



Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi

Anadolu Journal of Agricultural Sciences

<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/omuanajas>



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 30 (2015) 189-198
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: 10.7161/anajas.2015.30.2.189-198



Tuzlu ve bor toksikliği bulunan arazilerin idaresinde mesafeye bağlı değişkenliğin önemi

Hikmet Günal^{a*}, Nurullah Acır^b, Atilla Polat^a, Elif Günal^a, Mesut Budak^c,
Nazife Erdem^a, Zekeriya Malı^d, Hüseyin Önen^e

^aGaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat, ^bAhi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kırşehir, ^cSiirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Siirt, ^dCüngüllü Organik Tarım İşletmeleri, Bor Niğde, ^eGaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tokat

*Sorumlu yazar/corresponding author: hikmet.gunal@gop.edu.tr

Geliş/Received 09/04/2015

Kabul/Accepted 15/07/2015

ÖZET

Dünyanın özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerinde tuzluluk ve yüksek bor içeriği tarımsal üretimi sınırlandıran önemli sorunlardır. Her iki durumda arazi içerisinde önemli düzeyde yüksek değişkenliğe sahip olduğundan, toprakların üretimde kullanımları ve iyileştirilmelerinde bu değişkenliğin dikkate alınması zaman, iş gücü ve maliyet açısından zorunludur. Bu çalışma, tuzluluk ve alkalilik sorunlarının yanında şiddetli bor toksikliği bulunan iki ayrı pivot içerisindeki toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğinin modellenmesi, haritalanması ve tuz ve bor konsantrasyonuna etki eden değişkenlerin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Orta Anadolu'da her biri 62 ha olan iki ayrı pivot 100 m * 100 m'lik kare gridlere ayrılmış ve her pivotta 60 adet ana örnekleme noktası oluşturulmuştur. Ana örnekleme noktaları arasındaki mesafeden daha kısa mesafelerdeki değişkenliklerin modellenmesi amacı ile beş adet ara transekt oluşturularak (toplam 150 örnek) 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin tekstür, pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, kireç içeriği ve bitkiye yararlı bor konsantrasyonu analiz edilmiştir. Mesafeye bağlı değişkenlikler için semivaryogram modellemesi yapılmış ve krigleme haritaları oluşturulmuştur. Pivot içerisinde 17.35 dS m⁻¹ gibi yüksek değerlere ulaşan EC, pivotlarda ortalama 2.6 ve 3.52 dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür. Her iki pivotta da ortalama bor konsantrasyonları bitkiler için toksik sınır kabul edilen 5 mg kg⁻¹ dan oldukça yüksektir. Bor ile pH ve kil arasında istatistiksel olarak önemli (P<0.01) düzeyde pozitif bir korelasyon bulunurken, silt ve organik madde ile negatif korelasyon görülmüştür. Korelasyonda elde edilen bu ilişki, aynı özelliklerin dağılım haritalarında da açık bir şekilde görülebilmektedir. Çalışma alanında, organik madde içeriği ile bor konsantrasyonu arasında görülen negatif korelasyon, yüksek bor konsantrasyonu ile mücadele ederken, toprağın organik madde içeriğinin artırılmasının nedenli önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Sözcükler:

Bor toksikliği

Hassas tarım

Jeoistatistik

Yere özgü amenajman

Tuzluluk

Importance of spatial variability in management of saline and boron toxic soils

ABSTRACT

Salinity and high boron concentration soils are important problems constrain the agricultural production in arid and semi-arid regions of the world. Considering the significant high spatial variation of salinity and boron concentration in the use of agricultural production and improvement of the problems is required in terms of time, labor and cost efficiency. This study was conducted to model and map the spatial variation of soil properties, and to identify the variables affecting the variation of salt and boron concentrations of soils located under two center pivots. Soils have salinity and alkalinity problems along with the boron toxicity. Each 62 ha pivot area in Central Anatolia has been divided into 100m x 100m square grids and 60 main sampling locations were created in each pivot area. Five transects in each pivot were created to model the shorter distances than the distance between main sampling points and soil samples were collected from 0-20cm depths (total of 150 samples). Texture, pH, electrical conductivity (EC), organic matter, lime content and plant available boron concentrations of soils were analyzed. Semivariogram models were obtained to define the spatial variations and kriging maps were created for each of soil properties. EC reached up to 17.35 dS m⁻¹ within the pivot and average EC of pivots was

Keywords:

Boron toxicity

Precision agriculture

Geostatistics

Site specific management

Salinity

© OMU ANAJAS 2015

measured as 2.6 ve 3.52 dS m⁻¹, respectively. The average boron concentrations of soils were higher than the 5 mg kg⁻¹ that is the critical level accepted for plant growth. Boron had significant positive correlations (P<0.01) with pH and clay content, and significant negative relationship with silt and organic matter contents. The relationship obtained in correlation analyses was also clearly observed in the distribution maps of the same soil properties. Negative correlation between organic matter and boron concentration reveals the importance of increasing the organic matter content of soils in the management of boron toxic soils.

1. Giriş

Bor, bitkiler için fosfor ve potasyum gibi besin elementlerine nazaran daha düşük konsantrasyonlarda gerekli olan önemli altı mikro elementten birisi olduğundan noksanlık ve fazlalığında bitki gelişiminde sorunlar görülmektedir (Havlin ve ark., 2005). Toprakta borik asit formunda bulunan ve yağışlı bölgelerde kolaylıkla yıkanan bor'un noksanlığından dolayı bitki gelişiminin geri kalmasına neden olmaktadır (Yan ve ark., 2006). Bununla beraber kurak bölgelerde ise yetersiz yağıştan dolayı toprak profilinden uzaklaşmadığından yüksek bor konsantrasyonuna bağlı olarak bitki gelişiminin önemli düzeyde geri kalmasına neden olmaktadır (Reid, 2007). Topraklarda bulunan yüksek borun kaynağı, arazinin sulanmasında kullanılan yer altı suları, madencilik faaliyetleri ve gübreler olarak belirtilmektedir (Nable ve ark., 1997). Tanaka ve Fujiwara (2008), kurak ve yarı kurak bölgelerde yüksek bor konsantrasyonuna sahip olan taban suyundan buharlaşma ile yüzeye gelen borun bitkilere toksik etki yaptığını belirtmektedirler.

Toprakta bulunan bor iyonlarının aktivitesine ve farklı fraksiyonlara dönüşmelerine başta pH olmak üzere, kil tipi, kation değişim kapasitesi, organik madde, Fe ve Al oksitler, karbonatlar ve nem durumu gibi toprak özellikleri etki etmektedir (Hou ve ark. 1996; Yermiyahu ve ark. 2001; Communar ve Keren, 2008). Bazı araştırmacılar toprak pH'sının yükseltilmesi amacı ile uygulanan kirecin toprağın bor fiksasyon kapasitesini de arttırdığını açıklamışlardır (Goldsberg, 1997; Keren ve Ben-Hur, 2003). Toprak organik maddesi, çözeltideki bor konsantrasyonu yükseldiğinde, boru çözültiden uzaklaştırarak depolamaktadır (Borax, 1998). Çözeltisindeki bor bitkiler tarafından alındığında veya yıkandığında ise organik madde tarafından mineral maddelere oranla daha yüksek miktarda tutulan bor yeniden çözültiye verilmektedir (Gu ve Lowe, 1990).

Toprakta borun yararıyla ilgili etki eden önemli bir mekanizmanın da borun çok farklı mineral ve katı yüzeyleri ile oluşturduğu zayıf veya kolaylıkla değişebilen bağlar olduğu belirtilmektedir (Goldsberg ve ark., 1993; Parks ve Edwards, 2005). Alüminyum ve demir oksitler, allofan ve kaolinit ile çok daha sıkı bir bağ oluşturan bor iyonlarının toprak çözeltisinden uzaklaştırılmasında ve adsorpsiyonunda kuvars ve kalsitin önemli bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir (Su ve Suarez, 1995).

Bor, toprak çözeltisi, organik madde ve kil mineralleri gibi çok çeşitli bileşenlerin içerisinde dağılmış durumdadır. Toprak çözeltisi içerisinde bulunan ve genelde bitkiye yararlı olarak bilinen bor, topraktaki toplam bor konsantrasyonunun %3'den daha azına denk gelmektedir (Tsadilas, 1994). Zerrari ve ark. (1999)'nın yapmış olduğu çalışmalarda topraktaki toplam borun %78.75'i gibi oldukça önemli bir kısmının atık (rezerv) bor'dan oluştuğunu rapor

etmişlerdir.

Toprak tuzluluğu, doğal olarak oluşan ve düşük kalitede sulama suyu kullanımı ve aşırı gübre kullanımı gibi nedenlerle insan etkisi ile oluşan tuzluluk olmak üzere iki çeşittir (Darwish ve ark., 2002). Bu her iki durumda da tarımsal ürünlerin bir çoğunun üretilmesi sınırlandırılmaktadır. Toprakta doğal yollarla oluşan tuzluluğun giderilmesi ve mücadelesi oldukça zordur ve insan etkisi ile oluşan tuzluluğun giderilmesine oranla daha yüksek yatırım yapılmasını gerekli kılar (Acosta ve ark., 2011). Tuzdan etkilenmiş olan ortamlarda, bitkiler için gerekli olan elementlerden daha yüksek konsantrasyonlarda bitki gelişimi için gereksiz olan elementler yer alabilmektedir. Tuzlu topraklarda bitkiler kendileri için gerekli olan besin elementlerini toprak çözeltisinden alırken beraberinde çözeltide yüksek konsantrasyonda bulunan ve gerekli olmayan elementleri de alırlar. Bu durum bitkinin gereğinden daha yüksek miktarda enerji harcamasına neden olacağından, bazı durumlarda bitkiler kendileri için gerekli olan beslenmeyi yeterince yerine getiremeyebilirler. Bundan dolayı, tuzluluk durumunda bitkilerde iki ana stres hakim olmaktadır. Bunlardan birincisi kök bölgesinde yüksek tuz konsantrasyonundan dolayı oluşan yüksek osmotik potansiyel ile ortaya çıkan su stresidir. Diğer stres ise toksik etkiye sahip olan ve yüksek konsantrasyonda bitki bünyesine alınan iyonlardır (Fageria ve ark., 2011).

Jeostatistik, toprağın birçok özelliğinin mesafeye bağlı değişkenliğinin ortaya konulmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem, toprak özelliklerinin arazideki değişkenliğinin desenini tanımlayan, bu değişkenliği modelleyen ve güvenilir bir aralıkta örneklenmeyen noktaların değerlerinin tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır (Webster ve Oliver, 2007). Bununla birlikte, bu yöntemin arazilerin ıslah edilmesinde kullanıldığına dair yeterince uygulama bulunmamaktadır (Wang ve ark., 2014). Toprakta tuzluluk ve yüksek bor konsantrasyonu ile ilişkili bileşenlerin mesafeye bağlı değişkenliklerinin belirlenmesi, arazide tuzluluk ve/veya bor toksikliğinin nerelerde oluşabileceğinin tahmin edilmesine yardımcı olacaktır. Böyle bir çalışma ile arazide hassas olan alanların belirlenmesi (Yan ve ark., 2007) ve iyileştirilmesi için daha ekonomik çözümlerin üretilmesi mümkün olabilecektir (Acosta ve ark., 2011). Bu çalışma, tuzluluk ve alkalilik sorunlarının yanında yüksek bor konsantrasyonundan dolayı şiddetli bor toksikliği bulunan iki ayrı pivot içerisinde iyileştirme ve ıslah çalışmalarında kullanılmak üzere toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğinin modellenmesi, haritalaması, tuz ve bor konsantrasyonuna etki eden değişkenlerin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma alanı, Niğde ili Bor ilçesinde Kızılca Köyü

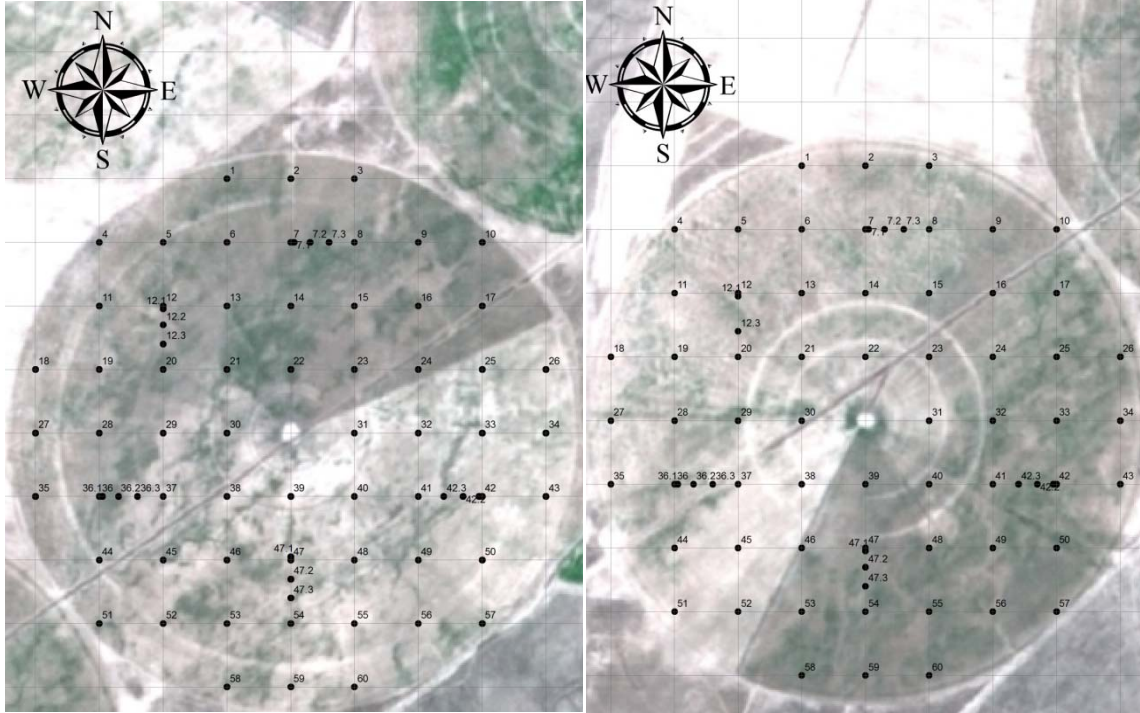
arazilerinde yer almaktadır. Alanda, Cıngıllı Organik Tarım A.Ş. çavdar ve tritikale yetiştiriciliği yapmaktadır. Çalışma alanının rakımı 1044 m ile 1058 m arasında değişmekte olup ortalama eğim %0.6 civarındadır (Budak, 2012). Havzada drenaj sularının herhangi bir çıkış ağzının olmaması, uzun yıllar çevredeki yüksek arazilerden gelen tuz ve bor konsantrasyonu yüksek olan suların tarımsal üretimi olumsuz etkileyecek düzeylere yükselmesine sebep olmuştur. Niğde'de 52 yıllık ortalama sıcaklık 11.08 °C ve yıllık ortalama toplam yağış 333 mm'dir.

Çalışma alanında içinde olduğu Konya Havzasında tuzluluk ve alkaliliğin temel nedeni bölgede bulunan tuz minerallerince zengin farklı ana materyallerin varlığıdır. Bu ana materyallerden başlıcaları denizsel kaynaklı sedimentler, volkanik depozitler ve kayaların ayrışma ürünleridir. Driessen (1970), üst Eosen, Oligosen ve Miosen dönemlerinde oluşan eski deniz sedimentlerinin yüksek derecede çözülebilir tuz ve jips içerdiğini rapor etmişlerdir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Toprak örnekleme

Çalışma alanında yer alan her biri 62 ha olan iki ayrı pivot 100 m * 100 m'lik kare gridlere ayrılmış ve her pivotta 60 adet ana örnekleme noktası oluşturulmuştur (Şekil 1). Ana örnekleme noktaları arasındaki mesafeden daha kısa mesafelerdeki değişkenliklerin modellenmesi amacıyla beş adet ara transekt oluşturularak her pivottan 75 noktadan 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin tekstür, pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, kireç, bitkiye yarayışlı bor konsantrasyonu analiz edilmiştir. Mesafeye bağlı değişkenlikler için semivaryogram modellemesi yapılmış ve krigleme haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanında toprak örnekleme deseni

2.2.2. 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 ve ark., 1975). Tekstür, Bouyoucos Hidrometresi metodu kullanılarak belirlenmiştir (Gee ve 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 ve Sommers, 1982). Bitkiye yarayışlı

bor içeriği ise Cartwright ve ark. (1983) tarafından açıklandığı üzere Mannitol-CaCl₂ ile ekstraksiyon yöntemine göre yapılmıştır. Örneklerin kireç içerikleri, toprak örneklerinde bulunan kirecin asitle etkileşmesi sonucu oluşan CO₂ gazının standart sıcaklık ve basınç altındaki hacmi esas alınarak Scheibler Kalsimetresi" yardımıyla belirlenmiştir (Allison ve Moodie, 1965).

2.2.3. Jeostatistiksel modelleme ve haritalama

Toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişimlerinin modellenmesinde ve çapraz değerlendirme sonucunda örnekleme yapılan bir noktadan yola çıkarak örnekleme

yapılamayan noktalardaki değerlerin tahminlerde GIS 7.0 (Gamma Design Software, 2004) paket programı kullanılmıştır. Semivariogram ve çapraz değerlendirme sonucunda elde edilen en uygun parametreler kullanılarak her bir değişken için mesafeye bağlı değişimin haritaları ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006) paket programı ile oluşturulmuştur.

Uzaysal bağımlılık değeri, nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının (Co/Co+C) yüzde olarak ifadesidir. Şayet uzaysal bağımlılık değeri ≤ 25 ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmakta, %25 ile %75 arasında ise orta derecede uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmakta ve bu oran %75'den fazla ise değişken zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır (Cambardella ve ark., 1994).

3. Bulgular ve Tartışma

Yüzey topraklarının ortalama kil içeriği %34.8 olmakla birlikte yaklaşık 124 ha'lık iki pivot içerisinde kil içeriği %52 ile %16 arasında değişmektedir. Varyasyon katsayısı değerine göre orta değişken olan kil içeriğinin arazi içerisindeki değişkenliği diğer bir çok toprak özelliğinin de önemli düzeyde değişkenlik göstermesine neden olmuştur. Çalışma alanında tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli toprak özelliklerinin elektriksel iletkenlik (EC) ile ifade edilen toprak tuzluluğu ve yüksek düzeydeki alınabilir bor konsantrasyonu olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama EC değeri hafif tuzluluğa işaret etmekle birlikte alan içerisinde EC'in 17 dS m⁻¹ gibi oldukça şiddetli tuzluluğa ulaştığı lokasyonların olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Bitkiye yararı ve toksik olan konsantrasyonları birbirine oldukça yakın olan borun ortalama konsantrasyonu 22.34 mg kg⁻¹ gibi oldukça yüksek

düzeydedir. Bununla beraber çalışma alanında bor konsantrasyonu 58.98 mg kg⁻¹ olan yerlerin de olduğu anlaşılmaktadır. Nable ve ark. (1997), aslında çoğunlukla karşılaşılan sorunun bor fazlalığından ziyade borun noksanlığı olduğunu belirtirken, dünyanın değişik bölgelerinde tarım arazilerinde bor fazlalığının bitkilerde toksik etki yarattığını ve ürün verimlerinde ciddi azalmalara neden olduğunu vurgulamıştır. Çalışma alanı topraklarındaki yüksek bor konsantrasyonu da bitkisel üretimde ciddi verim düşüşlerine neden olabilecek boyutlardadır. Nable ve ark. (1997), topraklardaki bor konsantrasyonunun temel kaynağının ya denizsel kökenli evaporitler olduğunu ve/veya sulama suları ile katılan bor olduğunu ifade etmektedir. Çalışma alanının ana materyalinin denizsel kökenli çökeller olması ve sulama sularındaki yüksek bor konsantrasyonları topraklardaki bor konsantrasyonunun nedenini açıklamaktadır (Çizelge 2).

Topraklardaki yüksek bor konsantrasyonunun idaresi ve ıslahı borun kimyasından dolayı diğer birçok probleme göre daha zordur. Toprakların bor konsantrasyonunun azaltılmasında en yaygın olarak başvurulan yöntem, toprakların bor konsantrasyonu düşük olan sularla yıkanmasıdır. Uygulanan diğer amenajmanlar ise topraklara jips ve kireç uygulaması ile bora karşı toleransı yüksek olan bitkilerin yetiştirilmesi olarak ifade edilmiştir (Nable ve ark., 1997). Topraklardaki yüksek bor konsantrasyonunun temel nedenlerinden biri yüksek bor konsantrasyonuna sahip sulama sularının kullanımı olarak ifade edilmektedir. Çalışma alanının sulanmasında kullanılan 5 adet kuyudan alınan örneğin bir kısım analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Sulama suyu örneklerinden dört tanesinde bor konsantrasyonu orta düzeyde iken bir tanesinde sulama suyu kullanımının sınırlandırılması gereken seviyenin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 1. Çalışma alanı yüzey topraklarının (0-20 cm) tanımlayıcı istatistik verileri

N=76	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma	CV*	Yatıklık	Basıklık
Kil	16.00	52.00	34.8	6.53	18.76	0.16	0.10
Kum	25.00	75.00	41.9	6.77	16.15	1.16	3.72
Silt	9.00	41.00	23.3	4.75	20.36	0.34	1.57
pH	7.91	9.18	8.50	0.42	4.98	-0.01	-1.69
EC	1.00	17.00	3.03	2.44	80.54	3.00	11.81
CaCO ₃	5.40	36.24	21.36	4.83	22.59	-0.14	0.43
Organik madde	0.79	4.17	2.23	0.61	27.17	0.33	0.36
Bor	4.53	58.98	22.34	12.46	55.77	0.82	-0.08

Çizelge 2. Çalışma alanının sulanmasında kullanılan kuyulardan alınan su örneklerinin analiz sonuçları

Örnek No	pH	EC $\mu\text{s cm}^{-1}$	CO ₃ me l ⁻¹	HCO ₃ me l ⁻¹	Bor mg l ⁻¹
W5	6.64	1627	2.12	22.28	2.31
W6	6.58	1907	000	31.30	1.08
W7	6.61	2450	000	33.08	2.22
W8	7.00	879	0.12	22.82	1.49
W39	6.63	2550	3.76	30.09	5.02

Çizelge 3. Sulama sularının kullanımı ile ilgili sınır değerler (Ayers ve Wescott, 1985)

Potansiyel Sulama Problemleri	Kullanımda Sınırlamanın Derecesi		
	Yok	Hafif ile Orta	Şiddetli
Bor mg l ⁻¹	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
HCO ₃ me l ⁻¹	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5

Toprakta tuzluluk ve çözeltideki bor konsantrasyonu ile ilişkili olan toprak özelliklerini belirlemek için yapılan Pearson Korelasyon analizine ait sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik ile pH ve kireç içeriği arasında istatistiksel olarak önemli negatif bir ilişkinin ($P<0.01$) ve bor konsantrasyonu ile pozitif bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bulgular, arazide tuzluluk ve bor konsantrasyonunun çalışma alanında benzer dağılım gösterdiklerine işaret etmektedir. Araştırmalar tuzluluğun olduğu koşullarda yetiştirilen bitkilerde, bitki su içeriğinin azalmasından dolayı hücre içi ve dışındaki bor konsantrasyonunun yükselmesinin bor toksikliğinin şiddetini çok daha arttırdığını göstermiştir. (Wimmer ve ark., 2003). Bu durumda, tuz ve bor konsantrasyonunun birlikte yoğun olduğu yerlerin tespiti, idareleri açısından oldukça önem arz etmektedir.

Toprak çözeltisi içerisindeki bor konsantrasyonuna etki eden önemli özelliklerden bir tanesi toprakların adsorpsiyon kapasitesidir. Aynı miktar bor içeren sular ile sulandıkları vakit bor adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan topraklar düşük olanlara nazaran toprak çözeltisinde daha uzun süre düşük bor konsantrasyonuna sahip olacakları belirtilmektedir (Nable ve ark., 1997). Kil ve organik madde toprağın önemli adsorpsiyon yüzeylerini oluştururlar. Yarayışlı bor konsantrasyonu ile organik madde içeriği arasındaki pozitif korelasyon, organik maddenin fonksiyonel gruplarının önemli miktarda bor adsorbe ettiğini göstermektedir. Bu nedenle arazide organik maddenin yüksek olduğu yerlerde bor konsantrasyonunun istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0.01$) düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. Çalışma alanı yüzey toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizi

	Kil	Kum	Silt	Agr Stab	pH	EC	CaCO ₃	Org. Mad	Bor
Kil	1	-0.748**	-0.305**	-0.015	0.142	-0.122	0.487**	-0.051	0.084
Kum		1	-0.400**	0.010	0.049	-0.019	-0.393**	-0.218**	-0.088
Silt			1	-0.011	-0.279**	0.201*	-0.123	0.371**	0.014
pH					1	-0.447**	0.262**	-0.221**	0.012
EC						1	-0.279**	-0.040	0.284**
CaCO ₃							1	0.228**	-0.233**
Organik madde								1	-0.294**
Bor									1

Toprakta borun yarayışlı halde olmasına etki eden önemli parametrelerden bir tanesinin toprakta bulunan CaCO₃'ün aragonit veya kalsit formlarından hangisine ait olduğu ve aynı zamanda tuz (NaCl) ve magnezyum konsantrasyonları olduğu belirtilmektedir (Kitano ve ark., 1978). Araştırmacılar toprakta NaCl varlığında borun aragonit yüzeyinde çökmesinin düşük olmasına rağmen, artan NaCl konsantrasyonu ile birlikte kalsit üzerinde çökmenin arttığını rapor etmişlerdir. Çalışma alanı topraklarının CaCO₃ içeriği %5.4 ile %36.24 arasında değişirken ortalama değer %21.36 olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar detaylı analiz yapılmamış ve kirecin aragonit veya kalsit olup olmadığı belirlenmemiş olsa da çalışma alanı topraklarında kireç içeriği ile bor konsantrasyonu arasında önemli negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda kireç içeriğinin yüksek olduğu yerlerde bor konsantrasyonunun önemli miktarda azaldığı anlaşılmaktadır. Organik maddenin fonksiyonel gruplarına bağlanarak bitki için yarayışsız duruma geçen borun önemli bir kısmının da CaCO₃'ün yüzeyinde çökmesi söz konusu

olabilir. Bu nedenle, Gupta ve Macleod (1981), aşırı derecede kireçleme yapılan pH'sı yüksek topraklarda borun bitkilere yarayışlılığının azaldığını ifade etmişlerdir. Bu çıkarımı destekleyen bir başka çalışmada Communar ve ark. (2004), pH'nın 6.0'dan 9.0'a doğru arttırılması ile toprakta var olan kirece bağlı olarak bor adsorpsiyonunun arttığı ve pH 9.5 iken en yüksek düzeye ulaştığını rapor ederken, pH'nın 10 ile 11 gibi daha yüksek düzeylere ulaşması ile bor adsorpsiyonunun yeniden azaldığı belirtilmiştir. Çalışma alanı topraklarının pH'ları 7.91 ile 9.18 arasında değişirken ortama pH değeri 8.50'dir (Çizelge 1). Bu pH aralığı ve toprakların kireç içerikleri birlikte düşünüldüğünde, çalışma alanı topraklarında adsorbe olan borun yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Toprak analiz sonuçları, bu hali ile birlikte oldukça yüksek bor konsantrasyonuna sahip olan topraklarda, rezerv durumda bulunan yüksek bor konsantrasyonunun olduğunu göstermektedir.

Bor'un toprakta bitkiler için en yarayışlı olduğu pH aralığının 5.5 ile 7.5 arasında olduğu belirtilirken (Mortvedt

ve ark., 1999), bir kısım araştırmalarda da yüksek pH'larda kalsiyumun fazlalığında borun yarayırlılığının azaldığı belirtilmiştir (Goldberg, 1997). Ancak, yapılan korelasyon testinde yarayırlı bor konsantrasyonu ile pH arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Çalışma alanı topraklarında, pH'nın çok dar bir aralıkta değişiyor olması (pH CV, %4.98), pH ile yarayırlı bor arasında beklenen ilişkinin görülmemesinin nedeni olduğu söylenebilir.

Toprağın bor konsantrasyonu üzerine tekstürün etkisi ile oldukça fazla miktarda araştırma yayınlanmış olmakla birlikte (Communar ve Keren, 2006; Goldberg ve Glaubig, 1986) çalışma alanı topraklarının bor konsantrasyonu ile tekstür bileşenleri arasında herhangi bir korelasyona rastlanamamıştır.

3.1. Tuzluluk ve bor toksikliğinin idaresinde mesafeye bağlı değişkenliğin önemi

Çalışma alanı içerisindeki tuz ve bor konsantrasyonları incelendiğinde tarımsal üretim açısından problemler yerlerin olduğu anlaşılmaktadır. Bu hali ile arazide bitkisel üretim yapmak, sorunların iyileştirilmesi veya ıslah edilmesinde tuz ve borun arazi içerisindeki değişkenliğini dikkate alarak uygun bir şekilde arazi idaresi oldukça önemlidir. Zira arazide tuz ve borun giderilmesinde sıklıkla başvurulan yöntem, tuzun ve borun toprak profilinden yıkaması işlemidir. Ancak yıkama işleminden beklenen performansın elde edilebilmesi için tuz ve borun arazi içerisindeki yüksek değişkenliğini mutlaka dikkate almak gerekecektir (Çizelge 1). Ortalama değerlere göre yapılacak olan uygulamalar, arazinin bir bölümünün gereğinden fazla ve yine bir kısım arazilerin de gereğinden az yıkanmasına neden olacaktır. Çalışma alanı ülkemizin hemen hemen en kurak bölgelerinden birinde yer aldığından suyun idareli kullanımı

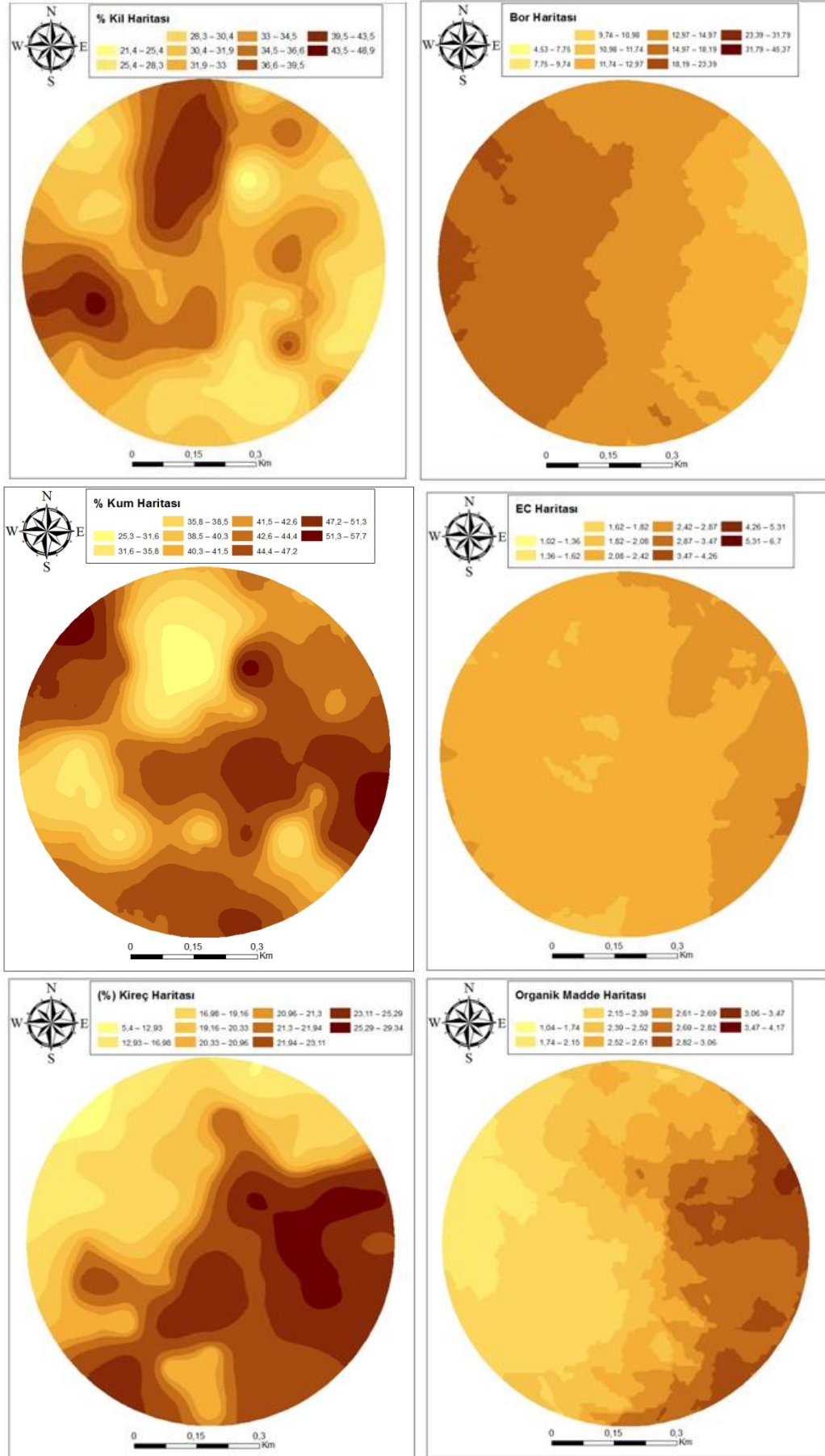
tarımsal üretimin devamlılığı bakımından oldukça önemlidir. Son yıllarda yağışların azalması ile birlikte, bölgedeki yer altı suyu seviyesinde önemli miktarda düşüşler yaşanmıştır. Bu durumda, var olan suyun arazilerin ıslahında kullanılmasında önemli zorluklar bulunduğu göz ardı edilmemelidir.

Su kısıtı ve yıkamanın maliyetinden dolayı, yıkama yapılmadan arazide bitkisel üretim yapılabilmesi için bir kısım tedbirlerin yanında, tuz ve bora karşı dayanıklı olan türlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Ancak, organik madde içeriği ile yarayırlı bor konsantrasyonu arasında tespit edilen ilişki, toprağın organik madde içeriğinin artırılması ile çözültideki bor konsantrasyonunun bitkiler için zararlı olabilecek konsantrasyonların altına veya en azından daha az etkilenebilecekleri düzeylere indirilebileceğine işaret etmektedir. Arazi içerisinde, organik maddenin artırılmasında uygulanacak hayvan gübresinin bor konsantrasyonu yüksek olan alanlardan başlayarak yapılması, etkinliğin artırılmasını sağlayacaktır. Jeostatistiksel yöntemler ile oluşturulan tuz ve bor haritaları (Şekil 2 ve 3), arazinin hangi bölümlerinde daha dikkatli davranılması gerektiği konusunda yeterince detaylı ve doğru bilgiye ulaşılmasını sağlayacaktır.

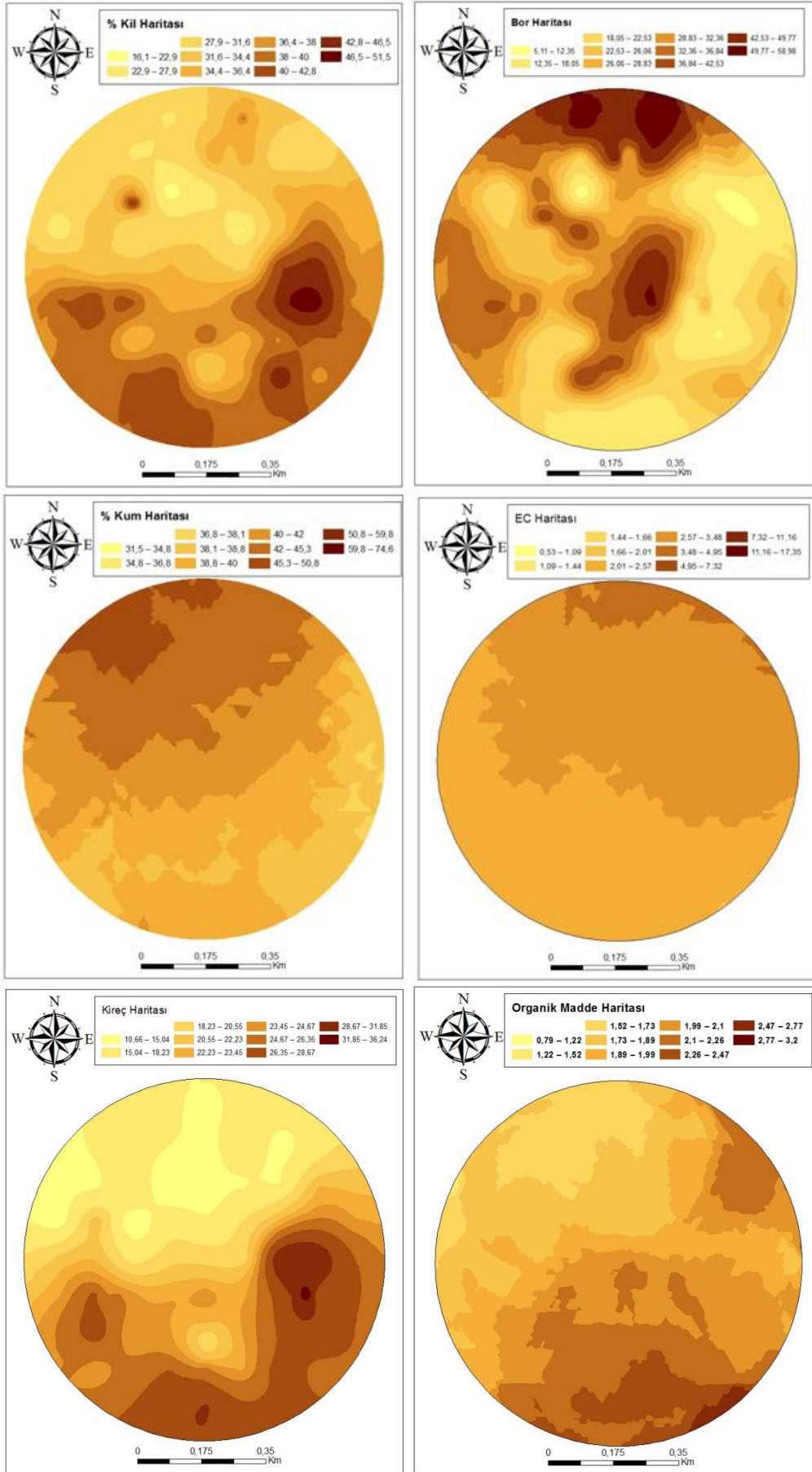
Toprakta tuzluluğa neden olan bileşenlerin mesafeye bağlı değişkenliklerinin belirlenmesi, arazide tuzluluğun nerelerde oluşabileceğinin tahmin edilmesine yardımcı olacaktır. Böyle bir çalışma ile arazide hassas olan alanların belirlenmesi (Yan ve ark., 2007) ve iyileştirilmesi için daha ekonomik çözümlerin üretilmesi mümkün olabilecektir (Acosta ve ark., 2011). Çalışma alanında belirlenen her bir toprak özelliğinin mesafeye bağlı değişkenliğini sayısallaştırmak için bir semivaryogram üretilmiştir. Seçilen en uygun modele ait nugget, sill ve range değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. Nugget etki, en kısa örnekleme

Çizelge 5. Çalışma alanı yüzey topraklarının mesafeye bağlı dağılım modelleri ve model parametreleri

Özellik	Model R ²	Model	Co	Co+C	Uzaysal Bağımlılık (%)	Range (m)	Çapraz Doğrulama
Pivot 1							
Kum	0.845	Küresel	6.20	39.29	15.8	305	0.471
Kil	0.902	Üssel	9.75	30.91	31.5	564	0.640
EC	0.751	Üssel	0.09	0.20	45.0	312	0.398
pH	0.712	Üssel	0.06	0.126	47.6	487	0.417
Kireç	0.964	Üssel	1.18	19.5	6.1	1371	0.658
Bor	0.740	Üssel	0.15	0.305	49.2	1503	0.484
Organik madde	0.801	Üssel	0.14	0.34	41.2	211	0.275
Pivot 2							
Kum	0.813	Üssel	0.016	0.04	40.0	387	0.417
Kil	0.859	Üssel	13.6	55.41	24.5	543	0.510
EC	0.887	Küresel	0.25	0.55	45.5	478	0.440
pH	0.530	Üssel	0.05	0.12	41.7	639	0.518
Kireç	0.908	Küresel	3.80	58.6	6.5	996	0.800
Bor	0.780	Küresel	55.5	142	39.1	216	0.478
Organik madde	0.738	Üssel	0.05	0.231	21.6	234	0.387



Şekil 2. Çalışma alanında yer alan Pivot 1'deki toprak özelliklerinin alansal dağılım haritaları



Şekil 3. Çalışma alanında yer alan Pivot 2'deki toprak özelliklerinin alansal dağılım haritaları

mesafesinden daha kısa mesafelerde var olan değişkenlikten kaynaklanmaktadır (Webster, 1985). Nugget etkinin yüksek olması mesafeye bağımlılığın belirlenebilmesi amacı ile daha kısa mesafelerde daha fazla sayıda örnek alınması gerektiğine işaret etmektedir. Bu durumda özellikle tuzlu ve bor toksikliği bulunan arazilerde daha yüksek sayıda örnek ile yapılan çalışmalarda elde edilecek tuzluluk ve bor haritalarının güvenilirliği de yüksek olacaktır (Cemek ve ark., 2007). Mesafeye bağlı korelasyonun varlığını ifade eden range değerinden daha yüksek mesafelerde mesafeye bağımlılığın kaybolduğu anlamına gelmektedir. Çalışma alanında EC için range değeri 487 ve 478 m gibi birbirine yakın değerlerde iken bor konsantrasyonu ilk pivotta 1503 m ve ikinci pivotta 216 m'dir.

Nugget değerinin toplam semivaryans değerine oranının yüzde ifadesi mesafeye bağımlılığın sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Bu oran $< \%25$ olduğunda uzaysal bağımlılık güçlü, $\%25$ ile $\%75$ arasında olduğunda uzaysal bağımlılık orta ve $> \%75$ olduğunda ise uzaysal bağımlılık zayıf olarak nitelendirilir (Cambardella ve ark., 1994). Çalışma alanındaki uzaysal bağımlılık EC ve bor konsantrasyonu için her iki pivot alanında orta düzeydedir.

Çalışma alanında yer alan Pivot 1'de bor toksikliğinin en şiddetli olduğu alanlar, pivotun kuzey batısında yer almaktadır (Şekil 2). Pivot 2'de ise bor konsantrasyonunu en yüksek olduğu yerlerin sırası ile pivotun batısı, kuzeyi ve merkezinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). Bor haritası ile en uyumlu olan toprak özelliklerinin, organik madde ve kireç olduğu görülmektedir. Bor konsantrasyonunun yüksek olduğu lokasyonlar arazinin organik madde açısından en fakir olduğu bölgelere denk gelmektedir. Her iki toprak özelliği ile de istatistiksel olarak önemli düzeyde negatif korelasyonu olan kireç, bor konsantrasyonunun kontrolünde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Ancak arazide bor toksikliğinin giderilmesi için kireç uygulanması zaten yüksek olan kireç içeriğinin daha fazla artırılmasına yol açacaktır. Yüksek kireç içeriği, fosfor ve birçok mikro besin elementinin alımını olumsuz etkileyeceğinden dolayı tarımsal üretim için arzu edilmemektedir. Bu durumda organik madde miktarının artırılması hem topraktaki yüksek bor konsantrasyonunun güvenli bir şekilde idaresi, hem de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etkisinden dolayı toprağın fonksiyon gösterme kapasitesi olan kalitesini olumlu etkileyecektir. Mesafeye bağlı dağılımların modellenmesi ile elde edilen haritalar organik madde uygulamalarının öncelikle nerelere ve hangi miktarlarda yapılması gerektiğine karar verilirken yol gösterici olacaktır.

Özellikle Pivot 2'de yüksek kil içeriği değerleri ile düşük bor konsantrasyonu değerlerinin dağılımlarının birbirlerine oldukça benzer oldukları görülmektedir (Şekil 3). Arazinin kil içeriğinin düşük olduğu lokasyonlarda bor konsantrasyonunun yüksek olması, toprağın bor konsantrasyonunun azaltılmasında, yıkama işlemi düşünüldüğünde mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Bu durum, borun topraktan uzaklaştırılmasını kolaylaştıracağından, toprak tekstür bileşenlerinin de alansal dağılımlarının dikkate alınmasını

zorunlu kılmaktadır. Tüm alan için yıkama yapılması istendiğinde, arazinin her tarafına aynı miktar su uygulamak etkinlik açısından yetersizliklerin veya bazı noktalarda aşırı su tüketiminin oluşmasına neden olabilecektir.

4. Sonuçlar

Toprak tuzluluğu ve bor konsantrasyonunun arazideki dağılımının heterojen yapısı tarımsal üretimde kullanımları, iyileştirilmeleri ve ıslahlarını etkileyen oldukça önemli bir özelliktir. Bu nedenle, bu iki problemin arazideki mesafeye bağlı değişkenliğinin yapısının belirlenmesi ve ortaya konulması, sürdürülebilir kullanımlarını sağlamak ve yere özgü amanjman uygulamalarını hayata geçirebilmek adına mutlak gereklidir. Bu amaca hizmet edebilmek için, kurak bir bölgede yer alan çalışma alanında tuzluluk ve bor konsantrasyonunun kalitatif tanımlaması ve klasik istatistik ile ilişkili toprak özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak klasik istatistik değişkenliğin rastgele olduğunu kabul ettiğinden, mesafeye bağlı korelasyonu dikkate almak ve bu yüzden özelliklerin arazideki mesafeye bağlı değişkenliğini yorumlamada yetersiz kalmaktadır. Organik madde ilavesi, yıkama için suyun yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yer alan yüksek bor konsantrasyonuna sahip toprakların tarımsal üretimde kullanımlarını sağlamak adına önemli bir uygulamadır. Organik madde ile bor konsantrasyonu arasındaki negatif korelasyon, organik madenin yüksek olduğu yerlerde, yarıyışlı bor konsantrasyonunun düşük olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- Acosta, J. A., Faz, A., Jansen, B., Kalbitz, K., Martínez-Martínez, S. 2011. Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(11): 1056-1066.
- Allison, L.E., Moodie, CD. 1965. Carbonate. In: C.A. Black ve ark. (edit.) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy* 9:1379-1400. Am.Soc. of Argon., Inc., Madison, Wisc., USA.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1985. *Water quality for agriculture* (Vol. 29). Rome: FAO.
- 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 Sci. Soc. Am.J.*, 58: 1501-1511.
- Cartwright, B., Tiller, K.G., Zarcinas, B.A., Spouncer, L.R. 1983. The chemical assessment of the boron of soils. *Aust. J. Soil Res.*, 21: 321-332.
- Communar, G., Keren, R., Li, F.H. 2004. Deriving boron adsorption isotherms from soil column displacement experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 481-488.
- Communar, G., Keren, R. 2006. Rate-limited boron transport in soils: the effect of soil texture and solution pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 882-892.
- Communar, G., Keren, R. 2008. Boron adsorption by soils as affected by dissolved organic matter from treated sewage effluent. *Soil Sci Soc Am J.*, 72: 492-499.
- Darwish, T., Atallah, T., El-Khatib, M., Hajhasan, S. 2002. Impact of irrigation and fertilization on NO₃ leaching and soil-ground water contamination in Lebanon. In: *Proceedings of the Transactions 17th World Congress of Soil Science, Bangkok*,

- Thailand.
- Driessen, P.M. 1970. Soil salinity and alkalinity in the Great Konya Basin, Turkey. Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Fageria, N.K., Gheyi, H.R., Moreira, A. 2011. Nutrient bioavailability in salt affected soils. *Journal of Plant Nutrition*, 34(7): 945-962.
- Gee, G.W., Boudet, J.W. 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., Glaubig, R.A. 1986. Boron adsorption on California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1173-1176.
- Goldberg, S. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant Soil*, 193: 35-48.
- Goldberg, S., Forster, H.S., Heick, E.L. 1993. Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals, and soils inferred from ionic strength effects. *Soil Science Society of America Journal*, 57(3): 704-708.
- Gu, B., Lowe, L.E. 1990. Studies on the adsorption of boron on humic acids. *Can. J. Soil Sci.* 70: 305-311.
- Gupta, U.C., Macleod, J.A. 1981. Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on podzol soils. *Soil Science*, 131(1): 20.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S. L., Nelson, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Hou, J., Evans, L.J., Spiers, G.A. 1996. Chemical fractionation of soil boron. I. Method development. *Can J Soil Sci.*, 76: 485-491.
- John, M.K., Chuah, H.H., Neufeld, J.H. 1975. Application of Improved Azomethine-H Method to the Determination of Boron in Soil and Plants. *Anal. Lett.* 8: 559-568.
- Keren, R., Ben-Hur, M. 2003. Interaction effects of clay swelling and dispersion and CaCO₃ content on saturated hydraulic conductivity. *Aus. J. Soil Res.* 41: 979-989.
- Kitano, Y., Okumura, M., Idogaki, M. 1978. Coprecipitation of borate-boron with calcium carbonate. *Geochemical Journal*, 12(3): 183-189.
- Mortvedt, J.J., Murphy, L.S., Follet, R.H. 1999. *Fertilizer Technology and Application*. Meister Publishing, Willoughby, Ohio.
- Nable, R.O., Bañuelos, G.S., Paull, J.G. 1997. Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193(1-2): 181-198.
- Nelson, D.W. Sommer, L.E. 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.
- Parks, J.L., Edwards, M. 2005. Boron in the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35(2): 81-114.
- Reid, R. 2007. Update on boron toxicity and tolerance in plants. *Advances in plant and animal boron nutrition*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 83-90.
- Su, C., Suarez, D.L. 1995. Coordination of adsorbed boron: A FTIR spectroscopic study. *Environmental Science & technology*, 29(2): 302-311.
- Tanaka, M., Fujiwara, T. 2008. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives for plants. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 456(4): 671-677.
- Tsadilas, C.D. 1997. Soil contamination with boron due to irrigation with treated municipal wastewater. In: Bell, R. W. and B. Rerkasem (eds.) *Boron in soils and plants*. Kluwer, Dordrecht. pp. 265-270.
- Wang, L., Coles, N. A., Wu, C., Wu, J. 2014. Spatial variability of heavy metals in the coastal soils under long-term reclamation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151: 310-317.
- Webster, R., Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, England, 330 pp
- Wimmer, M.A., Mühlhng, K.H., Läuchli, A., Brown, P.H., Goldbach, H.E. 2003. The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 26(8): 1267-1274.
- Yan, X., Wu, P., Ling, H., Xu, G., Xu, F., Zhang, Q. 2006. Plant nutrionics in China: an overview. *Annals of Botany*, 98(3): 473-482.
- Yan, L., Zhou, S., Ci-fang, W., Hong-yi, L., Feng, L., 2007. Improved prediction and reduction of sampling density for soil salinity by different geostatistical methods. *Agricultural Sciences in China*, 6(7): 832-841.
- Yermiyahu, U., Keren, R., Chen, Y. 2001. Effect of composted organic matter on boron uptake by plants. *Soil Sci Soc Am J.*, 65: 1436-1441.
- Zerrari, N., Moustouai, D., Verloo, M. 1999. The forms of boron in soil, effect of soil characteristics and availability for the plants. *Agrochimica*, 43:77-88.