

Serpantinli Topraklarda Yetişen *Teucrium polium*' un Bor Akümülayon Performansının İncelenmesi

Nevin KONAKCI*

¹ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ nevinozurk@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 07/02/2024;

Kabul/Accepted: 26/07/2024)

Öz: Guleman bölgesi, Türkiye' nin en önemli krom cevheri üreten bölgelerinden biri olup, geniş alanda serpantinli kayalar yüzeylemeler vermektedir. Bu çalışma Guleman serpantinli toprakları üzerinde yetişen *Teucrium polium* bitkisinin kök ve dalındaki bor akümülayonlarını incelemiştir. Çalışma alanında serpantinli topraklar üzerinde yetişen 17 adet *Teucrium polium* bitkisi toprağı, kök ve dalı ile birlikte toplanarak, bor için ayrı ayrı kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizler ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)'de gerçekleştirilmiştir. Ortalama olarak toprakta 7,94 ppm, kökte 14,8 ppm ve dalda ise 70,06 ppm bor değerleri saptanmıştır. Bu bitkinin toprak, kök ve dallarındaki bor zenginleşme değerleri (ECR, ECS ve TLF) oldukça yüksek çıkmıştır. Bu değerler de *Teucrium polium* bitkisinin topraktan hem köke, hem de dala önemli oranda bor akümülayonu gerçekleştirdiğini göstermiştir. Sonuç olarak bu bitki, özellikle bor ile kirlenmiş toprakların ıslah çalışmasında ve böyle alanların iyileştirilmesinde biyoakümülatör bitki olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Bor, Guleman, serpantinli topraklar, akümülayon

Investigation of Boron Accumulation Performance of *Teucrium polium* Grown in Serpentine Soils

Abstract: Guleman region is one of the most important chrome ore producing regions of Turkey, and serpentine rocks outcrop in a wide area. This study examined boron accumulation in the roots and shoots of the *Teucrium polium* plant growing on Guleman serpentine soil. The soil of 17 *Teucrium polium* plants growing on serpentine soils in the study area were collected together with their roots and shoots and chemical analyses were carried out separately for boron. Chemical analyses were carried out in ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry). On average, boron values were determined as 7.94 ppm in the soil, 14.8 ppm in the root and 70.06 ppm in the shoot. Boron enrichment values (ECR, ECS and TLF) in the soil, roots and shoots of this plant were quite high. These values showed that the *Teucrium polium* plant accumulated significant amounts of boron from the soil to both roots and shoots. As a result, it has been shown that this plant can be considered as a bioaccumulator plant, especially in the reclamation of boron-polluted soils and the improvement of such areas.

Key words: Boron, Guleman, serpentine soils, accumulation.

1. Giriş

Bor (B) metaloiddir (ametal değildir), oksijene karşı güçlü bir afiniteye sahip olup, yer kabuğunda ortalama 15 mg/g olarak gözlenmektedir [1]. Bor, dünya genelinde %76 oranında cam sektöründe, %7 oranında ise deterjan sektöründe kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları ise kimyasal gübreler, yangın geciktiriciler ve metal alaşımlarıdır [2]. Türkiye dünya bor rezervlerinin %70' inden fazlasına sahiptir [3-4]. Türkiye'de bor (B) içeren deterjanlar ve kimyasallar son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle yakın gelecekte nehirler, göller ve tarım alanları gibi ekosistemlerin çoğu, yoğun bor kirliliğine maruz kalacaktır. Bor ayrıca seramik, cam, tarım, metalurji ve gübre alanları gibi birçok endüstride de yaygın olarak kullanılmaktadır [5-6]. B, düşük seviyelerde gözlemlendiğinde bitkiler için temel bir element, insanlar ve hayvanlar için ise mikro besindir. 80' den fazla ülkede hem hayvanlarda, hem de bitkilerde büyümeyle ilgili bor eksiklikleri gözlemlenmiştir. Diğer iz elementlerde olduğu gibi bor da yüksek konsantrasyonda alındığında hem bitkiler hem de hayvanlar üzerinde toksik etki göstermektedir. B toksisitesi ve eksikliği arasındaki aralık diğer besin elementlerinden daha küçüktür. Kurak bölgelerin topraklarında doğal olarak yüksek B düzeyleri ve kömür madenciliği, tarım arazilerinin sulanması, tarım arazilerinde uçucu kül birikimi gibi insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkmaktadır [7]. Bitkilerde düşük maruziyetlerde bile B toksisitesi genellikle yaprak kenarlarında doku hasarı, fotosentetik kapasitenin azalması ve bitki büyümesinde önemli azalmalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Türkiye, Kuzey Afrika, Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya gibi kurak ve yarı kurak ülkelerde yetişen bitkisel ve doğal bitkilerde B toksisiteleri gözlemlenmiştir [8].

* Sorumlu yazar: nevinozurk@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 1 0000-0002-0163-0966

Ağır metaller (HM) yüksek atom ağırlığına ve suyunkinden en az beş kat daha fazla yoğunluğa sahiptir [9]. Su ortamlarındaki HM kirliliği, bitki ve hayvan yaşamını etkileyen temel sorunlardan biridir [10]. HM'ler, Gergen ve Harmanescu [11] ve Rai vd. [12] tarafından iki kategoriye ayrılmıştır. Ni, Cd, Hg, Pb, Cr ve As gibi bu metallerin yaşam için gerekli olmadığı ve toksik etki sağladığı, buna karşılık Co gibi metallerin, Fe, Cu, Cr (+3), Mn, Zn bitki ve hayvan yaşamı için gereklidir. Ancak konsantrasyonları çok yüksek ise toksik hale gelebilir. HM toksisiteleri kimyasal türler, maruz kalma yolu, doz, beslenme durumu, cinsiyet ve genetik gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Arsenik, civa, krom, kurşun ve kadmiyum, yüksek derecede toksisiteleri nedeniyle halk sağlığı açısından önceliklidir [9]. Kapanmış endüstriyel ve madencilik faaliyetlerinde As, Pb, Hg, Cd, Cr, Ni, Fe, Cu, Co ve Zn gibi toksik ağır metaller yaygın su, hava ve toprak kirliliğine neden olmuştur [12].

Ağır metallerin giderilmesine yönelik farklı teknikler arasında fitoremediasyon, kirletici maddelerin su ve topraktan yerinde uzaklaştırılması için canlı yeşil bitkilerin kullanılması açısından uygun maliyetli ve çevre dostu olanlardan biridir [6, 13-15]. Fitoremediasyon iyon alım mekanizmasının yanı sıra, her türün fizyolojik, anatomik ve morfolojik özelliklerine de bağlıdır [16] ve kirlenmiş alanlardan ağır metallerin uzaklaştırılması için hiperakümülatör bitkilerin kullanıldığı bitkisel iyileştirme metodudur [17-18]. Dokularında kuru ağırlığı 1.000 mg/kg' dan fazla Ni, Co, Cu, Cr, Pb veya 10.000 mg/kg Zn veya Mn bulunan bitkiler hiperakümülatör bitki olarak tanımlanmaktadır. Bor için ise topraktaki bor konsantrasyonunun en az birkaç katı bünyesine bor alan bitkiler hiperakümülatör bitki olarak değerlendirilmektedir [17-19].

Ultramafik kayalar yüksek oranda Fe, Mg, Ni, Co ve Cr içeren ve bünyesinde %45' den daha az silika (SiO₂) bulunduran kayalardır [20-23]. Ultramafik kayalar peridotit, dünit ve serpantinitten oluşmaktadır. Bu kayalardan türeyen ultramafik topraklarda, peridotit ve piroksenit gibi ferromagnezyen mineraller yaygın olarak bulunmaktadır [24]. Serpantinli topraklar Ni, Co, Cr, Mn ve Zn gibi ağır metaller bakımından zengin olup, bu metallerin bazı seviyeleri eser düzeyde bitki büyümesi için gerekli iken, yüksek seviyeleri hücre fonksiyonlara müdahale ederek toksisiteye neden olabilmektedir [25-27]. Serpantinli topraklar ve bu topraklarda yetişen farklı bitkilerin farklı elementleri akümülyasyonları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır [25, 28-35]. Ancak Guleman yöresinde doğal olarak yetişen, yaygın ve dominant türlerden birisi olan *Teucrium polium*' un bor akümülyasyonları üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Guleman serpantinli topraklar üzerinde baskın tür olarak yetişen *Teucrium polium*' un toprak, kök ve dallarındaki bor akümülyasyon oranlarını incelemektir. (1)

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

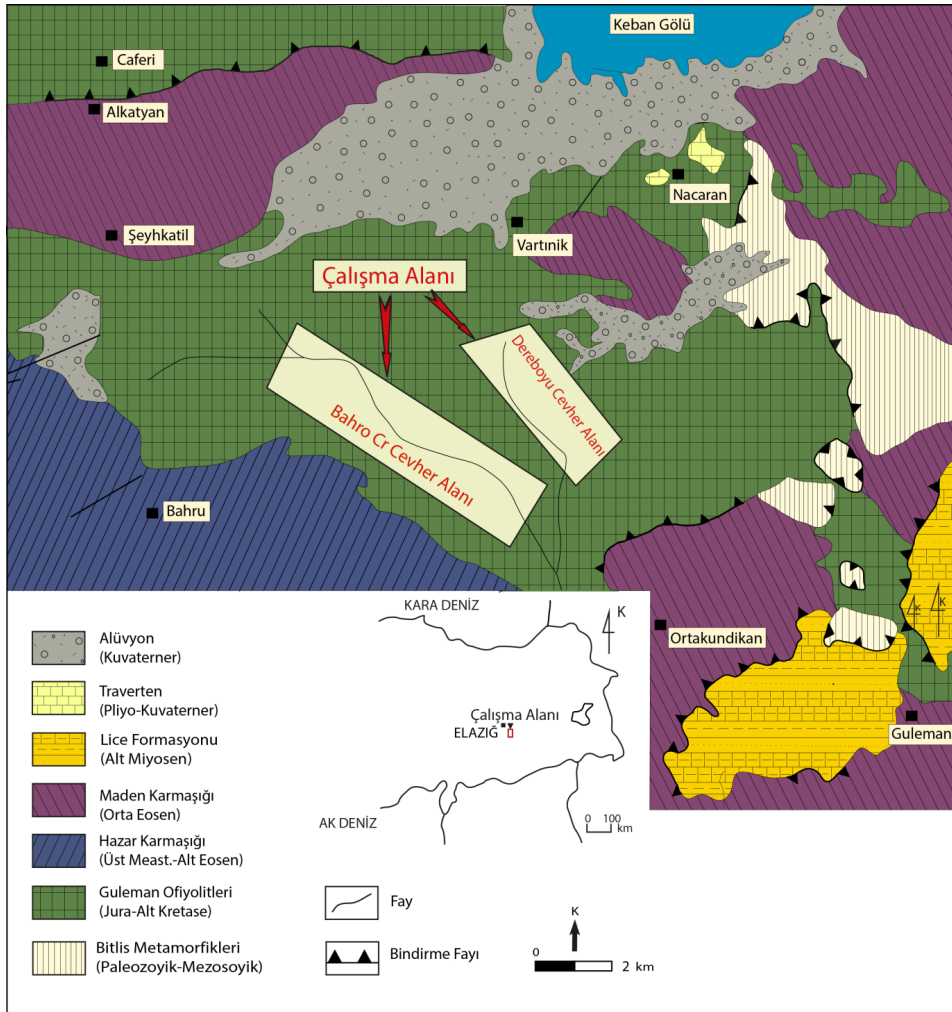
Bu araştırma, Türkiye Elazığ' da, 1936 yılından bu yana madencilik faaliyetlerinin uygulandığı Guleman maden sahasının Kef bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Türkiye'nin en önemli krom cevheri üreten bölgelerinden biri olan Guleman bölgesi, yatakların niteliğine, litolojik özelliklerine, coğrafik ve yapısal konumuna göre çeşitli madencilik sektörlerine ayrılmaktadır. Guleman çevresinde gözlenen krom yatakları, bölgede geniş alanda yüzeyleme veren dünit, peridotit ve piroksenitler ile ilişkilidir [36]. Bu kayalar ayrıca bol miktarda Cr, Ni ve Co içermektedir. Çalışma alanında açık ocak işletmeleri veya galeriler kullanılarak krom cevheri çıkarılmaktadır. Bölgede başlangıçta mostra madenciliği ve açık işletme yöntemleriyle nispeten kolaylıkla yapılan madencilik çalışmaları, bu yöntemlerle alınabilecek cevherin azalması sonucu, 1950 yılında yeraltı madenciliği başlamıştır. Günümüzde yörede kapalı işletme ve açık işletme yöntemleri ile devam edilmektedir [36]. Guleman bölgesinde birçok kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Paleozoyik yaşlı Bitlis Metamorfileri, 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).

2.2. Toprak ve Bitki Örnekleri

Teucrium polium bitkisi ve toprağı çalışma alanında 17 farklı lokasyondan toplanmıştır. Halk dilinde peryavşan olarak bilinen *Teucrium polium*, insanlar tarafından tıbbi amaçlı olarak kullanılmaktadır. *Lamiaceae* familyasının *Teucrium* cinsinin 300 türünden biridir [37-38]. *Teucrium polium*; 20-50 cm yüksekliğinde, sapsız, dikdörtgen ya da doğrusal yaprakları olan bir çalıdır ve hemen hemen tüm Akdeniz ülkelerinin, Güney Batı Asya, Avrupa ve Kuzey tepelerinin ve çöllерinin taşlık yerlerinde yetişmektedir ve en çok İran' da bulunmaktadır [38-40]. *Teucrium polium*, beyazımsı renkte çiçeklere sahip, 40 cm' ye kadar boylanabilen yarı-çalımsı çok yıllık otsu bir bitkidir. Çalışma alanındaki topraklarda dominant bir tür olarak yaygın olarak bölgede yetişen bu bitki, cevherli/cevhersiz alanlarda bitki kökü, dalı ve üzerinde yetiştiği topraklardan ayrı ayrı örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleri *Teucrium polium*' un kök besleme yerlerinden 0,10 ile 0,40 m derinliklerden alınmıştır. Serpantinli topraklardan alınan *Teucrium polium* bitkisi, kök ve dallarına ayrılarak, önce musluk suyu ile daha sonra saf su ile yıkanmış,

24 saat 60 °C'de kurutulan bitki örnekleri etüvde 300 °C'de 24 saat süre ile alevsiz ortamda yakılarak kül haline getirilmiştir [6].

Laboratuvarda 0,10 gr kül ve toprak örneklerine 2 ml derişik HNO₃ ilave edilerek 1 saat süreyle 95 °C'de ısıtıcı üzerinde ısıtılarak kurutulmuştur. Kurutulan örneklere 2 ml HNO₃ ve HCl-HNO₃-H₂O (her bir kimyasaldan 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 (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)' de gerçekleştirilmiştir. Yine aynı şekilde topraklarda olduğu gibi, bitki kül örneklerinde de B analizleri ICP-MS ile yapılmıştır. Bu çalışmada bitki ve topraktaki B analizleri için ICP-MS (Perkin-Elmer ELAN 9000) teknolojisi kullanılmıştır. Tüm analizler Kanada ACME analiz laboratuvarında yapılmıştır. ECR değerleri bitki kökünün toprağına bölümü; ECS değerleri bitki dalının toprağına bölümü, TLF değerleri ise bitki dalının bitki köküne bölümü olarak hesaplanmıştır.

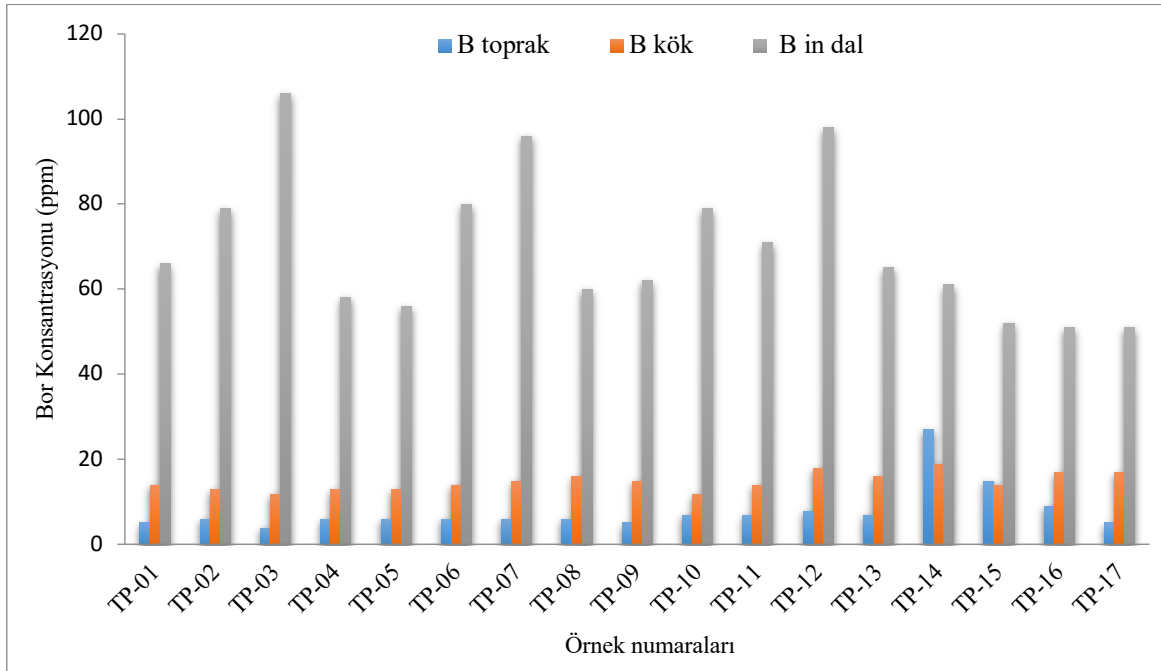


Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası [41].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak'ta Bor

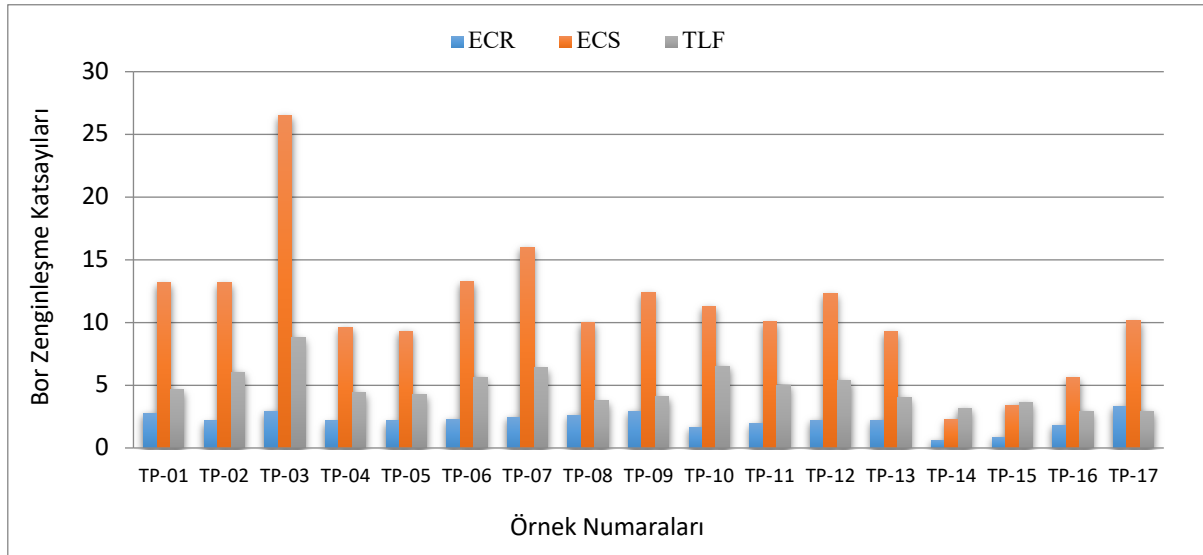
Serpantinli toprakların pH' ı 7,6-7,8; organik madde içeriği ise %8-12' dir. Ortalama %35 kum, %27 kil ve %23 siltten oluşan tınlı ve turbalı kilden oluşmakta olup, renkleri tipik olarak koyu kahverengiden açık griye kadar değişmektedir. Diğer maden topraklarıyla karşılaştırıldığında, özellikle serpantinli topraklarda daha az miktarda organik madde bulunduğu gözlenmiştir. İncelenen toprakların ortalama B içeriği 14,6 ppm olup, en yüksek 27 ppm, en düşük ise 4 ppm bor konsantrasyonları gözlenmiştir (Şekil 2). Benzer şekilde, Keban maden topraklarında ortalama B değerleri 16,9 ppm ve 7,94 ppm arasında bulunmuştur. Bu bulgular, Guleman kromit yataklarının yakınındaki serpantinli topraklarda B içeriğinin düşük olmasının nedeninin, böyle yerlerde yüzeylenen yan kayalar ile ilgili olabileceğini düşündürmektedir. Çalışılmış toprak örneklerinin kimyasal analizi sonucunda diğer elementlerle belirgin bir pozitif korelasyon göstermemiştir, Bor, çok sayıda element arasında sadece Mg (0,76) ile pozitif korelasyon gösterirken, Cu (0,51), Zn (0,56), Ca (0,63) ve Se (0,47) ile de negatif korelasyonlar sunmaktadır. Şaşmaz [42] tarafından Keban maden sahasındaki yüzey topraklarında 26 toprak örneğinde B konsantrasyonu, 1,0 ile 16 ppm (ortalama: 4,97 ppm) arasında değişmektedir. Kabata-Pendias' a [1] göre, en yüksek toprak konsantrasyonları 10 ile 100 ppm kireçli topraklarda, 120 ile 130 ppm killi topraklarda gözlenmiştir. Mafik ve podzollü topraklar en düşük bor miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sıcak, nemli veya kuru ve yarı kurak ortamlardaki topraklarda B, öncelikle yüzey katmanlarında yoğunlaşır; bununla birlikte, oksitler veya illit gibi killi ve nemli topraklarda, B tipik olarak su akışı yani topografik eğim boyunca aşağıya doğru hareket etmektedir. Craw vd. [43]' ne göre topraktaki B kirliliğinin en sık nedenlerinden ikisinin uçucu kül ve kanalizasyon çamuru olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde, B ile kirlenmiş yüzey suları ve kömür madenlerinden salınan sular, sulama amacıyla kullanıldığında toprakta tarıma zarar vermektedir. Lucho-Constantino vd. [44]' ne göre sulama süresi ve insanlardan kaynaklanan kirlilik nedeniyle topraktaki B seviyesi, 124 ppm' e kadar yükselebilmektedir. Yüksek B içeren toprakları rehabilitasyon veya restorasyon işlemi oldukça zordur, ancak hafif asitli topraklardaki yüksek B düzeyi, yoğun sulama işlemleri ile kolayca ıslah edilebilmektedir.



Şekil 2. Serpantinli topraklarda yetişen *Teucrium polium* bitkisinin toprak, kök ve dalındaki bor akümülyasyon dağılımı.

3.2. *Teucrium polium*' da Bor

Guleman çevresindeki serpantinli toprakların yaygın olarak gözlemlendiği alanlardan, 17 adet farklı lokasyonlardan *Teucrium polium* bitkisi toplanarak kök ve dal şeklinde bölümlere ayrılıp, bor için kimyasal analizleri yapılmıştır. Kök için yapılan kimyasal analizlerde en yüksek 19 ppm bor içeriğine sahip iken, en düşük ise 12 ppm olarak saptanmıştır. Kökteki ortalama bor konsantrasyonu ise 14,8 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 2). *Teucrium polium*'un dallarında ise ortalama bor konsantrasyonu 70,06 ppm olarak gözlenirken, en yüksek 106 ppm, en düşük ise 51 ppm olarak gözlenmiştir (Şekil 2). *Teucrium polium*' un topraktan aldığı bor değerlerinin kök ve daldaki zenginleşme değerlerini ortaya koymak için; kök ve toprak arasındaki zenginleşme katsayısını ortaya çıkarmak için ECR, dal ile toprak arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için ECS, kökten dala olan bor akümülyasyonlarını belirlemek için ise TLF değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre *Teucrium polium*'un bor için ortalama ECR değerleri 2,23 olarak bulunurken, ECS için 11,07, TLF için ise 4,85 olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu değerler de çalışılan bitkide kök ve dalın topraktan yüksek oranda bor akümüle etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Kök ve dalın bor akümülyasyon oranlarını karşılaştırdığımızda, dalın köke oranla çok daha fazla akümülyasyon yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir, bu da TLF değerlerinin yüksek olması, bitki kökünden, bitki dalına bor transferinin hızla yapıldığını işaret etmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Serpantinli topraklarda yetişen *Teucrium polium* bitkisinin ECR, ECS ve TLF zenginleşme değerleri.

Kabata-Pendias [1], çözünebilir B formlarının bitkilerde kolaylıkla alınarak biriktiğini bildirmiştir. Pasif absorpsiyon sırasında borik asit, polisakkaritlerle birlikte kompleks oluşturmada önemli bir role sahiptir. Pasif veya aktif B alım sürecinin nasıl çalıştığı konusunda hala tartışmalar devam etmektedir. Bowen [45], arpa kökleri tarafından altı B emilim fazı bulunmuştur. Metabolik kontrol nispeten düşüktür; B emilimi esas olarak köklerden su akışıyla başlar. Bu nedenle B birikimi su akışı ve B konsantrasyonu ile orantılıdır. Jin vd. [46], mısır dokularındaki B değerlerinin, kolaylıkla çözünebilir dört B bileşiği ile pozitif ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bu dört B bileşiği, topraktaki toplam B' nin %0,4 ile %2,0' ı arasında değişmektedir. Szabo [47], bitkilerdeki B birikiminin besin içeriğiyle birlikte arttığını ve bunun da fizyolojik ihtiyaçlardan daha fazla olduğunu belirtmiştir. Kot [48], B fitoyararlılığı hakkında yayınlanmış verilere dayanarak, B alımının temel olarak borik asit tarafından emilen membran geçirgenliğindeki değişime bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, B emilimi öncelikle bitkilerin terleme hızı ve besin çözeltisindeki B içeriğine bağlıdır. Daha yüksek bitkilerde B alımı çoğunlukla terleme oranlarına ve dış borik asit konsantrasyonuna bağlı pasif bir işlemdir. Ancak bu durum iç kompleks oluşumunun ve membran geçirgenliğinin kontrolüyle ilgilidir [1]. Son zamanlarda B' nin yaygın bir çevre kirleticisi olduğu belirtilmiş ve bu nedenle B ile kirlenmiş alanların bitki yönetimi araştırılmıştır. Robinson vd. [49]' ne göre, *Populus* sp., yaklaşık 30 ppm B içeren katmanda büyümüş ve 845 ppm' e kadar B' yi yaprağında biriktirmiştir. Buna karşılık, kökleri maksimum 21 ppm B biriktirebilmiştir. Marin ve Oron [50], su mercimeğinin kirlenmiş sulardan B' yi uzaklaştırma konusunda mükemmel bir yeteneğe (1900 ppm'e kadar) sahip olduğunu belirtmiştir. Zhao vd. [51], kültür sistemleri içerisinde *Puccinellia tenuiflora*, *Iris wilsonii*, *Suaeda glauca* ve *Tripolium pannonicum* bitkilerinin B birikim performansını ve toleransını test etmiş ve fitoremediasyon çalışmaları için

performanslarını karşılaştırmıştır. *T. pannonicum*, *S. glauca*, *I. wilsonii* ve *P. tenuiflora* için en yüksek B değerleri sırasıyla 40, 250, 700 ve 300 ppm olarak bulunmuştur. Tespit edilen en yüksek B düzeyleri dalda sırasıyla 450, 2480, 15210 ve 8030 ppm, köklerde ise sırasıyla 230, 700, 6690 ve 2630 ppm olarak belirlenmiştir. Bu değerler *S. glauca*, *I. wilsonii* ve *P. tenuiflora*'nın B için yüksek birikim kabiliyetine sahip olduğunu ve *I. Wilsonii*' nin B ile kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için en umut verici aday olduğunu göstermiştir. Rees vd. [7], kavakların yüksek B konsantrasyonu biriktirmesi nedeniyle kavakların B ile kirlenmiş toprakların bitki yönetiminde faydalı olduğunu belirtmiştir. *Salix viminalis*, *Brassica juncea* ve *Lupinus albus*, karşılaştırma amacıyla çeşitli koşullar altında büyütülmüştür. Topraktaki B konsantrasyonu 93 ppm' e kadar kavakların gelişmesini etkilememiştir. 168 ve 280 ppm konsantrasyonlarda büyüme kademeli olarak azalmıştır. Kavak yaprağındaki <900 ppm B konsantrasyonları, yalnızca <10' da toksisite belirtileri göstermiştir. Ortalama B düzeylerinin yapraklarda 3500 ppm' e kadar çıktığı, yapraklardaki lekelerin ise 7000 ppm' in üzerinde olduğu tespit edilmiştir ve bu durum yapraktaki B içeriğinin nekroz başlangıcından sonra da devam ettiğini göstermektedir. Bu veriler, diğer ağır metallerin fitoremediasyonu için tavsiye edildiği gibi, B ile kirlenmiş toprağın bitki yönetimi açısından kavakların *B. juncea* ve *S. Viminalis*' ten daha iyi olduğunu göstermiştir. Sasmaz [42], Keban Bölgesi Pb-Zn-Cu-F maden sahası topraklarında yetişen *Euphorbia macroclada*, *Verbascum cheiranthifolium* ve *Astragalus gummifer* bitkilerinin hem toprağı ve kökü, hem de dallarındaki bor konsantrasyonlarını araştırmıştır. Bitkiler ve bunlarla ilişkili toprak örnekleri İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edilerek, dünyadaki diğer topraklardaki bor içerikleri (ortalama 4,97 ppm) ile karşılaştırılmıştır. Bitki organlarının bor konsantrasyonları, ilgili topraklardakilerden birkaç kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. *E. macroclada*, *V. cheiranthifolium* ve *A. gummifer*' in köklerindeki B konsantrasyonlarının ortalama değerleri sırasıyla 25, 70 ve 69 ppm, dallarında ise 75, 115 ve 77 ppm olarak bulunmuştur. Sonuçlar, düşük B konsantrasyonuna sahip topraklarda yetişen bitkilerin köklerinin ve dallarının, hem çevresel kirlenme için biyomonitör, hem de B için biyojeokimyasal indikatör bitki olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Sasmaz vd. [52], Elazığ bölgesinde, hem madencilik, hem de belediye atık su deşarjlarındaki sucul makrofitlerle toprak ve sudaki B birikimini araştırmışlardır. Bu amaçla, maden ve belediye atık su deşarj sahalarındaki derelerden toprak, bitki ve su örnekleri toplanmış ve ICP-MS kullanılarak B analizi yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda, *Xanthium strumarium* (toprak 15,0 ppm; kök 30,0 ppm; dal 125,0 ppm), *Eupatorium cannabinum* (toprak 13,0 ppm; kök 16,5 ppm; dal 29,5 ppm), *Lythrum salicaria* (toprak 19,7 ppm; kök 27,0 ppm; dal 42,7 ppm), *Tamarix tetrandra* (toprak 17,3 ppm; kök 16,8 ppm; dal 38,0 ppm), *Typha latifolia* (toprak 17,0 ppm; kök 17,0 ppm; dal 37,0 ppm) ve *Salix* sp. (toprak 15,0 ppm; kök 20,8 ppm; dal 30,5 ppm) bitkilerini bor için hiperakümülatör olduğunu belirlemişlerdir. Bu hiperakümülatör bitkiler, B' yi topraktan ve sudan bitki parçalarına biriktirme ve taşıma konusunda büyük bir kapasiteye sahip olduğunu, dolayısıyla da bu bitkilerin B ile kirlenmiş toprak ve suların dekontaminasyonu veya rehabilitasyonu için faydalı olabileceğini ortaya koymuşlardır.

4. Sonuç ve Öneriler

Elazığ Guleman Bölgesi'ndeki serpantinli topraklar üzerinde yetişen *Teucrium polium* bitkisinin, kök ve dalındaki bor alım akümülyasyonları incelenmiştir. Bu kapsamda toprakta ortalama 7,94 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda gözlenen bor, *Teucrium polium*' un kökünde 14,8 ppm, dalında ise 70,06 ppm ortalama bor konsantrasyonları belirlenmiştir. Dolayısıyla çalışılan bitkinin, topraktan yüksek oranda hem kök kısmına hem de dal kısmına önemli oranda boru akümüle ettiği saptanmıştır. Sonuç olarak *Teucrium polium* bitkisi, bor ile kirlenmiş sahaların rehabilitasyon çalışmalarında yüksek ECR ve ECS değerlerine sahip olmaları nedeniyle kolaylıkla kullanılması önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından FUBAP-MF.20.16 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton 2011.
- [2] US Environmental Protection Agency (USEPA). Framework for human health risk assessment to inform decision making, 2014; EPA/100/R-14/001, Risk Assessment Forum, Office of the Science Advisor, USEPA, Washington, DC. <http://www.epa.gov/risk/framework-human-health-risk-assessment-inform-decision-making>.
- [3] Helvacı C. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadic Borate deposits, Western Turkey. Economic Geology 1995; 90,1237–1260.

- [4] Helvacı C, Alonso RC. Borate deposits of Turkey and Argentina; a summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2000; 9, 1–27.
- [5] Yermiyahu U, Keren R, Chen Y. Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. *Soil Sci Soc Am J* 1995; 59:405–409.
- [6] Tatar SY, Obek E. Potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minör* L. for accumulation of boron from secondary effluents. *Ecol Eng* 2014; 70:332–336.
- [7] Rees R, Robinson BH, Menon M, Lehmann E, Gunthardt-Goerg MS, Schulin R. Boron accumulation and toxicity in hybrid poplar (*Populus nigra xeuramericana*). *Environ Sci Technol* 2011; 45:10538–10543.
- [8] Turker OC, Vymazal J, Ture C. Constructed wetlands for boron removal: a review. *Ecol Eng* 2014; 64:350–359.
- [9] Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy Metals Toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* 2012; 101, 133-164.
- [10] Duffus JH. "Heavy metals" a meaningless term (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* 2002; 74(5), 793-807.
- [11] Gergen I, Harmanescu M. Application of Principal Component Analysis in the Pollution Assessment with Heavy Metals of Vegetable Food Chain in the Old mining Areas. *Chem Cent J* 2012; 6, 56.
- [12] Rai S, Gupta S, Mittal PC. Dietary Intakes and Health Risk of Toxic and Essential Heavy Metals through the Food Chain in Agricultural, Industrial, and Coal Mining Areas of Northern India. *Hum Ecol Risk Assess.* 2015; 21, 913–933.
- [13] Sood A, Uniyal PL, Prasanna R, Ahluwalia AS. Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, *Azolla*. *Ambio* 2012; 41, 122-137.
- [14] Goswami C, Majumder A, Misra AK, Bandyopadhyay K. Arsenic uptake by *Lemna minor* in hydroponic system. *Int J Phytorem* 2014.; 16, 1221-1227.10.
- [15] Sasmaz M, Arslan Topal EI, Obek E, Sasmaz A. The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *J Environ Manag* 2015; 163:246–253.
- [16] Rahman MA, Hasegawa H. Aquatic arsenic: phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere* 2011; 83, 633-646.
- [17] Baker AJM, Brooks RR. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements-A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1989; 1:81–126.
- [18] Terzi H, Yıldız M. Bitkilerde ağır metal toksisitesi: proteomik yaklaşım. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2013; 13 (021001): 1-21.
- [19] Bani A, Echevarria G, Sulçe S, Morel JL, Mullai A. In-situ phytoextraction of Ni by a native population of *Alyssum murale* on an ultramafic site (Albania). *Plant Soil* 2007; 293:79–89.
- [20] Alexander EB. Soil and vegetation differences from peridotite to serpentinite. *Northeast Nat.* 2009; 16, 178-192.
- [21] Alfaro MR, Montero A, Ugarte OM, Nascimento CWA, Accioly AMA, Biondi CM, Silva YJAB. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environ Monit Assess.* 2015; 187:4198.
- [22] Galey ML, Van der Ent A, Iqbal MCM, Rajakaruna N. Ultramafic geoecology of South and Southeast Asia. *Bot Stud* 2017;58:18.
- [23] Nascimento CWA, Lima LHV, Silva JAB, Biondi CM. Ultramafic soils and nickelphytomining opportunities: A review. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 2022; 46, 1-17.
- [24] Ghafoori M, Shariati M, Van der Ent A, Baker AJM. Nickel hyperaccumulation, elemental profiles and agromining potential of three species of *Odontarrhena* from the ultramafics of Western Iran. *International journal of phytoremediation* 2023; 25 (3),381-392.
- [25] Proctor J, Woodell SRJ. The ecology of serpentine soils. *Advances in Ecological Research* 1975; 9: 255–366.
- [26] Proctor, J. Vegetation and soil and plant chemistry on ultramafic rocks in the tropical Far East, *Perspectives in Plant Ecology Evolution & Systematics* 2003; 6, (1–2), 105–124.
- [27] Tomovic GM, Mihailovic ML, Tumi AF, Gajic BA, Misljenovic TD, Niketic MS. Trace metals in soils and several *Brassicaceae* plant species from serpentine sites of Serbia. *Arch Environ Protec.* 2013; 39, 29- 49.
- [28] Jaffré T. Étude écologique du peuplement végétal des sol dérivés de roches ultrabasiqes en Nouvelle Calédonie. *Travaux et Documents de 1980; L'ORSTOM 124 Paris: ORSTOM.*
- [29] Rajakaruna N, Boyd RS. Serpentine Soils. In: *Oxford Bibliographies in Ecology* 2014; Ed. David Gibson. New York: Oxford University Press.
- [30] Avcı M. Diversity and endemism in Turkey's vegetation. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi* 2005; 13: 27-55.
- [31] Reeves RD, Baker AJM, Borhidi A, Berzain R. Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Annals of Botany* 1999; 83(1), 29-38.
- [32] Rajakaruna N. The edaphic factor in the origin of plant species. *International Geology Review* 2004; 46: 471–478.
- [33] Kurt L, Ozbey BG, Kurt F, Ozdeniz E Bolukbaşı A. Serpentine Flora of Turkey. *Biological Diversity and Conservation* 2013; 6(1): 134- 152.
- [34] Gavrilescu, M. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biotechnology* 2022; 74,(21), 31.
- [35] Konakçı N, Sasmaz Kislioglu M, Sasmaz A. Ni, Cr and Co Phytoremediations by *Alyssum murale* Grown in the Serpentine Soils Around Guleman Cr Deposits, Elazığ Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2023; 110:97.

- [36] Engin T, Balcı M, Simer Y, Ozkan YZ. General geological setting and the structural features of the Guleman peridotite unit and the chromite deposits. Bull Min Res Exp Ins Turkey 1983; 95, 34-56.
- [37] Oualidi J, Verneau O, Puech S, Dubuisson JY. Utility of rDNA ITS sequences in the systematics of *Teucrium* section *polium* (*lamiaceae*). Plant Syst Evol 1999; 215: 49–70.
- [38] Kırkık D, Sancak NP, Alragabi JM. Türkiye’de yetişen *Teucrium polium* L. bitkisinin HepG2 hücre hattı üzerindeki etkisi. J Med Palliat Care 2020; 1(3): 49-52.
- [39] Feinbrun-Dothan N. Flora Palaestina, Part three. Israel Acad Sci Hum 1970; 3: 101–6.
- [40] Tapeh NG, Bernousi I, Moghadam AF, Mandoulakani, BA. Genetic diversity and structure of Iranian *Teucrium* (*Teucrium polium* L.) populations assessed by ISSR markers. J Agr Sci Tech 2018; 20: 333-45.
- [41] Özkan YZ. Guleman (Elazığ) ofiyolitinin yapısal incelenmesi, MTA Dergisi 1983 a; 37,78-85.
- [42] Sasmaz A. 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 2008; 10:302–310.
- [43] Craw D, Rufaut CG, Haffert L, Todd A. Mobilization and attenuation of boron during coal mine rehabilitation. Wangaloa New Zealand. Sci Total Environ 2006; 368:444–455.
- [44] Lucho-Constantino CA, Prieto-Garcia F, Del Razo LM. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agric Ecosyst Environ 2005; 108:57–71.
- [45] Bowen HJM. Environmental chemistry of the elements. Academic Press 1979; New York.
- [46] Jin J, Martens DC, Zelazny LW. Distribution and plant availability of soil boron fractions. Soil Sci Soc Am J 1987; 51:1228.
- [47] Szabo AS. Non-destructive boron determination by activation analysis, the role of boron in the trophic chain. In: Pais I (ed) Proceedings of international symposium on new results in the research of hardly known trace elements and their role in food chains. University of Horticulture and Food Industry 1988, Budapest.
- [48] Kot FS. Boron sources, speciation and its potential impact on health. Rev Environ Sci Biotechnol 2009; 8:3–28.
- [49] Robinson BH, Green SR, Chancerel B, Mills TM, Clothier BE. Poplar for phytoremanagement of boron contaminated sites. Environ Pollut 2007; 150:225–233.
- [50] Marin CMD, Oron G. Boron removal by duckweed *Lemna gibba*: a potential method for the remediation of boron-polluted waters. Water Res 2007; 41:4579–4584.
- [51] Zhao Q, Li J, Dai Z, Ma C, Sun H, Liu C. Boron tolerance and accumulation potential of four salt-tolerant plant species. Sci Rep 2019; 9:6260.
- [52] Sasmaz M, Uslu Senel G, Obek E. Boron Bioaccumulation by the Dominant Macrophytes Grown in Various Discharge Water Environments. Bull Environ Contam Toxicol 2021; 106(6), 1050-1058.