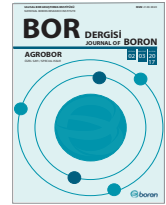




BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

<http://dergipark.gov.tr/boron>



Bor elementinin bitkiler için önemi

Aydın Güneş^{1*}, Sait Gezgin², Kadriye Kalınbacak³, Hesna Özcan⁴, İsmail Çakmak⁵

¹Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, ORCID ID orcid.org/0000-0003-2903-5816

²Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya, ORCID ID orcid.org/0000-0002-3795-4575

³Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Ankara, ORCID ID orcid.org/0000-0001-6752-4077

⁴Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, ORCID ID orcid.org/0000-0003-2546-500X

⁵Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul, ORCID ID orcid.org/0000-0002-3183-5524

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

İlk gönderi 10 Kasım 2017
Revize gönderi 19 Aralık 2017
Kabul 20 Aralık 2017
Online yayınlanması 30 Aralık 2017

Derleme Makalesi

Anahtar kelimeler:

Bor,
Borlu gübreler,
borlu gübreleme,

ÖZET

Bitkilerde bor noksanlığı, en çok kumlu ve organik maddesi düşük olan, yıkanmanın fazla olduğu ve kireçlemenin sıklıkla yapıldığı asit topraklarda ortaya çıkar. Ayrıca, bor adsorpsiyonu/fiksasyonu yüksek olan killi ve pH'sı yüksek topraklarda da bor noksanlığına rastlanmaktadır. Bor noksanlığının ortaya çıkışıyla birlikte öncelikle hücre duvarlarının oluşumu, yapısal bütünlüğü ve işlevi zarar görmektedir. Bitkilerdeki borun yaklaşık % 90'a varan bölümü, hücre duvarlarında yapısal bir element olarak yer almakta ve biyolojik membranların stabilitesini korumaktadır. Bu özelliği ile bor, bitkinin büyüme ve verimi üzerinde ve besin elementi alımında belirleyici bir role sahiptir. Bitkilerin hücre duvarlarında pektin maddesine bağlı olarak bulunan bor, hücre duvarlarına önemli bir sağlamlık ve bütünlük kazandırmaktadır. Böylece bor bitki dokularını, patojen girişine ve enfeksiyona karşı koruyucu bir rol üstlenmekte ve bitkilerin hastalıklara karşı direncini arttıran önemli bir besin elementi olarak karşımıza çıkmaktadır. Borun en dikkat çekici işlevlerinden birisi de, polen oluşumu/tozlaşma, dölleme ve meyve tutumundaki rolüdür. Çoğunlukla, bor noksanlığı çeken bitkilerde vejetatif büyüme etkilenmezken, generatif büyümede ve meyve oluşumunda ciddi azalmalar ortaya çıkar. Bor bitki içinde floem iletim demetinde zor taşınan bir element olarak bilinir ve noksanlık belirtileri genç yapraklarda ve sürgünlerde ortaya çıkar. Bu yüzden, özellikle çiçeklenme ve meyve/tane oluşum döneminde yapraklardan bitkilere kontrollü bir bor gübrelemesinin yapılması yüksek verim için bir verimi garanti etmek adına önemlidir. Bor noksanlığı problemi, topraklarda veya yapraklarda borun yeterli olması durumunda dahi ortaya çıkabilir. Bu durum, daha çok hava neminin yüksek ve transpirasyonun düşük olduğu koşullarda belirgin biçimde ortaya çıkar. Hücre duvarı kompozisyonu ve pektin maddesi miktarına bağlı olarak bitkilerin bor gereksinimi türden türe önemli farklılıklar göstermektedir. Genelde, tahıllar gibi bor gereksinimi düşük olan bitkilere 100 -200 g/da bor önerilirken; bu oran, şeker pancarı, kolza, ayçiçeği gibi bora gereksinimi yüksek olan bitkilerde 400 g'a çıkabilmektedir. Yapraktan yapılacak bor gübrelemesinde ise genelde kabul gören oran 250-300 mg B/litre olacak şekilde önerilmektedir.

The Importance of boron for plants

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 November 2017
Received in revised form 19 December 2017
Accepted 20 December 2017
Available online 30 December 2017

Review Article

Keywords:

Boron,
Boron fertilizers,
Fertilization with boron

ABSTRACT

In plants, boron deficiency occurs most often in acidic sandy soils with low organic matter, high leaching capacity, and frequent lime applications. In addition, boron deficiency is also observed in clayey and high pH soil with high boron adsorption/fixation capacity. Under boron deficiency conditions, the formation, structural stability and functional integrity of cell walls are damaged. Up to 90% of boron in plants is located on cell walls as a structural element and contributes to maintenance of the stability of biological membranes. With these functions boron plays decisive roles in plant growth, yield and nutrient uptake. Boron, as a cell wall element is associated with the pectin substance and provides a substantial strength and stability to cell walls. Thanks to these functions, boron plays a protective role against the penetration and infection of pathogens into plant tissues and increases high resistance of plants to diseases. One of the most particular functions of boron in plants is its role in pollination, fertilization and fruit setting. Therefore, in most cases, vegetative growth is not affected in plants by boron deficiency, while generative growth and fruit formation are affected seriously. Among plant mineral nutrients, boron show the lowest phloem mobility. For this reason, foliar boron fertilization based on leaf analysis is of great importance, especially during the periods of flowering and fruit/seed formation to ensure high yields. Boron deficiency problem can even occur in plants despite of sufficiently high amounts of boron in soils or in fully-expanded leaves which is usually common under conditions where the humidity is high and the transpiration is low. Boron requirements of plants varies considerably from species to species depending on the composition of the cell wall and the amount of pectin. Thus, it is very important to take into account plant species when boron fertilizers are applied. In general, 1 to 2 kg/ha of boron is recommended for plants with low boron requirements, such as cereals, and this rate can be 4 kg for plants with high boron requirements such as sugar beet, rape and sunflower. In the case of foliar boron fertilization, 250-300 mg B/liter is most commonly recommended rate.

*Sorumlu yazar: Aydin.Gunes@agri.ankara.edu.tr

1. Giriş (Introduction)

1.1. Toprakta bor (Boron in soil)

Bor, kumlu ve organik maddesi düşük topraklardan kolaylıkla yıkanabilen bir elementtir. O nedenle kumlu ve asit karakterli topraklarda, yağışların fazla olduğu bölgelerde ve sulamanın çok sık yapıldığı üretim sistemlerinde borun önemli bir kısmı topraktan yıkanmaktadır. Hatta, yağışlarla topraklardan bile ciddi miktarlarda borun yıkandığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır [1].

Yıkanma potansiyelinin yüksek olduğu topraklarda, organik madde miktarı da düşükse bor noksanlığının ortaya çıkma ihtimali o derece artar. Bu özelliklere sahip topraklarda yetiştirilen bitkilerin bor beslenme statüsünün izlenmesi son derece önemlidir. Düşük toprak pH'sını düzeltmeye yönelik yapılan kireçlemenin topraklarda ve dolayısıyla bitkilerde bor noksanlığına sebep olduğu bilinmektedir [2, 3]. Toprakta pH'nın artmasıyla ortaya çıkan borat anyonları kolaylıkla kil minerallerine bağlanır ve bitkiler tarafından alınamaz formlara dönüşür. Ancak, kireçleme ile topraktan ekstrakte edilebilir bor miktarında artışın olduğunu gösteren araştırmalar da bulunmaktadır [4]. Yüksek pH'ya sahip killi topraklarda, köklerin bor alımını azaltan kuvvetli bir bor adsorpsiyonu söz konusu olduğundan [3, 5], bu toprakların ve bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin toprak ve yaprak analizleriyle bor statüsü incelenmeli ve takip edilmelidir.

Toprakların bor durumunun belirlenmesinde yaygın olarak ya sıcak suda ekstrakte edilebilir bor ya da 0.05 M mannitol + 0.01 M CaCl₂ ile ekstrakte edilebilir bor yöntemi önerilir [6]. Mehlich-1 veya Mehlich-3 bor ekstraksiyon yöntemi de dikkate alınabilir. Ancak, sıcak suda ekstrakte edilebilir bor yöntemi en fazla başvurulan yöntemdir [7, 8]. Bu yöntemde göre; toprakta borun az, yeterli ve yüksek kritik sınır değerlerinin sırasıyla < 0.5 (az), 0.5-5.0 (yeterli) ve > 5.0 mg B/kg (yüksek) olduğu genel kabul görmektedir. Toprakta sıcak suda ekstrakte edilebilir (bitkiye elverişli) borun 0.25 mg B/kg değerinin altında olması durumunda bitkilerin, özellikle de bor gereksinimi yüksek olan bitkilerin, bor gübrelemesine öncelikli bir önem verilmelidir.

Tuzlu ve sodyumlu topraklarda bitkiye yarayışlı bor miktarı bitkilerde zehirlenmeye (toksikite) neden olacak seviyelerde bulunabilir. Ayrıca sulu tarım alanlarının topraklarındaki bitkiye elverişli bor miktarı sulama suyunun bor miktarına bağlı olarak da değişim göstermektedir. Sulama suyunda 1 mg B/l'den daha fazla bor bulunması ve bu tür suların sürekli kullanılması ile topraklarda bor gereksinimi yüksek olan bitkiler de bile toksisiteye neden olabilecek düzeyde bor birikimi ortaya çıkabilir. Bu tip suların sulamada kullanılmasının zorunlu olduğu yerlerde toprakta bor birikimini azaltmak için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bitkilerin bor gereksinimine bağlı olarak sulama suyunda izin verilebilecek bor konsantrasyonu 0.3 mg/l ile 4 mg/l arasında değişmektedir [9].

1.2. Yaprakta bor (Boron in leaf)

Bitkilerin bor beslenme durumunun belirlenmesinde genç yaprakların analizi önem taşımaktadır. Yaprak örnekleme sırasında gelişmesini tamamlamış yaşlı yaprakların örneklere dahil edilmesi, analiz sonuçlarında gerçek değerlerin bulunamamasına ve bu topraklardan elde edilen sonuçlar yanlış yorumlara yol açabilir. Bor gereksinimi yüksek olan bitkilerin bor beslenmesi yeterli olduğunda yapraklarda genellikle 25 ile 75 mg B/kg arasında bor bulunur. Tahıllarda ise, bor beslenmesinin yeterli olması durumunda yaprakların bor miktarı genellikle 5 ile 25 mg/kg arasında değişmektedir. Örneğin, aynı bölgede büyüyen buğday bitkisi yapraklarında 5-10 mg B/kg bulunurken, şeker pancarı gibi bor gereksinimi yüksek olan bitkilerde bu değer 100 mg/kg'a kadar çıkabilmektedir [5, 10]. Benzer büyüme koşullarında yetiştirilmiş değişik bitkilerin yapraklarındaki ölçülen bor konsantrasyonları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi tahılların bora olan gereksinimi diğer bitki türlerine göre çok düşüktür. Ama bu durum, borun tahılların büyüme ve verim kapasitesi üzerinde az etkili olduğu anlamına gelmemektedir.

Ayçiçeği, yonca, şekerpancarı, patates gibi bor gereksinimi yüksek olan bitkilerde yapraklardaki bor miktarı 20 mg/kg'ın altında ise yaprakta bor gübrelemesi önerilmektedir [5,11]. Tahıllarda ise yaprakların bor miktarının 5-10 mg/kg altında olması durumunda bor gübrelemesi yapılmalıdır. Tahıllarda bor toksisitesi belirtileri yaprakta bor miktarı 50 mg/kg üzerinde olduğunda ortaya çıkarken, bor gereksinimi yüksek bitkilerin çoğunda bor toksisitesi yaprak bor miktarı 250 mg/kg üzerinde olduğunda görülebilmektedir.

Çizelge 1. Aynı bölgede benzer koşullarda yetiştirilen değişik bitki türlerinin yapraklarındaki bor konsantrasyonu [10]. (Boron concentrations of various plants grown under similar soil conditions).

Bitki Türü	Yaprak Bor Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹ KM)
Buğday	6
Mısır	9
Tütün	29
Çayır Üçgülü	32
Yonca	37
Bürüksel lahanası	50
Havuç	75
Şeker pancarı	102

2. Bitkilerde borun işlevleri (Functions of boron in plants)

2.1. Hücre duvarı ve membran stabilitesi (Cell wall and membrane stability)

Bor noksanlığının ortaya çıkışıyla birlikte öncelikle hücre duvarlarının oluşumu, yapısal bütünlüğü ve işlevi hasar görmektedir [12, 13]. Bitkilerin sağlam bir yapıya ve doku ağına sahip olmasında belirleyici bir rol oynayan bor, bir anlamda hücre duvarlarında ç-

mento görevi gören yapısal bir elementtir. Araştırmalar, bitkideki borun çoğunun hücre duvarında pektin maddesine bağlı olarak bulunduğunu göstermektedir [5, 14]. Bor pektin poli-sakkaritlere bağlanarak (özellikle rhamnogalacturonan-II poli-sakkaritine) hücre duvarlarının mekanik özelliklerine ve stabil bir bütünlük kazanmasına belirleyici katkı sağlamaktadır.

Bor, ayrıca hücre membranlarının iyon alımında, belirleyici rolü olan ATPaz enzim aktivitesini doğrudan veya dolaylı olarak (membranların işlevsel bütünlüğünü koruyarak) etkilediği ve köklerin besin elementi (özellikle potasyum) alımını iyileştirdiği rapor edilmektedir [15, 16]. Son bulgulara göre, bor noksanlığı altındaki bitkilerin yapraklarında, bor beslenmesi iyi olan bitkilere göre daha az miktarda potasyum bulunmaktadır [17]. Model bitkilerde ve hücre kültürlerinde yürütülen çalışmalarda borun büyüme ortamından potasyum alımı üzerinde belirleyici etkisi olduğu gösterilmiş ve bu bulgu, daha çok borun membranlar üzerindeki etkisine bağlanmıştır [5, 15].

Bor, hücre duvarında olduğu gibi; hücre membranlarının yapısal bütünlüğü üzerinde de belirleyici rollere sahiptir. Bor noksanlığında, hücre membranlarının stabilitesi bozulmakta ve çok geçirgen/sızdıran bir özellik kazanmaktadır [18, 19]. Bor noksanlığında membranların geçirgen bir özelliğe sahip olmasından dolayı, kök ve yaprak hücrelerinden dışarıya şeker ve amino asitleri gibi organik bileşiklerin salgısı (eksudasyonu) artmaktadır [18]. Salgılanan karbonca zengin ve organik bileşiklerin, daha sonra ortamdaki patojen sporlarının çoğalmasını ve dokuya patojen enfeksiyonunu teşvik ettiği tahmin edilmektedir. Bor noksanlığı altındaki bitkilerin hastalık etmenlerine karşı aşağıdaki nedenlerden dolayı duyarlılık gösterdiği tahmin edilmektedir: i) hücre duvarlarının zayıflığı (böylece patojen girişinin kolaylığı) ve ii) patojenlerin çoğalmasında besi görevi gören şeker ve amino asitlerin yüksek miktarlarda hücre membranlarından dışarıya salgılanması (eksudasyonu).

2.2. Kök büyümesi (Root growth)

Bor noksanlığı altında köklerin büyümesinde artış hızlanmaktadır. Bor noksanlığı söz konusu olduğunda kök büyümesi yeşil aksam büyümesinden daha erken ve daha şiddetli biçimde etkilenir. Bitkilerin bor noksanlığı ortamına alınmasıyla kök büyümesinde saatler için bir durmanın ortaya çıktığı bilinmektedir [5, 13]. İlginçtir ki, bazen, bor noksanlığı altında yeşil aksam büyümesinde daha herhangi bir azalma veya yapraklarda herhangi bir belirti ortaya çıkmadan önce, tane oluşumunda (Çizelge 2) ve kök büyümesinde azalma olabilmektedir (Y. Ceylan ve Ark, yayınlanmamış sonuçlar). Bu durum birçok bitki türünde görülebilir ve bu problemin tarla koşullarında önceden görülmesi veya anlaşılması zor olabilir.

Kök büyümesinin çok erkenden ortaya çıkması ile kök oluşumu azalmakta ve bu azalmalardan dolayı, bor noksanlığı altındaki bitkilerin su ve besin elementi alı-

mında da bir gerileme ortaya çıkabilmektedir. Sonuçta bor noksanlığı altındaki bitkiler, topraktaki su azlığına çok daha fazla duyarlılık gösterebilir. Benzer şekilde bor noksanlığı altındaki bitkiler, toprağa uygulanan azotlu veya fosforlu gübrelerden yeterince yararlanamayabilir ve sonuçta bitkilerin gübre kullanım etkinliğinde de bir azalma söz konusu olur.

Borun kök büyümesi üzerindeki bu çarpıcı etkisinde bir kaç faktörün belirleyici rolü olduğu düşünülmektedir. Bor noksanlığında kök büyümesinin hızlı bir biçimde duraklamasında toksik etkisi yüksek olan serbest oksijen radikalleri belirleyici bir rol oynamaktadır [20]. Borun, fotosentez ürünlerinin yapraklardan, kök ve yeşil aksamdaki büyüme noktalarına (meristematik organlara) taşınmasında önemli bir rol oynadığı rapor edilmiştir [15, 21]. Fotosentez ürünlerinin bor noksanlığında köklere taşınmaması durumunda, kök büyümesinde önemli bir azalmanın ortaya çıkması muhtemeldir. Ayrıca, borun hücre duvarlarının oluşumu ve sağlamlığı üzerindeki olumlu etkileri ve büyüme hormonu olan indolasetik asit (İAA) miktarı üzerinde arttırıcı etki göstermesi; borun kök büyümesi üzerindeki olumlu etkileriyle de doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Bor noksanlığı altında büyüme hormonu olan İAA'nın oksidatif olarak hasarının arttığını gösteren araştırma bulguları bulunmaktadır [5].

2.3. Çiçeklenme ve meyve tutumu (Flowering and fruit setting)

Borun, generatif gelişmede özellikle polen canlılığı, çimlenme ve polen tüpü gelişmesinde, önemli rol oynadığı en iyi bilinen fizyolojik rollerinden biridir [22, 23, 24]. Polen tüplerinin sağlıklı bir büyüme ve işlev göstermesi bor yetersizliğinden şiddetli biçimde etkilenmektedir. Bu durum döllenmenin azalması ya da durması ile sonuçlanmaktadır (Resim 1). Borun bu önemli etkisi, Resim 2'de çeltik tohumlarında belirgin biçimde görülmektedir.



Resim 1. Çeltik tohum oluşumu süreci yeterli bor ile sorunsuz gerçekleşirken (soldaki tohum), borun yetersiz olduğu koşullarda bu süreç aksamakta (ortadaki tohum) ya da hiç gerçekleşmemektedir (sağdaki tohum). (Kaynak: B. Rerkasem, Chiang Mai Üniversitesi). (Rice seed formation process occurs smoothly with sufficient boron (seed on the left), In the case of insufficient boron, this process is either adversely affected (seed in the middle) or never occurs (seed on the right) (Source: B. Rerkasem, Chiang Mai University).

Çiçeklenmenin azalması ve oluşan çiçeklerin dökülmesi, bor noksanlığı altındaki bitkilerde sıklıkla görülen bir problemdir [22, Çizelge 2]. O nedenledir ki,

bor noksanlığında vejetatif büyüme (yeşil aksam büyümesi) çok az veya hiç etkilenmediği halde, tohum ya da meyve üretimi bor noksanlığından fazlasıyla etkilenmektedir. Bu durum, çiçeklenme öncesi ve sırasında yapraktan bor gübrelenmesi yapılmasının önemine işaret etmektedir. Çizelge 2'den görüldüğü gibi, yapraklarda herhangi bir noksanlık belirtisi ve vejetatif büyümede herhangi bir olumsuzluk ortaya çıkmadığı halde, tohum ve meyve oluşumu bor noksanlığından şiddetli biçimde etkilenenmektedir. Bu durum, bitkilerde generatif dönemde yapraktan bor gübrelenmesinin önemli olabileceğine işaret etmektedir.

2.4. Baklagillerde nodül oluşumu ve azot fiksasyonu (Nodule development in legumes and nitrogen fixation)

Baklagillerin bora çok yüksek bir gereksinim gösterdiği bilinmektedir. Bunun ana nedenlerinde biri olarak azot fiksasyonu sürecinin ve nodül oluşumunun bor eksikliğinden çok fazla etkilenmesi olarak gösterilmektedir [25, 26, 27]. Örneğin, bezelye bitkisinin bor noksanlığı koşullarında yetiştirilmesi durumunda köklerde nodül oluşumunun önemli düzeyde azalma gösterdiği ve nitrojenaz enzim aktivitesinin azaldığı saptanmıştır.

2.5. Alüminyum toksisitesinin azalması (Alleviation of aluminum toxicity)

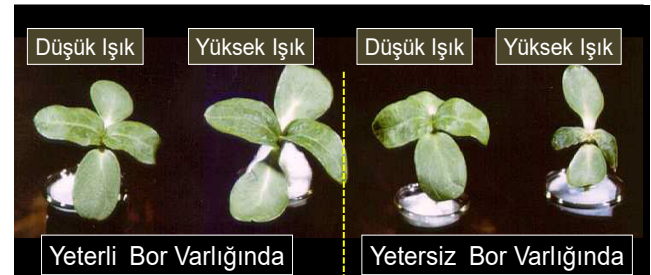
Asidik topraklarda yaygın olan alüminyum toksisitesine karşı borun olumlu (koruyucu) etkisinin olduğu ve alüminyuma bağlı kök zararlanmasının borun yeterli olduğu koşullarda daha az görüldüğü rapor edilmiştir [28, 29, 30]. Bor, olasılıkla askorbik asit metabolizması üzerinden antioksidatif savunma mekanizmasını aktif tutarak alüminyum toksisitesine karşı koruyucu etki gösterdiği [31] ya da alüminyumun hücre duvarlarında tutunmasını/bağlanmasını etkileyerek (özellikle pektin maddesine bağlanmasını sağlayarak) bitkilerin alüminyum zararından az etkilendiği düşünülmektedir [28, 30].

3. Bitkilerin bor beslenmesini etkileyen çevresel faktörler (Environmental factors affecting boron nutrition of plants)

Borun bitki kök bölgesine yoğunlukla kitle hareketleri (su akımıyla) taşınıyor olması nedeniyle kurak koşullarda köklerin bor alımı azalabilir. Borun bitkiye ve kökten yeşil aksama taşınmasında terlemenin (transpirasyon) önemli olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı, havadaki bağıl nemin yüksek olması durumunda (havalanması

yetersiz ve düzensiz sulama yapılan seralarda yaygın olarak görülür) bitkilerin terleme oranı azalacağından, topraktan bitkinin yeşil aksamına (özellikle genç yapraklar ve filizlere) bor taşınması ciddi biçimde azalır ve bitkilerde bor noksanlığı ortaya çıkabilir. Sera içi bağıl nemin yüksek olduğu koşullarda bitkilerin bor beslenmesine özel bir önem verilmelidir [32]. Bu tür koşullarda ortaya çıkan bor yetersizliği, yapraklarda herhangi bir noksanlık belirtisine neden olmadan (gizli açlığa yol açarak) verim üzerinde olumsuz etki gösterebilir.

Bor yetersizliği altındaki bitkiler, aşırı ışık ve sıcaklık koşullarına çok duyarlıdır. Yüksek ışık yoğunluğu altında ve uzun güneşli günlerde eğer bitkilerin bor beslenmesi yetersiz düzeyde ise yapraklarda bor noksanlığı belirtileri daha hızlı gelişir ve "ışık yakması-zararlanması" olarak bilinen foto-oksidatif zararlanma ortaya çıkar [18]. Bor, yaprakların absorbe ettiği ışık enerjisinin fotosentez olayında kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Eğer yaprakların absorbe ettiği ışık enerjisinin bor noksanlığından dolayı fotosentezde kullanımı azalır, yapraklarda bir enerji fazlalığı ortaya çıkar. Bu enerji özellikle ışık yoğunluğunun yüksek olduğu koşullarda aşırı miktarlara ulaşmakta ve toksik etkinliği yüksek olan serbest oksijen radikallerinin oluşumuna yol açarak bitkide foto-oksidatif bir zarara (yanmaya) yol açmaktadır (Resim 2)



Resim 2. Farklı bor uygulamaları altında yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin düşük ve yüksek ışık yoğunluğu altındaki büyümesi ve yaprak zararı [1]. Çakmak, yayınlanmamış; bakınız ayrıca 18]. (The effects of low and sufficient boron on the growth and leaf damage of sunflower plants grown under high and low light intensity)

Sıcaklığın çok düşük olduğu koşullarda da bitkilerin bor noksanlığına karşı duyarlı olduğu bilinmektedir [33, 34]. Hava sıcaklığının çok düşük olduğu koşullarda bitkilerde kısırlık probleminin bor yetersizliği ile daha da arttığı rapor edilmiştir [35].

Çizelge 2. Bor uygulamasının çayırüçgülü bitkisinde vejetatif ve generatif gelişmeye etkisi [22] (Effect of boron on the vegetative and generative growth of red clover)

Bor uygulaması (mg/kg toprak)	Yeşil aksam kuru maddesi (g/saksı)	Çiçek sayısı (No/saksı)	Tane verimi (mg/saksı)
0	12.8	0	0
0.25	13.0	6	0
1	12.3	37	430
2	12.3	37	1190

4. Bitkide bor noksanlığı belirtileri (Boron deficiency symptoms in plants)

Bor noksanlığı özellikle kök ve yeşil aksamdaki aktif büyüme noktalarını etkiler. Yukarıda da işaret edildiği gibi bor, bitki türlerinin çoğunda floem kanalında hareketliliği (yani bitki içinde genç yapraklara ve aktif büyüme noktalarına taşınması) en zor olan besin elementlerinden biridir. Bu nedenle, bor hareketliliğinin çok düşük olduğu bitkilerde bor noksanlığı önce bitkilerin en genç kısımlarında, kök büyüme uçlarında ve özellikle de meyvelerde ortaya çıkar. Genç yapraklarda şekilsel bozulmalar ve sararmalar ortaya çıkabilir. Yaşlı ya da büyümesini tamamlamış yapraklarda bor noksanlığı belirtileri pek görülmez. Ancak, bor noksanlığının çok ileri aşamasında genç yapraklar dışındaki yapraklarda da noksanlık belirtileri görülebilir. Genel olarak tüm bitkilerde bor noksanlığında çiçeklenmede ve döllemede ciddi boyutlarda azalmalar ortaya çıkar ve bitkilerin tohum üretme kapasitesi geriler. Bor, döllemede belirleyici rolü olan polen tüpünün uzunluğunu/büyümesini doğrudan etkileyen bir besin elementidir [5, 36]. Çiçek dökülmesi ve meyve/tane oluşumunun gerilemesi de bor eksikliğinde sıklıkla karşılaşılan sorundur.

Bitkilerde generatif organlar (çiçek, meyve, tohum), vegetatif organlara (yeşil aksam) göre bor noksanlığına karşı daha fazla duyarlıdır (Tablo 2). Çoğu zaman yapraklarda borun herhangi bir noksanlık belirtisi görülmediği ve vejetatif büyümede herhangi bir azalma ortaya çıkmadığı halde; çiçeklenme, dölleme ve tohum oluşumu aksayabilir. Bazen "gizli bor noksanlığı/bor açlığı" olarak da anılan bu durum bitkisel üretimde zaman zaman görülebilmektedir. O nedenle bitkilerin bor beslenme durumunu yaprak analizleriyle takip etmekte yarar vardır. Bu bağlamda, tarla ya da bahçenin bir bölümünde test amaçlı bor uygulamaları yapılarak bitkilerin bor gübrelemesine reaksiyonu incelenebilir.

5. Bor gübreleri ve bor gübrelemesi (Boron fertilizers and boron fertilization)

Bitkilerde bor noksanlığını gidermek amacıyla kullanılacak çok sayıda değişik bor kaynakları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri: **ETİDOT-67** (disodyum oktaborat tetrahidrat; $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$; % 20.9 B), **boraks** ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$; %11 B), **solubor** ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, % 20 B), **sodyum tetraborat** ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; % 14 B), **borik asit** (H_3BO_3 %17 B), **üleksit** ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$, %13.3 B) ve **kolemanit** ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; % 15.8 B). Bor gübrelemesinde; ağır bünyeli ve pH'sı yüksek topraklarda çözünürlüğü yüksek borlu gübrelerin; buna karşılık toprakta yıkanmanın fazla olduğu asidik kumlu topraklarda ise çözünürlüğü nispeten az olan borlu gübrelerin dikkate alınmasında yarar vardır. Yıkanmanın azlığı ve olası bor toksisitesi zararını en aza indirmek için asidik topraklarda kolemanit ya da üleksit kullanımı dikkate alınabilir [37, 38, 39]. Çözünürlüğü çok yüksek borlu

gübrelerin özellikle asit karakterli toprak katmanlarından yıkanma olasılığı çok yüksektir [5, 8]. Bu nedenle, ülkemizin fındık ve çay üretim alanlarında olduğu gibi, asit karakterli ve yıkanmanın fazla olduğu topraklar için geliştirilecek olan bor içerikli gübrelerdeki borun çözünürlüğünün çok yüksek olması arzu edilmez.

Tahıllar gibi bor gereksinimi düşük bitkiler için önerilen saf bor miktarı 100-200 g/da civarındadır [5,11]. Bu miktar çok üst miktarlara çıkarsa tahıllarda ciddi boyutta bir bor zararı ortaya çıkabilir. Bor gereksinimi yüksek olan bitkiler için önerilen saf bor miktarı genellikle 200 ile 400 g/da arasında değişmektedir. Bitkiye elverişli bor miktarı çok düşükse (örneğin $\leq 0.25\text{ mg B/kg}$ ise), bitkilerin (özellikle bor gereksinimi yüksek olan bitkilerin) bor gübrelenmesi konusuna özellikle önem verilmelidir [5, 11].

Toprakta B gübrelemesi yapılacaksa, mutlaka yüze ye serpmeye yapılmalı ve toprakla hafifçe karıştırılmalıdır. Eğer banda uygulama yapılacaksa uygulama dozu düşük tutulmalı ve çözünürlüğü nispeten az olan borlu gübreler kullanılmalıdır. Aksi durumda çimlenme aşamasındaki tohumlar, yeni gelişen kökler ve genç fideler uygulanan bor ile değişim gösterir ve zarar görebilir.

Borun bitki içinde yaşlı dokulardan genç kısımlara ve çiçeğe taşınmaması nedeniyle yaprakta bor gübrelemesi önem taşımaktadır. Yaprak analizlerine dayalı bir yaprakta bor gübrelemesinde; uygulanacak su miktarına bağlı olmak üzere, genellikle 15-20 g B/da miktarının kullanılması ve bu uygulamanın vegetasyon dönemi içinde 2-3 defa yapılması önerilmektedir. ETİDOT-67, solubor ve borik asit en yaygın kullanılan borlu yaprak gübreleridir. Yapraktan bor uygulaması ideal olarak bitkilerin çiçeklenmesinden 10-15 gün önce ve tane, meyve veya yumru oluşum dönemleri başında yapılmalıdır. Yapraktan bor uygulaması için en iyi zaman akşamüstü güneş batımına yakındır.

6. Genel değerlendirme (Conclusion)

Bor elementi kültür bitkilerinin büyümesi ve verim oluşturma kapasitesi üzerinde belirleyici etkilere sahip olan bir elementtir. Çok yüksek miktarlarda bitki hücre duvarlarında yer alan bor, buradaki morfolojik ve fizyolojik fonksiyonlarıyla hem bitki büyümesi üzerinde hem de patojen penetrasyonuna karşı bitki direnci üzerinde önemli roller üstlenmektedir. Mutlak anlamda eksikliğinin var olduğu bir ortamda kök büyümesinin birkaç saat içinde durma göstermesi, borun büyümeyi ne denli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu bilgiler, bitkilerin kök büyüme ortamında devamlı yeterli düzeyde bor bulunmasının önemine işaret etmektedir. Borun diğer çarpıcı önemli rolü polen canlılığı ve dölleme üzerindeki rolüdür. Bitkilerin çok büyük bir bölümünde bitki içinde floem yoluyla taşınması zor olan bir element olması nedeniyle, dölleme sürecinin aksaması için borun yaprakta gübreleme yoluyla bitkilere verilmesi

önemli olabilir. Üreticilerin mutlaka üretim yaptıkları alanlarda alanın bir bölümündeki bitkilere yapraktan bor gübrelemesi yaparak, bor gübrelemesinin etkisini incelemede ve izleyen yıllarda bor gübrelemesine ne denli gereksinim olup olmadığını belirlemelerinde yarar vardır.

Kaynaklar (References)

- [1] Reid, R., Fitzpatrick K., Influence of leaf tolerance mechanisms and rain on boron toxicity in barley and wheat, *Plant Physiol.*, 151, 413-420, 2009.
- [2] Chen W.T., Ho S. B., Lee D. Y., Effect of pH on boron adsorption-desorption hysteresis of soils, *Soil Sci.*, 174, 330-338, 2009.
- [3] Steiner F., Lana M. C., Effect of pH on boron adsorption in some soils of Parana, Brazil, *Chilean J. Agric. Res.*, 73, 181-186, 2013.
- [4] Sarkar D., Ghosh S., Batabyal K., Mandal B., Chattopadhyay A. P., Liming effects on extractable boron in six acidic soils, *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 46, 1320-1325, 2015.
- [5] Marschner P., Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edn. Elsevier, Academic Press, USA., 2012.
- [6] Cartwright B., Tiller K. G., Zarcinas B. A., Spouncer L. R., The chemical assessment of the boron status of soils, *Aust. J. Soil Res.*, 21, 321-332, 1983.
- [7] Aitken R. L., Jeffrey A. J., Compton B. L., Evaluation of selected extractants for boron in some Queensland soils, *Aust. J. Soil Res.*, 25, 263- 273, 1987.
- [8] Sarkar D., Mandal B., Mazumdar D., Plant availability of boron in acid soils as assessed by different extractants, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 171, 249-254, 2008.
- [9] Nable R. O., Banuelos G. S., Paull J. G., Boron toxicity, *Plant Soil.* 193, 181-198, 1997.
- [10] Gupta U. C., 1979. Boron nutrition of crops: *Adv Agron. Am. Soc. Agron.*, 31, 273-307.
- [11] Cakmak I., Gezgin S., Gunes A., Kalinbacak, K., Ozcan, H., National Boron Research Enstitute-Agriculture boron research and implementation program, International Symposium on Boron in Agriculture, Ankara, Turkey, 16-18 November, 2016.
- [12] Brown P. H., Bellaloui N., Wimmer M. A., Bassil E. S., Ruiz J., Hu H., Pfeffer H., Dannel, F., Romheld V., Boron in plant biology, *Plant Biology.*, 2, 205-223, 2002.
- [13] Oiwa Y., Kitayama K., Kobayashi M., Matoh T., Boron deprivation immediately causes cell death in growing roots of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 59, 621-627, 2013.
- [14] Hu H., Brown P. H., Labavitch J. H., Species variability in boron requirement is correlated with cell wall pectin, *J. Exp. Bot.*, 47, 227-232, 1996.
- [15] Cakmak I., Römheld V., Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants, *Plant Soil.*, 193, 71-83, 1997.
- [16] Blevins D. G., Lukaszewski K. M., Boron in plant structure and function, *Ann. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.*, 49, 481-500, 1998.
- [17] Davis J. M. Sanders D. C., Nelson P.V., Lengnick L., Sperry W. J., Boron improves growth, yield, quality, and nutrient content of tomato, *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 128, 441-446, 2003.
- [18] Cakmak I., Kurz H., Marschner H., Short-term effects of boron, germanium and high light-intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower, *Physiologia Plant.*, 95, 11-18, 1995.
- [19] Dordas C., Brown P. H., Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures, *Plant Soil.*, 268, 293-301, 2005.
- [20] Camacho-Cristóbal J. J., Martín-Rejano E. M., Herrera-Rodríguez M. B., Navarro-Gochicoa M. T., Rexach J., González-Fontes A., Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway in *Arabidopsis* seedlings, *J. Exp. Bot.*, 66, 3831-3840, 2015.
- [21] Han S., Chen L. S., Jiang H. X., Smith B. R., Yang L. T., Xie C. Y., Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings, *J. Plant Physiol.*, 165, 1331-1341, 2008.
- [22] Sherrel C. G., Boron deficiency and response in white and red clovers and lucerne, *New Zeal. J. Agric. Res.*, 26, 197-203, 1983.
- [23] Wang Q. L., Lu L. D., Wu X. Q., Li Y. Q., Lin J. X., Boron influences pollen germination and pollen tube growth in *Picea meyeri*, *Tree Physiol.*, 23, 345-351, 2003.
- [24] Lordkaew S., Konsaeng S., Jongjaidee J., Dell B., Rerkasem B., Jamjod S., Variation in responses to boron in rice. *Plant Soil.*, 363, 287-295, 2013.
- [25] Bolanos L., Brewin N. J., Bonilla I., Effects of boron on Rhizobium-legume cell-surface interactions and nodule development, *Plant Physiol.*, 110, 1249-1256, 1996.
- [26] Abreu I., Cerda, M. E., de Nanclares M. P., Baena I., Lloret, J., Bonilla I., Bolanos L., Reguera M., Boron deficiency affects rhizobia cell surface polysaccharides important for suppression of plant defense mechanisms during legume recognition and for development of nitrogen-fixing symbiosis, *Plant Soil.*, 361, 385-395, 2012.
- [27] Hamilton L., Reed, K. F. M., Leach E. M. A., Brockwell J., Boron deficiency in pasture based on subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) is linked to symbiotic malfunction, *Crop & Pasture Sci.*, 68, 1197-1212, 2017.
- [28] Yu M., Shen R., Liu J., Chen, R., Xu M., Yang Y., Xiao H., Wanh H. Z., Wang H.Y., Wang C.Q., The role of root border cells in aluminum resistance of pea (*Pisum sativum*) grown in mist culture, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 172, 528-534, 2009.
- [29] Heidarabadi M. D., Ghanati F., Fujiwara T., Interaction between boron and aluminum and their effects on phenolic metabolism of *Linum usitatissimum* L. roots, *Plant Physiol Bioc.*, 49, 1377-1383, 2011.
- [30] Li X. W., Liu J. Y., Fang J., Tao L., Shen R. F., Li Y. L., Xiao H. D., Feng Y. M., Wen H. X., Guan J. H., Boron supply enhances aluminum tolerance in root border cells of pea (*Pisum sativum*) by Interacting with

- Cell Wall Pectins, *Front. Plant Sci.*, 8, DOI: 10.3389/fpls.2017.00742, 2017.
- [31] Lukaszewski K. M., Blevins D. G., Root growth inhibition in boron-deficient or aluminum stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism, *Plant Physiol.*, 112, 1135-1140, 1996.
- [32] Krug B., Whipker B., McCall I., Frantz J., Elevated relative humidity increases the incidence of distorted growth and boron deficiency in bedding plant plugs, *Hort Sci.*, 48, 311-313, 2013.
- [33] Huang L. B., Ye Z. Q., Bell R. W., Dell B., Boron nutrition and chilling tolerance of warm climate crop species, *Annal. Bot.*, 96, 755-767, 2005.
- [34] Raisanen M., Repo T., Lehto T., Cold acclimation was partially impaired in boron deficient Norway spruce seedlings, *Plant Soil.*, 292, 271-282, 2007.
- [35] Subedi K. D., Gregory P. J., Summerfield R. J., Gooding M. J., Cold temperatures and boron deficiency caused grain set failure in spring wheat (*Triticum aestivum* L), *Field Crops Res.* 57, 277-288, 1998.
- [36] Cheng C. H., Rerkasem B., Effect of boron on pollen viability in wheat, *Plant Soil*, 155/156, 313-315, 1993.
- [37] Saleem M., Yusop M. K., Ishak F., Samsuri A. W., Hafeez B., Boron fertilizers borax and colemanite application on rice and their residual effect on the following crop cycle, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57, 403-410, 2011.
- [38] Abat M., Degryse F., Baird R., McLaughlin M. J., Slow-release boron fertilizers: Co-granulation of boron sources with mono-ammonium phosphate (MAP), *Soil Res.*, 53, 505-511, 2015.
- [39] Brennan R. F., Bell R. W., Frost K., Risks of boron toxicity in canola and lupin by forms of boron application in acid sands of south-western, *Aust. J. Plant Nutr.*, 38, 920-937, 2015.