

Araştırma Makalesi

Bazik Topraklarda Yetiştirilen *Alyssum murale* ile Bor Akümülyasyonu

Nevin KONAKCI *  Ahmet ŞAŞMAZ 

Gönderim: 26.04.2024
Kabul: 14.06.2024

Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye;
nevinozturk@firat.edu.tr; asasmaz@gmail.com
*Sorumlu yazar

Özet: Çalışma alanı olarak Elazığ ili Alacakaya ilçesi çevresi seçilmiş ve bu alandan doğal olarak yetişen *Alyssum murale* türlerine ait örnekler toplanmıştır. Bu çalışmanın amacı, düşük konsantrasyonlarda bor içeren bazik topraklarda (serpantinli topraklar) yetişen *Alyssum murale* bitkisi kullanılarak, topraktan bor giderimi ve bu bitkinin kök ve dalında bor birikim kapasitelerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda serpantinli topraklar üzerinde yetişen 12 adet *Alyssum murale* bitkisi toprağı, kök ve dalı ile birlikte toplanarak, bor için kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizler ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)' de gerçekleştirilmiştir. Ortalama olarak, toprakta 6.5 ppm, kökte 24.4 ppm ve dalda ise 76.4 ppm bor değerleri saptanmıştır. Bu bitkinin toprak, kök ve dallarındaki bor zenginleşme değerleri (ECR, ECS ve TLF) oldukça yüksek çıkmıştır. Bu da *Alyssum murale* bitkisinin topraktan hem köke, hem de dala önemli oranda bor akümülyasyonu gerçekleştirdiğini işaret etmektedir. Sonuç olarak, *Alyssum murale*, bor bakımından fakir topraklarda yüksek oranda bor akümüle etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Bu da özellikle bor ile kirlenmiş topraklardan borun temizlenmesi ve rehabilite edilmesi için iyi bir akümülatör bitki olduğunu, dolayısıyla da fitoremediasyon çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilceğı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bor; Alacakaya; akümülyasyon; fitoremediasyon

Boron Accumulations by *Alyssum Murale* which Grows in Basic Soils

Abstract: The area around Alacakaya district of Elazığ province was chosen as the study area, and samples of naturally growing *Alyssum murale* species were collected from this area. The aim of this study is to investigate boron removal from soil and boron accumulation capacities in the roots and shoots of this plant by using the *Alyssum murale* plant, which grows in basic soils (serpentine soils) containing low concentrations of boron. In this context, the soil, roots and shoots of 12 *Alyssum murale* plants growing on serpentine soils were collected and

chemically analyzed for boron. Chemical analyzes were carried out in ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry). On average, boron values were determined as 6.5 ppm in the soil, 24.4 ppm in the roots and 76.4 ppm in the shoots. Boron enrichment values (ECR, ECS and TLF) in the soil, roots and shoots of this plant were quite high. This also indicates that the *Alyssum murale* plant accumulates a significant amount of boron from the soil to both roots and shoots. As a result, *Alyssum murale* showed that it has the ability to accumulate high amounts of boron in boron-poor soils. These results indicated that *A. murale* is a good accumulator plant, especially for cleaning and rehabilitating boron from boron-contaminated soils, and therefore can be easily used in phytoremediation studies.

Keywords: Boron; Alacakaya; accumulation; phytoremediation

1. Giriş

Bor, periyodik tablonun 13. grubunda bulunan bir metaloiddir ve hem litosferde hem de hidrosferde geniş ölçüde dağılmıştır. Bor, doğal olarak kayalarda, toprakta ve suda bulunmasına rağmen, oksijen, nitrojen, hidrojen ve karbon gibi diğer elementlerle karşılaştırıldığında ortamdaki bolluğu düşüktür [1]. Bor hem doğal hem de antropojenik faaliyetler yoluyla çevreye salınmaktadır. Doğal faaliyetler kayaların aşınmasından kaynaklanan emisyonları içerirken, antropojenik faaliyetler endüstrilerden kaynaklanan emisyonları içerir [2]. Tarımda herbisit ve gübrelerin aşırı kullanımı, cam imalatı, plastiklerin yanıcılığını azaltan katkı maddeleri ve selüloz izolasyonları, madencilik ve işleme faaliyetleri, yüksek enerjili yakıtların üretilmesi, borik asit ve diğer bor tuzları çevreye salınmaktadır [3]. Toksik kirleticilerin uzaklaştırılması, insan sağlığına ve çevreye yönelik tehdidin en aza indirilmesi açısından son derece önemlidir [4].

Doğal olarak oluşan bor (B), borat, borik asit veya borosilikat minerali olarak bulunur ve nispeten daha az miktarlarda yaygın olup [5], yaklaşık 80 mineralde bulunmaktadır [6]. Bor bitkilerce borik asit (H_3BO_3) ve borat $B(OH)_4^-$ şeklinde alınmaktadır [7]. Toprakta öncelikle demir, magnezyum, sodyum, kalsiyum, alüminyum ve lityumun değişken konsantrasyonlarını kapsayan borosilikat mineraleri formunda bulunur [8]. Yerkabuğunda yaklaşık 10 ppm, kayaç ve topraklarda 10 ppm' in altında bulunurken, şeyllerde ve az sayıda toprakta 100 ppm 'in üzerinde değerlere rastlanmaktadır [9-10].

Bor, yerkabuğunda esas olarak silikat minerallerinde yaklaşık 10 ppm konsantrasyonunda bulunur ve magmatik, metamorfik ve tortul kayalarda borosilikat olarak bulunabilir. Dünya çapında bor zengini yataklar Kaliforniya, Avustralya, Çin, Rusya ve Arjantin'de bulunmaktadır; ancak Türkiye, küresel bor rezervinin neredeyse %73' ü ilk sırada yer almaktadır [11]. Birçok ülkede toprakta borun bulunmaması bitkilerde eksiklik sorunlarına neden olmaktadır [12]. Ancak Türkiye'de yüksek seviyeler daha çok toksisiteyle sonuçlanmaktadır [13].

Bor seviyesini etkileyen unsurlar toprağın pH'ı, dokusu, sıcaklığı ve yönetim uygulamalarıdır. Bununla birlikte, son birkaç on yılda, endüstriyel ve kentsel arıtma tesislerinden gelen su, yüzey madenciliği ve tuzdan arındırma tesislerinden gelen atıklar, kanalizasyon çamuruyla kirlenmiş su,

uçucu kül endüstriyel kimyasallar gibi çeşitli kaynaklardan gelen yüksek bor konsantrasyonu içeren sulama suyunun uygulanması nedeniyle ve belediye kompostları toprağın bor seviyelerini olağanüstü derecede hafifleterek onları özellikle kurak bölgelerde tarımsal amaçlar için uygunsuz hale getirmiştir [3, 14-17].

Bor toksisitesi hem ürün verimini hem de kalitesini etkileyen önemli bir hastalıktır. Bor toksisitesinin tipik gözle görülür belirtisi, yapraklarda renk değişikliğinin yanı sıra bitki gücünün azalması, bitki gelişiminin gecikmesi, meyvelerin sayısının, boyutunun ve ağırlığının azalmasıdır [11,18]

Bor tüm bitkiler için gerekli olup, ametal olan tek bitki besin maddesidir. Ancak doğal ve tarımsal ortamlarda bulunabilen konsantrasyonlarda birçok bitki için toksik hale gelir [19]. Bor, toprak çözeltisinde aşırı konsantrasyonlarda bulunulduğunda bitkiler için toksik olabilir [20]. Bor, bitkilerin gelişimi ve iyi ürün verebilmesi için gerekli olup, gerekli tüm elementler arasında toksik miktarı ile noksanlık miktarı çok yakın olan tek elementtir [21-22]. Tarım topraklarındaki bor konsantrasyonunun 0.5-5 ppm arasında olması gerekmektedir. Bor bitkiler için gerekli olup, fazla olması durumunda bitkiler için son derece zararlıdır [23]. Bor toprakta ve sulama sularında oldukça düşük derişimlerde bulunur. Ancak toprakta tutulma ve yıkanmasının güçlüğü nedeniyle toprakta hızla birikir ve tarımsal ürünlerin yetişmesini engeller. Yetişkin sağlıklı insanlarda bor seviyesi 15-80 ppb arasında değişmekte olup, 5-45 ppm arasındaki dozlar öldürücü olarak kabul edilmektedir [23, 24].

Boron bitkiler için önemi büyüktür, ancak ihtiyaç duyulan miktar çok azdır. Bitkiler genel olarak topraktaki borun % 5' inden azını kullanırlar [25]. Bitkilerin büyümesi için gerekli olan bor miktarı 0,5 ile 2,0 ppm arasında değişmektedir. Bor oranının 2,0 ppm'in üzerinde olduğu topraklarda bor kirliliği meydana gelir ve buna bağlı olarak üretimde azalma ve ürünlerde bozukluklar görülür [26, 27].

Toksik veya yetersiz bor düzeyinin türden türe ve genetik çeşitliliğe bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bununla birlikte, toksisitenin mekanizması, borun bitkiler için neden toksik olduğu veya toleranslı bitkilerin toksisiteden nasıl kaçındığı hala net bir şekilde anlaşılammıştır. Bor toksisitesi belirtileri, en yaşlı yapraklarda koyu kahverengi lekeler ve klorotik uçlar ve kenarlar şeklinde nekrotik lezyonlar şeklinde ortaya çıkar ve bitki gücünde ve gelişiminde azalmaya neden olur [28].

Mikro elementlerin hem eksiklikleri hem de toksisiteyi bitki büyümesini baskılayabilir. Hem temel mikro besinler (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo ve B) hem de temel olmayan metaller (mikro besin analogları, örneğin Cd, Pb, Hg ve Cr) artan biyolojik kullanılabilirlik seviyelerinde mevcut olduklarında toksiktir [29]. Bor, birçok kayaçta ve toprakta toplam 5-50 ppm konsantrasyonda bulunur ve normal olarak bitki yaprak dokusunda 10-50 ppm arasındadır. Bununla birlikte, buğday gibi önemli tahıllar da dahil olmak üzere pek çok tür, dokularındaki yüksek bora oldukça duyarlıdır ve yaklaşık 50 ppm doku seviyelerinde ciddi toksisite belirtileri gösterir [30].

B, Cu, Zn gibi elementlerin tarımsal alanlarda fitotoksik düzeylerde birikmeleri ile tarımsal faaliyetlerde büyük kayıplar oluşmaktadır. Hasatı yapılan bitkilerin besin zinciri yoluyla insan sağlığına olumsuz etkiler söz konusu olabileceğinden, bu kirliliğin uygun teknolojilerle temizlenmesi çalışmaları sürdürülmektedir [31].

Yeryüzündeki topraklarda daha çok bor eksikliği görüldüğü için bor eksikliği konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Aslında dünyanın en zengin bor yataklarına sahip olan ülkemiz topraklarında, bor fazlalığı ve yetişen bitkilerde bundan kaynaklanan bor toksitesi görülmektedir [24]. Bor mineralinin endüstride (tekstil, fiberglass, cam, deterjan, orman ürünleri, ilaç sanayi, kozmetik vb.) yoğun olarak

kullanımı ve kaplıca sularının akarsu ve rezervuarlara karışması bor elementinin çevre kirliliğine olan etkisini artırmaktadır [24]. Tarım topraklarındaki bor konsantrasyonu 0.5-5 ppm arasında olmalıdır [32, 33].

Araziden sistematik olarak toplanan bitki örneklerinin değişik organlarında kimyasal analizler yapılarak cevher aranmasına biyojeokimyasal prospeksiyon denilmektedir [34-38]. Maden yataklarının bulunduğu alanlarda birçok bitki türü yetişmesine rağmen, yetiştiği toprağın kimyasal özelliklerini yüksek oranda yansıtan bitki türleri biyojeokimyasal prospeksiyonda kullanılır. Bu bitkilere belirleyici (indikatör) bitki denilmektedir [36-39]. Fitoremediasyon ise kirlenmiş alanlardan ağır metallere uzaklaştırılması için hiperakümülatör bitkilerin kullanıldığı bir iyileştirme yöntemidir [29, 40].

Ağır metal kirliliği, insan sağlığını olumsuz etkileyen ve tarımsal verimde kayıplara neden olan önemli çevresel tehlikelerden biridir. Bor (B), çinko (Zn), kurşun (Pb), kadmiyumun (Cd) neden olduğu ağır metal kirliliği, karşı karşıya olduğumuz en önemli küresel çevre sorunlarından biridir. Topraklarda oluşan ağır metal kirliliğinde serpantinler yüksek oranda dikkat çekmiştir. Serpantin üzerinde yetişen bitkilerin toprakta bulunan metalleri yüksek oranda biriktirebilme özelliği üzerinde birçok çalışma yapılmıştır [41-52]. Serpantinli topraklar üzerinde yaşayan bitkiler, topraktaki olumsuz fiziksel ve kimyasal faktörlere ve yüksek konsantrasyondaki ağır metallere uyum sağlamalıdır. Hiperakümülatör, bitkilerin serpantinli topraklarda yaşamlarını sürdürebilmesinin bir diğer sebebidir. *Alyssum*'un Türkiye' de 48 farklı çeşidi vardır ve bunların 27 tanesi Türkiye' de olup, serpantin endemiği olarak bilinir [53-55].

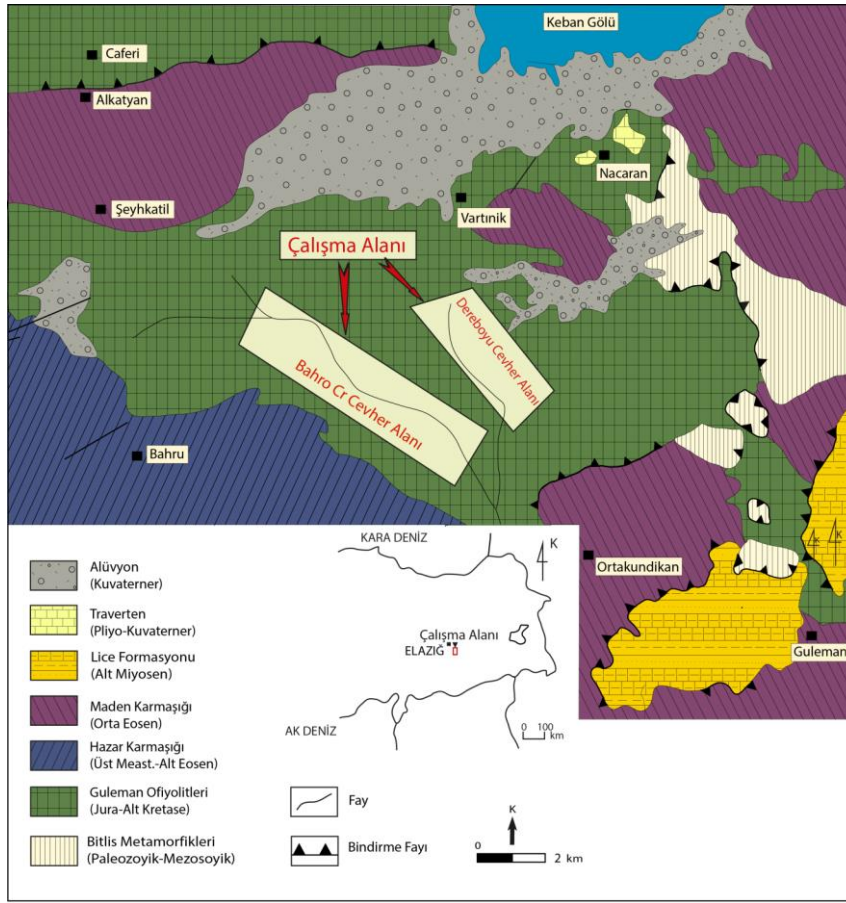
Bitkileri kullanarak kirleticileri çevreden uzaklaştırmak için geliştirilen bir yöntem olan fitoremediasyonun, toksik iz elementlerle kirlenen suyun iyileştirilmesi için umut verici, uygun maliyetli, çevre dostu bir teknoloji olduğu gösterilmiştir [56]. Bitkiler içerisinde bora dayanıklı bitkilerden yapılan çalışmalarda fitoremediasyon yöntemi ile giderimin büyük ölçüde sağlandığı görülmüştür [57].

Zn, Mn, Cu, Co, Pb, Al ve Ni içeren metali toprakların fitoremediasyonunda kullanılacak bitki türlerini tanımlayan birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, bor ile ilgili pek fazla çalışma yoktur. Bitkilerde bor birikimi hakkında fazla bilgi bulunmamaktadır. Alacakaya bölgesinde doğal olarak yetişen ve yaygın türlerden birisi olan *Alyssum murale*' nin bor akümülatasyonu üzerine de herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Alacakaya bölgesinden toplanan *Alyssum murale* türlerinin bor konsantrasyonlarını inceleyerek hiperakümülatör özelliklerini belirlemektir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışma, Türkiye Elazığ'da, 1936 yılından bu yana madencilik faaliyetlerinin uygulandığı Alacakaya maden sahasının Kef bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı, Elazığ ilinin yaklaşık 80 km güneydoğusunda ve Alacakaya ilçesi sınırları içerisinde bulunmakta olup, Türkiye'nin en önemli krom yataklarının bulunduğu Alacakaya bölgesinde yer alır Alacakaya bölgesinde birçok kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Paleozoyik yaşlı Bitlis Metamorfitleri, Üst Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti, Üst Meastrihtiyen-Orta Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ve Miyosen yaşlı Lice Formasyonundan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası [58].

2.2. Toprak ve Bitki Örnekleri

Toprak ve bitki örnekleri cevher alanındaki 12 farklı lokasyondan toplanmıştır. Halk dilinde seki kuduzotu olarak bilinen *Alyssum murale*, Turpgiller (*Brassicaceae*) ailesinden bir tür olup, bilimsel olarak *Alyssum murale* şeklinde tanımlanır. Çok yıllık, sarıçiçekli, yaprakları basit ve düz kenarlı otsu bir bitkidir. 60 cm kadar boylanabilir. Gövde yaprakları yukarı çıktıkça azalır. Tüm gövde yıldızsı tüylerle kaplı olup, çiçeklenme nisan ve temmuz aylarında gerçekleşir [59]. Çalışma alanındaki topraklarda dominant bir tür olup yaygın olarak bölgede yetişen bu bitki, cevherli/cevhersiz alanlarda bitki kökü, dalı ve üzerinde yetiştiği topraklardan ayrı ayrı örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleri *Alyssum murale*' nin kök besleme yerlerinden 0,10 ile 0,40 m derinliklerden alınmıştır. Serpantinli topraklardan alınan *Alyssum murale* bitkisi, kök ve dallarına ayrılarak, önce musluk suyu ile daha sonra saf su ile yıkanmış, 24 saat 60 °C' de kurutulmuş bitki örnekleri etüvde 300 °C'de 24 saat süre ile alevsiz ortamda yakılarak kül haline getirilmiştir.

Laboratuvarda 0.10 gr kül ve toprak örneklerine 2 ml derişik HNO₃ ilave edilerek 1 saat süreyle 95 °C'de ısıtıcı üzerinde ısıtılarak kurutulmuştur. Kurutulmuş örneklere 2 ml HNO₃ ve HCl-HNO₃-H₂O (her biri asitten 1:1:1 alınarak hazırlanan 6 ml karışım ve 0.10 gr kül ve toprak örneği) karışımı ilave edilmiştir. Tüm toprak örnekleri karışım içerisinde çözüldükten sonra B element analizleri, ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometer)' de gerçekleştirilmiştir. Yine aynı şekilde topraklarda olduğu gibi, bitki kül örneklerinde de B analizleri ICP-MS ile yapılmıştır. Bu çalışmada

bitki ve topraktaki bor analizleri için ICP-MS (Perkin-Elmer ELAN 9000) teknolojisi kullanılmıştır. Tüm analizler Kanada ACME analiz laboratuvarında yapılmıştır.

2.3. Zenginleşme Katsayıları

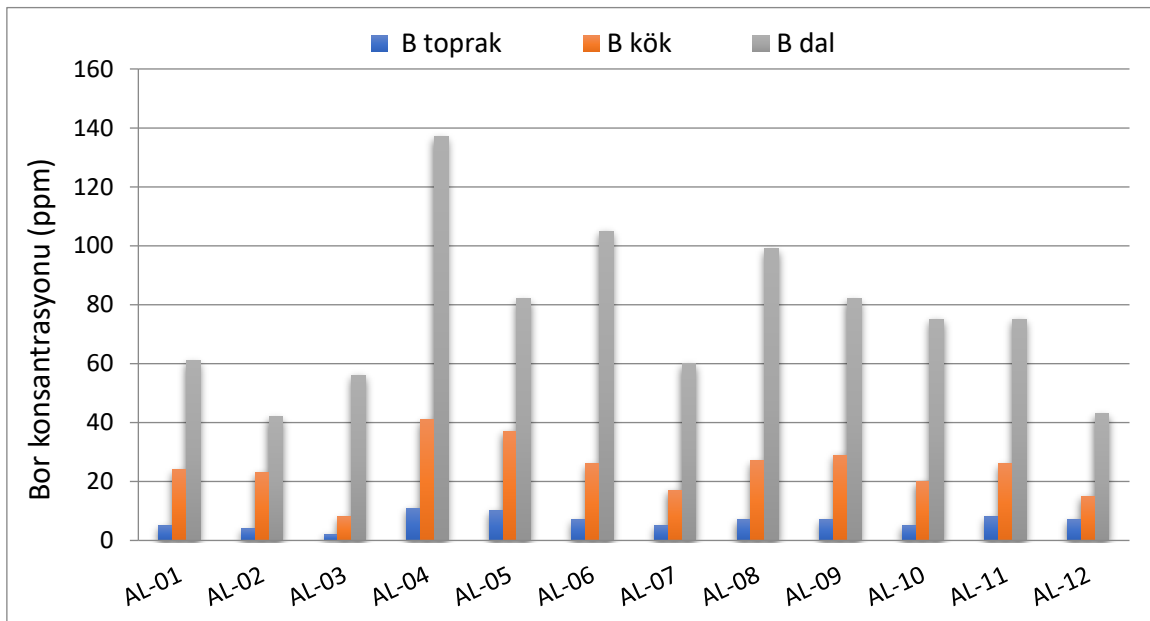
Alyssum murale' nin topraktan aldığı bor değerlerinin kök ve daldaki zenginleşme değerlerini ortaya koymak için ECR, dal ile toprak arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için ECS, kökten dala olan bor akümülyasyonlarını belirlemek için ise TLF değerleri hesaplanmıştır. Zenginleşme katsayıları (ECR), belirli bir türün bitkisel iyileştirme potansiyeli dikkate alındığında çok önemli faktörlerdir [60]. Kök için zenginleşme katsayıları, bitki kökleri ve topraktaki spesifik aktivitelerin oranları bitki kökünün ppm cinsinden konsantrasyonunun, toprağın ppm cinsinden konsantrasyonuna bölünmesiyle hesaplanarak bulunmuştur. Bu değer, eser elementlerin bitki kısımlarında birikmesi veya elementlerin topraktan bitki köküne aktarımı için bir indeks olarak kullanılır [61]. Sürgünler için zenginleştirme katsayıları (ECS), belirli bir türün fitoremediasyon derecesini gösterdiği için çok önemli bir faktördür (bitki dalının ppm konsantrasyonunun bitki kökünün ppm konsantrasyonuna bölümü) [60]. Translokasyon faktörleri (TLF), bitki dalındaki metalin, bitki köklerindeki oranının hesaplanmasıyla (bitki dalının ppm cinsinden konsantrasyonunun, kökün ppm cinsinden konsantrasyonuna bölünmesiyle) elde edilir [62]. Bu faktör kökten gövdeye metal transfer kapasitesini gösterir [62]. TLF metallerin kökten sürgüne aktarılma (birikme) yeteneğini gösterir ve fitoremediasyon çalışmaları için oldukça önemlidir. Hiperakümülatör bitkilerde zenginleşme katsayısı (ECR) ve translokasyon faktörleri (TLF) 1'den büyüktür, oysa translokasyon faktörleri ve zenginleşme katsayıları metal dışlayıcı türlerde tipik olarak 1'den düşüktür [62], 1'den yüksek translokasyon faktörleri, büyük olasılıkla verimli metal taşıma sistemlerine [60] ve metalin köklerden yapraklara taşınmasında çok etkili bir yeteneği olduğunu gösterir [63].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakta Bor

Serpantinli topraklar (bazik topraklar) pH 7.6-7.8; organik madde içeriği %8-12, ortalama %35 kum, %27 kil ve %23 siltten oluşan tınlı ve turbalı kilden oluşmakta olup, renkleri tipik olarak koyu kahverengiden açık griye kadar değişmektedir. Bor, topraklarda H_3BO_3 ve kısmen de $B(OH)_4^-$ olarak çözültide düzensiz dağılmış olarak, organik ve mineral fraksiyonlarda bulunur. Ana kayaca bağlı olarak topraktaki bor içeriği büyük bir değişim göstermektedir [64]. Alanların bitki çeşitliliği toprakların bor içeriğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bor konsantrasyonu düşük olan (0,1–2 ppm) topraklar zengin bir tür çeşitliliği (84 tür) gösterirken, daha yüksek bor konsantrasyonuna sahip topraklar (10 ppm) bitki örtüsü açısından fakirdir. Bor, toprak veya tortu tarafından adsorpsiyon yoluyla toprakta tutulabilir [27]. Toprakta bor tutulmasında önemli rol oynayan toprakların kil içeriği, organik madde içeriği ve pH'ı temel faktörlerdir [65-69]. Çalışma alanındaki toprakların ortalama bor içeriği 6.5 ppm olup, en yüksek 11 ppm, en düşük ise 2 ppm bor konsantrasyonları gözlenmiştir (Şekil 2). Benzer şekilde, Sasmaz [70] tarafından Keban maden sahasındaki 26 toprak örneğinde bor konsantrasyonu, 1.0 ila 16 ppm (ortalama: 4.97 ppm) olarak belirlenmiştir. Kabata-Pendias [71]' a göre, en yüksek toprak konsantrasyonları 10 ila 100 ppm kireçli topraklarda, 120 ila 130 ppm killi topraklarda gözlenmiştir. Saltalı vd. [72], farklı karakteristiklere sahip topraklarda bor adsorpsiyonuyla ilgili yaptıkları çalışmada,

topraklarda yarayırlı borun 0.05-1.60 ppm olduğunu, toprakların maksimum bor adsorpsiyon kapasitelerinin kil, kireç ve pH değerleri ile önemli pozitif ilişkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Lucio-Canstantino [73] tarafından Meksika'nın merkezinde yapılan çalışmalarda; topraklardaki borun kimyasal fraksiyonları belirlenmiştir. Tüm fraksiyonların toplamını temsil eden borun toplam konsantrasyonu 9.2-123.8 ppm arasında değiştiğini belirtmiştir. Ok ve Akay [68], Emet ve Hisarcık (Kütahya) Havzası'nda yapılan incelemeler sonucunda toprakların toplam bor içeriğinin 20-2000 ppm arasında, bitkilerin yararlanabileceği bor içeriğinin ise 0.01-744.4 ppm arasında olduğu tespit edilmiştir. Toplam bor içeriği açısından bu değerlerin bor madeni yakınında en yüksek olduğu ve toprağın maddeden uzaklığı arttıkça değerlerin azaldığı gözlenmiştir. Bu değerler tolere edilebilir sınır değerlerden oldukça yüksektir. Ok ve Akay [68], 10 bölgede farklı bitkilerde yapılan bor tespitleri sonucunda, toprağın, sedimentin ve atıkların toplam bor içeriğinin 20-2000 ppm arasında, bitki tarafından kullanılabilir bor içeriğinin ise 0.01-744.4 ppm arasında olduğu tespit edilmiştir. Raza vd. [69], Saskatchewan toprağında bor konsantrasyonunun 79 ppm ile 138 ppm, Armea, Alberta yakınındaki ince dokulu topraklarda ise 3-4 ppm bor olduğu rapor edilmiştir.



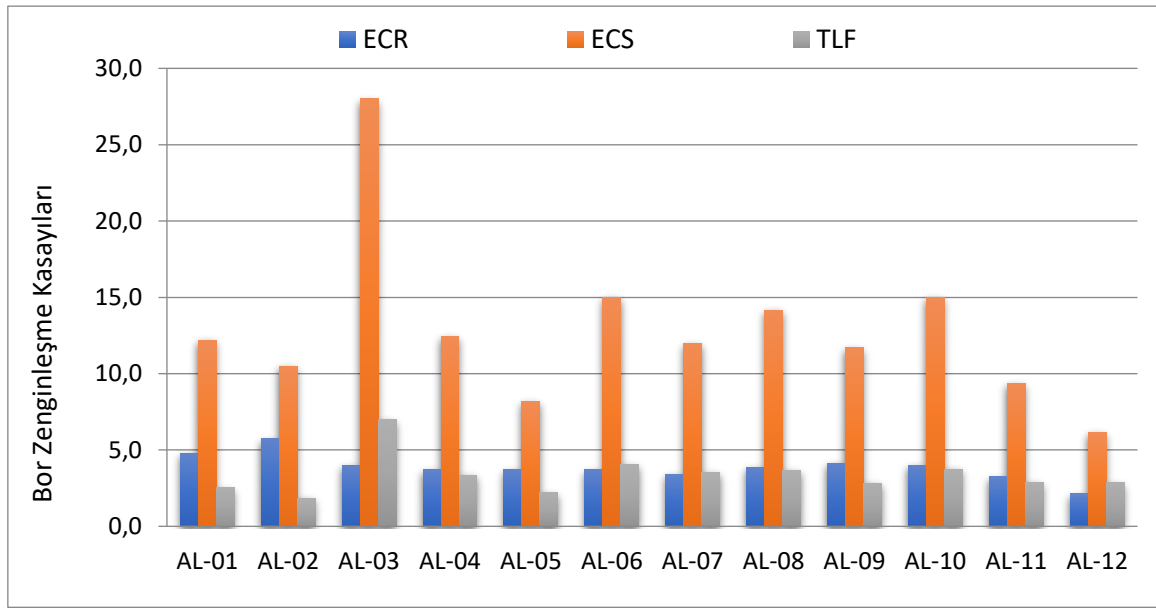
Şekil 2. Bazık topraklarda yetişmiş *Alyssum murale* bitkisinin toprak, kök ve dalındaki bor akümülasyon dağılımı.

3.2. *Alyssum murale*' de Bor

Alacakaya çevresindeki serpantinli toprakların yaygın olarak gözleendiği alanlardan 12 adet farklı lokasyonlardan *Alyssum murale* bitkisi toplanarak kök ve dal şeklinde bölümlere ayrılarak, bor için kimyasal analizleri yapılmıştır. Kök için yapılan kimyasal analizlerde en yüksek 41 ppm bor içeriğine sahip iken, en düşük ise 8 ppm olarak saptanmıştır. Kökteki ortalama bor konsantrasyonu ise 24.4 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 2). *Alyssum murale*'nin dallarında ise ortalama bor konsantrasyonu 76.42 ppm olarak gözlenirken, en yüksek 137 ppm, en düşük ise 42 ppm olarak gözlenmiştir (Şekil 2). *Alyssum murale*'nin topraktan aldığı bor değerlerinin kök ve daldaki zenginleşme değerlerini ortaya koy-

mak için ECR, dal ile toprak arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için ECS, kökten dala olan bor akümü- lasyonlarını belirlemek için ise TLF değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre *Alyssum murale*' nin bor için ortalama ECR değerleri 3.87 olarak bulunurken, ECS için 12.89, TLF için ise 3.04 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu değerlerde çalışılan bitkinin kök ve dalın topraktan yüksek oranda bor akümüle etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Kök ve dalın bor akümü- lasyon oranlarını karşılaştırdığımızda, dalın köke oranla çok daha fazla akümü- lasyon yeteneğine sahip olduğunu işa- ret etmektedir ki bu da, TLF değerlerinin yüksek olması bunun bir işareti olarak kabul edilebilir (Şekil 3). Marin vd. [19], Beer Sheva (İsrail)' de *L. gibba* bitkisindeki bor içeriğinin 930 ila 1900 ppm ara- sında değiştiğini ve *L. gibba*'nın iyi bir bor akümülatörü olduğunu belirtmiştir. Qian vd. [74], *Hippuris vulgaris*' in 1132 ppm bor konsantrasyonuyla 12 sulak alan bitkisi türü arasında en iyi bor akümülatörü olduğu bulmuştur. Turker vd. [75], dünyanın en büyük boraks madeninden (Kırka, Türkiye) çıkan bor madeni atıklarının saha koşullarında bor madeni atıklarını arıtmak için nasıl kullanılabileceği konusun- da önemli bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla, deneysel bir sulak alan kamış (*Phragmites australis*) ve sazlar (*Typha latifolia*) ile bitkilendirilmiş ve maden atık suları sulak alandan taşınmıştır. Bu çalışma- nın sonuçları, maden atıklarındaki bor konsantrasyonlarının ortalama 187 ppm'den 123 ppm 'e (%32 giderim oranı) düşüğünü göstermektedir.

Babaoğlu vd. [30], Eskişehir Kırka ilçesinde halen faaliyette bulunan bor madeni alanında *Gypsophila sphaerocephala* türünün toprak üstü aksamında oldukça yüksek konsantrasyonlarda (2093 ± 199 SD ppm, tohum; 3345 ± 341 SD ppm, yapraklar) bor içerdiği, köklerinde ise bor konsantrasyo- nu daha düşük (51 ± 11 SD ppm) bulunmuştur. *G. sphaerocephala*' nın yüksek bor toksite belirtileri- nin görüldüğü topraklarda yetiştirilmesiyle hiperakümü- lasyon yoluyla bitkisel madencilik yapılabile- ceği sonucuna varılmıştır. Sasmaz [70], Keban maden sahası yüzey topraklarındaki bor konsantrasyo- nunun 26 toprak örneğinde 1.0-16 ppm (ortalama: 4.97 ppm) arasında değiştiğini ve bu toprakların Kabata-Pendias [71] tarafından önerilen farklı ülkelerdeki yüzey topraklarından daha fazla olduğunu bildirmiştir. Sasmaz vd. [76], Maden Cu ve Keban Pb-Zn maden sahalarından bitki, toprak ve su ör- nekleri toplanmış olup, ortalama bor değerleri Keban maden topraklarında 16.9 ppm, Maden Cu ma- den topraklarında 16.1 ppm ve belediye atıksu topraklarında 12.2 ppm olarak tespit etmişlerdir. Gür vd. [77], *Lemna minör* ve *Lemna gibba* üzerinde 7 gün boyunca farklı bor konsantrasyonları (2 (kontrol), 4, 8, 16, 32, 64 ve 128 ppm) tespit etmiş ve *L. minör* ve *L. gibba*' nın daha az bor ile kirlenmiş atık suların temizlenmesi ve ıslah çalışmaları için önemli bitkiler olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3. Bazık topraklarda yetişmiş *Alyssum murale* bitkisinin ECR, ECS ve TLF zenginleşme değerleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada *Alyssum murale* bitkisinin bünyesinde bor biriktirebilme yetenekleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bitkilerin yetiştiği alandan alınan toprak numuneleri ile kök ve gövde kısımlarına ayrılan bu bitkiler üzerinde çalışılarak, bor elementinin konsantrasyonu incelenmiştir. Çalışma alanındaki topraklardaki ortalama bor konsantrasyonları düşük olmasına rağmen (ortalama: 6.5 ppm), *Alyssum murale* bitkisinin kök ve dalındaki bor konsantrasyonları, topraklarındaki bor konsantrasyonlarından birkaç kat daha yüksektir. Sonuç olarak *Alyssum murale* bitkisinin bor için akümülatör özellik gösterdiği, dolayısıyla da bor ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi ve temizlenmesi için fitoremediasyon çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi BAP Birimi tarafından FUBAP-MF.20.16 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı F.Ü. BAP çalışanlarına teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması

Yazarlar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını bildirir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- [1] Kot, F.S. (2009). Boron sources, speciation and its potential impact on health Rev. Environ. Sci. Biotechnol., 8 (1), 3-28.

- [2] Haghazari, H., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M., Aghayani, E. (2021). Spatial distribution and risk assessment of agricultural soil pollution by hazardous elements in a transboundary river basin. *Environ. Monit. Assess.*, 193 (4), 1-17.
- [3] Kumar, V., Pandita, S., Kaur, R., Kumar, A., Bhardwaj, R. (2022). Biogeochemical cycling, tolerance mechanism and phytoremediation strategies of boron in plants: a critical review. *Chemosphere*, 300.
- [4] Huang, H., Liu, J., Zhang, P., Zhang, D., Gao, F. (2017). Investigation on the simultaneous removal of fluoride, ammonia nitrogen and phosphate from semiconductor wastewater using chemical precipitation. *Chem. Eng. J.*, 307, 696–706.
- [5] Woods, G. (1994). An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. *Environ. Health Perspect.*, 102 (Suppl. 7), 5-11.
- [6] CCME (Canadian Council for Ministers of the Environment). (2009). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Boron Winnipeg, Manitoba.
- [7] Dordas, C., Chrispeels, M.J., Brown, P.H. (2000). Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. *Plant Physiol.*, 124, 1349-1361.
- [8] Bailey, D.G., Lupulescu, M.V., Darling, M.S., Singer, J.W., Chamberlain, S.C. (2019). A review of boron-bearing minerals (excluding tourmaline) in the Adirondack region of New York State. *Minerals*, 9 (10), 644.
- [9] WHO (World Health Organization), (1998a). Boron: 8.1.1. Short-Term Toxicity and Poisoning Incidents. Environmental Health Criteria 204: Geneva World Health Organization, Switzerland.
- [10] WHO (World Health Organization), (1998b). International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria, Boron, 204.
- [11] Princi, M.P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M.R. (2016). Boron Toxicity and Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives. *Plant Metal Interaction Elsevier*, Amsterdam, 115-147.
- [12] Shorrocks, V.M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil*, 193, 121–148.
- [13] Ataslar, E., Potoglu, I., Tokur, S. (1995). Eskisehir Hamidiye’de Yayılış Gösteren Bazı Bitkilerde Bor Değişimi. *I. Spil Fen Bilimleri Kongresi*, 4–5 Eylül, Celal Bayar Üniversitesi, Fen–Edebiyat Fakültesi, Manisa.
- [14] Archana, N.P., Verma, P. (2017). Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: a review. *J. Global Biosci.*, 6, 4958-4965.
- [15] Das, R., Mandal, B., Sarkar, D., Pradhan, A.K., Datta, A., Padhan, D., Narkhede, W.N. (2019). Boron availability in soils and its nutrition of crops under long-term fertility experiments in India. *Geoderma*, 351, 116-129.
- [16] Dar, A.A., Chen, J., Shad, A., X., Pan, Yao, J., Bin-Jumah, M., Wang, Z. (2020). A combined experimental and computational study on the oxidative degradation of bromophenols by Fe (VI) and the formation of self-coupling products. *Environ. Pollut.*, 258, 113678.

- [17] Dar, A.A., Pan, B., Qin, J., Zhu, Q., Lichtfouse, E., Usman, M., Wang, C. (2021). Sustainable ferrate oxidation: reaction chemistry, mechanisms and removal of pollutants in wastewater. *Environ. Pollut.*, 290, 117957.
- [18] Muntean, V., Mihailov, A., Lancu, C., Toganel, R., Fabian, O., Domsa, I., Muntean, M.V. (2009). Staging laparoscopy in gastric cancer. Accuracy and impact on therapy. *J Gastrointest Liver Dis.*, 18(2), 189–195.
- [19] Marín, C.M.D.C., Oron, G. (2007). Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: A potential method for the remediation of boron-polluted waters. *Water Res.*, 41, 4579–4584.
- [20] Yermiyahu, U., Keren, R., Chen, Y., (1995). Boron sorption by soil in the presence of organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 59, 405-409.
- [21] Çelik, H., Ağaoğlu, S. Y., Fidan, Y., Maraşlı, B., Söylemezoglu, G. (1998). Genel Bağcılık, Sunfidan A. Mesleki Kitaplar Serisi:1, Ankara,182-183.
- [22] Harite, Ü.İ. (2008); Pamukta bor toksitesine dayanıklılık. *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 74 s.
- [23] Uluisik, I., Karakaya, H.C., Koc, A. (2018). The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biolog.*, 45,156-162.
- [24] Özden, Y. (2008). Enne ve porsuk barajı sedimentine bağlı ağır metallerin cyprinus carpio' nun değişik dokularına biyoakümülyasyonunun araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya*.
- [25] Uygan, D., Çetin, Ö. (2004). Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu su toplama havzası. *In: II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye*, 527–540.
- [26] Taiz, L., Zeiger, E. (1991). Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City.
- [27] Ozturk, M., Sakcali, S., Guçel, S., Tombuloğlu, H. (2010). Boron and plants, in Plant Adaptation and Phytoremediation, eds. M. Ashraf, M. Ozturk and M.S.A. Ahmad (Berlin:Springer), 275-311.
- [28] Çıkıllı, Y., Samet, H. (2016). Response of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plant at early growth stage to mutual effects of boron and potassium. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, Tokat*, 33(2), 184-193.
- [29] Baker, A.J.M. & Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1, 81-126.
- [30] Babaoglu, M., Gezgin, S., Topal, A., Sade, B., Dural, H. (2004). *Gypsophila sphaerocephala* Fenzl ex Tchihat: A boron hyperaccumulator plant species that may phytoremediate soils with toxic B levels. *Turkish J. Bot.*, 28, 273–278.
- [31] Gezgin, S., Hamurcu, M., Dursun, N., Ayalsi, Y., Nalcioglu, C. (1999). Konya Ovasında Şeker Pancarının Gübrenmesi, Şeker Pancarı Tarım Tekniği. *I. Uluslararası Sempozyumu*, 5, 40 – 47.
- [32] Torun, A., Yılmaz, A., Kalaycı, M., Gültekin, İ., Torun, B., Eker, S., Çakmak, İ., (1999). Konya koşullarında yetiştirilen farklı buğday çeşitlerinin bor toksitesine duyarlılığının sera ve tarla

- koşullarında araştırılması. *Hububat Sempozyumu*, Altıncı oturum: Hububat Yetiştirme, 317-327, 8-11 Haziran, Konya.
- [33] Yorgancılar, M., & Babaoğlu, M. (2005). Buğday çeşitlerinde borun çimlenme üzerine etkisinin vitro ve saksı şartlarında araştırılması. *S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19, 109-114.
- [34] Sasmaz, A., Ozkan, S., Gursu, M.F., Sasmaz, M. (2017). The hematological and biochemical changes in rats exposed to britholite mineral. *Applied Radiation and Isotopes*, 129, 185-188.
- [35] Azizi, M.R., Abedini, A., Alipour, S., Niroomand, S., Sasmaz, A., Talaei, B. (2017). Rare earth element geochemistry and tetrad effect in fluorites: A case study from the QahrAbad deposit, Iran. *Neues Jahrb. Geol. Palaontol. Abh.*, 283, 255-273
- [36] Brooks, R.R., Dunn, C.E., Hall, G.E.M., (1995). Biological system in mineral exploration and processing. *Elles Horwood Limited*, 538 s.
- [37] Dunn, C., (2007). Biogeochemistry in mineralexploration. *Consulting Geochemist.*, 480 s.
- [38] Demir, E., & Özdemir, Z. (2013). Kazanlı- Mersin Bölgesinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb İçin Biyojeokimyasal Anomalilerin incelenmesi ve çevresel ortamın Yorumlanması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37 (4), 119-140.
- [39] Turan, H., Özdemir, Z., Zorlu, S. (2006). Çiftahan (Ulukışla-Niğde) Bölgesinin Cu, Zn, Fe, Mn, ve Ni için biyojeokimyasal anomalilerin araştırılması, *İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 19(2), 131-140.
- [40] Terzi, H. & Yıldız, M. (2013). Ağır metal toleransında kükürt metabolizmasının önemi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(2), 105-125.
- [41] Sasmaz, A. (2009) The distribution and accumulation of selenium in roots and shoots of plants naturally grown in the soils of Keban's Pb-Zn-F mining area, Turkey. *Int., J. Phytorem.*, 11 (4), 385-395.
- [42] Obek, E. & Sasmaz, A. (2011). Bioaccumulation of Aluminum by *Lemna gibba L.* from Secondary Treated Municipal Wastewater Effluents. *Bull. Env. Cont. Tox.*, 86, 217-220.
- [43] Reeves, R. D. (1992). Hyperaccumulation of nickel by serpentine plants. In *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*; Baker, A. J. M., Proctor, J., Reeves, R. D., Eds.; Intercept Ltd.: Andover, 253-277.
- [44] Reeves, R.D., Baker, A.J.M., Borhidi, A., Berazain, R. (1996). Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba. *New Phytol.*, 133(2), 217-224.
- [45] Reeves, R.D., Baker, A.J.M., Borhidi A., Berazan, R. (1999). Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Ann. Bot.*, 83, 29-38.
- [46] Rajakaruna, N., Baker, A.J.M. (2004). Serpentine: a model habitat for botanical research in Sri Lanka Ceylon. *J. Sci.*, 32, 1-19.
- [47] Avcı, M. (2005). Diversity and endemism in Turkey's vegetation. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13, 27-55.
- [48] Kurt, L., Ozbey, B.G., Kurt, F., Ozdeniz, E., Bolukbaşı, A. (2013). Serpentine Flora of Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 6(1), 134-152.

- [49] Rajakaruna, N., Boyd, R.S. (2014). Serpentine soils. D. Gibson (Ed.), Oxford Bibliographies in Ecology, Oxford University Press, New York.
- [50] Gavrilescu, M. (2022). Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Curr. Opin. Biotech.*, 74, 21–31.
- [51] Konakci, N., Sasmaz Kislioglu, M., Sasmaz, A. (2023). Ni, Cr and Co Phytoremediations by *Alyssum murale* Grown in the Serpentine Soils Around Guleman Cr Deposits, Elazig Turkey. *Bull. Environ. Cont. Tox.*, 110, 97. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03736-2>.
- [52] Konakçı, N., (2024). Strontium Accumulations by *Teucrium polium* which Grows Naturally in Serpentine Soils. *G.U. J. Sci., Part A*, 11(1), 203-209.
- [53] Reeves, R. D., Kruckeberg, A. R., Adıgüzel, N., Krimer, U. (2001). Studies on the flora of serpentine and other metalliferous areas of western Turkey. *South African Journal of Sciences*, 97, 513-517.
- [54] Davis M. A., Boyd R. S., Cane J. H., (2001). Host- switching does not circumvent the Ni-based defense of the Ni hyperaccumulator *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae). *South African Journal of Science*, 97:554-57.
- [55] Özdeniz, E., Özbey, B.G., Kurt, L., Bölükbaşı, A. (2017). Serpantin ekolojisi ve Türkiye serpantin florası'na katkılar. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 22–33.
- [56] Raskyn, I., Smith, R., Salt, D. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 8, 221-226.
- [57] Miçillioğlu, S. (2010). *Lactuca Sativa* Bitkisi Kullanılarak Bor Konsantrasyonu Yüksek Suların Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana.
- [58] Özkan, Y. Z. (1983). Guleman (Elazığ) ofiyolitinin yapısal incelenmesi. *MTA Dergisi*, 37,78-85.
- [59] NGBB, (2022). Bizim Bitkiler. <https://bizimbitkiler.org.tr>. Erişim tarihi 5 Ağu 2022 (Türkiye bitkileri listesi, yayılış bilgileri ve Türkçe adları).
- [60] Zhao, F.J., Lombi, E., Mc Grath, S.P. (2003). Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Soil*, 249, 37–43.
- [61] Chen Z, Zhu, Y.G., Liu, W.J., Meharg, A.A. (2005) Direct evidence showing the effect of root surface iron plaque on arsenite and arsenate uptake into rice (*Oryza sativa*) roots. *New Phytol.*, 165:91–97.
- [62] Zu, Y.Q., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li, Q., Schwartz, C. (2005). Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. *Environ. Int.*, 31, 755–762.
- [63] Lasat, M.M., Pence, N.S., Garvin, D.F., Ebbs, S.D., Kochian, L.V. (2000). Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *J. Exp. Bot.*, 51 (342), 71–79.

- [64] Kabata-Pendias, A, Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC Press, London.
- [65] Goldberg, S. (1997). Reactions of boron with soils. *Plant and soil*, 19, 35-48.
- [66] Chen, W.T., Sheng-Bin, H., Dar-Yuan., L. (2009). Effect of pH on boron adsorption desorption hysteresis of soils. *Soil Sci.*, 174, 330–338.
- [67] Arora, S., & Chadal, D.S. (2010). Effect of soil properties on boron adsorption and release in arid and semi-arid benchmark soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 41, 532–2544.
- [68] Ok, S.S., & Akay, A. (2016). The effects of boron mining on boron content of soil-sediment and plants. *Int. J. Innov. Res. Eng. Manage.*, 3(5), 454–457.
- [69] Raza, M., Mermut, A.R., Schoenau, J.J., Malhi, S.S. (2002). Boron Fractions in Some Saskatchewan Soils. *Can. J. Soil Sci.*, 82, 173-179.
- [70] Sasmaz, A. (2008). Translocation and accumulation of boron in roots and shoots of plants grown in soils of low B concentration in Turkey's Keban Pb–Zn mining area. *Int. J. Phytoremed.*, 10, 302–310.
- [71] Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- [72] Saltalı, K., Bilgili, A.V., Tarakcıoğlu, C., Durak, A. (2005). Boron adsorption in soils with different characteristics. *Asian Journal of Chemistry*, 17, 2487-2494.
- [73] Lucho-Constantino, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. Poggi, H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*, 31(3), 313-323.
- [74] Qian, J.H., Zayed, A., Zhu, Y.L., Yu, M.Y., Terry, N., (1999). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: III. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species. *J. Environ. Qual.*, 28, 1448–1455.
- [75] Turker, O., Bocuk, H., Yakar, A. (2013). The phytoremediation ability of a polyculture constructed wetland to treat boron from mine effluent. *J. Hazard. Mater.*, 252, 132-141.
- [76] Sasmaz, M., Senel, G.U., Obek, E. (2021). Boron bioaccumulation by the dominant macrophytes grown in various discharge water environments. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1–9.
- [77] Gür, N., Türker, O.C., Böcük, H., (2016). Toxicity assessment of boron (B) by *Lemna minor L.* and *Lemna gibba L.* and their possible use as model plants for ecological risk assessment of aquatic ecosystems with boron pollution. *Chemosphere*, 157, 1-9.