



Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları

İlyas BOLAT^{1*}, Ömer KARA²

¹ Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Soil Science and Ecology, 74100, BARTIN, TURKEY

² Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Watershed Management, 61080, TRABZON, TURKEY

Öz

Bitki besin elementleri toprak kimyasının en geniş ve önemli konularından birini oluşturmaktadır. Bitkiler de diğer canlılar gibi yaşamlarını sürdürebilmek için farklı oranlarda çeşitli bitki besin elementlerine ihtiyaç duymaktadır. Bitkiler en azından 90 farklı elementi havadan, sudan ve topraktan absorbe etmektedir. Bu elementlerden bir kısmı bitkinin büyüyebilmesi ve gelişebilmesi için zorunlu olarak ihtiyaç duyduğu elementlerdir, bir kısmı ise bitkinin büyüme ve gelişmesinde faydalı olan elementlerdir. Bu açıdan değerlendirildiğinde 16 ile 20 arasında değişen elementin bitkinin büyüme ve gelişmesinde zorunlu diğerlerinin ise faydalı element olduğu söylenebilir. Her bir besin elementi bitkinin büyüme ve gelişmesini sağlayan farklı bitki fonksiyonlarına yardımcı olmaktadır. Bu yüzden elementler, bitkilerdeki miktarlarına göre genel olarak “makro” ve “mikro” bitki besin elementleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Karbon, hidrojen, oksijen, azot, potasyum kalsiyum, fosfor, magnezyum ve kükürt makro besin elementi olarak bilinmektedir. Mikro besin elementleri ise demir, klor, bakır, mangan, çinko, molibden, bor ve nikel’dir.

Anahtar Kelimeler: Bitki, Karbon, Azot, Bitki besin elementleri, Makro elementler, Mikro elementler.

Plant Nutrients: Sources, Functions, Deficiencies and Redundancy

Abstract

Plant nutrients are one of the comprehensive and important issues in the soil chemistry. Like other living things, plants need various nutrients in different proportions to maintain their lives. Plants can absorb at least 90 different nutrients from air, water and soil. Some of these elements are needed for growth and development the others are beneficial elements for stimulating growth and development. Therefore, it can be said that from 16 up to 20 elements are requisite for plant growth and development whereas the others are beneficial elements. Each of the plant nutrients assists different plant functions which support plant growth and development. Therefore, elements are divided into two groups based on their amount in the plant; macro and micro nutrients. Carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, potassium, calcium, phosphorus, magnesium, and sulfur are known as macro nutrients. In a group of micro nutrients are iron, chlorine, copper, manganese, zinc, molybdenum, boron and nickel.

Keywords: Plant, Carbon, Nitrogen, Plant nutrients, Macro elements, Micro elements.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

İlyas BOLAT (Dr.); Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Soil Science and Ecology, 74100, Bartın, Turkey. E-mail: ilyasbolat@bartin.edu.tr, bolat.ilyas@hotmail.com

Geliş (Received) : 09.08.2016
Kabul (Accepted) : 19.12.2016
Basım (Published) : 01.06.2017

1. Giriş

Bitkiler optimal bir şekilde büyüme ve gelişme gösterebilmeleri için en az 17 bitki besin maddesine ya da elemente ihtiyaç duymaktadır. Bu elementlerden üç tanesi hidrojen, karbon ve oksijendir (White, 2006; Gardiner ve Miller, 2008; Fageria, 2009). Bitkiler bu elementleri çoğunlukla hava ve sudan aldıkları için bu elementler mineral olmayan bitki besin elementleri olarak düşünülmektedir. Bitki kütlelerinin çok büyük bir kısmını (% 95) oluşturmalarına rağmen yeterli kaynaklarının olmasından dolayı bitki beslemede hemen hemen hiç önemsenmemektedirler (Jones ve Jacobsen, 2001; Fageria, 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Fotosentez olayında bitkiler, kök ve gövdeleri ile aldıkları ve yapraklara kadar gelen su molekülündeki hidrojeni parçalamak için güneş enerjisini kullanmaktadır. Hidrojen bitki stomalarından yapraklara nüfuz eden CO₂ molekülündeki karbon ve oksijen ile birleşmektedir. Tepkime sonucunda ortaya çıkan ürünler karbonhidratlar ve diğer organik moleküllerdir. Bu organik maddeler bitki kuru ağırlığının % 90'ından daha fazlasına denk gelmektedir (Gardiner ve Miller, 2008).

Bitkiler, diğer zorunlu 14 elementi doğrudan topraktan almaktadır. Bitkiler tarafından elementler anyon ve katyon halinde alınabildiği gibi moleküller halinde de alınabilmektedir. Çözülebilir durumda olan bu elementlerin oransal miktarları birbirinden farklıdır (Çizelge 1) (Wild, 1993; Kantarcı, 2000; Gardiner ve Miller, 2008). Diğer bir ifade ile bitkilerde bulunan besin elementleri miktarları üzerinde bitkinin türü, yaşı, kök büyümesi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, toprakta yarayışlı şekilde bulunan elementlerin cins ve miktarları, uygulanan tarımsal yöntemler, hava koşulları gibi çok sayıda faktör etkilidir (Kacar ve Katkat, 2010).

Zorunlu bitki besin maddeleri, bitkinin yaşamını devam ettirebilmesi için olması gereken, diğer elementler tarafından yeri doldurulamayan ve doğrudan bitki metabolizması için gerekli olan, diğer bir ifade ile yokluğunda bitki yaşamının söz konusu olmadığı elementler olarak tanımlanmaktadır (Fageria vd., 2002; Rice, 2007). Bu açıdan değerlendirildiğinde Tablo 1'de verilen elementlerin tamamı zorunlu elementlerdir. Buna karşın çoğu bitkinin yapısında belirli oranlarda yaygın şekilde bulunan ancak bitkinin büyüme ve gelişmesinde zorunlu olarak gerek duymadığı sodyum (Na), kobalt (Co) ve silisyum (Si) gibi elementler de bulunmaktadır (Arnon ve Stout, 1939; Gardiner ve Miller, 2008; Fageria, 2009). Fakat Kacar ve Katkat (2010) yaptıkları çalışmada bahsedilen bu üç elementi de hesaba katarak bitki gelişmesi için 20 elementin gerekli olduğunu bildirmektedir.

Tablo 1. Çoğu bitkilerin gelişebilmesi için gerekli olan bitki besin elementleri ve bunlara ilişkin bazı özellikler (Çepel, 1996; Jones ve Jacobsen, 2001; Epstein ve Bloom, 2005).

Elementin Adı	Kimyasal Simgesi	Atomik Ağırlığı	Kuru Maddedeki İçeriği %	İçeriği ppm	Bitkiye Yarayışlı Şekli
Hidrojen	H	1.0	6		H ₂ O
Karbon	C	12.0	45		CO ₂
Oksijen	O	16.0	45		O ₂ , H ₂ O
Azot	N	14.0	1.5 (1-5)		NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
Potasyum	K	39.1	1.0		K ⁺
Kalsiyum	Ca	40.1	0.5 (0.2-1)		Ca ²⁺
Magnezyum	Mg	24.3	0.2 (0.1-0.4)		Mg ²⁺
Fosfor	P	30.1	0.2 (0.1-0.5)		H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
Kükürt	S	32.1	0.1 (0.1-0.4)		SO ₄ ²⁻
Klor	Cl	35.5		100 (100-1000)	Cl ⁻
Bor	B	10.8		20 (6-60)	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻
Demir	Fe	55.8		100 (50-250)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Mangan	Mn	54.9		50 (20-200)	Mn ²⁺
Çinko	Zn	65.4		20	Zn ²⁺
Bakır	Cu	63.5		6	Cu ⁺ , Cu ²⁺
Nikel	Ni	58.7		0.05	Ni ²⁺
Molibden	Mo	95.9		0.01	MoO ₄ ²⁻

Epstein ve Bloom (2005)'e göre bir bitki besin elementi zorunluluğunun iki kriteri vardır. Bunlardan birincisi; bitki besin elementinin bitki metabolizmasının ya da strüktürünün esas parçası olan bir molekülün bölümünü oluşturmasıdır. İkincisi, bitkinin büyüme ve gelişmesinde anormallik göstermesi bitkinin yetiştiği ortamdaki besin elementinin yetersizliğinden kaynaklanırken, bitkinin normal büyüme ve gelişme göstermesinin besin elementinin var olması durumunda gerçekleşmesidir. Ülkelere ve araştırmacılara göre değişmekle birlikte, bitkilerin ihtiyaçlarına göre besin elementleri makro ve mikro elementler olarak ikiye ayrılmaktadır (Tablo 2). Makro besin elementleri mikro elementlere kıyasla tarafından daha fazla gereksinim duyulan elementlerdir. Bu yüzden mikro besin elementlerine minör ya da iz elementleri de denilmektedir. Tablo 2'de parantez içerisinde gösterilen bitki besin elementleri bazı bitkiler için mutlak gerekli iken, bazı bitkiler için de gerekli değildir. Bu konuda tartışmalar

devam etmektedir (Fageria, 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Tablo 2. Bitkiler için zorunlu besin elementlerinin sınıfları (Bergmann, 1992'ye atfen Kacar ve Katkat, 2010).

Organik Maddede Bulunan Temel Elementler	Besin Elementleri				
	Makro Besin Elementleri		Mikro Besin Elementleri		
C	N	K	B	Cu	(Al)*
H	P	Ca	Cl	Fe	(Co)
O	S	Mg	Mo	Mn	(Na)
				Zn	(Ni)
					(Si)
					(V)

Bitki besin elementleri toprakta (1) tuzlar, (2) adsorbe edilmiş ya da değiştirilebilir halde organik ve anorganik yüzeylerde, (3) kil minerallerinin ara tabakalarında, (4) organik madde içerisinde, (5) toprak biyokütlesi içerisinde, (6) silikatların yapı taşı olarak hareketsiz (immobil) halde ve (7) demir ve mangan oksitlerin iç kısmında bağlanmış (oklüde) şekilde bileşikler halinde bulunabilir. Buna karşılık toprakta besin elementleri kaybı (1) bitkiler tarafından alınma, (2) yıkanma, (3) erozyon, (4) immobilizasyon, (5) azotta olduğu gibi gaz halinde (N₂, NH₃, azot oksit) atmosfere karışma şeklinde ortaya çıkmaktadır (Özbek vd., 2001).

1.1. Makro Besin Elementleri

1.1.1. Karbon (C)

Bitkiler tarafından havadan (atmosfer) CO₂ formunda alınan bir elementtir. Karbonhidratların, proteinlerin yağların ve nükleik asitlerin temel moleküler bileşenidir. Bitkilerin gerçekleştirdiği fotosentez olayında kullanılan ve gerekli olan bitki besin elementidir (Jones ve Jacobsen, 2001; Fageria vd., 2011).

1.1.2. Hidrojen (H)

Bitkiler tarafından sudan, H₂O formunda alınan bir elementtir. Bitki metabolizmasında merkezi rol oynayan bir bitki besin elementidir. Temel indirgen madde olmasından dolayı iyon dengesinin sağlanması açısından önemlidir. Ayrıca hücreler arasındaki enerji ilişkilerinde de anahtar bir role sahiptir. Bitkideki birçok biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesinden sorumludur (Jones ve Jacobsen, 2001; Fageria vd., 2011).

1.1.3. Oksijen (O)

Oksijeni, bitki su ve havadan O₂ ve H₂O formlarında almaktadır. Bitkideki fonksiyonları bakımından karbona çok benzeyen bir besin elementidir. Bu yüzden canlı organizmalarına ait bütün organik bileşiklerin tamamında fiilen bulunmaktadır. Karbonhidratların yapısını oluşturan oksijen elementi solunum için de gerekmektedir (Jones ve Jacobsen, 2001; Fageria vd., 2011). Bu yüzden hem hayvanlar hem de bitkiler için gerekli olan bir elementtir. Sadece birkaç prokaryot dışında hiçbir canlı oksijen olmadan yaşamını sürdürmez (Begon vd., 2006).

1.1.4. Azot (N)

Azot su ile birlikte kısıtlı en fazla çekilen besin elementidir. Bu yüzden daha çok bitki büyümesini kontrol eden besin elementi olarak karşımıza çıkar (Çepel, 1996; Gardiner ve Miller, 2008; Fageria, 2009). Çünkü toprağın anakayasında ve anakayadan gelen anorganik anamateryalde azot bileşikleri yoktur. Azotun doğadaki kaynağı atmosferdir. Bunun haricinde hidrosfer ve canlılarda da önemli miktarda azot bulunmaktadır. Toprakta bulunan azotun ana deposu ise organik maddedir. Organik maddenin zamanla parçalanması sonucunda içinde bulunan azottan bitkiler faydalanabilir (Çepel, 1996; Kantarcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001).

Dünya topraklarının büyük bir bölümünde azot noksanlığı söz konusudur. Organik madde miktarı çok düşük olan ülkemiz toprakları azot bakımından oldukça fakirdir. Azot bitkide birçok önemli organik bileşiğin yapısında yer alır. Proteinler, amino asitler, nükleik asitler, enzimler, klorofil, ATP, ADP azot içeren önemli organik bileşiklerdir (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009). Azot bitkide gerçekleşen birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayda çok önemli rol oynar. Proteinlerin ve klorofilin sentezinde azotun etkisi çok büyüktür. Bitki hücre duvarının temel yapı taşıdır. Köklerin solunumunda, çiçeklenmenin zamanında gerçekleşmesinde, meyvenin (tohumun) oluşma ve olgunlaşmasında azotun rolü çoktur. Azotça iyi beslenen ağaçların zararlılara karşı direnci de artmaktadır (Kantarcı, 2000; Fageria, 2009).

Bitkide yeni hücrelerin oluşumu için azot gereklidir. Azot noksanlığında bitkilerde büyüme oranı düşer. Bitkinin özellikle vejetatif gelişmesini olumsuz etkiler. Yaprak ve gövde sistemi oldukça zayıflar. Benzer olarak kök gelişmesi ve özellikle köklerde dallanma zayıflar. Çiçeklenme ve meyve tutma oranı azalır ve meyveler küçük kalır. Bitkilerin genel görünümü koyu ve canlı yeşil yerine, açık yeşil bir hal alır. Yaprak alan indeksi düşer ve fotosentez olayı daha az gerçekleşir. Noksanlığın daha ileri boyutlarda olması halinde, yapraklarda kloroz görülür. Kloroz, yaprağın homojen olarak sararması şeklinde ortaya çıkar. Azot noksanlığı arttığında, yapraklar kahverengine dönüşür ve ölür (Foth, 1984; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Fageria, 2009; Kacar ve Katkat, 2010)

Azot fazlalığı bitkinin vejetatif gelişme periyodunu uzatır, çiçeklenmeyi geciktirir ve şeker sentezini azaltır. Meyvelerde geç olgunlaşmaya neden olur. Fazla azot, hastalıklara (özellikle mantar hastalıklarına) dayanıklılığı azaltır (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Fageria vd., 2011). Ayrıca fazla azot bitkilerin kırılmaya karşı dirençlerini azaltırken, hasat zamanının gecikmesine de neden olmaktadır (Kacar ve Katkat, 2010).

1.1.5. Potasyum (K)

Toprakta potasyum, potasyumlu feldispatlar (ortoklas ve mikrolin) ile mikalar (muskovit ve biyotit) gibi potasyumlu mineralleri içeren kayaların dağılıp parçalanmaları sonucu oluşur. Ayrıca toprakta ikincil ya da kil mineralleri şeklinde de bulunur (Kantarıcı, 2000; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010). Potasyum bitkilerde gerçekleşen birden çok olayda temel rol oynar. Çok sayıda enzim ve koenzimlerin aktivasyonunda, fotosentez, protein oluşumu, nişasta oluşumu ve şeker transferi olaylarında bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Hücre özsuyu ve dolayısıyla bitkinin su dengesini sağlamasını ve kuraklığa karşı dayanma gücünü artırmaktadır. Yaz kuraklığının atlatılmasında ve donlara karşı dayanıklılıkta olumlu etkiler yapmaktadır (Brady, 1990; Kantarıcı, 2000; McCauley vd., 2009).

Potasyum, bitkilerin hastalıklara karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Tohumun olgunlaşmasını sağlayan potasyum, bitkinin kök sisteminin gelişmesini de sağlamaktadır. Klorofil oluşumunda rol oynar; ancak klorofilin yapısında yer almaz. Bitki yapraklarındaki stoma hücrelerinin açılıp kapanmasında ve kök hücrelerinin suyu almasında düzenlemeler yapmaktadır. Toprakta bulunan fazla miktardaki azotun meydana getireceği olumsuz etkileri giderir. Potasyum erken gelişmeyi geciktirir ve fosforun erken olgunlaştırma etkisiyle ortaya çıkan yetersiz tohum dolgunluğu zararını önler. Yeterli miktarda potasyum alan bitkilerde terleme ile su kaybı azalır (Foth, 1984; Brady, 1990; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Potasyum noksanlığı kumlu, hafif tekstürlü topraklar üzerinde yetiştirilen bitkilerde daha çok görülür. Bitkilerde hemen görülebilir semptomlar ortaya çıkmaz. Önce büyüme oranında bir gerileme olur, daha sonra kloroz ve nekrozlar görülür. Yaprak kenarları önce sararır, daha sonra bu kısımlarda renk koyu kahverengine döner. Noksanlığın çok şiddetli olması halinde ise bu kısımlar siyaha döner. Potasyum noksanlığı çeken bitkilerde turgor basıncı düşer ve su stresi olunca bitkiler gevrek dokulu bir hal alır. Kuraklığa ve dona karşı dayanıklılık azalır. Bitkilerde ksilem ve floem dokularının oluşumu geriler (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001).

Toprakta fazla miktarda potasyum bulunması azot ve fosfor fazlalığının aksine, bitkilere zararlı bir etki yapmaz. Bununla birlikte fazla potasyumun bitkilerin mangan alımını olumsuz etkilediği bildirilmektedir (Boşgelmez vd., 2001).

1.1.6. Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum en fazla kullanılan üçüncü bitki besin elementidir. Bitki hücre duvarının tamamlayıcı bir parçasıdır ve bu yüzden hücre duvarı yapısını düzenleyen bitki besin elementi olarak bilinmektedir (Plaster, 1992; McCauley vd., 2009). Anortit, plajyoklas, piroksenler, amfiboller, ojit, hornblend, apatit, kalsit, kireçtaşı, dolomit, alçı, marn ve kalsiyumlu fosfatlar gibi mineraller ve anakayalar, toprağın kalsiyum kaynaklarıdır (Çepel, 1996; Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Özbek vd., 2001; Güzel vd., 2004).

Bu minerallerin parçalanması ve ayrışması sonucunda serbest hale gelen Ca^{2+} iyonlarının büyük bir kısmı, değişim kompleksleri tarafından adsorbe edilir. Kalsiyum iyonları, granülasyonu artırarak toprak strüktürünü geliştirir. Strüktürü iyi olan topraklardan daha çok ürün sağlanır. Toprak pH'sını ayarlar. Kalsiyum bitki besin maddelerinin alınmasında; bitki ve toprakta bulunan toksik maddelerin çökmesinde rol oynar. Kalsiyum bitkilerde kök salgısı üzerinde etkilidir. Bitki dokularını donma-çözünme stresine karşı korur. Yeterli kalsiyumun olması durumunda bitkiler hastalıklara karşı daha dayanıklıdır. Bitkilerde protein oluşumunda ve karbondhidratların taşınmasında kalsiyum önemli rol oynar (Plaster, 1992; Çepel, 1996; Boşgelmez vd., 2001;

Kacar ve Katkat, 2010).

Kalsiyum bakımından fakir olan topraklarda az ürün elde edilir ve ürünlerdeki protein oranı çok azalır. Bitkilerde kalsiyum noksanlığı, meristem dokularının büyümesini yavaşlatır. Sürgün ucu tomurcuklarında ve köklerin büyüme uçlarında gelişme durur ve dolayısıyla bitkinin gelişmesi de durur. Genç yapraklar deforme olur. Yaprak kenarlarında siyah ve kahverengi nekrozlar meydana gelir. Yaprak uçları daha çok kuru ya da gevrek (kolay kırılır) bir hal alır ve yaprak eninde sonunda solar ve ölür (Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009).

Kurak bölge topraklarında fazla bulunması halinde kalsiyum diğer bazı besin elementlerinin, özellikle mikro besin elementlerinin alınmasında antagonistik etki yapmaktadır. Örneğin toprakta gereğinden fazla kalsiyum bulunması halinde potasyum, demir, fosfor ve diğer elementler bitkilerin yararlanamayacağı formlara dönüşür (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001).

1.1.7. Fosfor (P)

Toprakta bulunan fosforun kaynağı apatit mineralidir. Apatit minerali flour apatit veya hidroksiapatit bileşimlerinde bulunur. Genel olarak kuvarsitler, fillitler ve mikaşitler gibi kristalin şistler az miktarda fosfor içerdikleri halde bazalt ve benzeri bazik mağmatik kayalardaki fosfor miktarı daha fazladır. Kaya ve minerallerin parçalanması ile serbest hale geçen fosfor bitkiler tarafından kullanılabilir. Ayrıca organik maddenin yapısında da fosfor bulunduğu için toprakta organik fosfor bileşikler de bulunmaktadır (Çepel, 1996; Aktaş ve Ateş, 1998; Kantarcı, 2000).

Bitkiler ATP, şekerler ve nükleik asitlerin oluşması için gerekli olduğundan fosfora ihtiyaç duymaktadır. Bitkide enerji transferi yapan ATP bu bileşiklerin en önemlilerindedir. Bitkide genetik özellikleri belirleyen DNA'nın oluşumu için gereklidir. Fosfor, hücre bölünmesi, çiçek ve meyve oluşumunda önemli rol oynar. Bitkilerin olgunlaşmasını hızlandırır. Potasyumun bitkiler tarafından alınmasına zemin hazırlar. Bitkinin hastalık ve zararlılara karşı direncini artırır. Bitki köklerinin suyu almasını düzenleyerek suyun etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar (Foth, 1984; Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009).

Fosfor noksanlığı fosfora daha çok ihtiyaç duyan genç bitkilerde yaşlı bitkilere göre daha erken fark edilir. Ayrıca vejetasyon mevsiminin başlarında soğuk (ıslak) topraklarda da fosfor eksikliği meydana gelebilmektedir (McCauley vd., 2009). Fosfor noksanlığında en çok çiçek, meyve, tohum gibi generatif organlar zarar görür. Fosfor noksanlığı olan bitkilerde büyüme geriler. Meyve ve ağaçlarda sürgün ve tomurcuk oluşumu azalır. Yapraklar normalden daha koyu yeşil renkli olur. Bitkilerin kök gelişimi zayıflar. Don olaylarına ve hastalıklara karşı bitkinin dayanıklılığı azalır (Foth, 1984; Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001).

Fosfor fazlalığının bitkiler üzerindeki etkisi daha çok dolaylı şekilde meydana gelir. Diğer taraftan fosfat iyonları toprakta sıkı bir şekilde tutulduğu için bitkiler tarafından fosfat iyonlarının alınması zorlaşır. Dolayısıyla bitkilerde fosfor fazlalığı da sık rastlanan bir durum değildir. Fosforun fazla olması durumunda çinko ve demir gibi mikro besin elementlerinin noksanlığı meydana gelirken kalsiyum, bor, bakır ve mangan noksanlıkları da meydana gelebilmektedir (Aktaş ve Ateş, 1998).

1.1.8. Magnezyum (Mg)

Magnezyumun kaynağı biyotit, ojit, hornblende, olivin, serpantin, klorit, dolomit gibi minerallerdir. Toprakta magnezyum anakayanın minerolojik bileşimine göre çeşitli formlarda bulunur (Çepel 1996; Kantarcı 2000; Kacar ve Katkat 2010). Magnezyum doğada, oksit MgO (magnezya ve periklaz), magnezyum nitrat, basit karbonat MgCO₃, magnezyum silikat, magnezyum ve kalsiyum çift karbonatı MgCO₃, CaCO₃ (dolomit), magnezyum ve kalsiyum çift klorür MgCl₂, KCl, 6H₂O (karnalit) veya çeşitli silikatlar (magnezit, talk, amyant) halinde bulunur (Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004). Ayrıca tuzlu göl ve deniz sularında klorür veya sülfat halindedir. Biotit, dolomit, klorit, serpantin ve olivin gibi mineraller magnezyum içerir. Topraktaki magnezyum suda çözülebilir, değişebilir ve değişmez formlarda olabilir. Magnezyumun bu üç formu, birbirleriyle dinamik bir denge halindedir (Boşgelmez vd., 2001).

Magnezyum klorofil, phytin ve pektinin yapı taşıdır (Foth, 1984; Çepel, 1996). Klorofilin merkez atomu olan magnezyum fotosentezde oynadığı önemli rol ile hayatın devamlılığını sağlayan anahtar elementlerden biridir. Ayrıca ATP'nin yapısında önemli bir yardımcı faktördür. Karbon dioksit asimilasyonunda ve şeker, nişasta gibi ürünlerin miktarı üzerinde olumlu etki yapar. Protein sentezinde rol oynar (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Magnezyum özellikle fosfor olmak üzere diğer elementlerin alınmasına yardımcı olur. Çok sayıda enziminin aktivasyonunda rol alır (Plaster, 1992; Gardiner ve Miller, 2008).

Klorofilin yapısında yer alan magnezyum noksanlığında hemen klorofil miktarı düşer ve fotosentez geriler. Bunun doğal sonucu bitkide gelişme geriliği ve ürün kaybı gerçekleşir. Magnezyum noksanlığının tipik belirtisi yaşlı yapraklarda damarlar arasında görülen sararmadır. Yapraklar bu haliyle benekli bir görüntüye sahip olurlar. Bitkilerde protein sentezi geriler (Aktaş ve Ateş, 1998; Özbek vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010). Bazı hallerde toprakta yeterli miktarda magnezyum bulunsu bile magnezyum noksanlığı görülebilmektedir. Toprak çözeltisinde yüksek miktarda bulunan hidrojen, potasyum, amonyum, kalsiyum gibi iyonlar magnezyum alımını azaltarak noksanlığa neden olabilmektedir. Ayrıca pH değeri 5 ve daha düşük olan topraklarda bulunan yüksek miktardaki alüminyum iyonları da magnezyum alımını azaltarak noksanlık meydana getirmektedir (Aktaş ve Ateş, 1998).

Kireçli topraklarda, bitkilerin kullanabileceği magnezyum genellikle yeterli miktardadır. Asit reaksiyonlu topraklarda ise magnezyum noksanlığı görülebilmektedir. Örneğin, çam fidanlarında görülen altın uçluluk magnezyum noksanlığından kaynaklanır. Bu semptomda, iğnelerin uçları, sarı/turuncu renkte, orta kısımları ise kırmızı görünümündedir (Boşgelmez vd., 2001). Serpantinlerden ve kloritçe zengin olan klorit şistlerinden oluşan topraklarda Mg⁺⁺ fazla bulunmakta ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Magnezyum fazlalığı diğer katyonların azlığına ve iyon dengesizliğine, dolayısıyla da verimsizliğe sebep olmaktadır (Kantarıcı, 2000).

1.1.9. Kükürt (S)

Kükürt, bitkiler, hayvanlar ve insan için gerekli bir besin elementidir. Primer olarak bazik eruptif taşlarda pirit (Fe₂S) ve bakır, nikel sülfürler halinde bulunur. Tortul taşlarda veya materyallerde anhidrit (CaSO₄) veya jips (CaSO₄.2H₂O) şeklinde bulunur. Tuzlu topraklarda, alkali ve magnezyum sülfat bileşimindedir. Toprağa atmosferden de bir miktar kükürt ulaşmaktadır. Havadaki SO₂ gazı yağışlarla toprağa inmektedir (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Özbek vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008).

Kükürt organik maddenin yapısına giren bir elementtir. Bu nedenle toprakta organik ve inorganik formlarda kükürt bulunur. Birçok toprakta kükürt rezervinin büyük bölümünü organik kükürt oluşturur (Aktaş ve Ateş, 1998; Güzel vd., 2004). Kükürt aminoasitlerden sistein, sistin ve metionin ile proteinlerin bileşiminde bulunur. Klorofil oluşumu için gereklidir. Kükürt noksanlığı sonucunda protein ve klorofil sentezinin oluşumu kısıtlanmaktadır. Bazı enzimlerin yapısında yer alır. Kök büyümesini ve nodül oluşumunu hızlandırır (Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Bitkilerde görülen kükürt noksanlığında ortaya çıkan semptomlar azot ve molibden eksikliğinde ortaya çıkan semptomlara benzemektedir (Özbek vd., 2001; McCauley vd., 2009). Bitkilerde kükürt noksanlığında yapraklarda homojen bir sararma vardır. Bu durum azot noksanlığına çok benzemektedir. Fakat azot noksanlığında yapraklarda görülen sararma önce yaşlı yapraklarda ortaya çıkarken, kükürt noksanlığında yapraklarda görülen sararma genç yapraklarda ortaya çıkmaktadır. Sistein ve metionin gibi kükürt içeren aminoasitlerin eksik olması nedeniyle protein sentezi engellenir. Bitkinin büyümesi yavaştır, yaprak yüzeyleri daralır; dokunulduğu zaman odunumsu bir his verir (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004). Ayrıca kükürt noksanlığında bitki zayıf ve küçük (bodur) kalırken, gövde ince bir hal almaktadır. Özellikle kök gelişmesine göre tepe gelişmesi kükürt noksanlığından daha fazla etkilenir (Güzel vd., 2004; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Atmosferde yüksek kükürt dioksit konsantrasyonu bitkiler için toksik etki yapar. Kükürt dioksit, kloroplastların membranlarını da tahrip edebilir. Ayrıca nemli bölgelerde, kükürt dioksit gazı sülfürik asit oluşumuna zemin hazırlar ve asit yağmurları ekosistemleri, özellikle primer vejetasyonu olumsuz yönde etkiler (Boşgelmez vd., 2001).

1.2. Mikro Besin Elementleri

Bitkilerin beslenmesinde makro elementler kadar önemli olan bir diğer element grubu, mikro elementlerdir. Bitki bileşimlerinde ve topraklarda makro elementlere oranla daha küçük konsantrasyonlarda bulunurlar. Demir, klor, bakır, mangan, çinko, molibden, bor ve nikel mikro elementler olarak bilinmektedir. Mikro elementler toprakta birincil ve ikincil minerallerin bileşimlerinde, mineral ve organik madenin yüzeylerinde adsorbe edilmiş formda, organik ve mikrobiyal biyokütlede yapılarında organik formda ve toprak çözeltisinde iyon formlarında olmak üzere dört farklı formda bulunurlar (Güzel vd., 2004; Fageria vd., 2011).

1.2.1. Demir (Fe)

Demir bitkiler, hayvanlar ve insanlar için mutlak gerekli bir elementtir. Yalnız bütün canlılar tarafından az miktarda ihtiyaç duyulur (Özbek vd., 2001). Topraktaki demirin büyük bir kısmı çeşitli minerallerin kristal kafeslerinde yapı elementi olarak bulunur. Olivin, ojit, hornblend ve biotit gibi demirli silikat mineralleri demir içeren primer minerallerdir. Kil minerallerinin bir bölümünde de yer alan demir, birçok toprakta oksit, hidroksit, karbonat ve fosfat formunda bulunur (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004).

Demir elementi bitkide solunum ve fotosentez reaksiyonlarında çok önemli rol oynar. Bitkilerdeki katalaz, peroksidad ve sitokrom oksidaz gibi enzimleri aktive ederek birçok biyokimyasal reaksiyonun katalizlenmesini sağlar. Klorofilin yapısında bulunmama birlikte, demir eksikliğinde klorofil üretimi azalır. Bitki büyümesi yavaş bir şekilde gerçekleşir. Bitkide protein mekanizması üzerinde etkilidir (Brady, 1990; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Kurak ve yarı kurak bölge topraklarında yetiştirilen bitkilerde, noksanlığı en çok görülen besin elementidir. Kurak mıntikalarda toprakların fazla miktarda kireç içermesi ve yüksek pH'lara sahip olması demir eksikliğinin sebeplerindedir. Çünkü kireçli topraklarda pH yüksek olduğundan demir bileşikleri çözünmez ve bitkilerce alınmaz. Ayrıca toprağın sıkışması, su basması, uzun süreli yağışlar veya aşırı sulama gibi olaylar demir noksanlığı oluşturmaktadır. Bunlara ilave olarak mangan, bakır, çinko, krom ve nikel gibi ağır metallerin yüksek miktarda bulunmasıyla da ortaya çıkar (Aktaş ve Ateş, 1998).

Bitkilerin genç yapraklarında ve özellikle son çıkan yapraklarda, damarlar arasında meydana gelen sararma demir noksanlığının belirtisidir. Bazı bitki yapraklarında kahverengi nekrozlar oluşabilir. Noksanlığın çok şiddetli olması durumunda damarlar da sararır. Demir noksanlığının bu belirtileri demirin etkilediği metabolik reaksiyonların bozulmasından, büyüme ve klorofil sentezi için gerekli enerji transferinin kısıtlanmasından kaynaklanır. Demir noksanlığı olan bitki dokularında sitrat ve malat anyonları ile aminoasit ve nitrat birikimi meydana gelir (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

Demir noksanlığı belirtileri kimi zaman magnezyum noksanlığı belirtileri ile karıştırılabilir. Ancak magnezyum noksanlığında belirtilerin öncelikle yaşlı yapraklarda görülmesine karşın demir noksanlığı belirtileri genç yapraklarda görülür (Kacar ve Katkat 2010). Demir elementinin fazlalığı durumunda bakır, çinko, magnezyum ve mangan absorpsiyonu azalabilmektedir (Boşgelmez vd., 2001).

1.2.2. Klor (Cl)

Klor kaynakları apatit $Ca_5(F, Cl)PO_4$ ve sodalit ($Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$) mineralleri ile sekonder olarak oluşmuş NaCl, KCl ve $MgCl_2$ mineralleridir. Doğada serbest olarak bulunmayan bir bitki besin elementidir. Daha çok sodyum klorür (NaCl) olan maden klorürleri şeklinde bulunur. Deniz suyunda ve bazı yataklarda magnezyum klorür ve potasyum klorüre rastlanır (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001).

Klor fotosentez olayında ve yaprakların turgor basıncı yapmasında bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan bir bitki besin elementidir. Adenozintrifosfataz enziminin aktivasyonunda rol oynar. Stoma hareketlerinin düzenlenmesinde ve hücre çoğalmasında etkilidir (Plaster, 1992; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Klorun nitrifikasyon üzerine geriletici rol oynadığı, Mn+3 ve Mn+4 oksitlerinin bitkiye yararlı Mn+2 şekline dönüşmesine olumlu ve önemli etki yaptığı saptanmıştır. Klorlu gübrelerin çeşitli bitkilerde görülen hastalıkları geriletici etki yaptığı bildirilmektedir (Gardiner ve Miller, 2008; ;Kacar ve Katkat, 2010).

Atmosfer ve yağmur sularında bulunan klor, bitki ihtiyacını karşılayacak düzeydedir. Bununla birlikte bitkilerde klor noksanlığı durumunda ortaya çıkan bazı semptomlar şunlardır: transpirasyon etkilenir, kloroz görülür, yaprak kenarları solar, bazı bitkilerde hücre çoğalması geriler ve yaprakların büyümesi belirgin şekilde yavaşlar (Boşgelmez vd., 2001). Klor içeriğinin fazla olduğu tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerde, klor toksisitesi görülür. Bu durumda bitkinin yaprak uçları ve kenarlarında yanma, bronzlaşma ve yapraklarda erken dökülme gerçekleşir (Boşgelmez vd., 2001; Özbek vd., 2001). Toprak çözeltisinde yüksek klor konsantrasyonu toprak suyunda osmotik potansiyelin artmasına neden olur. Bitkileri gereksinim duyduğu suyu alamazlar. Bunun sonucunda klor etkili kuraklık sorunu olur (Güzel vd., 2004; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2.3. Bakır (Cu)

Toprakların oluştuğu anakayalarda bakırın oranı pek azdır. Granitler, kumtaşları, kumlu materyaller bakırca daha fakirdir. Mikaşistlerde ise bakır oranı bu kayalara göre daha yüksek bulunmuştur. Mağmatik kayalarda bakıra genellikle sülfürler halinde, tortul kaya ve materyallerde kil minerallerinde tutulmuş durumdadır (Kantarıcı 2000).

Bakır klorofil üretimi, solunum ve protein sentezleri için bitki tarafından gerek duyulan bir bitki besin elementidir. Çeşitli oksidaz enzimlerinde aktivasyon ve çok sayıdaki elektron transferi bakır tarafından gerçekleştirilir. Protein ve karbonhidrat metabolizmasında etkilidir. Simbiyotik azot fiksasyonunda rolü vardır (Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009). Bakır bitkinin hastalıklara karşı iyi direnç gösterebilmesini ve bitki neminin kontrol edilmesini etkilemektedir (Plaster, 1992).

Organik maddenin bakırı çok kuvvetli şekilde bağlamasının sonucunda organik maddece zengin topraklarda ve pit (%50-80 organik madde ihtiva edenler) topraklarda bakır noksanlığı görülebilmektedir. Ayrıca kumlu toprakların yıkanmasının sonucunda da bakır noksanlığı ortaya çıkar. Bakır elementinin noksanlığında bitkide genç yapraklarda kloroz (sarılık), bodur gelişme, geç olgunlaşma ve bazı durumlarda dokularda renk maddesi fazlalığı (kahve renk lekesi) şeklinde semptomlar görülebilmektedir. Bakır noksanlığında bitkiler özellikle mantarların yol açtığı hastalıklara karşı dayanıksızdırlar. Bakır noksanlığında karbonhidrat içeriği çok azalır. Ayrıca baklagil bitkilerinde yumru (nodül) oluşumunun gerilediği ve daha az N fikse edildiği saptanmıştır (Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Topraklarda bakır miktarı fazlalığı olduğu zaman, toksik etkiler ortaya çıkar. Demirin alınması güçleşir; bu yüzden demir noksanlığına benzeyen kloroz görülür. Bitkilerde görülen diğer olumsuz durumlar ise kök ve sürgün gelişiminin zayıflamasıdır. Ayrıca bakır fazlalığı molibdenin kullanılmasını da olumsuz etkiler (Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2.4. Mangan (Mn)

Mangan çeşitli primer ve sekonder minerallerin yapısında yer almaktadır. Primer kaynağı silikat mineralleridir. Olivinli gabro ve mikaşistler ile serpantinlerde daha fazla bulunmaktadır. Toprakta manganın güç çözünen 3 ve 4 değerlikli mangan oksitleri bulunmaktadır. Toprakta manganın çözünürlüğü toprak reaksiyonuna, mikroorganizma faaliyetlerine ve toprak suyunun özelliklerine göre değişmektedir (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001). Mangan, yaşamsal öneme sahip enzimlerin aktivasyonunda temel göreve sahiptir. Dekarboksilaz, dehidrogenaz ve oksidaz enzimlerini aktive etmektedir. Süperoksit dismutaz enziminin yapısında yer alır. Fotosentezde suyun parçalanmasında rol oynamaktadır. Azot metabolizmasında ve asimilasyonunda etkilidir. Demir, kalsiyum ve magnezyumun absorpsiyonunda önemli rol oynar. Klorofilin oluşumunda demir ile birlikte faaliyet gösterir. Bitki tohumunun çimlenmesini ve meyve olgunlaşmasını hızlandırır (Plaster, 1992; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010).

Bitki organlarında fotosentez olayının meydana geldiği yer olan kloroplastlar mangan noksanlığına karşı en hassas hücre organelidir. Mangan noksanlığında kloroplast oluşumu bozulur. Mangan noksanlığı çeken bitkilerde hücreler küçülür, hücre duvarı hakim duruma geçer. Mangan noksanlığı çoğu kez kireçli, pH'sı yüksek topraklarda üzerinde görülür. Bitkilerde mangan noksanlığının en belirgin semptomu, demirde olduğu gibi genç yapraklarda ortaya çıkan damarlar arası klorozdur. Ayrıca bu semptom magnezyum noksanlığındaki semptomla benzemekle birlikte; magnezyum noksanlığında yapraklardaki sararmanın önce yaşlı yapraklarda başlamasıyla ondan ayrılır. Dikotiledon bitkilerde mangan noksanlığında damarlar arası kloroz ilave olarak, yapraklarda sarı noktalar halinde lekeler oluşur (Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Mengel ve Kirkby, 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Mangan fazlalığında, yaşlı yapraklarda mangan dioksit (MnO₂) birikimi nedeniyle kahverengi benekler ve bu beneklerin etrafında kloroz ortaya çıkar. Zamanla lekelerin bulunduğu alanlar mantarlaşır. Bitkilerde, demir, magnezyum ve kalsiyum gibi elementlerin noksanlığına neden olur. Mangan toksisitesinde, bitkide büyümeyi düzenleyen oksin hormonunun oluşumu azalır ve bitkide gelişme oranı düşer (Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2.5. Çinko (Zn)

Topraktaki çinko silikat minerallerinde, oksitler halinde; kil minerallerinde tutulmuş olarak veya organik maddede bulunur. Magmatitlerde, metamorfite ve maden yataklarında çinko sülfür (ZnS, sphalerit) şeklinde ve diğer bazı ağır metallerle birlikte sülfürler halinde bulunur. Toprakta bulunan çinko zamanla çözünmez bileşiklere dönüşmektedir. Çinkonun çözünmez durumda bağlanması yüksek pH'da artmaktadır. Buna karşılık toprak asitleştikçe çinko bileşiklerinin çözünürlüğü artmaktadır (Kantarıcı, 2000; Özbek vd., 2001).

Çinkonun bitki içindeki etkilerinin magnezyum ve mangana benzerlik göstermektedir. Çeşitli mayaların aktifleşmesinde, katalizör olarak yumurta akı ve ribonükleik asit sentezinde önemli roller üstlenmektedir. Bitkide azot metabolizmasını, nişasta oluşumunu ve tohum olgunlaşmasını etkiler. Ayrıca büyüme hormonlarının (oksin

hormonu) üretimi için gerekli olan bir bitki besin elementi olan çinko; özellikle internodun uzaması için çok önemlidir (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009).

Çinko noksanlığı daha çok bazik ve kireçli topraklar ile fazlaca çinkoya ihtiyaç duyan bitkilerin yetiştiği topraklarda görülür (Gardiner ve Miller, 2008). Çinko noksanlığında enzim aktivitesinin azalmasına bağlı olarak karbonhidrat, protein ve büyüme hormonları (oksin) da zarar görür. Bitkilerin klorofil içerikleri çinko noksanlığında olağan üstü azalır. Yaprak damarları arasında kloroz ortaya çıkar. Yapraklarda damarlar yeşil kalırken, damar arasındaki kısımların rengi açık yeşil, sarı, beyaz olabilir. Bitkilerde yaprak oluşumu olumsuz yönde etkilenir ve yapraklar seyrekleşir. Sürgünler ölür ve yapraklar erken dökülür. Tomurcuk sayısı azalır ve tomurcukların açılma oranı düşer (Plaster, 1992; Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

Çinko fazlalığına bağlı olarak çinko zehirlenmesi bitkilerde çok seyrek görülen bir olgudur. Genelde maden yataklarına yakın topraklarda yetişen bitkilerde çinko içeriği olağanüstü yüksek olabilmektedir. Topraklarda çinko konsantrasyonu yüksek olduğu zaman, kök ve yaprak gelişmesi önemli derecede azalır. Bitkinin fosfor ve demir alım oranı düşer (Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2.6. Molibden (Mo)

Molibden özellikle primer minerallerde daha fazla miktarda bulunmaktadır. Molibdenit, wulfenit, powellit ve ferromolibdit bunlardandır. Olivin ve biotit mineralleri de molibden bakımından zengindir. Toprakta tutulması fosfat anyonlarının tutulmasına benzemektedir. Demir ve alüminyum oksitler tarafından da tutulmaktadır (Kantarıcı, 2000; Özbek vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010). Molibden genel olarak bitkiler için enzim aktivesinde ve baklagillerde azot fiksasyonu için gerekli bir elementtir. Nitrogenaz ve nitrat redüktaz enzimlerinin yapısında bulunmaktadır. Biyolojik azot bağlanmasında ve nitratın bitkilerde indirgenerek aminlerin teşekkül etmesinde gereklidir (Foth, 1984; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Ayrıca bitkiler molibdene protein yapmak için de ihtiyaç duymaktadır (Plaster, 1992).

Molibden noksanlığındaki semptomlar baklagillerde bodur bir büyüme ve yapraklarda kloroz şeklinde kendisini göstermektedir. Ayrıca azot tespit eden bakterilerin faaliyeti ve baklagillerde nodül oluşumu çok azalır. Molibden noksanlığında nitrat asimilasyonu engellenir. Yaşlı yapraklar sararır. Nitrat akümüasyonu nedeniyle, yaprak kenarlarında hızla nekrozlar oluşur. Simbiyotik ve asimbiyotik azot fiksasyonu azalır (Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Molibdenin yetişme ortamında fazla miktarlarda bulunması özellikle merada otlayan sığır ve koyuna toksik etki yapar. Yani bitkilere herhangi bir toksik etki yapmaz. Hayvanlarda görülen bu toksisitenin nedeni hayvanların beslenmesinde kullanılan yemlerin bileşiminde molibden ve bakır elementlerinin dengesiz oranlarda bulunmasından kaynaklanır (Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008).

1.2.7. Bor (B)

Bor, mikro elementler arasında ametal olan tek elementtir. Bor içeren temel mineral bir kompleks borosilikat olan turmalin mineralidir. Boraks, kernit, kolemanit, uleksit, ludvigit ve katoit topraklarda bulunan başka önemli bor mineralleridir. Bor silikat minerallerinde daha çok kireç taşları ve dolomitlerde az miktarda bulunur. Buna karşılık denizel tortullarda bor miktarı çok yüksektir. Bor elementi toprakta borik asitin tuzları olan boratlar halinde veya organik maddede bağlı olarak bulunmaktadır. Ayrıca kil minerallerinde de tutulabilmektedir (Foth, 1984; Kantarıcı, 2000; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010).

Bor elementinin bitkideki asıl fonksiyonu hücre duvarlarının oluşumunu ve dokuların yeniden çoğalmasını sağlamaktır. Bor, bazı dehidrogenaz enzimlerini aktive eder. Karbonhidrat biyosentezi üzerinde rol oynar. Nükleik asit ve protein metabolizmaları üzerinde etkilidir. Bitki bünyesinde şekerlerin yer değiştirmesinde rol oynar (Plaster, 1992; Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009).

Bitkilerin bor noksanlığından zarar görmesi genç yapraklarda kloroz şeklinde ortaya çıkarken, bitkilerin asıl büyüme organları olan terminal tomurcukların ölümü ile de kendisini göstermektedir. Buna bağlı olarak bitkide büyüme yavaşlar. Hücre duvarı büyümesinin zarar görmesinden dolayı, bitkilerde bor noksanlığı sonucunda yapraklar ve gövde gevrek, kolay kırılır ve biçimsiz bir hal alır. Yapraklar kıvrılır ve koyu mavi-yeşil bir renk alır. Yaprak uçları kalınlaşır. (Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Bitki tohum veya tahılının tam olarak olgunlaşamayışı da bor noksanlığının bir göstergesidir ve bu durum daha çok içi boş fındık olarak adlandırılmaktadır (Plaster 1992). Toprak ve su içinde yüksek konsantrasyonda bulunuşu bitkilere toksik etki yapmaktadır. Yaşlı yapraklarda yaprak uçları sararır ve nekrozlar oluşur. Daha sonra belirtiler

yaprak kenarlarına ve orta damara doğru yayılır. Yapraklar yanık bir görünüm alır ve erken dökülür (Özbek vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

1.2.8. Nikel (Ni)

Nikel elementinin bitkinin büyüme ve gelişmesinde ihtiyaç duyulan bir besin elementi olduğu 1987 yıllarına dayanan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur (Brown vd., 1987; Brown vd., 1990; Fageria, 2009). Genel olarak topraklarda nikel miktarı çok düşüktür. Ancak serpantinlerden oluşmuş topraklarda yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Toprak suyuna geçen nikel sızıntı suyu ile topraktan uzaklaşmaktadır. Kurak mıntikalarda ise topraktaki nikel yıkanamayıp birikmektedir (Kantarıcı, 2000). Bitki tarafından ihtiyaç duyulan nikel elementi tohumun çimlenme aşamasında gereklidir. Ayrıca nikel, üreyi amonyuma ve karbondioksite dönüştüren bir katalaz enzimi olan üreaz enziminin ve pek çok hidrogenaz enzimlerin metal parçasını oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalara göre nikel baklagillerde azot metabolizması için faydalı ve diğer bitkilerin de metabolizmaları için önemli bir elementtir (Gerendas vd., 1999; Havlin vd., 1999; Gardiner ve Miller, 2008; Fageria, 2009; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010).

Nikel noksanlığı çeken bitkiler, azalan üreaz aktivitesi nedeniyle, yaprak uçlarında toksik düzeyde üre biriktirir. Nikel noksanlığında bitkilerin topraküstü ve toprakaltı organlarında gelişme azalırken, bitkide yeşil renk giderek kaybolmakta, yaprak damarları arasında kloroz ve nekrozlar oluşmaktadır. Ancak bitkilerde nikel noksanlığı genelde görülmez (Güzel vd., 2004; Kacar ve Katkat, 2010). Diğer yandan kanalizasyon artıklarının kullanıldığı alanlarda daha sık ve yaygın şekilde görülen nikel toksisitesi sorun olmaktadır. Yüksek miktarlarda nikel içeren topraklarda yetiştirilen bitkilerde zehirlenmeler ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden toprakların potasyum ve kalsiyum ile gübrelenmesi nikelin zehir etkisini önlemektedir. Buna karşılık fosfatlı gübrelerin nikelin zehir etkisini artırdığı bilinmektedir (Kantarıcı, 2000; Kacar ve Katkat, 2010).

Teşekkür

Makalenin ortak yazarlarından olan, değerli fikirlerini, desteğini, yardımlarını ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ömer KARA'ya teşekkür etmeyi zevkli bir görev sayıyorum. Ayrıca derginin baş editörüne, konu editörüne ve makalenin değerlendirmesini yaparak katkılar sağlayan değerli hakemlere teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, bu günlere gelmemde her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman beni cesaretlendiren sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Kaynaklar

1. **Aktaş M ve Ateş A (1998)**. Bitkilerde Beslenme Bozuklukları Nedenleri Tanınmaları. Nurol Matbaacılık A.Ş. Ostim-Ankara.
2. **Arnon D I ve Stout P R (1939)**. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14, 371–385.
3. **Bergmann W (1992)**. Nutritional Disorders of Plants: Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York.
4. **Begon M, Townsend C R ve Harper J L (2006)**. Ecology from Individuals to Ecosystems. 4th Edition, Oxford, Blackwell, UK.
5. **Boşgelmez A, Boşgelmez İ İ, Savaşçı S ve Pahlı N (2001)**. Ekoloji – II (Toprak), Başkent Klîşe Matbaacılık, Kızılay-Ankara.
6. **Brady N C (1990)**. The Nature and Properties of Soils. 10th Edition, Macmillan Publishing Company, New York, USA.
7. **Brown P H, Welch R M ve Cary E E (1987)**. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85, 801–803.
8. **Brown P H, Welch R M ve Madison J T (1990)**. Effect of nickel deficiency on soluble anion amino acid and nitrogen levels in barley. *Plant Soil* 125,19–27.
9. **Coyne M S ve Thompson J A (2006)**. Fundamental Soil Science. Delmar Learning, Clifton Park, New York.
10. **Çepel N (1996)**. Toprak ilmi. İÜ Yayın No 3945, Orman Fakültesi Yayın No: 438. İstanbul.
11. **Epstein E ve Bloom A (2005)**. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd Edition, Sunderland, Mass: Sinauer Associates, USA.
12. **Fageria N K, Baligar V C ve Jones C A (2011)**. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 3rd Edition, CRC Pres, Boca Raton, FL, USA.

13. **Fageria N K (2009)**. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Pres, Boca Raton, Florida, New York.
14. **Fageria N K, Baligar V C ve Clark R B (2002)**. Micronutrient in crop production. Adv. Agron. 77, 185–268.
15. **Foth H D (1984)**. Fundamentals of Soil Science. 7th Edition, John Wiley and Sons, New York.
16. **Gardiner D T ve Miller R W (2008)**. Soils in Our Environment. 11th Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, Ne Jersey, USA.
17. **Gerendas J, Polacco J C, Freyermuth S K ve Sattelmacher B (1999)**. Significance of nickel for plant growth and metabolism. J. Plant Nutr. Soil Sc. 162 (3), 241–256.
18. **Güzel N, Gülüt K Y ve Büyük G (2004)**. Toprak Verimliliği ve Gübreler. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, Adana.
19. **Havlin J L, Beaton J D, Tisdale S L ve Nelson W L (1999)**. Soil Fertility and Fertilizers. 6th Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall.
20. **Jones C ve Jacobsen J (2001)**. Plant Nutrition and Soil Fertility. Nutrient management module 2. Montana State University Extension Service. Publication, 4449–2.
21. **Kacar B ve Katkat V (2010)**. Bitki Besleme. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.
22. **Kantarıcı M D (2000)**. Toprak İlimi. İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.
23. **McCauley A, Jones C ve Jacobsen J (2009)**. Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, p.1–16.
24. **Mengel K ve Kirkby E A (2001)**. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
25. **Özbek H, Kaya Z, Gök M ve Kaptan H (2001)**. Toprak Bilimi. 5. Baskı, ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No 73, Ders Kitapları Yayın No A–16, Adana.
26. **Plaster E J (1992)**. Soil Science and Management. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.
27. **Rice R W (2007)**. The physiological role of minerals in the plant. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (eds.) Mineral nutrition and plant disease, St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society, pp 9–29.
28. **Wild A (1993)**. Soils and The Environment: An Introduction. 1st Edition, Cambridge University Pres, UK.
29. **White R E (2006)**. Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource. 4th Edition, Wiley-Blackwell Scientific Publication, London, United Kingdom.