

Derleme/Review

Tarımsal Üretimde Bor (B) Kaynakları ve Borun Bitki Metabolizmasında Önemi Bedriye BİLİR^{1*}

¹ Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şırnak
bbilir@sirnak.edu.tr,

Received date / Gönderme Tarihi: 06/04/2022

Accepted date / Kabul Tarihi: 31/05/2022

ÖZET

Bor (B) bitkiler tarafından çoğunlukla borik asit (B(OH)₃) formunda alınan mikro besin elementidir. Bor, noksanlık ve toksisite durumlarının ortaya çıkması ile bitkide fizyolojik ve metabolik sorunlara neden olarak verim ve kaliteyi düşürmektedir. Yıkanmanın fazla, organik maddenin az olduğu kumlu topraklarda ve pH ile kireç içeriğinin yüksek, adsorpsiyon kapasitesinin fazla olduğu killi topraklarda bor noksanlığı yaygın olarak görülmektedir. Noksanlık durumunda borun %90'ından fazlasının bulunduğu hücre duvarı olumsuz etkilenir ve dolayısıyla bitkinin sağlıklı büyümesi engellenir. Bor noksanlığı gübreleme ile giderilebilmesine rağmen yeterlilik-toksisite aralığı birbirine çok yakın olduğu için dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Bor ihtiyacı bitki türleri arasında değişkenlik göstermektedir. Yetiştirildikleri toprakların bor içeriği bir bitki türü için noksanken diğeri için toksik seviyelere ulaşabilir. Bu yüzden gübreleme yapılmadan önce toprakların bor içerikleri, toprak özellikleri ve bitkinin bor istekleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan bu çalışmada borun bitki için kaynakları, bitkiye alınımı ve bitki üzerindeki metabolik işlevleri mevcut çalışmalarla özetlendirilmiştir.

Anahtar Kelime: Bor; Bitki ve Toprakta Bor; Borlu Gübreleme

Sources of Boron (B) in Agricultural Production and Its Importance in Plant Metabolism

ABSTRACT

Boron (B) is a micronutrient taken by plants mostly in the form of boric acid (B(OH)₃). Boron reduces yield and quality by causing physiological and metabolic problems in the plant with the emergence of deficiency and toxicity situations. Boron deficiency is common in sandy soils with high eluviation and low organic matter, and in clayey with high pH and lime content and much adsorption capacity. In case of deficiency, the cell wall where more than 90% of the boron is found is adversely affected and thus the healthy growth of the plant is prevented.

Although boron deficiencies can be eliminated by fertilization, it is an important issue to consider as the sufficiency-toxicity range is very close to each other. The need for boron varies between plant species. While the boron content of the soils they are grown in is deficient for one plant species, it can reach toxic levels for another. Therefore, boron content of the soil, soil properties and boron demand of the plant should be taken into consideration before fertilizing. In this study, the sources of boron for the plant, its intake and metabolic functions on the plant are summarized with the existing studies.

Keywords: Boron; Boron in Plants and Soil; Boron Fertilization

1.GİRİŞ

Doğada serbest olarak bulunmayan bor, oksijen ile bileşik oluşturarak boratlar (örn. boraks: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), daha az kısmı borik asit ve çok nadiren de olsa florla bileşik oluşturarak BF_4^- anyonu formunda bulunmaktadır (Power ve Woods, 1997). Bor, nötr veya hafif asitli topraklarda ayrışmamış borik asit formunda bulunmaktadır (Tabata ve ark., 2003). Zayıf asit olan borik asit yüksek pH'ya sahip topraklarda hidrolize olarak borat anyonunu oluşturmaktadır (Marschner, 2012).

Bitkilerde ise apoplast pH'sının yaklaşık 5.5 olduğu durumda %99.95 oranında borik asit formunda ve geriye kalan kısmı ise borat anyonu şeklinde bulunmaktadır. Bitkide bulunan hem borik asit hem de borat anyonu birçok molekülle hızlı bir şekilde reaksiyona girebilir (Brown ve ark., 2002). Özellikle, mono-, di- ve poli-hidroksil grupları ile kompleksler (Ralston ve Hunt, 2001) ve esterler oluşturabilir. Borik asit *diol* ve *polyol* gruplarından özellikle *cis-diol*'le birleşik oluşturmaktadır (Brdar-Jokanovic, 2020). Oluşan bileşiklerden bazısı manitol, mannan ve polimannuronik asit gibi bitki hücre duvarının temel bileşenleri olan şeker ve şeker türevleridir. Bununla birlikte RNA yapısında bulunan riboz ve bitkilerin hücre duvarının temel bileşiği olan apioz'lar borik asit ve *cis-diol* konfigürasyonundan meydana gelmektedir (Loomis ve Durst, 1992; Goldbach, 1997). Aynı zamanda bor hücre duvarında pektin polisakkaritlerinden özellikle rhamnogalacturonan-II-polisakkaritlerine (RGII) bağlanarak hücre duvarına stabil bir bütünlük sağlamaktadır (O'Neill ve ark, 2004; Marschner, 2012).

2. BİTKİLER İÇİN BOR KAYNAKLARI

2.1. Bor Kaynağı Olarak Toprak

Borun yer kabuğundaki ortalama 15 mg g^{-1} 'dir fakat doğada homojen bir şekilde dağılmamıştır. Magmatik kayalardaki bor içeriği $5-30 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte ve kayaların asitliği ile konsantrasyonu daha da artmaktadır. Sedimenter kayaların bor içeriği

ise içerdikleri kil fraksiyonundan dolayı magmatik kayaçlarınkinden daha yüksektir (Kabata-Pendias, 2011). Esas olarak bor doğaya kayaların ayrışması, deniz ve okyanuslardan borik asit buharlaşması, volkanik ve jeotermal aktiviteler yoluyla girer (Das ve Purkait, 2020). Doğadaki bor bileşiklerinin asıl kaynağı birincil olarak kayaların ayrışması olarak düşünülmese rağmen bunun tam aksine borun %65-85'i okyanuslardan sağlanmaktadır (Jansen, 2003). Tüm eser elementler arasında bor en hareketli element olarak kabul edilir ve genellikle topraklarda eksiktir (Goli ve ark., 2019). 80'den daha fazla ülkede 132 tarım ürününde borun noksan olduğu belirlenmiş bu da dünya genelinde en az 8 milyon hektarı etkilemektedir (Hua ve ark., 2016; Tariq ve Mott 2007).

Topraklarda toplam B; kolay çözünebilir B, spesifik olarak adsorbe B, oksitlere bağlı B, organik maddeye bağlı B ve residüyal B fraksiyonlarında bulunmaktadır (Saltalı ve ark., 2020). Bitkiler ise kolay çözünebilir B formundan yararlanmaktadır. Kolay çözünebilir B konsantrasyonu düşük olup toplam B içeriğinin %3.2-5.3'ü arasında değişmektedir (Cumakov, 1988). Saltalı ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada toplam B içeriğinin %95.88'i residüyal B, % 0.96'sı kolay çözünebilir B, %1.47'si spesifik olarak adsorbe B, %0.84'ü oksitlere bağlı B ve %0.84'ünü organik maddeye bağlı B'un oluşturduğunu bildirmişlerdir. Dünya çapında topraklar için toplam borun ortalaması 42 mg kg⁻¹ olarak tahmin edilmekte olup toprak organik maddesi tarafından fikse edildiği için Histosoller ve Kalsisoller borca daha zengindir (Kabata-Pendias, 2011). Solonetz topraklarda fazla miktarda bulunan bor ise büyük bir endişe kaynağıdır (Azarenko, 2007). Dünya'da Kaliforniya, Avustralya, Çin, Rusya ve Arjantin bor açısından zengin ülkelerken Türkiye küresel bor rezervinin neredeyse %73'ü ile ilk sırada yer almaktadır (Princi ve ark., 2016; Brdar-Jokanovic, 2020).

Bitkiler için önemli olan kolay çözünebilir B formunu (Shah ve ark., 2017; Camacho-Cristobal ve ark., 2008; Padbhushan ve ark., 2017) belirlemede genellikle sıcak su yöntemi kullanılmaktadır. Toprakların bor içeriğinin <0.5 mg kg⁻¹ olduğunda bitkiler için yetersizdir fakat B konsantrasyonunun bir kaç ppm artması bile bitkiler için toksik olabilir (Yau ve ark., 1994). Finck (2007), topraklarda bulunan B konsantrasyonunu; <0.5 mg kg⁻¹ çok düşük, 0.5-1.0 mg kg⁻¹ düşük, 1.01-1.5 mg kg⁻¹ yeterli, 1.51-2.5 mg kg⁻¹ yüksek, 2.51-4 mg kg⁻¹ çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Yeterlilik ve toksisite değerlerindeki sınırların yakınlığından dolayı bor beslenme problemleri ile karşılaşmak oldukça yaygındır. Koşullara bağlı olarak hem noksanlık hem toksisite aynı bölgede (Gupta, 1979), aynı büyüme mevsiminde (Reisenauer ve ark., 1973) görülebilir. Bununla birlikte kritik bor seviyeleri toprak tekstür, pH'a, strüktür, nem, sıcaklık, kireç ile yetiştirilecek olan bitkinin türü ve genotipine bağlıdır

(Shorrocks, 1997; Goldberg ve ark., 2000; Tariq ve Mott, 2007). Bu faktörlerle birlikte sorbsiyon ve desorpsiyon süreçleri kolay çözünür B varlığını etkilemektedir (Princi ve ark., 2016). Toprak çözeltisindeki bor ile adsorbe edilen bor arasında bir denge vardır. Genellikle, toprak çözeltisinde mevcut olandan daha fazla bor toprak tarafından adsorbe edilmektedir (Tlili ve ark., 2019). Bununla birlikte tarım alanlarında pH, bor adsorbsiyonunu etkileyen ana faktördür (Santos ve ark., 2020).

Bor noksanlığı, drenajı iyi topraklara sahip yağışlı bölgelerde veya kumlu topraklarda görülmektedir (Tanaka ve Fujiwara, 2008). Toprak çözeltisindeki çözünmüş borik asitin fazla yağış ile yıkanması bor noksanlığının ana nedeni olabilir (Shorrocks, 1997). Borun topraktan yıkanması kolay olmasına rağmen NaCl'ün yıkanması için gerekli olan suyun üç katı kadar suya ihtiyaç vardır (Moore, 2004). Bor noksanlığının tam aksine bor toksitesi kurak ve yarı kurak bölgelerde meydana gelebilir (Nable ve ark., 1997). Aynı zamanda; bor gübrelemesinin aşırı yapıldığı, tuzlu sularla sulanan veya kanalizasyon atıklarına maruz kalan alanlarda bor toksitesi görülebilir. Topraklarda bor konsantrasyonu 12 mg kg^{-1} 'den yüksek olduğu durumlarda toksite meydana gelmektedir (Hall, 2010). Topraklarda bulunan borun kaynaklarından biride sulama sularıdır (Keles ve ark., 2004). Şeker pancarı, havuç, yonca gibi bitkiler sulama suyundaki yüksek bor konsantrasyonuna (4 mg L^{-1}) karşı oldukça dayanıklıdır. Adsorpsiyon kapasitesi yüksek topraklar bor bakımından zengin su ile sulandığında bor toleransı düşük olan tarımsal ürünlerde bile verim artışı sağlanabilir (Nable ve ark., 1997; Morgan, 1980; Das ve ark., 2019). Ancak, bu tür sularla uzun süreli sulamanın toprak üzerinde zararlı etkisi olabilir. Toprak sürdürülebilirliğine zarar vermeyen sulama suyu bor için eşiği 1 mg L^{-1} olarak belirlenmiştir (Vera ve ark., 2019).

2.2. Bor Kaynağı Olarak Kimyasal Gübreler

Bor noksanlığı görülen bölgelerde bor kaynağı olarak kimyasal gübreler kullanılmaktadır. Kullanılan en yaygın borlu gübre suda çözünür durumda olan sodyum tetraborattır (Degryse, 2017). Aynı zamanda boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ %11.3 B), solubor ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ %20.9 B), borik asit (H_3BO_3 %17.5 B), üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ %13.3 B), kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ %15.8 B), ETİDOT-67 ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; %20.9 B) yaygın olarak kullanılan bor gübreleridir (Güneş ve ark., 2017). Topraklara uygulanacak bor miktarı yetiştirilecek ürüne, toprakların bor içeriğine ve uygulama şekline bağlı olarak belirlenmektedir. Genel olarak tavsiye edilen oranlar $0.25\text{-}3 \text{ kg ha}^{-1}$ arasında değişmektedir (Mortvedt, 1991). Borun topraktan ve yapraktan uygulama yöntemlerinin her ikisi de noksanlığı giderme konusunda etkilidir. Genellikle bor gübrelemesi tarla bitkileri için

topraktan yapılırken, meyve bahçelerinde noksanlığı gidermek için yaprak gübresi olarak tercih edilmektedir (Wells ve ark., 2008). Yapraktan uygulanan bor gübresi noksanlığın giderilmesinde etkili bir yöntem olup özellikle B-sükroz komplekslerini oluşturan bitkilerde floemle köklere kadar taşınmaktadır (Du ve ark., 2020). Bunun tam tersine bazı araştırmacılar boru hareketsiz kabul ettikleri için yapraktan uygulamaların birkaç kez yinelenmesinin gerektiğini fakat toksisiteye karşı uygulamada oldukça hassas olunması gerektiğini bildirmişlerdir (Martens ve Westermann, 1991). Toprağa yapılacak olan bor gübrelemesinin toprağın yüzeyine serpilmesi ve hafifçe toprakla karıştırılması önerilmektedir (Güneş ve ark., 2017).

Bor gereksinimi düşük olan tahıllarda topraktan uygulanması önerilen bor miktarı 100-200 g B da⁻¹ iken bu miktarın üzerinde yapılan bor gübrelemesi toksik etki gösterebilir (Marschner, 2012; Çakmak ve ark., 2016). Şeker pancarı gibi bor ihtiyacı fazla olan bitkilerde ise genellikle 200-400 g B da⁻¹ saf bor uygulaması önerilmektedir (Marschner, 2012). B noksanlığı görülen bölgelerde yağış, sulama, toprak kireç içeriği, organik madde miktarı vb. özellikler dikkate alınarak uygulama dozu ayarlanmalıdır. Bilir, (2021) çok fazla kireç içeriğine sahip bölgede şeker pancarına uygulanan 600 g B da⁻¹'un şeker pancarı verim ve kalite parametrelerinde önemli artış sağladığını bildirilmiştir.

3. BİTKİLER TARAFINDAN BORUN ALINIMI VE TAŞINIMI

Bor, bitki kökleri tarafından çoğunlukla pasif adsorpsiyon yoluyla borik asit formunda (%96), daha azı ise aktif adsorpsiyonla borat anyonları şeklinde alınan mikro besin elementidir. Bunun yanı sıra hücreler bora karşı yüksek geçirgenlik sağladığı için terleme ile ksilem iletim borularından yaprak uçlarına kadar taşınır ve birikir (Marschner, 2012; Raven, 1980, Nable, 1988). Bu nedenle, bor konsantrasyonu yaprak uç ve kenarlarında, yaprağın aya kısmından çok daha fazladır. Bunun tam tersine bazı araştırmacılar floemde hareketli olduğu için yaprakta bor konsantrasyon dağılımının homojen olduğunu ifade etmişler. Floemde hareketli olmasını ise genç yaprakların ve meyvenin, yaşlı yapraklardan daha fazla bor konsantrasyonuna sahip olması ile ilişkilendirmişlerdir (Brown ve Hu, 1997; Stangoulis ve ark., 2010).

Bazı bitki türlerinin floeminde sorbitol, mannitol ve dulcitol gibi fotosentezin başlıca ürünleri olan şeker alkollerini ile B-*diol* kompleksleri oluşturarak hızlı ve önemli ölçüde hareketli olabilirler (Brdar-Jokanovic, 2020). Borun floemde hareketli olduğu bitkiler Prunus, Malus ve Pyrus türleri (erik, armut, elma, kiraz, badem, erik, şeftali, kayısı) yanı sıra soğan,

kereviz, havuç, zeytin, fasulye, bezelye, karnabahar, lahana, kuşkonmaz ve kahve çekirdeği sayılabilir (Brdar-Jokanovic, 2020). Sorbitol üretimi olmayan bitkilere göre tütün gibi yüksek sorbitol üretimine sahip bitkilerin genç dokulara bor taşınımında daha yetenekli olduğu gözlemlenmiştir (Bellaloui ve ark., 2003). Nable ve ark. (1997) ise borun floemde hareketli olduğu çoğu bitki türünün bor toksisitesine karşı hassas olduğunu bildirmişlerdir.

3.1. Bor Alınımını Etkileyen Faktörler

Bitkiler tarafından borun alınabilirliği; topraklardaki bor konsantrasyonu, yetiştirilen bitkinin türü, pH, tekstür, kil minerali çeşidi, kireç, organik madde, yağış, sıcaklık ve yüksek ışık faktörleri tarafından etkilenmektedir (Moraghan ve Mascagni, 1991).

Bitkiler tarafından borun alınımı topraktaki mevcut bulunan borun formuna ve konsantrasyonuna bağlıdır (Sun ve ark., 2019). Topraklarda bulunan borun artmasıyla bor bitki dokularında doğrusal olarak artmaktadır (Nable ve ark., 1990). Bor noksanlığı genellikle su stresinin yaşandığı kuru koşullara meydana gelmekte (Bellaloui ve ark., 2015) ve bitkinin büyümesine, gelişmesine, meyve verimine, kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Souri ve Bakhtiarizade 2019; Tohidloo ve Souri 2009).

Bor alım yönünden bitki türleri arasında farklar bulunmaktadır. Bor ihtiyacı fazla olan bitkiler yeterli miktarda bor ile beslendiklerinde yapraklarındaki bor konsantrasyonu 25-75 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada aynı bölgede yetiştirilen ve daha az miktarda bor ihtiyacı olan buğdayın yapraklarında 5-10 mg kg⁻¹ bor bulunurken, bor gereksinimi yüksek olan şeker pancarı gibi bitkilerde 100 mg kg⁻¹'e kadar yükseldiği bildirilmiştir (Marschner, 2012; Gupta, 1979).

Toprak faktörleri arasında pH, borun alınımını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Yüksek pH koşullarında borun bitki tarafından alınımı azalır. Bunun nedeni ise alkali topraklarda borat anyonu adsorpsiyonu sonucu güçlü bor fiksasyonunun meydana gelmesidir. pH'nın düşük olduğu topraklarda ise borik asitin adsorpsiyonunun düşük olması nedeniyle ise bor yıkanması görülmektedir (Bulut, 2019).

Kil mineralleri, kireç, organik madde, Fe-Al oksitler ve Mg-hidroksitler bor adsorbe edici yüzeyler olarak kabul edilmektedir (Elrashidi ve O'Connor, 1982; Padbhushan ve Kumar 2017; Goldberg ve Su, 2007). Borun kordinasyon sayısı dört olduğu için flogopit, saponit, illit ve montmorillonit gibi fillosilikat mineralleri bakımından zengin olan topraklarda kil kafes yapılarında adsorbe edilmektedir (Wimmer ve ark., 2015).

Bor, organik maddeye veya humifikasyon sırasında ortaya çıkan karbohidratlara bağlanabilir. Tarım alanlarında organik maddeye bağlı olan bor bitki büyümesi için başlıca bor havuzudur (Jones, 2003). Bu nedenle organik madde içeriği düşük topraklarda bor noksanlığı riski yüksektir. Saltalı ve ark. (2020) toprak organik maddesinin kolay çözünebilir B miktarını olumlu yönde etkilediğini ifade etmişlerdir.

Bitki kök bölgesine bor kütle akımı ile hareket ettiği için kuraklığa bağlı olarak toprak neminin azalması bitkilerin topraktan bor alımını sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda kökler tarafından alınan borun bitkinin yeşil aksamına taşınması için terlemenin gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu yüzden havanın bağıl neminin yükselmesi bor alımını azaltmaktadır. Bağıl nemin yüksek olduğu durumlarda terleme hızı azalacağı için bitkinin yeşil aksamında (özellikle genç yaprak ve filizlerde) bor azalacağından bor noksanlığı görülmektedir (Krug ve ark., 2013).

Bor noksanlığının görüldüğü bitkiler sıcaklık ve ışığa karşı duyarlıdır. Sıcaklığın çok düşük olduğu koşullarda bitkilerin bor noksanlığına karşı hassasiyeti yüksektir (Raisanen ve ark., 2007). Uzun güneşli günlerde ve yüksek ışık yoğunluğunda, bitkilerin borla beslenmesi yetersiz ise bor noksanlığı semptomları daha hızlı gelişir. Bor, yapraklar tarafından emilen ışığın fotosentezde kullanmasında önemli rol oynamaktadır. Bor eksikliğinden dolayı bitkilerin yaprak tarafından alınan ışık enerjisinin kullanımı sınırlandırıldığı için yapraklarda fazla enerji birikecektir. Özellikle ışık yoğunluğunun fazla olduğu koşullarda bu enerji aşırı miktarlara ulaştığından serbest oksijen radikalleri oluşur ve 'hafif yanma' olarak bilinen fotooksidatif hasar meydana gelmektedir (Çakmak ve ark., 1995).

Bununla birlikte diğer besin elementleri ile ilişkisi borun alımını etkilemektedir. Bitkide bor fazlalığı veya eksikliği sadece bir elementi değil, bitkinin diğer besinlerle birlikte genel besin dengesini etkileyebilir (Tariq ve Mott, 2007). Sotiropoulos ve ark. (1999) Ca'un kivide, Kaya ve ark. (2009), P'un domateste bitkinin büyümesini ve üretimini olumsuz etkileyen borun adsorpsiyonunu azaltarak bor toksisitesini olumsuz etkilerini azalttığını bildirmişlerdir. Mısırdaki bor toksisitesini azaltmak için $Zn(SO)_4$ uygulaması yapılmış ve topraklardaki toksisitesinin etkilerini azaltarak verimi artırdığı gözlemlenmiştir (Hosseini ve ark., 2004). Kireçli topraklarda B ve N'un birlikte uygulanması ile ayçiçeğinde verimin ve dolayısıyla ekonomik kazancın artırıldığı bildirilmiştir (Shehzad ve Maqsood, 2015). Bilir, (2021) şeker pancarına N ve B'un birlikte uygulanmasının hem gövde verimini hem de şeker oranını artırdığını bildirmiştir.

4. BİTKİDE BORUN METABOLİK İŞLEVLERİ

Bor, bitkilerde optimum büyüme, gelişme, verim ve kalite için gerekli olan mikro besin elementlerinden biridir. Bor noksanlığı, bitkilerin büyümesini ve metabolizmasını olumsuz etkilemesinden dolayı beslenme bozukluğu olarak kabul edilir. Bor bitkilerin; hücre duvarının yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünde, hücre zarı boyunca (H^+ , K^+ , PO_4^{-3} , Rb^+ , Ca^{+2}) iyon akışı, hücre bölünmesi, azot metabolizması, şeker taşınması ve karbonhidrat metabolizması, nükleik asit metabolizmasının uyarılması, polen tüpü oluşumu, indolasetik asit, fotosentez, fenolik bileşikler ve birkaç enzimatik aktivitede rol oynamaktadır (Reid, 2014; Shireen ve ark., 2018).

Bitkilerde birçok önemli işlevi yerine getiren borun birincil görevi özellikle hücre duvarı sentezi ve yapısal bütünlüğünü sağlamak olarak bilinmektedir (Warington, 1923). Hu ve Brown, (1994) tütün (*Nicotiana tabacum* L.) ve kabak (*Cucurbita pepo* L.) bitkilerinde var olan borun %95-98'i yaprak hücre duvarında bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bor noksanlığında hücre duvarı oluşumu, hücre duvarının yapısal bütünlüğü ve hücre duvarı işlevi zarar görmektedir (Brown ve ark., 2002; Oiwa ve ark., 2013). Bor, pektin ile GIPCs ve RGII polisakaritlerine bağlanarak (O'Neill ve ark. 2004; Voxeur ve ark. 2014) hücre duvarının dayanıklılığını ve gözenekliliğini kontrol etmektedir (Ryden ve ark. 2003; Fleischer ve ark., 1999). Bor eksikliği durumunda RGII oluşumu azalmaktadır (Nejad ve Etesami, 2019). Genellikle monokotiledonlu bitkiler, dikotiledonlu bitkilerin hücre duvarları yapılarında daha az pektin içerirler bu yüzden nispeten daha düşük bor gereksinimlerine sahiptirler ve aşırı bora karşı oldukça hassaslardır (Charmova ve Fry, 2016).

Bor, hücre duvarında olduğu gibi hücre membranlarının yapısal bütünlüğünde de önemli bir rol oynar. Bor noksanlığı durumunda, hücre membran stabilitesi bozularak çok geçirgen yani sızdıran bir yapısal özelliğe sahip olmaktadır. Hücre membranları geçirgen bir hal alması ile hücrelerdeki K ve organik eriyiklerin sızıntısının ölçülmesi borun hücre membranlarındaki rolünü açıkça göstermektedir. Bu konuda yapılan çalışmada borun yeterli düzeyde bulunduğu yapraklar ile noksan olduğu yapraklar karşılaştırılmıştır. Bor noksanlığı görülen yapraklardan ölçülen net akıntılar, noksanlık görülmeyen yapraklara göre K 35 kat, sükröz 45 kat ve aminoasit 7 kat daha fazla gözlemlenmiştir. Bor uygulamasının artmasıyla K, sükröz, fenolikler ve organik eriyiklerin sızarak kaybolmasının azaldığı rapor edilmiştir (Çakmak ve ark., 1995).

Bitkilerin bor noksanlığına verdiği en hızlı tepkilerden bir diğeri ise bitki kökünün uzamasını sınırlandırması veya durmasıdır. Borun noksan olduğu topraklarda primidin bazlarının

eksikliğinden dolayı DNA sentezinin sınırlandırılması sonucu kök büyümesi durmaktadır (Blevsin ve Lukaszewski, 1998). Bunun sonucunda kök güdük ve çalı gibi bir görünüm almaktadır (Marschner, 2012). Noksanlığının yanı sıra toksisiteside kök büyümesini sınırlandırmaktadır. Kök dokularında artan bor konsantrasyonu ile kökün büyümesini engelleyerek bitki kuru maddesini azaltmaktadır (Turan ve ark., 2009).

Bor elementi hücre duvarı ve zar yapısında yer aldığı için birçok iyon, molekül ve hormon taşıma reaksiyonlarına katılmaktadır (Brdar-Jokanovic, 2020). Aynı zamanda bor kök büyümesinde etkili olan indolasetik asit (İAA) gibi hormonların metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynamaktadır (Baba ve ark., 2018). Marschner, (2012) borun indolasetik asit hormonunu artırıcı etkisinden dolayı kök veriminde doğrudan etkili olduğu belirlemiştir.

Bor eksikliği bitkinin fotosentez yeteneğini ve fotosentez ürünlerinin taşınmasında etkilemektedir (Goldbach ve ark., 2000; Wang ve ark., 2015; Li ve ark., 2017). Borun noksan olduğu portakal yapraklarında CO₂ asimilasyonu ve stoma iletkenliğinin azalması ile hücreler arasında CO₂ konsantrasyonu artmaktadır. Bunun sonucunda ise heksoz ve nişasta birikimi artar ve sakkaroz ise azalmaktadır (Han ve ark., 2008). Bununla birlikte şeker pancarı gibi bitkilerde bor noksanlığında fotosentez ürünlerinin gövdeye taşınmaması sonucu gövde büyümesinde ve şeker oranında azalma meydana gelmesi muhtemeldir (Berger, 1949).

Birçok bakteri ve mantar bora ihtiyaç duymamasına rağmen N₂ fiksasyonunu gerçekleştiren siyonobakteri türleri bora ihtiyaç duymaktadırlar (Marschner, 2012). Bor, N₂ fiksasyonunun gerçekleştiği bitkilerde nodül gelişimi ve işlevselliği için önemlidir. Bolanos ve ark. (2004) tarafından bezelye üzerinde yapılan çalışmada borun N₂ fiksasyonu üzerine etkisi araştırılmış ve borun bulunmadığı kültür ortamında daha az sayıda nodül oluştuğu ve nodül yapısında düzensizlikler olduğunu bildirmişlerdir. Nodül gelişimindeki bu değişikliğin nedeni ise nitrojenaz aktivitesinin B noksanlığı nedeniyle sınırlandırılması ile ilişkilendirilmiştir (Ahmad ve ark., 2009).

5. SONUÇ

Bor bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için gerekli olan mikro besin elementlerinden biridir. Tarımsal üretimde hem verim hem de kalite parametreleri üzerinde oldukça belirleyici bir etkiye sahiptir. Bitkilerin bor ihtiyaçları türler arasında oldukça farklılık göstermesiyle birlikte bitki metabolizmasında hayati öneme sahiptir. Borun bitkide yeterlilik ve toksisite sınır aralığı oldukça dardır. Bu yüzden borlu gübreleme programı yapılırken toprağın kolay çözünebilir B miktarı ve yetiştirilecek olan ürünün ihtiyacı dikkate alınarak yapılması oldukça

önemlidir. Özellikle bor isteği fazla olan ayçiçeği, şeker pancarı gibi ürünlerin yetiştirildiği alanlarda bor gübrelmesi göz ardı edilmemelidir. Uygulanacak olan dozlar ve uygulama şekli bitkilerin ihtiyacı ile birlikte borun yararıyla etkileyen toprak özellikleri ve bir sonraki yılda yetiştirilecek olan bitki göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, W., Niaz, A., Kanwal, S., Rahmatullah, Rasheed, M.K. (2009). Role Of Boron in Plant Growth: A Review. *Journal of Agricultural Research*, 47(3), 329-338s.
- Azarenko, Y. (2007). The boron content in soil of solonchic complexes in the Irtysh Region of Omsk oblast and boron resistance of plants. *Eurasian Soil Science*, 40,512–521.
- Baba, T., Nakaba. S., Noma, S., Funada, R., Ban, T. (2018). Heterorhizy and fine root architecture of rabbiteye blueberry (*Vaccinium virgatum*) softwood-cuttings. *Journal of Plant Research*, 131, 271-284.
- Bellaloui, N., Yadav, R.C., Chern, M.S., Hu, H., Gillen, A.M., Greve, C., Dandekar, A.M., Ronald, P.C., Brown, P.H. (2003). Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem-boron mobility in rice. *Physiologia Plantarum*, 117, 79-84. doi: 10.1034/j.1399-3054.2003.1170110.x.
- Bellaloui, N., Turley, R. B., Stetina, S. R. (2015). Water stress and foliar boron application altered cell wall boron and seed nutrition in near-isogenic cotton lines expressing fuzzy and fuzzless seed phenotypes. *Plos One*, 10(6), 13. doi:10.1371/journal.pone.0130759.
- Berger, K.C. (1949). *Boron in soils and crops*. In Advances in Agronomy; Norman, A.G., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA, 1, ss.321-351.
- Blevins, D.G. & Lukaszewski, K.M. (1998). Boron in plant structure and function. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 481-500. doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.481.
- Bilir, B. (2021). Kahramanmaraş Elbistan Koşullarında Azot ve Bor Uygulamalarının Şeker Pancarında Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. *Doktora Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 205s.
- Bolanos, L., Lukaszewski, K., Bonilla, I., Blevins, D. (2004). Why boron? *Plant Physiology Biochemistry*, 42, 907-912.
- Brdar-Jokanovic, M. (2020). Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1424.
- Brown, P.H. & Hu, H. (1997). Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants? *Plant Soil*, 196, 211-215.
- Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., Rohmheld, V. (2002). Boron in plant biology. *Plant Biology*, 4, 205-223.
- Bulut, H. (2019). The Effect of Climatic Factors on Boron Nutrition of Plants, Conference: 9th International Symposium on Atmospheric Sciences ATMOS, İstanbul, Türkiye.
- Çakmak, I., Kurz, H., Marschner, H. (1995). Short-term effects of boron, germanium and high light-intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower, *Physiologia Plantarum*, 95, 11-18.
- Çakmak, I., Gezgin, S., Güneş, A., Kalınbacak, K., Özcan, H. (2016). National Boron Research Institute-Agriculture boron research and implementation program, International Symposium on Boron in Agriculture, 16-18 Kasım. Ankara, Türkiye.
- Camacho-Cristóbal, J.J., Rexach, J., González-Fontes, A. (2008). Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50, 1247-1255.

- Chormova, D. & Fry, S.C. (2016). Boron bridging of rhamnogalacturonan-II is promoted in vitro by cationic chaperones, including polyhistidine and wall glycoproteins. *New Phytol.*, 209, 241-251.
- Cumakov, A. (1988). Trace Elements in Slovakian Soils and Plant Nutrition, *Ph.D. thesis*, Institute of Sugar Industry, Bratislava, ss.350.
- Das, R., Mandal, B., Sarkar, D., Pradhan, A.K., Datta, A., Padhan, D., Seth, A., Kumar, R., De, N., Mishra, V.N. (2019). Boron availability in soils and its nutrition of crops under long-term fertility experiments in India. *Geoderma*, 351, 116-129.
- Das, A.K. & Purkait, A. (2020). Boron dynamics in soil: classification, sources, factors, fractions, and kinetics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 1-14s. doi:10.1080/00103624.2020.1849261.
- Degryse, F. (2017). Boron Fertilizers: Use, Challenges and the Benefit of Slow-Release Sources-A Review. *Boron*, 2(3), 111-122.
- Du, W., Pan, Z-Y., Hussain, S.B., Han, Z-X., Peng, S-A., Liu, Y-Z. (2020). Foliar Supplied Boron can be Transported to Roots as a Boron-Sucrose Complex via Phloem in Citrus Trees. *Frontiers in Plant Science*, 11. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00250>.
- Elrashidi, M.A. & O'Connor, G.A. (1982). Boron sorption and desorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 27-31.
- Fleischer, A., O'Neill, M.A., Ehwald, R. (1999). The pore size of nongraminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. *Plant Physiology*, 121, 829–838.
- Finck, A. (2007). *Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten*. (6. Auflage.) Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin, Stuttgart. 253s.
- Goldbach, H.E., Wimmer, M.A., Findekle, P. (2000). Discussion paper: Boron-How can the critical level be defined? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 115-121.
- Goldberg, S. & Su, C. (2007). New advances in boron soil chemistry. In: *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition* (Ed: Xu, F., Goldbach, H. Brown, P.H. ve ark.), Springer, 313-330.
- Goldbach, H.E. & Wimmer, M.A. (2007). Boron in plants and animals: is there a role beyond cell wall structure? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 39-48. doi: 10.1002/jpln.200625161.
- Goli, E., Hiemstra, T., Rahnemaie, R. (2019). Interaction of boron with humic acid and natural organic matter: Experiments and modeling. *Chemical Geology*, 515, 1-8.
- Gupta, U.C. (1979). Boron nutrition in crops. *Advances in Agronomy*, 31, 273-307.
- Güneş, A., Gezgin, S., Kalınbacak, K., Özcan, H., Çakmak, İ. (2017). Bor elementinin bitkiler için önemi. *Journal of Boron*, 2(3), 168-174.
- Hall, D. (2010). Boron. *Department of Agriculture and Food Western Australia*, 1-2.
- Han, S., Chen, L.S., Jiang, H.X., Smith, B.R.; Yang, L.T.; Xie, C.Y. (2008). Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 165, 1331-1341.
- Hosseini, S.M.E., Maftoun, M., Karimian, N., Rounaghi, A.A.M., Emam, Y. (2004). Effect of zinc sulfate on corn resistance to boron toxicity. *Iranian Journal of Soil and Water Science*, 18(2), 125-134.
- Hua, Y., Zhou, T., Ding, G., Yang, Q., Shi, L., Xu, F. (2016). Physiological, genomic and transcriptional diversity in responses to boron deficiency in rapeseed genotypes. *Journal of Experimental Botany*, 67, 5769-5784.
- Hu, H. & Brown, P.H. (1994). Localisation of boron in cell walls of squash tobacco and its association with pectin; evidence for a structural role of boron in cell wall. *Plant Physiol*, 105, 681-689.

- Jansen, L.H. (2003). Boron, elemental. *Kirk-othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 1, doi: <https://doi.org/10.1002/0471238961.0215181510011419.a01.pub2>.
- Jones, J.B. (2003). Plant mineral nutrition. In: *Agronomic handbook: management of crops, soils and their fertility*. CRC, Boca Raton, Boca Raton, FL, USA, ss.325.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Boron. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4. Baskı, 315-325, 534.
- Kaya, C., Tuna, A.L., Dikilitas, M., Ashraf, M., Köşkeroğlu, S., Güneri, M. (2009). Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. *Scientia Horticulture*, 121(3), 284–288.
- Keles, Y., Öncel, I., Yenice, N. (2004). Relationship between boron content and antioxidant compounds in Citrus leaves taken from fields with different water source. *Plant and Soil*, 265, 345-353.
- Krug, B., Whipker, B., McCall, I., Frantz, J. (2013). Elevated relative humidity increases the incidence of distorted growth and boron deficiency in bedding plant plugs. *Horticultural Science*, 48, 311-313.
- Li, M., Zhao, Z., Zhang, Z., Zhang, W., Zhou, J., Xu, F., Liu, X. (2017). Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, 7, 4420.
- Loomis, W.D. & Durst, R.W. (1992). Chemistry and biology of boron. *BioFactors*, 3, 229-239.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Edn. Elsevier, Academic Press, ISBN: 9780123849052, USA, ss.672.
- Martens D. & Westermann D. (1991). *Fertilizer application for correcting micronutrient deficiencies*. In: *Micronutrients in Agriculture* (2nd Edition). SSSA Book Series, 4, 549-592. Segoe Rd., Madison.
- Moore, G. (2004). In: Moore, G. (Ed.), *Soil Guide: A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils*. Department of Agriculture, Western Australia.
- Moraghan, J. T. & Mascagni. H. J. (1991). Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: *Micronutrients in agriculture*, 371-425, R. J. Luxmoore (Ed.), Soil Sci. Soc. Am.; Madison, WI, U.S.A
- Morgan, V. (1980). Boron geochemistry. In *Supplement to Mellor's Comprehensive treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, Boron-Oxygen Compounds*; Mellor, W., Ed.; Longman: New York, NY, USA, Volume 5, Part A.
- Mortvedt J.J. (1991). *Micronutrients in agriculture* (2nd Ed), Chap. 14: *Micronutrient fertilizer technology*, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Nable, R.O. (1988). Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and Soil*, 112, 45-52.
- Nable, R.O., Paull, J.G., Cartwright, B. (1990). Problems associated with the use of foliar analysis for diagnosing boron toxicity in barley. *Plant and Soil*, 128, 225-232.
- Nable, R.O., Banuelos, G.S., Paull, J.G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193, 181-198.
- Nejad, S.A.G. & Etesami, H. (2020). The Importance of Boron in Plant Nutrition. *Met. Plants Adv. Future Prospect*, 433-449.
- O'Neill, M.A., Ishii, T., Albersheim, P., Darvill, A.G. (2004). Rhamnogalacturonan II: Structure and function of a borate-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review Plant Biology*, 55, 109-139.
- Oiwa, Y., Kitayama, K., Kobayashi, M., Match, T. (2013). Boron deprivation immediately causes cell death in growing roots of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (4), 621-627.
- Padbhushan, R., Kumar, D. (2017). Fractions of soil boron. A review. *Journal Agriculture Science*, 155, 1023-1032.

- Power, P.P. & Woods, W.G. (1997). The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and Soil*, 193, 1-13.
- 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 Perspectivesr. *Plant Metal Interaction*. Chapter:5, 115-147.
- Ralston, N.V.C. & Hunt, C.D. (2001). Diadenosine phosphates and S-adenosylmethionine: novel boron binding biomolecules detected by capillary electrophoresis. *Biochimica Biophysica Acta*, 1527, 20-30.
- Raven, J.A. (1980). Short- and long-distance transport of boric acid in plants. *New Phytol*, 84, 231-249.
- Reisenauer, H.M., Walsh, L.M., Hoelt, R.G. (1973). *Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine*. Soil Testing and Plant Analysis; Walsh, L.M., Beaton, J.D., Eds.; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA,173-200.
- Reid, R. (2014). Understanding the boron transport network in plants. *Plant and Soil*, 385, 1-13.
- Ryden, P., Sugimoto-Shirasu, K., Smith, A.C., Findlay, K., Reiter, W.D., Mccann, M.C. (2003). Tensilepropertiesof *Arabidopsis* cell walls depend on bothxyloglucan cross-linked micro fibrillarnet work and rhamnogalacturonan II-boratecomplexes. *Plant Physiol*. 132, 1033-1040.doi:10.1104/pp.103.021873.
- Saltalı, K., Güneş, E., Bilir, B. (2020). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Antep Fıstığı Yetiştirilen Bazı Alanların Topraklarında Borun (B) Kimyasal Fraksiyonları ve Toprak Özellikleri İle İlişkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1656-1662.
- Santos, P.D., Goldberg, S., Costa, A.C.S.D. (2020). Modeling boron adsorption on five soils before and after removal of organic matter. *Scientia Agricola* 77(4), 11. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0023>.
- Shah, A., Wu, X., Ullah, A., Fahad, S., Muhammad, R., Yan, L., Jiang, C. (2017). Deficiency and toxicity of boron: Alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants. *Ecotoxicol and Environmental Safety*, 145, 575-582. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.003.
- Shehzad, M.A. & Maqsood, M. (2015). Integrated Nitrogen And Boron Fertilization Improves The Productivity and Oil Quality of Sunflower Grown in a Calcareous Soil. *Turk Journal of Field Crops*, 20(2), 213-222.
- Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., (2018). Bie, Z. Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 1856.
- Shorrocks, V.M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193, 121-148.
- Stangoulis, J., Tate, M., Graham, R., Bucknall, M., Palmer, L., Boughton, B., Reid, R. (2010). The mechanism of boron mobility in wheat and canola phloem. *Plant Physiology*, 153, 876-881.
- Souri, M.K. & Bakhtiarzade, M. (2019). Biostimulation effects of Rosemary essential oil on growth and nutrition uptake of tomato seedlings. *Scientia Horticulture*, 243, 472476.
- Sotiropoulos, T.E., Therios, I.N., Dimassi, K.N. (1999). Calcium application as a means to improve t olerance of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 81(4), 443-449.
- Sun, A., Gou, D., Dong, Y., Xu, Q., Cao, G. (2019). Extraction and analysis of available boron isotopes in soil using multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 7183-7189. doi: 10.1021/acs.jafc.9b01455.

- Tabata, S., Hirakimoto, T., Nishiura, M., Watanabe, M. (2003). Synthesis of a Lewis-acidic boric acid ester monomer and effect of its addition to electrolyte solutions and polymer gel electrolytes on their ion transport properties. *Electrochimica Acta*, 48 (14-16), 2105-2112.
- Tanaka, M. & Fujiwara, T., (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *European Journal of Physiology*, 456, 671-677.
- Tariq, M. & Mott, C.J.B. (2007). The significance of boron in plant nutrition and environment-a review. *Journal Agronomy*, 6(1), 1-10.
- Tlili, A., Dridi, I., Attaya, R., Gueddari, M. (2019). Boron characterization, distribution in particle-size fractions, and its adsorption-desorption process in a semiarid Tunisian soil. *Journal of Chemistr*, 2019, 8s.
- Tohidloo, G. & Souiri, M.K. (2009). Uptake and translocation of boron in two different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) genotypes. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 50(6), 487-491.
- Turan, M.A., Taban, N., Taban, S. (2009). Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. Cluj-Napoca*, 37, 99-103.
- Vera, A., Moreno, J.L., Garcia, C., Morais, D., Bastida, F. (2019). Boron in soil: The impacts on the biomass, composition and activity of the soil microbial community. *Science of the Total Environment*, 685, 564-573.
- Voxeur, A. & Fry, S.C., (2014). Glycosylinositol phosphorylceramides from Rosa cell cultures are boron-bridged in the plasma membrane and form complexes with rhamnogalacturonan II. *Plant Journal*, 79(1), 139-149.
- Warrington, K. (1923). The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Annals of Botany*, 37, 629-672.
- Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., Peng, S. (2015). Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanism. *Frontiers in Plant Science*, 6, 916.
- Wells, M.L., Conner, P.J., Funderburk, J.F., Price, J.G. (2008). Effects of foliar- applied boron on fruit retention, fruit quality, and tissue boron concentration of pecan. *Hort Science*, 43, 696-699.
- Wimmer, M. A., Abreu, I., Bell, R. W., Bienert, M. D., Brown, P. H., Dell, B., Fujiwara, T., Goldbach, H. E., Lehto, T., Mock, H. P., Wiren, N., Bassil, E., Bienert, G.P. (2019). Boron: An essential element for vascular plants. *New Phytologist*, 226(5), 6. doi: 10.1111/nph.16127.
- Yau, S.K., Hamblin, J., Ryan, J. (1994). Phenotypic variation in boron toxicity tolerance in barley, durum and bread wheat. *Rachis*, 13, 20-25.

Bilir, B. (2022). Tarımsal Üretimde Bor (B) Kaynakları ve Borun Bitki Metabolizmasında Önemi. *Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1): 19-32.

Bilir, B. (2022). Sources of Boron (B) in Agricultural Production and Its Importance in Plant Metabolism. *Sırnak University Journal of Sciences*, 3(1): 19-32.