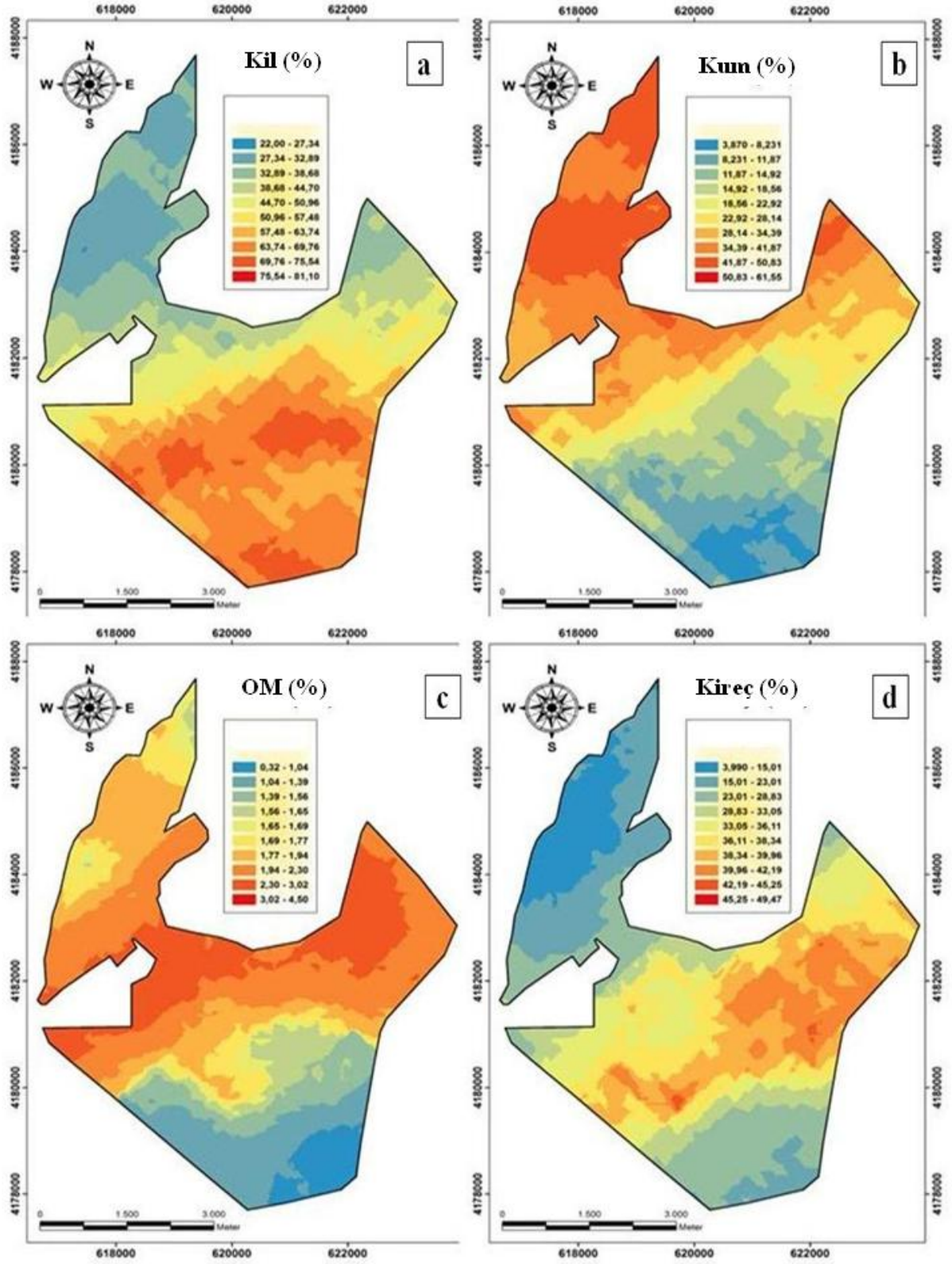


**Şekil 2.** Çalışma alanında bor konsantrasyonunun uzaysal dağılım deseni

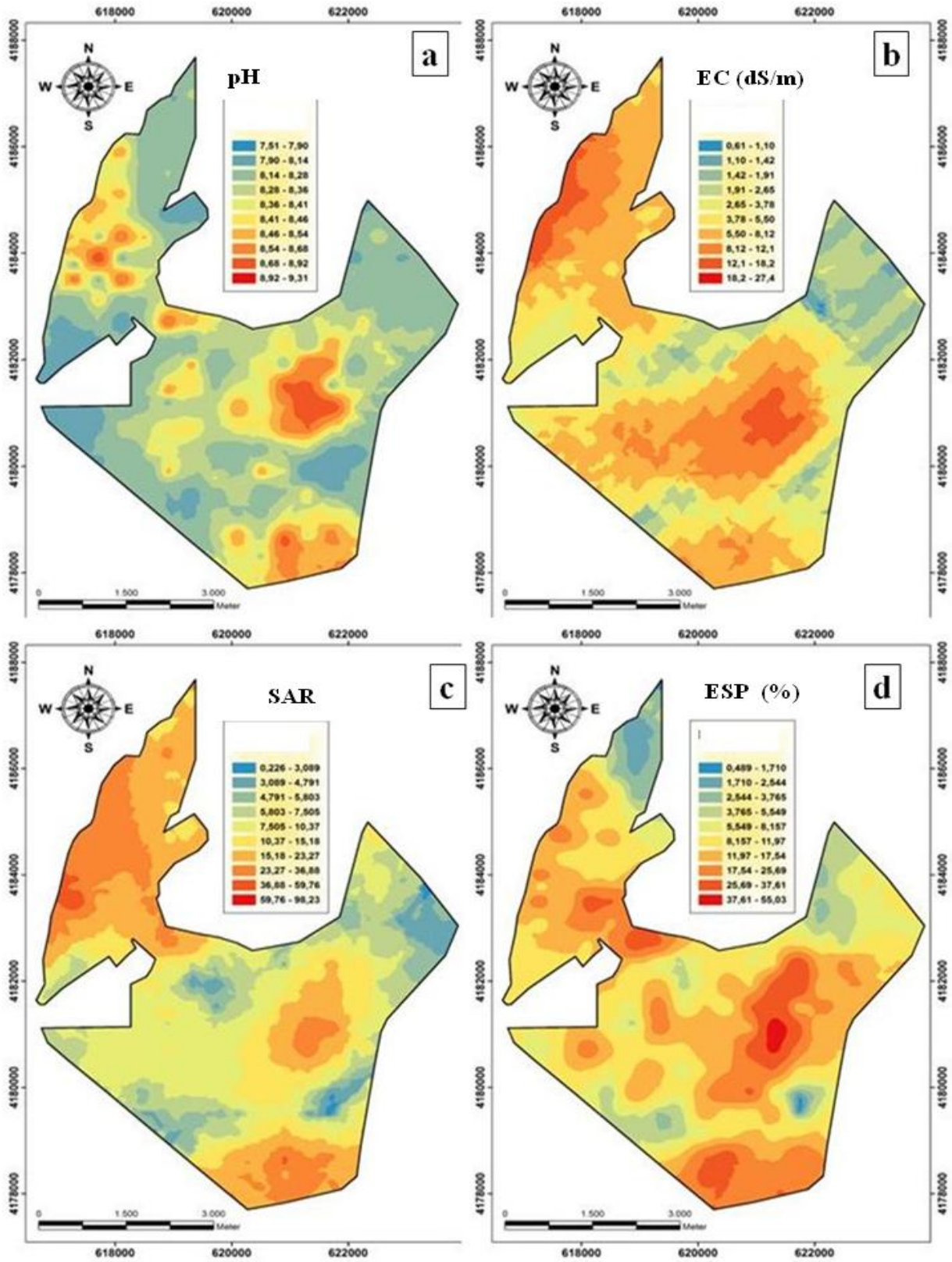
**Figure 2.** Spatial variability pattern of boron concentration in the study area







**Şekil 3.** Çalışma alanında kil (a), kum (b), organik madde (c) ve kireç içeriğinin (d) uzaysal değişim değişkenliği  
**Figure 3.** Spatial variability pattern of clay (a), sand (b) OM (c) and CaCO<sub>3</sub> (d) in the study area.



Şekil 4. Çalışma alanında pH (a), EC (b), SAR (c) ve ESP (d) değerlerinin uzaysal dağılım deseni

Figure 4. Spatial distributon pattern of pH (a), EC (b) SAR (c) and ESP (d) in the study area

Özellikle çalışma alanının orta ve güney kısımlarında bor içeriklerinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. İlişkili toprak özelliklerine ait haritalar incelendiğinde, çalışma alanının orta kısımlarında kireç içeriğinin çok yüksek olduğu güney kısımlarında ise kil içeriğinin çok yüksek ve organik maddenin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 2-3). Çalışma alanında kum içeriğinin yüksek olduğu yerlerde bor içeriğinin çok düşük olması beklenmektedir. Ancak kum ve bor içeriğine ait haritalar incelendiğinde kum içeriğinin yaklaşık % 50.83 ile % 61.55 arasında değiştiği yerlerde dahi bor içeriğinin toksik seviyenin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni toprak tekstürü her ne kadar kumca zengin olsa da yağışların boru ortamdan yıkayıp uzaklaştıracak kadar yüksek olmamasından ileri gelmektedir. Bor içeriğine ait harita ile tuzluluk alkalilik parametrelerine ait haritalar incelendiğinde özellikle çalışma alanının kuzey batısı, orta kesimleri ve güneyinde bor içeriğinin çok yüksek olduğu alanlarda pH, EC, SAR ve ESP değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4).

Bor konsantrasyonu bakımından ıslah çalışması gerekli olan alanlarda başarılı bir ıslah uygulamasının yapılabilmesi için bor konsantrasyonunun mesafeye bağlı dağılımının haritalanması kadar, toprakta bor konsantrasyonuna etki eden diğer toprak özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Oluşturulan haritalar incelendiğinde bor konsantrasyonunun çok yüksek olduğu alanlarda organik maddenin çok düşük olduğu, bor konsantrasyonunun nispetten azaldığı alanlarda ise organik maddenin arttığı açıkça görülmektedir (Şekil 2 ve Şekil 3c). Organik madde içeriği ile bor konsantrasyonu arasında görülen bu negatif korelasyon, yüksek bor konsantrasyonunun etkisinin azaltılmasında toprağın organik madde içeriğinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca bor konsantrasyonu ile kireç içeriğine ait haritalar incelendiğinde bor içeriğinin en yüksek değerlere (80 - 97.84 mg kg<sup>-1</sup> arasında) ulaştığı (Şekil 2) çalışma alanının orta noktalarında kireç içeriğinin de en yüksek (% 33.05-

% 49.47 arasında) (Şekil 3d) değerlere ulaştığı görülmektedir.

## SONUÇ

Çalışma alanı toprakları ana materyal, topografya ve iklimin ortak etkileşimi ile kil, kireç, tuz ve bor konsantrasyonu açısından zengindir. Yağışın çok düşük, buharlaşmanın yüksek ve yüzey drenajının yetersiz olması tuz ve borun yüksek konsantrasyonlara ulaşmasına neden olmuştur. Çalışma alanında bor konsantrasyonunu etkileyen en önemli toprak özelliklerinin sırası ile kil içeriği, elektriksel iletkenlik, değişebilir sodyum yüzdesi, pH, kum, organik madde, sodyum adsorpsiyon oranı ve kireç içeriği olduğu görülmüştür.

Jeostatistiksel yöntemler kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile hazırlanan toprak özelliklerine ait dağılım haritaları, hassas tarım uygulamalarının adaptasyonunda önemli bir rol üstlenmiştir. Toprak özelliklerinin yersel değişkenliklerinin rahatlıkla izlenebildiği bu dağılım haritalarının kullanılması, özellikle tuzluluk, alkalilik ve bor toksikliği gibi sorunlu arazilerin ıslahında çalışmanın etkinliğini artırmasının yanı sıra işgücü, zaman ve maliyette tasarruf sağlayacaktır. Doğası itibarı ile, arazi içi değişkenliği yüksek olan bu sorunların giderilmesinde arazinin tamamına konsantre olmak yerine, sorunun en şiddetli olduğu alanlara öncelik verilmesi mümkün olabilecektir.

Bor, birçok tuz bileşiğine göre toprakta daha sıkı tutulduğundan toprakta bor konsantrasyonunun zararsız (< 5 mg kg<sup>-1</sup>) düzeye indirilmesi tuzluluğa göre daha fazla zaman, masraf ve iş gücü gerektirmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde ortaya çıkan, yüksek bor konsantrasyonundan kurtulmak için kaliteli sulama suyunun gereksinim duyulmaktadır. Çalışma sonuçları, ancak sınırlı miktarda tarımsal üretim yapabilecek suyu bulunan, kurak ve yarı kurak bölgelerde, organik madde içeriğinin artırılması ile de bor konsantrasyonunun vereceği zararın önlenmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Ardahanlıoğlu, O., T. Öztaş, S. Evren, H. Yılmaz ve Z. N. Yıldırım 2003. Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt- and sodium-affected areas of the Iğdir plain (Turkey). *Journal of Arid Environments* (2003) 54: 495–503 doi:10.1006/jare.2002.1073
- Ayers, R.S. and D. W. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage
- Paper 29, rev. 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field -Scale Variability Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 58:1501-1511.
- Dent, D. and A. Young. 1981. Soil Survey and Land Evaluation: Allen & Unwin, London.
- Driessen, P. M. 1970. Soil Salinity and Alkalinity in the Great Konya Basin, Turkey. Department of Tropical Soil Science, Agricultural University, Wageningen P: 45-46.
- Elrashidi, M. A and G.A. O'connor. 1982. Boron Sorption And Desorption In Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 27–31.
- Emadi, M., M. Baghernejad. M. Emadi and M. Maftoun. 2008. Assessment of Some Soil Properties by Spatial Variability In



- Saline And Sodic Affected Soils In Arsanjan Plain, Fars Province, Southern Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11 (2): 238-243
- Fleming, G. A. 1980. Essential Micronutrients. I: Boron and Molybdenum. In *Applied Soil Trace Elements*. Ed. B.E. Davies. Pp 155-197. John Wiley and Sons, New York.
- Gee, G. W. and J. W. Boudier. 1986. Particle Size Analysis. In: A. Clute (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part I Agronomy No: 9* Am Soc. of Agron. Madison, Wisconsin, USA.
- Goldberg, S. 1997. Reactions of Boron With Soils *Plant And Soil* 193: 35-48, Kluwer Academic Publishers. USDA, US Salinity Laboratory, 450 W Big Springs Road, Riverside, CA 92507, USA.
- Goovaerts, P. 1998. Geostatistical Tools for Characterizing the Spatial Variability of Microbiological and Physico-Chemical Soil Properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 315-334.
- Günel, E., H. Erdem, Y. Acir, C. Ç. Gence ve A. Polat. 2013. Suluova ve Merzifon Ovaları Topraklarının Bitkiye Yararlı Bor Konsantrasyonlarının Mesafeye Bağlı Dağılımı III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi 22-24 Ekim 2013 -TOKAT S: 615-625
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- John, M. K., H. H. Chuah and J. H. Neufeld. 1975. Application of Improved Azomethine-H Method to the Determination of Boron in Soil and Plants. *Anal.Lett.* 8:559-568
- Kalivas, D. P., D. P. Triantakontantis and V. J. Kollias. 2002. Spatial Prediction of Two Soil Properties Using Topographic Information Agricultural. University of Athens. Laboratory of soils and Agricultural Chemistry 75 Iera Odos, Botanikos, 11855 Athens, Greece.
- Kelling, K. A. 2010. Soil and applied boron. From: [http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a\\_2522.pdf](http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a_2522.pdf)
- Khan, M. J., M. Rashid, S. Ali, I. Khattak, S. Naveed and Z. Hanif. 2014. Mapping of Variability in Major and Micro Nutrients for Site-Specific Nutrient Management. *International Journal of Plant & Soil Science* 3(3): 303-329, 2014; Article no. IJPSS.2014.008
- Mulla, D. J. and A. B. Mc Bratney. 2001. Soil Spatial Variability. *Handbook of Soil Science* CRS. Pres: 321-352.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommer. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. p.539-579. In A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr. 9(2). Amer. Soc.Agron. Madison, WI.
- United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, *Agricultural Handbook* No. 60. Washington: US Government Printer
- Uygan, D. ve O. Çetin. 2012. Mapping Boron Pollution Using CBS for Boron-Affected Soils in Western Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2012. Vol 7., No 1. p: 89-94
- Rashid, A. and J. Ryan. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition* 27: 959-975.
- Shorrocks, V. M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193: 121-148.
- Soil Survey Staff. 1999 *Soil Taxonomy- A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. United States Dept of Agriculture (USDA) United States Printing Office, Washington DC, USA.
- Su, C., and D. L. Suarez. 1995. Coordination of adsorbed boron: A FTIR spectroscopic study. *Environ. Sci. Technol.* 29:302-311.
- Su, C., and D. L. Suarez. 2004. Boron release from weathering of illites, serpentines, shales, and illitic/palygorskitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:96Y105.
- Sürtücü, A., H. Günel ve N. Acir. 2013. Importance of Spatial Distribution In Reclamation Of Boron Toxic Soils From Central Anatolia of Turkey. 2013. *Fresenius Environmental Bulletin* by PSP Volume 22 – No 11.
- Trangmar, B. B., Yost, R. S. and G. Uehara. 1985. Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties. *Adv. Agron.* 38: 45-94
- Van Es, H. M., C. L. Van Es and D. K. Cassel. 1989. Application of Regionalized Variable Theory to Large-Plot Field Experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53,1178-1183.
- Yang, F., G. Zhang, X. Yin and Z. Liu. 2011. Field-Scale Spatial Variation of Saline-Sodic Soil and Its Relation with Environmental Factors in Western Songnen Plain of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* ISSN 1660-4601
- Yau, S. K., and J. Ryan. 2008. Boron toxicity tolerance in crops: A viable alternative to soil amelioration. *Crop Science* 48: 854-865
- Yates, S. R. and A. W. Warrick. 2002. 1.5 Geostatistics. Book Chapter. In: *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*. J.H. Dane and G.C. Topp (eds.), SSSA, Madison, WI. Pp.81-118.
- Xu, J. M., K. Wang, R. W. Bell, Y. A. Yang and L. B. Huang. 2001. Soil Boron Fractions And Their Relationships To Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal* 65.133-138.
- Webster, R. and M. A. Oliver. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Statistics in practice. Wiley, Chichester, p. 265.
- Webster, R. 2001. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, 52: 331-340.