

Arsuz Ovası Topraklarında Borun Kimyasal Fraksiyonlarının Belirlenmesi

Tuğba AVCI¹, Necat AĞCA^{2*}

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antakya, HATAY, ²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antakya, HATAY

¹<https://orcid.org/0000-0001-9954-6086>, ²<https://orcid.org/0000-0003-4864-844X>

✉: necagca@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Arsuz ovası topraklarında bor fraksiyonları ve bu fraksiyonlar ile toprakların bazı özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ovada 19 farklı noktadan 0-30 cm derinlikten alınan örneklerde, çeşitli fiziksel ve kimyasal analizler ve ardışık olarak bor ekstraksiyonu yapılmıştır. Topraklardaki bor fraksiyonları; kolay çözünebilir bor (KÇ-B), spesifik olarak adsorbe olmuş bor (SPA-B), oksitlere bağlı bor (OK-B), organik bileşiklere bağlı bor (OB-B) ve residüyal bor (RE-B) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, topraktaki bor fraksiyonları arasındaki ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiler doğrusal korelasyon analizleri ile irdelenmiştir. Araştırma alanı topraklarında ardışık olarak ekstrakte edilen KÇ-B, SPA-B, OK-B, OB-B ve RE-B fraksiyonları toplam borun (TO-B) sırasıyla % 3.72, %8.14, %1.33, 4.65 ve % 82.34'ünü oluşturmuştur. Toprakların EC değerleri SPA-B içerikleri arasında istatistiksel açıdan %1 düzeyinde önemli pozitif ilişki saptanmıştır. Benzer şekilde TO-B ile RE-B içeriği arasında istatistiksel açıdan önemli (p <0.01) ilişki belirlenmiştir. Toprakların bor içeriklerinin en büyük kısmını residüyal bor oluşturmuştur. Bunu sırasıyla spesifik olarak adsorbe olmuş bor, organik bileşiklere bağlı bor, kolay çözünebilir bor ve oksitlere bağlı bor izlemiştir. Bu sonuçlar, bitkilerce alınabilir formlardaki (H₃BO₃, B(OH)₄⁻) bor içeriklerinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Ancak toprakların önemli bir çoğunluğunda bitkilerce alınabilir formlardaki bor içeriklerinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Determination of Chemical Fractions of Boron in Arsuz Plain Soils

ABSTRACT

In this study, boron fractions and the relationships between these fractions and some properties of the soils were investigated in the soils of Arsuz plain. Various physical and chemical analyze and sequential boron extraction were performed on samples taken from a depth of 0-30 cm from 19 different points in the plain. Boron fractions in soils; easily soluble boron (KÇ-B), specifically adsorbed boron (SPA-B), bound to oxides (OK-B), boron bound to organic compounds (OB-B) and residual boron (RE-B). In addition, the relationships between boron fractions in the soil and soil properties were examined by linear correlation analysis. KÇ-B, SPA-B, OK-B, OB-B and RE-B fractions constituted 3.72%, 8.14%, 1.33%, 4.65 and 82.34% of the total boron (TO-B), respectively. A statistically significant positive correlation at the level of 1% was found between the EC values of the soils and SPA-B contents. Similarly, a statistically significant relationship was determined between TO-B and RE-B content (p <0.01). The majority of the boron content of the soils was residual boron. This was followed by specifically adsorbed boron, boron bound to organic compounds, easily soluble boron and boron bound to oxides. These results show that the boron content in forms (H₃BO₃, B(OH)₄⁻) that can be taken by plants is quite low. However, it has been determined that the boron content in the forms that can be taken by plants is sufficient in the majority of the soils.

Toprak Bilimi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi : 25.05.2021

Kabul Tarihi : 12.10.2021

Anahtar Kelimeler

Arsuz ovası

Bor

Kimyasal fraksiyon

Soil Science

Research Article

Article History

Received : 25.05.2021

Accepted : 12.10.2021

Keywords

Arsuz plain

Boron

Chemical fraction

Atıf Şekli: Avcı T, Ağca N. 2022. Arsuz Ovası Topraklarında Borun Kimyasal Fraksiyonlarının Belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 25 (5): 1181-1190. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.942445>

To Cite : Avcı T, Ağca N. 2022. Determination of Chemical Fractions of Boron in Arsuz Plain Soils. KSÜ J. Agric Nat 25 (5): 1181-1190. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.942445>

GİRİŞ

Bor hem önemli bir bitki besin elementi hem de bitkiler için toksik bir elementtir. Besin elementi sınırı ile toksik element sınırı birbirine çok yakındır. Bu nedenle bitkisel üretimde topraklardaki bor içeriğinin ve bu borun fraksiyonlara dağılımının bilinmesi bitkisel üretim açısından önem taşımaktadır. Periyodik sistemde 3A gurubunda yer alan bor mikro bitki besin elementleri içerisinde metal olmayan tek elementtir. (Adriano, 1986).

Topraklarda bor yetersizliği kaba bünyeli, düşük organik madde içerikli ve yüksek pH ve yüksek kireç içerikli topraklarda oldukça yaygındır (Arora ve Chahal, 2014).

Genel olarak kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde toprakların hem toplam bor (B) hem de bitkiye yararlı B miktarı, yağışlı iklim bölgelerindeki topraklardan daha yüksektir (Gupta, 1968). Türkiye’de bor toksitesine genellikle, Orta Anadolu bölgesinde rastlanmaktadır (Alkan, 1994).

Farklı toprak bileşimindeki borun dağılımı hakkındaki bilgiler topraktaki borun kimyasını anlamada ve bitkiler tarafından alınmada potansiyel katkıları bilmek açısından önemlidir. Fraksiyonlar ile ilgili araştırmalar, bor formları ve topraktaki alınabilirliği hakkında bilgi sağlar (Shuman, 1986). Farklı bor fraksiyonlarının oranı önemli ölçüde toprak tiplerine ve ekstraksiyon tekniklerine bağlıdır (Raza ve ark., 2002).

Bor topraklarda değişik formlarda bulunmakta ve farklı çözeltiler ile ekstrakte edilebilirlik durumlarına göre farklı formlara ayrılmaktadır. Boru tarım ve çevre açısından değerlendirmek için, toprak ve sedimentlerdeki farklı formlarının ve konsantrasyonlarının belirlenmesi önemlidir. Borun kimyasal olarak fraksiyonlarına ayrılması ile çözünebilir bor, spesifik olarak adsorbe olmuş bor, oksitlere bağlı bor, organik bileşiklere bağlı bor ve residüyal bor fraksiyonları belirlenmektedir. Bütün bu fraksiyonların toplamı ise topraklardaki toplam boru vermektedir (Tessier ve ark., 1979).

Keren ve Gast. (1983), borun topraklardaki çözünürlüğünü kontrol eden bor minerallerinin topraklardaki çözünürlüğünün oldukça düşük (turmalin) veya oldukça yüksek olabileceğini (borat) ve topraklardaki bor konsantrasyonunun bor adsorpsiyon reaksiyonlarınca etkilendiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, bitkilerin sadece toprak çözeltilisindeki bor aktivitesine doğrudan cevap verebildiğini ve borun toprak yüzeylerine adsorbe olmak koşuluyla da bitkilere toksik durumdan

çıkarmakta olduğunu rapor etmişlerdir.

Toprakta bor, killerin ve demir ile alüminyumun sulu oksitlerinin yüzeylerinde adsorbe edilmiş şekilde, organik maddeye bağlanmış olarak ve toprak çözeltilisinde bağımsız iyonize olmamış borik asit (H_3BO_3) ve borat anyonları $B(OH)_4^-$, şeklinde bulunur (Marschner, 1986; Kacar ve Katkat, 1998).

Borun kimyasal fraksiyonlarına ayrılması ve bu fraksiyonların toprak özellikleri ile ilişkilerinin belirlenmesi; topraklarda borun davranışı, bitkiler tarafından alınabilirliği ve topraklarda tutulma şekilleri hakkında bilgiler vermektedir. Farklı toprak bileşenlerindeki bu dağılımın bilinmesi, borun topraklardaki kimyasını ve bu fraksiyonların bitki alınma potansiyel katkısını anlamak açısından temel oluşturur (Datta ve ark., 2002).

Wójcik (2000) tarafından yapılan bir çalışmada; Polonya’da ki bazı topraklardaki bor fraksiyonları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarında toprak çözeltilisindeki borun $0.07-0.17 \text{ mg kg}^{-1}$, toprak kolloidleri tarafından özel olarak adsorbe edilmemiş bor ise $0.01-0.03 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir.

Datta ve ark. (2002) tarafından Hindistan’ daki (Yeni Delhi) bazı topraklarda yapılan bir çalışmada topraklardaki kolay çözülebilir bor içeriklerinin $0.19-0.67 \text{ mg kg}^{-1}$, spesifik adsorbe edilmiş bor $0.03-0.85 \text{ mg kg}^{-1}$, oksitlere bağlı bor $0.40-5.73 \text{ mg kg}^{-1}$, organik bileşiklere bağlı bor $0.00-1.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ve residüyal bor ise $91.1-98.8 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir.

Saltalı ve ark. (2005), farklı karakteristiklere sahip topraklarda bor adsorpsiyonuyla ilgili yaptıkları çalışmada, topraklarda yararlı borun $0.05-1.60 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu, toprakların maksimum bor adsorpsiyon kapasitelerinin kil, kireç ve pH değerleri ile önemli pozitif ilişkisinin olduğunu rapor etmişlerdir.

Lucho-Canstantino (2005) tarafından Meksika’nın merkezinde yapılan çalışmalarda; topraklardaki borun kimyasal fraksiyonları belirlenmiştir. Tüm fraksiyonların toplamını temsil eden borun toplam konsantrasyonu $9.2-123.8 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmiştir.

Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova’da yapılan bir çalışmada toprakların bor fraksiyonları ve bu fraksiyonlar ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler saptanmıştır. Farklı ekstraksiyon çözeltileri ile ardışık ekstrakte edilerek belirlenen toprak bor fraksiyonlarından, kolay çözünebilir bor ve spesifik olarak adsorbe edilmiş bor fraksiyonları ile toprak pH’sı arasında önemli pozitif ilişkiler bulunurken, oksitlere bağlı bor fraksiyonu ile bor fraksiyonu ile toprakların kireç içerikleri arasında önemli negatif

ilişkiler bulunmuştur.

Arora ve Chahal (2014) tarafından Mısır'daki bazı alüvyal topraklarda yapılan çalışmalarda farklı çözeltilerle ekstrakte edilmiş bor konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca bu konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. En çok kullanılan bor formu olan sıcak suda çözünmüş bor ile 0.01 M CaCl₂ ile ekstrakte edilebilir bor arasında önemli istatistiksel ilişkiler bulunmuştur.

Padbhusan ve Kumar (2015) tarafından topraktaki bor fraksiyonları ile ilgili çalışmada; toplam borun önemli bir kısmını residüyal bor fraksiyonunun oluşturduğu belirlenmiştir.

Bor fraksiyonlarının bilinmesi, borun miktarı, alınabilirliği ve kimyası bitkiye yararlılığı çalışmalarında bilgi sağlar. Böyle bilgiler borun alınabilirliğinin tahmini, bor yıkanması, dinamiği, topraktaki kimyasal formlar arasındaki dönüşümler ve çevresel etkiler açısından da önemlidir. Toplam bor (T-B) beş fraksiyona ayrılır. Bunlar; Kolay Çözünebilir Bor (Rs-B), Spesifik Adsorbe edilmiş Bor (Spa-B), Oksitlere Bağlı Bor (Ox-B), Organik Bileşiklere Bağlı Bor (Org-B) ve Residüyal Bor (Res-B) dir. Kolay çözünebilir bor fraksiyonu toprak çözeltilisinde bulunur ve toprak parçacıkları tarafından zayıf şekilde tutulur. Bu bor fraksiyonun çoğu bitkilerin alımı için uygun durumdadır. Bu fraksiyon toplam borun %1-2 ' sini oluşturur. Birçok bitki için alınabilir ikinci bor fraksiyonu spesifik adsorbe edilmiş bor olup bu fraksiyon toprakta organik madde ve kil yüzeyleri tarafından tutulur. Farklı fraksiyonlardaki borun oransal dağılım sıralaması Res-B > Org-B > Spa-B > Rs-B > Ox-B şeklindedir. Ancak toprak pH' ı, organik madde içeriği, kil mineralleri, demir ve alüminyum oksitler gibi toprak faktörleri borun farklı fraksiyonlar arasındaki bu sıralamayı ve bor fraksiyonları arasındaki bu dönüşümleri değiştirebilir (Padbhusan ve Kumar, 2017).

Borun tarımdaki etkilerini değerlendirebilmek için, topraklardaki farklı bor fraksiyonlarını bilmek ve her bir fraksiyonun konsantrasyonunu belirlemek gerekir (Padbhusan ve Kumar, 2015). Bu çalışmada, Arsuz ovası topraklarında bor fraksiyonları belirlenmiş ve bu fraksiyonlar ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir..

MATERYAL ve METOD

Örnekleme Yöntemi

Yaklaşık 4500 hektarlık bir alan kaplayan Arsuz ovası, Hatay ili Arsuz ilçesi sınırları içinde yer almaktadır (36°29'42.22" K ile 36°1'8.71"D ve 36°23'37.67"K ile 35°52'10.57" D) (Şekil 1). Ovanın batısında Akdeniz, doğusunda Amanos dağları, kuzeyinde İskenderun, güneyinde ise Samandağ ilçesi yer almaktadır (Anonim, 2016). Çalışma alanının içinde bulunduğu Hatay iline ait uzun yıllık (30 yıllık)

iklim verilerine göre; alan, yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Ortalama yıllık yağış 1121.6 mm ortalama sıcaklık ise 18.3 °C olarak kaydedilmiştir (Anonim 2021).

Bu çalışmada, Hatay il sınırları içinde kalan Arsuz ovasından, ana materayaldeki değişiklikler dikkate alınarak, tesadüfi örnekleme yöntemine göre, 0-30 cm derinlikte toplam 19 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 1). Ayrıca, toprak örneklerinin noktaların coğrafi koordinatları GPS aleti ile belirlenmiştir.

Toprak analizleri

Alınan toprak örnekleri plastik tavalarda gölgede kurutulup, 2 mm'lik elek ile elendikten sonra analize hazır hale getirilmiştir. Analize hazır hale gelen toprak örneklerinde; borun farklı kimyasal fraksiyonları belirlenmiş ve ayrıca, pH, elektriksel iletkenlik (EC), kireç ve tane irilik dağılımı (% kum, kil ve silt) analizleri yapılmıştır.

pH ve EC 1/2.5 toprak-su süspansiyonunda ölçülmüştür (Richards, 1954). Kireç Scheibler kalsimetresi ile (Allison ve Moode, 1965), organik madde modifiye edilmiş Lichterfelder yöntemi ile (Schlichting ve Blume, 1966), bünye ise hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951) saptanmıştır.

Topraklardan Ardışık Bor Ekstraksiyonu

Ardışık ekstraksiyon yöntemine, önce en az etkili ekstraksiyon çözeltisi ile başlanmakta ve genellikle daha düşük pH değerlerine sahip ekstraksiyon çözeltileri ile ardışık olarak devam edilmektedir (Hou ve ark., 1996).

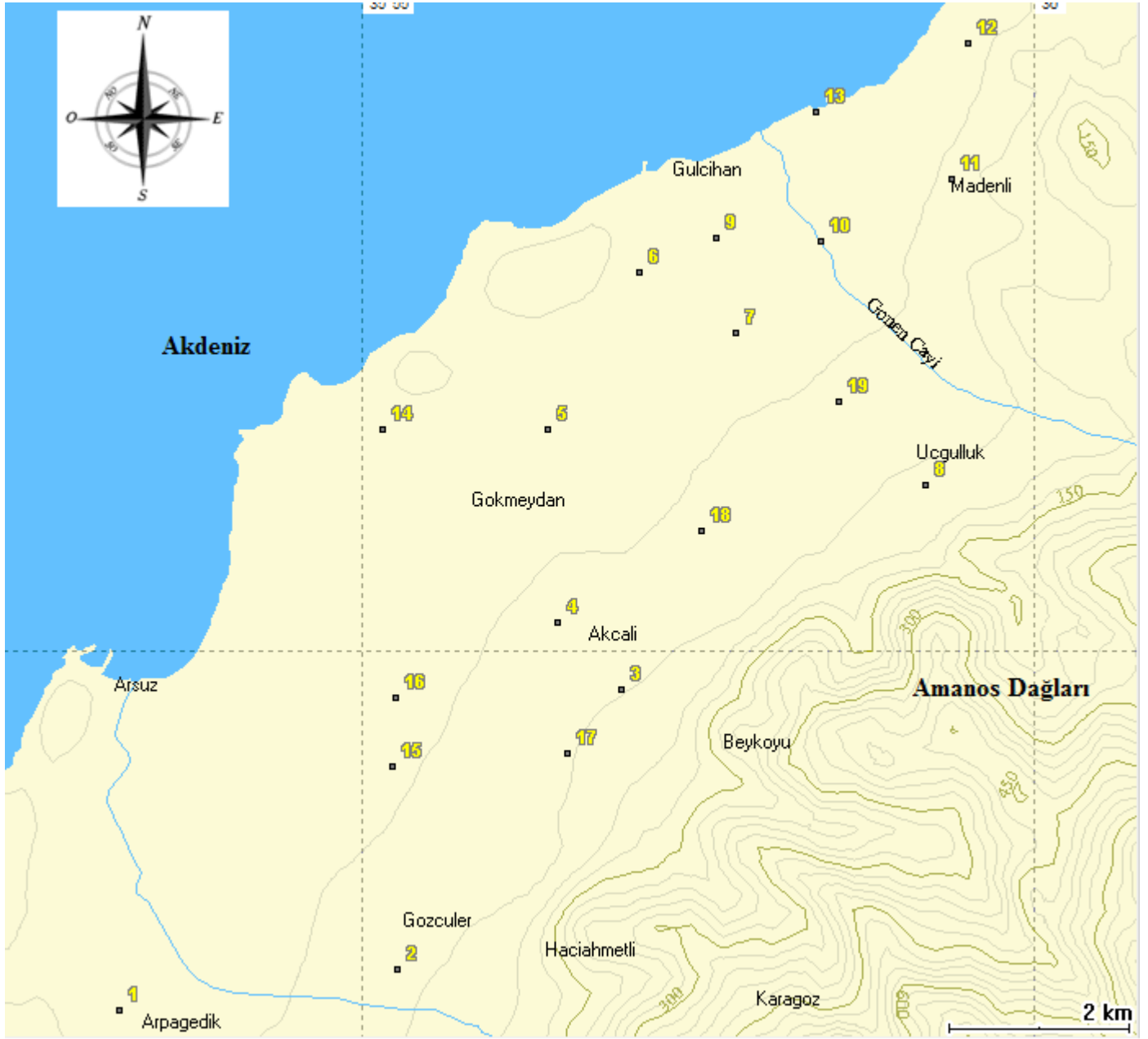
Borun ardışık ekstraksiyonu için her bir topraktan alınan 5 gr örnek ile analize başlanmış ve bütün bor fraksiyonları bu örneklerden ardışık olarak yürütülmüştür. Önce kolay çözünebilir bor (KÇ-B) fraksiyonunu belirlenmesi için, Hou ve ark. (1996), tarafından bildirildiği şekilde, 50 mL'lik polietilen santrifüj tüplerine alınan örnekler, 10 ml 0.01 M CaCl₂ çözeltisi ile 16 saat çalkalanmış ve daha sonra 10.000 rpm'de 30 dakika santrifüjlenerek elde edilen berrak kısım Whatman 42 süzgeç kağıdından süzölmüş ve B miktarı belirlemeye hazır hale getirilmiştir.

Santrifüj tüplerinde kalan örnek kısmı ile spesifik olarak adsorbe olmuş bor (SPA-B) fraksiyonunun belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Bunun için, Hou ve ark. (1996), tarafından bildirildiği şekilde, santrifüj tüplerinin içinde kalan örneklerin üzerine 10 ml 0.05 M KH₂PO₄ çözeltisi ilave edilerek 1 saat çalkalanıp ve santrifüjlendikten sonra elde edilen berrak kısım Whatman 42 süzgeç kağıdından süzölmüş ve belirlemeye hazır hale getirilmiştir.

Tüplerde kalan toprak örneklerinin üzerine, oksitlere bağlı bor (OK-B) fraksiyonunun belirlenmesi için; Hou ve ark. (1996), tarafından bildirildiği şekilde, 20'şer ml

0.2 M asidik NH_4 -oksalat çözeltisi ilave edilerek 4 saat çalkalanmış ve yukarıda anlatılan santrifüjleme ve

süzme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu ve örnekleme noktaları
Figure 1. Geographical location of the study area and sampling points

Organik bileşiklere bağlı bor (OB-B) fraksiyonunun belirlenmesi için, oksitlere bağlı bor fraksiyonunun belirlenmesi işleminden geriye kalan örneklerin üzerine Hou ve ark. (1996), tarafından bildirildiği şekilde, 3'er ml 0.02 M HNO_3 ve 5'er mL % 30'luk H_2O_2 çözeltisi ilave edilmiş, 85°C 'ye ayarlı sıcak su banyosunda 2 saat süreyle ve belirli aralıklarla çalkalanarak ısıtılmıştır. Daha sonra tekrar 3'er ml % 30'luk H_2O_2 çözeltisi ilave edilmiş ve 85°C 'ye ayarlı sıcak su banyosunda 3 saat süreyle tekrar ısıtılmıştır. Soğuduktan sonra üzerlerine 5'er ml 3.2 M amonyum asetat eklenmiş ve saf suyla 20 ml'ye seyreltilerek, 30

dakika çalkalandıktan sonra santrifüjlenerek, berrak kısım Whatman 42 süzgeç kâğıdından süzölmüş ve için hazır hale getirilmiştir.

Residüyal bor (RE-B) fraksiyonunun belirlenmesi için, bir önceki fraksiyondan kalan toprak örnekleri teflon beherlere alınmış ve Shuman (1985), tarafından bildirildiği şekilde, üzerlerine 1:4:5 oranında hazırlanan $\text{HNO}_3+\text{HF}+\text{HCl}$ çözeltisinden 5'er ml ilave edilmiştir. 140°C 'ye ayarlı hotplate üzerinde, hacimler 1-2 ml kalıncaya kadar ısıtılmış ve 5'er ml daha aynı ekstraksiyon çözeltisinden ilave edilerek işlem tekrarlanmıştır. Daha sonra üzerlerine 10'er ml AlCl_3

eklenerek 60°C'ye ayarlı su banyosunda 5 dakika ısıtılmıştır. Soğumaya bırakılan süspansiyonlar Whatman 42 süzgeç kâğıdından süzülerek 50 ml'lik polietilen balonjölere alınmış, hacimler 50 ml'ye tamamlanmış ve belirlemeye hazır hale getirilmiştir. Elde edilen ekstraktlardaki bor içeriği (Analitik Jena marka) grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (AAS) belirlenmiştir.

Yine, beş farklı bor fraksiyonunun toplamı ise toplam bor (TO-B) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, toprak özellikleri ile bor fraksiyonları arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizleri yapılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Topraklara ait bütün parametrelerin tanımlayıcı istatistik analizleri (ortalama, en düşük ve en yüksek değerler, standart hata, varyasyon katsayısı vb.) yapılmıştır. Ayrıca, toprakların bor fraksiyonları ile özellikleri arasındaki ilişki parametrik pearson yöntemi ile iki yönlü korelasyon analizleri ile elde edilen r^2 ve p değerlerine göre belirlenmiştir. Tüm istatistik analizler için Windows uyumlu SPSS 19 istatistik paket programı kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Toprakların Genel Özellikleri

Araştırma bölgesi toprakların temel özelliklerine ait analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda toprakların pH değerleri 7.71 (15

nolu örnek) ile 8.80 (17 nolu örnek) arasında belirlenmiş olup, toprakların % 94.7'si Anonim (2006)'ya göre hafif bazik topraklar sınıfında bulunmaktadır. EC değerleri 194 (11 nolu örnek) – 1580 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (16 nolu örnek) arasında değişmiştir. Toprakların kireç içerikleri % 4.90 (1 nolu örnek) ile % 26.05 (12 nolu örnek), arasında değişmekte olup, Anonim (2006)'ya göre % 63.2'si çok kireçli, % 31.6'sı ise orta kireçli topraklar sınıfında yer almaktadırlar. Toprakların kum içerikleri % 4.06 (4 nolu örnek)– 64.76 (1 nolu örnek), silt içerikleri % 11.97 (1 nolu örnek) ile % 47.98 (11 nolu örnek), kil içerikleri ise % 23.27 (1 nolu örnek) ile % 72.18 (6 nolu örnek) arasında değişmiştir. Yine araştırma konusu toprakların organik madde içerikleri % 1.44 (12 nolu örnek) ile % 5.87 (15 nolu örnek) arasında değişmiş olup, Anonim (2006)'ya göre sadece % 5'i yüksek sınıfta, diğer topraklar ise orta ve az sınıflarında yer almıştır.

Parametreler arasında en düşük varyasyon katsayısı (VK) pH değerlerinde (%3.2) olup, bunu silt (% 25.3) ve kil (% 25.4) değerleri izlemiştir. En yüksek varyasyon katsayısı ise EC (% 65.6) ve kum (% 62.2) değerlerinde belirlenmiştir (Çizelge 2). Genellikle VK değerleri % 10'dan düşük ise değişkenlikleri düşük, %10-100 arasında ise orta, % 100'den büyük ise yüksek olarak tanımlanmaktadır (Zhou ve ark. 2011). Buna göre, pH değerleri düşük, diğer parametreler ise orta düzeyde değişkenliğe sahiptir. Düşük varyasyon katsayısı (VK) değerleri toprak parametrelerinin homojen dağıldığını belirtirken, orta VK değerleri ise bu parametrelerin biraz daha heterojen dağıldığını göstermektedir.

Çizelge 1. Araştırma alanı topraklarının temel özellikleri
Table 1. Main properties of the research area soils

	Kireç %	pH	Organik madde (%)	EC $\mu\text{S cm}^{-1}$	Kum %	Silt %	Kil %
En düşük	4.90	7.71	1.44	194	4.06	11.97	23.27
En yüksek	26.05	8.80	5.87	1580	64.76	47.98	72.18
Ortalama	15.67	8.14	2.44	598	21.78	32.61	45.60
SH	5.41	0.26	1.00	392.2	13.55	8.26	11.59
VK	34.5	3.2	41.0	65.6	62.2	25.3	25.4

SH: Standart hata, VK: Varyasyon katsayısı (%)

Toprakların Bor Fraksiyonları

Ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen bor fraksiyon içerikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Kolay Çözünabilir Bor (KÇ-B)

Kolay çözünabilir bor fraksiyonunun büyük bir kısmı toprak çözeltisinde bulunmakta, diğer bir kısmı ise toprak kolloidleri tarafından zayıf bir şekilde tutulmaktadır. Bu bor fraksiyonu aynı zamanda bitkiler tarafından kolaylıkla yararlanılabilen bor fraksiyonu olarak değerlendirilmektedir (Hou ve ark., 1994).

Kolay çözünabilir bor içeriği toplam bor içeriğinin % 3.72'sini oluşturmuştur. Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan bir çalışmada bu değer % 12.6, Uzun (2017) tarafından %

0.96, Gürel ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise ortalama % 0.45 olarak belirlenmiştir.

Topraklarda, çoğunlukla toprak çözeltisinde bulunan veya toprak kolloidleri tarafından zayıf olarak adsorbe edilen ve aynı zamanda bitkilerin çok kolay yararlanabildikleri bor fraksiyonu olan, kolay çözünabilir bor içeriği 0.74 (10 nolu örnek) ile 7.69 mg kg^{-1} (6 nolu örnek) arasında belirlenmiştir (Çizelge 3). Taban ve ark. (1997) tarafından Orta Anadolu Çeltik topraklarında yapılan bir çalışmada kolay çözünabilir (bitkiye yararlı) bor içeriklerinin 1.36-6.25 mg kg^{-1} , Harmankaya ve Gezgin (2005) tarafından Konya ovası topraklarında bu konuda yapılan bir çalışmada, kolay çözünabilir bor içeriklerinin 0.09 ile 31.33 mg kg^{-1} , Uzun (2017) tarafından Gaziantep topraklarında yapılan diğer bir çalışmada 0.17 ile 0.58 mg kg^{-1} , Gürel

ve ark. (2019) tarafından Bursa'da yapılan bir çalışmada ise 0.22-1.83 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Yine Demir ve Erdal (2016) tarafından Antalya'da domates sera topraklarında

yapılan diğer bir çalışmada; toprakların B konsantrasyonlarının 0.2 - 1.3 ppm aralığında değiştiği ve ortalama B konsantrasyonunun 0.6 ppm olarak hesaplandığı belirtilmiştir.

Çizelge 2. Toprakların bor fraksiyon içerikleri

Table 2. Boron fraction contents of soils

Örnek no	KÇ-B	SPA-B	OK-B	OB-B	RE-B	TO-B
			mg kg ⁻¹			
1	1.44	1.91	1.55	3.36	15.33	23.59
2	0.89	1.71	0.56	2.38	3.87	9.41
3	1.30	2.03	0.96	5.46	158.12	167.87
4	6.93	2.03	1.11	5.12	202.08	217.27
5	2.76	1.50	1.31	3.80	26.45	35.81
6	7.69	3.08	0.89	3.15	14.22	29.03
7	2.50	1.81	0.75	2.81	18.98	26.84
8	1.77	2.39	0.73	2.76	8.55	16.21
9	1.67	2.36	1.24	2.25	182.48	190.00
10	0.74	2.47	0.86	3.67	247.48	255.22
11	2.34	1.49	0.58	3.62	17.16	25.18
12	5.12	2.81	0.64	1.40	10.93	20.89
13	1.96	1.81	0.73	3.58	15.45	23.52
14	1.00	2.53	0.84	2.50	16.55	23.42
15	2.17	2.44	0.86	3.97	6.84	16.28
16	1.91	39.64	0.56	4.07	10.79	56.97
17	5.84	17.69	0.48	4.63	27.90	56.54
18	1.29	18.91	0.49	2.53	13.15	36.38
19	1.84	3.32	0.43	2.84	135.16	143.60
En düşük	0.74	1.49	0.43	1.40	3.87	9.41
En yüksek	7.69	39.64	1.55	5.46	247.48	255.22
Ortalama	2.69	5.89	0.82	3.36	59.55	72.32
SH	2.09	9.62	0.31	1.02	79.89	78.82
VK	77.7	163.3	37.80	30.4	134.2	108.2

SH: Standart hata, VK: Varyasyon katsayısı (%)

Spesifik Olarak Adsorbe Edilmiş Bor (SPA-B)

Spesifik olarak adsorbe edilmiş bor fraksiyonu kil yüzeylerinde spesifik olarak tutulmuş bor fraksiyonunu ifade etmektedir (Sidhu ve Kumar, 2018). Araştırma konusu toprakların spesifik olarak adsorbe edilmiş bor konsantrasyonlarının 1.49 (11 nolu örnek) - 39.64 mg kg⁻¹ (16 nolu örnek) arasında değiştiği ve ortalama değer 5.89 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Chaudhary ve Shukla (2004) tarafından yapılan bir çalışmada ortalama spesifik olarak adsorbe edilmiş bor konsantrasyonu ise 0.30 mg kg⁻¹, Padbhushan ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise 1.54 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında, 3,4,9,10 ve 19 nolu örneklerde toplam bor içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum büyük olasılıkla bu noktaların olduğu kısımlarda drenajın bozuk olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim drenajın yetersiz olduğu yerlerde bor içeriğinin yüksek olabileceği (Güneş ve ark., 2000) tarafından belirtilmiştir.

Çalışma konusu topraklarda spesifik olarak adsorbe edilmiş bor konsantrasyonunun toplam bor içeriğine oranı ise % 8.14 olarak belirlenmiştir. Saltalı ve Akın

(2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan çalışmada bu değer % 5.1, Harmankaya Gezgin (2005) tarafından Konya Ovası topraklarında ortalama % 8.10, Çolak ve ark. (2013) tarafından Karadeniz bölgesinde yapılan bir çalışmada ise bu değer bor yetersizliği olan topraklar için % 3.35, bor yetersizliği olmayan topraklar için ise % 3.70 olarak belirlenmiştir.

Oksitlere Bağlı Bor (OK-B)

Oksitlere bağlı bor fraksiyonu alüminyum (Al) ve demir (Fe) oksit ve hidroksitlerle ilişkilidir. Ayrıca, borun daha aza hareketli formu olup, bitkilere yararlı olmayan formda adsorbe edilmiştir (Tessier ve ark., 1979; Jin ve ark., 1988). Borun tutulmasında Al ve Fe mineralleri önemli rol oynamaktadır (Padbhushan ve Kumar, 2017). Araştırma konusu toprakların oksitlere bağlı bor içeriklerinin 0.43 (19 nolu örnek) - 1.55 mg kg⁻¹ (1 nolu örnek) arasında değiştiği ve ortalama değer 0.82 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Kumari ve ark. (2017) ise Hindistan'daki bazı tarım kültürü altında bulunan topraklarda bu değerleri 0.26 ile 1.67 mg kg⁻¹ arasında belirlemişlerdir.

Çizelge 3. Toprakların bor fraksiyonları ile bazı özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları
Table 3. Correlation coefficients between boron fractions and some properties of soils

	KÇ-B	SPA-B	OK-B	OB-B	RE-B	TO-B	Kireç	pH	EC	Kum	Silt	Kil
SPA-B	0.002											
OK-B	0.013	-0.399										
OB-B	0.199	0.165	0.184									
RE-B	-0.025	-0.214	0.258	0.330								
TO-B	-0.105	0.167	0.117	0.328	0.903**							
Kireç	0.344	0.060	-0.325	-0.195	-0.119	-0.144						
pH	0.165	0.078	-0.065	-0.006	0.042	-0.043	0.043					
EC	0.067	0.676**	-0.236	0.136	-0.155	0.096	0.318	-0.119				
Kum	-0.214	-0.178	0.385	0.101	0.062	-0.020	-0.403	0.083	-0.184			
Silt	-0.193	0.097	-0.445	0.013	0.086	0.092	0.499*	-0.046	0.167	-0.525*		
Kil	0.387	0.139	-0.133	-0.127	-0.134	-0.043	0.115	-0.064	0.096	-0.795**	-0.100	
OM	0.063	-0.175	0.236	0.352	-0.065	-0.132	-0.408	-0.564*	0.134	0.299	-0.288	-0.145

*: Korelasyon % 5 düzeyinde önemli, **: Korelasyon % 1 düzeyinde önemli

Oksitlere bağlı bor içeriklerinin toplam bor içeriğine oranı ise % 1.33 olarak hesaplanmıştır. Hou ve ark. (1994)'e göre bu bor fraksiyonu toplam fraksiyonunun % 3'ünden daha az bir kısmını oluşturmaktadır. Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan çalışmada bu değer % 11.81, Kumari ve ark. (2017) tarafından ise % 2.4 olarak saptanmıştır.

Organik Bileşiklere Bağlı Bor (OB-B)

Organik madde, borun adsorpsiyon ve desorpsiyonunda önemli rol oynamaktadır. Toprakta organik madde, mineral bileşenlerden daha fazla ve bitkilerin alamayacağı formda bor adsorbe etmektedir (Padbushan ve Kumar, 2017; Sidhu ve ark., 2018).

Toprakların organik bileşiklere bağlı bor içeriklerinin 0.43 (12 nolu örnek) – 5.46 mg kg⁻¹ (3 nolu örnek) arasında değiştiği ve ortalama değer 3.36 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Sidhu ve ark. (2018) tarafından kireçli topraklarda yapılan bir çalışmada organik bileşiklere bağlı bor içerikleri 1.15 ile 1.59 mgkg⁻¹ arasında değişmiştir. Yine Kumari ve ark. (2017) ise Hindistan'daki bazı tarım kültürü altında bulunan topraklarda bu değerleri 0.32 ile 2.34 mg kg⁻¹ arasında belirlemişlerdir.

Çalışma alanı topraklarının oksitlere bağlı bor içeriklerinin toplam bor içeriğine oranı ise % 4.65 olarak belirlenmiştir. Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan çalışmada ise bu değer % 3.23, Kumari ve ark. (2017) tarafından ise % 4.5 olarak saptanmıştır.

Resüdiyal Bor (RE-B)

Resüdiyal bor bitkiler tarafından alınmaz formda olan bor fraksiyonudur. Resüdiyal bor topraklarda

birincil ve ikincil minerallerin kristal yapısında bulunan bor olup, mineral tabakaları arasında sıkı bir şekilde tutulmaktadır. Bu nedenle de bitkiler tarafından alınmamaktadır. Topraklarda borun tutulmasını etkileyen ana faktörlerden biri tabakalı silikat kil mineralleridir. Genel olarak resüdiyal bor fraksiyonu toplam bor fraksiyonunun % 87.4 ile % 99.7'sini oluşturmaktadır (Goldberg, 1997; Padbushan ve Kumar, 2017). Raza ve ark. (2002) de toplam bor fraksiyonu içerisindeki en yüksek kısmının resüdiyal bor (% 97) olduğu belirlenmiştir.

Araştırma konusu toprakların resüdiyal bor içeriklerinin 3.87 (2 nolu örnek) – 247.48 mg kg⁻¹ (10 nolu örnek) arasında değiştiği ve ortalama değer 59.95 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Resüdiyal bor fraksiyonu, toplam bor fraksiyonunun en büyük kısmını oluşturmuştur. Birçok araştırmacı (Hou ve ark., 1994; Xu ve ark., 2001; Data ve ark., 2002; Raza ve ark., 2002) da bu konuda benzer sonuçlar elde etmiştir. Kumari ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada toprakların resüdiyal bor içerikleri 1.95 ile 25.7 mg kg⁻¹ arasında belirlenmiştir. Toprakların resüdiyal bor konsantrasyonları onların tane irilik dağılımlarına (bünyelerine) göre değişmektedir (Kumari ve ark., 2017)

Araştırma konusu topraklarda oksitlere bağlı bor içeriklerinin toplam bor içeriğine oranı ise % 82.34 olarak belirlenmiştir. Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan çalışmada ise bu değer % 67.28 olarak saptanmıştır.

Toplam Bor (TO-B)

Çalışma alanı toprakların toplam bor içerikleri 9.41 mg kg⁻¹ (2 nolu örnek) ile 255.22 mg kg⁻¹ (10 nolu örnek) arasında değişmiştir. Saltalı ve Akın (2011) tarafından Tokat Kazova topraklarında yapılan bir

çalışmada toplam bor içerikleri 6.68-50.32 mg kg⁻¹, Uzun (2017) tarafından Gaziantep ilinde antepfıstığı yetiştirilen topraklarda ise 20.81-46.28 mg kg⁻¹ arasında değişirken, Harmankaya ve Gezgin (2002) bu değerleri Konya Ovası topraklarında 41.4 ile 398.7 mg kg⁻¹ arasında belirlemiştir. Yine, Raza ve ark. (2002) tarafından Kanada'da yapılan bir çalışmada toprakların toplam bor konsantrasyonlarının 78.5-138.1 mg kg⁻¹, Datta ve ark. (2002) ise Hindistan'da yaptıkları çalışmada toplam bor içeriklerini 31-355 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirlemişlerdir. Toprakların toplam bor içerikleri arasındaki bu farklılık büyük olasılıkla toprakların ana materyal içeriklerinin ve bu ana materyallerin ayrışma derecelerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır. Çünkü toprakların toplam bor içerikleri anılan bu faktörlere göre değişmektedir (Padbhushan ve Kumar, 20017).

Araştırma konusu toprakların bor fraksiyonları arasında en yüksek içeriğe resüdiyal bor fraksiyonu sahiptir. Bunu sırasıyla spesifik olarak adsorbe olmuş bor, organik bileşiklere bağlı bor, kolay çözünebilir bor ve oksitlere bağlı bor izlemektedir. Kumari ve ark. (2017) topraklardaki toplam bor içerisindeki en yüksek oranı resüdiyal fraksiyonun oluşturduğunu ve bun sırasıyla organik bağlı bor, oksitlere bağlı bor, spesifik olarak adsorbe edilmiş bor ve kolay çözünebilir borun takip ettiğini belirlemişlerdir.

Bor Fraksiyonları ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Toprakların farklı bor fraksiyonları ile özellikleri arasındaki ilişkiler Çizelge 3'de verilmiştir. Toprakların EC değerleri ile spesifik adsorbe edilmiş bor (SPA-B) değerleri arasında istatistiksel açıdan %1 düzeyinde önemli pozitif ilişki saptanmıştır. Bu durum büyük olasılıkla, EC'si yüksek olan toprakların tuz içeriklerinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Zira tuzlu topraklarda bor içeriğinin yüksek olduğu bilinmektedir. Harmankaya ve Gezgin (2005) tarafından da bu konu ile ilgili benzer sonuçlar bulunmuştur.

Toprakların toplam bor içeriği ile resüdiyal bor içeriği içeriği arasında istatistiksel açıdan önemli ilişki belirlenmiştir (p>0.01). Saltalı ve Akın (2011) ve Kumari ve ark. (2017) de bu konuda benzer sonuçlar bulmuştur.

Toprakların kum içeriği ile silt ve kil içerikleri arasında 0.01 düzeyde önemli negatif ve kireç içeriği ile silt içeriği arasında 0.05 düzeyinde pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Yine toprakların organik madde içerikleri ile organik bileşiklere bağlı bor fraksiyonu arasında önemli bir pozitif ilişki (korelasyon katsayısı: 0.352) olmasına rağmen, bu ilişki istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalarda (Datta ve ark., 2002; Chaudhary ve

Shulka, 2004; Padbhushan ve Kumar, 2015; Kumari ve ark., 2017) toprakların organik bileşiklere bağlı bor fraksiyonu ile organik madde içeriği arasında istatistiksel açıdan önemli ilişkiler belirlenmiştir. Diğer yandan Rıza ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada ise bu değişkenler arasında önemli bir ilişki belirlenmemiştir. Yine bu çalışmada olduğu gibi, Mengel and Kirkby (2001) ve Harmankaya ve Gezgin (2002) tarafından yapılan çalışmalarda da torakların kum, silt, kil ve organik madde içerikleri ile yayayışlı bor içeriği arasında istatistiksel anlamda önemli bir ilişki bulunamamıştır.

SONUÇ

Çalışma alanındaki toprakların ortalama kireç içerikleri % 15.67 olup, orta kireçli sınıfta yer almıştır. Yine toprakların tuz içeriklerinin bir ölçüsü olan EC değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle topraklar tuzsuz sınıfa girmektedir. Toprakların ortalama pH değerleri 8.14 olup orta bazik reaksiyona sahiptirler. Toprakların organik madde içerikleri ise % 1.44 ile 5.87 arasında değişmekte olup, çoğunluğunda % 2'nin üzerindedir.

Araştırma alanı topraklarında ardışık olarak ekstrakte edilen bor fraksiyonlarından kolay çözünebilir bor (KÇ-B) toplam bor içeriğinin % 3.72'sini, spesifik olarak adsorbe olmuş bor (SPA-B) %8.14'ünü, oksitlere bağlı bor (OK-B) fraksiyonunun %1.33'ünü, organik bileşiklere bağlı bor (OB-B) 4.65'ini, resüdiyal bor (RE-B) ise % 82.34'ünü oluşturmuştur. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi; toprakların bor içeriklerinin en büyük kısmını resüdiyal bor oluşturmaktadır. Bunu sırasıyla spesifik olarak adsorbe olmuş bor, organik bileşiklere bağlı bor, kolay çözünebilir bor ve oksitlere bağlı bor izlemektedir.

Resüdiyal bor fraksiyonu toprakların toplam bor içeriğinin ortalama 82.34'ü gibi çok büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Ancak toprakların büyük bir çoğunluğunda bitkilerce alınabilir formlardaki bor içeriklerinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, toprakların bor fraksiyonlarının belirlenmesi ile tarım ve çevre açısından borun durumu, borun yönetimi ile bitki besleme açısından kullanıcılara ve araştırmacılara bor ile ilgili önemli veriler sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu makale; Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından 18.YL.065 nolu proje ile desteklenen, Tuğba AVCI'nın Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış

olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Adriano DC 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York, 73-79.
- Saltalı K, Akın A 2011. Tokat Kazova Topraklarında Borun Kimyasal Fraksiyonları ve Bu Fraksiyonlar ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler. Ege Üni. Zir. Fak. Dergisi. Özel Sayı: 379-385.
- Alkan, A 1994 Orta Anadolu ve GAP Bölgelerinde Yetiştirilen Değişik Arpa ve Buğday Genotiplerinin Bor Beslenme Statüsünün Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 127 sayfa.
- Allison LE, Moode CD 1965. Carbonate.(ed: C.A. Black) Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomyseries. No. 9, ASA. 1379-1396, Wisconsin.
- Anonim, 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Genel Yayın No: 231, Teknik Yayınlar No: T.69. Ankara. 424 sy.
- Anonim 2021. Hatay İli İklim Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=> (Alınma tarihi 15.05.2021).
- Arora S, Chahal DS 2014. Forms of Boron in Alkaline Alluvial Soils in Relation to Soil Properties and Their Contribution to Available and Total Boron Pool. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45: 2247-2257.
- Chaudhary DR, Shukla LM 2004. Boron Forms and Their Relationships with Characteristics of Arid Soils of Western Rajasthan. Journal of the Indian Society of Soil Science 52 (29): 197-199.
- Datta SP, Rattan RK, Suribabu K, Data SC 2002. Fractionation and Colorimetric Determination of Boron in Soils. J. Plant Nutr. Soil Science 165: 179-184.
- Demir G, Erdal İ 2016. Antalya Yöresinde Domates Yetiştirilen Seralarda Bor Düzeylerinin Bazı Toprak, Yaprak ve Meyve Analiz Sonuçlarıyla Değerlendirilmesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 4(2): 42-48.
- Güneş A, Alpaslan, İnal A 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1514, 461-487 s, Ankara.
- Goldberg S 1997. Reaction of Boron with Soils. Plant and Soil 193: 35-48.
- Gupta UC 1968. Relationship of Total and Hot-Water Soluble Boron, and Fixation of Added Boron, to Properties of Podzol Soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 45-48.
- Gürel S, Başar H, Keskin E, Dirim MS 2019. The Determination of Soil Boron Fractions, Their Relationships to Soil Properties and The Availability to Olive (*Olea europea* L.) Trees. Communications in Soil Science and Plant Analysis 50 (8): 1044-1062.
- Harmankaya M, Gezgin S 2005. Konya Ovası Topraklarında Bor Fraksiyonlarının Belirlenmesi. S.Ü. Ziraat Fak. Dergisi 19 (36): 93-105.
- Hou J, Evans LJ, Spiers GA 1994. Boron Fractionation in Soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 25: 1841-1853.
- Jin JY, Martens DC, Zelazny LW 1988. Plant Availability of Applied and Native Boron in Soils with Diverse Properties. Plant and Soil. 105: 127-132.
- Kacar B. Katkat AV 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, 595 sy.
- Keren R Gast RG 1983. pH Dependent Boron Adsorption by Monmorillonite Hydroxy-Aluminum Complexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1116-1120.
- Kumari K, Nazir G, Singh A, Kumar P 2017. Studies on Boron Fracitons with Different Physico-Chemical Propertes of Cultivated Soils of Himachal Pradeesh. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6(6): 15477-1555.
- Lucho-Constantino CA, Prieto-Garcia F, Del Razo LM, Rodriguez-Vazquez R, Poggi-Varaldo HM 2005. Chemical Fractionation of Boron and Heavy Metals in Soils Irrigated with Wastewater in Central Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 108: 57-71
- Marschner H 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London. G.B.
- Mengel K, Kirkby EA 2001. Boron. In: Principles of Plant Nutrition. 5th Edition, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/ London, Netherlands 621-638 sy.
- Padbhushan R, Kumar D 2015. Soil Boron Fractions and Response of Green Gram in Calcareous Soils. Journal of Plant Nutrition 38: 1143-1157.
- Padbhushan R, Kumar D, 2017. Fractions of Soil Boron: A Revive. Journal of Agricultural Science 155: 1023-1032.
- Padbhushan R, Mandal J, Kumar S, Kumar A 2019. Chemical Fractions and Response of Cauliflower (*Brassica Oleracea* Var. *Botrytis*) to Soil Applied Boron. Journal of Plant Nutrition. 42 (5): 491-500.
- Raza M, Mermut AR, Schoenau JJ, Malhi SS 2002. Boron Fractions in Some Saskatchewan Soils. Can. J. Soil Sci. 82: 173-179.
- Richards LA 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils. US Dep Agri. Handbook 60:147.
- Saltalı K, Bilgili AV. Durak A 2005. Boron Adsorption in Soils with Different Characteristics. Journal of Asian Chemistry 17 (4): 2487-2494.

- Schlichting M, Blume E 1966. *Bodenkundliches Prakticum*. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin.
- Shuman LM 1986. Fractionation Method for Microelements. *Soil Sci.* 140: 11-22.
- Sidhu GS, Kumar D 2018. Influence of Soil Boron on Yield of Berseem (*Trifolium alexandrium* L.) and Soil Boron Fractions in Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition* 41 (8): 980-995.
- Taban S, Alpaslan M, Hashemi A, Eken D 1997. Orta Anadolu'da Çeltik Tarımı Yapılan Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi* 3(3): 457-466.
- Tessier A, Campbell PGC, Bisson M 1979. Sequential Extraction Procedure for The Speciation of Particulate Trace Metals. *Anal. Chem.* 51: 844-851.
- Tsadilas CD, Yassoglou N, Kosma, CS, Kallianou CH 1994. The Availability of Soil Boron Fractions to Olive Trees and Barley and Their Relationships to Soil Properties. *Plant and Soil* 162: 211-217.
- Uzun E 2017. Gaziantep İlinde Antepfıstığı Yetiştirilen Alanlardan Alınan Topraklarda Borun Kimyasal Fraksiyonlarının Belirlenmesi. *KSÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 24 sayfa.
- Wójcik P 2000. Availability of Soil Boron Fractions to M.26 Apple Rootstock. *Journal of Plant Nutrition* 23 (7): 1025-1035.
- Xu JM, Wang K, Bell RW, Yang YA, Huang LB 2001. Soil Boron Fractions and Their Relationship to Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 133-138.