

5. TOPRAKTA BİTKİ BESİN MADDELERİ

Toprak bitkilerin köklerini geliştirdiği ve yaşamalarını devam ettirmek için gerekli su ve besin maddelerini aldığı ortamdır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, organik madde miktarı ve organik maddenin durumu, toprakta yaşayan canlılar, toprak içindeki ayrışma ve yeniden oluşum olayları dinamik ve kendi içinde dengeli bir ekolojik sistem yaratmaktadırlar. Bu dinamik sistemdeki bitki besin maddelerinin bulunuşunun şekli ve bitkiler tarafından alınabilir durumdaki miktarları çok önemlidir. Diğer bir deyimle toprağın bitki besin maddesi kapasitesi toprağın verimliliğinin önemli ölçülerinden biridir.

Topraktaki bitki besin maddelerinin önemli bölümü anakayadaki (veya anamateryaldeki), minerallerin ayrışması sonucunda serbest kalıp, toprağa intikal eden iyonlardır. Organik madde topraktaki bitki besin maddelerinin diğer bir kaynağıdır. Toprağa ayrıca; sızıntı suyu, tabansuyu, yağışlar ve gübreleme ile de bitki besin maddeleri katılmaktadır.

Topraktaki minerallerin ve organik maddelerin ayrışma ürünleri arasında N, P, S, Cl, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo gibi elementler bitkiler için pek gereklidir. Buna karşılık bitki küllerinde 51 elementin bulunduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bitkilerde kuru maddenin % 95'ini C, H, O ve N oluşturmaktadırlar. P, S, K, Ca, Mg ile Si, Al, Na ve Cl kuru maddenin ancak % 4'ünü oluşturmaktadırlar. Geri kalan % 1'lik bölümde ise diğer elementler yer almaktadır. Bazı yetişme ortamlarında bazı elementler diğerlerinden daha fazla alınabilmektedir. Hemen bütün bitkiler için zehir etkisi yapan Al bile bazı bitkiler tarafından fazla miktarda alınabilmektedir⁶³). Topraktan alınan bitki besin maddelerinden N, P, S, Ca, Mg, K gibi çok miktarda alınanlar makro elementler olarak tanınır. Diğer; çok az alınan Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl gibiler ise mikro elementlerdir. Bitkiler bu elementleri anyon veya katyon halinde alabildikleri gibi bir kısmını da moleküller halinde alırlar. Molekül halinde alınanlar arasında C, H, O gibileri O₂ (kök solunumu) ile, H₂O ve HCO₃⁻ (kökler yolu ile) ile CO₂ (yapraklar yolu ile) alınırlar. Azot bitki kökleri tarafından NH₄⁺ veya NO₃⁻ halinde alınır. Fosfor H₂PO₄⁻ veya HPO₄⁻², kükürt SO₄⁻², bor H₂BO₃⁻ veya HBO₃⁻², molibden MoO₄⁻² veya polimolibdat halinde alınmaktadırlar. Demir Fe⁺², mangan Mn⁺², Çinko Zn⁺², bakır Cu⁺² iyonları halinde veya bu iyonların çelatları halinde alınır (Fe⁺³ çelat, Mn³⁺ çelat, Zn çelat, Cu çelat gibi). Alkali ve toprak alkali elementler ise katyonlar (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺) halinde alınırlar.

Bitki besin maddeleri toprakta ya suda çözünebilir tuzlar halinde veya toprak kolloidlerinde değiştirilebilir olarak tutulmuş katyon ve anyonlar durumunda bulunurlar. "Her iki durumdaki katyon ve anyonlar topraktaki

⁶³) Pinus radiata'nın ibrelerinde Al miktarının % 0.46'ya kadar ulaştığı ölçülmüştür (Scheffer-Schachtschabel 1970).

minerallerde (çözünmez veya çok güç çözünür) bileşikler halinde bulunanların pek az bir kısmıdır.

Toprakta suyun sıvı haldeki hareketi bitki besin maddelerinin de düşey ve yatay yönde taşınmasına ve birikmesine sebep olur. Toprak ölü örtüsünün ayrışması ile mineralize olan iyonlar sızıntı suyu ile toprak kesitinde yukarıdan aşağı taşınırlar. Böylece yıkanma ve birikme horizonları oluşur. Toprak kolloidleri tarafından tutulamayan iyonlar sızıntı ve tabansuyu ile ortamdan uzaklaştırılır. İyonların yıkanmasında iklimin nemliliği yanında toprağa giren sızıntı suyu miktarı, toprağın H^+ iyonu (toprağın reaksiyonu pH) ve ince toprak ile toprak kolloidlerinin (kil ve humus) miktarları önemli etkiler yapmaktadırlar (Tablo 68). Tablo 68’de verilen değerlere göre yükseklik arttıkça yağış artmakta fakat sıcaklık düşmektedir. İklim aşağıda yarı nemli iken yukarıda çok nemli özellik kazanmaktadır. Yükselti arttıkça toprak miktarı ve kil azalmakta fakat organik madde miktarı artmaktadır. Organik maddenin artışına bağlı olarak tüm azot ve tüm katyon değişim (T) kapasitesi de artmaktadır. Ancak yağışın artışına bağlı olarak değiştirilebilir katyonlar (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) ve bunların toplamı (S) yükselti arttıkça azalmaktadırlar. Toprakların baz doygunluğu oranı (% V) da yükselti ile artan yağış ve nemliliğe ve azalan ince toprak miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Toprakların pH değerleri değiştirilebilir Ca^{++} katyonunun fazla olmasından dolayı tamponlanmıştır. Bunun sebebi andezit anakayasında plajyoklas minerali ve göknar ibrelerindeki yüksek kalsiyum miktarı olmalıdır.

Topraktan tek değerli katyonların yıkanması daha kolay olmaktadır. En kolay yıkanan Na^+ ’dur. K^+ ve NH_4^+ sodyum iyonlarından daha kuvvetle tutulabilmektedir. İki değerli katyonlar ve özellikle Ca^{++} ’un toprak kolloidleri tarafından daha kuvvetle tutulduğu anlaşılmaktadır (Tablo 68) .

Toprağın bitki besin maddeleri çeşitli ölçülerde verilir. Genel olarak besin maddelerinin miktarı 100 g toprak ağırlığına göre % g veya mg olarak verilmektedir. Ancak birim hacimde ince toprağın, kil ve organik maddenin miktarı değiştiği için bitki besin maddelerinin toprak horizonlarına göre g/lt veya mg/lt olarak verilmesi daha uygundur. Toprakların birbiri ile besin maddeleri bakımından karşılaştırılabilmesi için 1m² veya 1 ha (tarım alanlarında 30 cm derinlik ile 1 dekar) alanda kök derinliğindeki (mümkünse 1 m veya fizyolojik derinlik için) miktarların verilmesi gerekmektedir.

5.1. Azot

Toprağın anakayasında ve anakayadan gelen anorganik anamateryalde azot bileşikleri yoktur. Toprakta azotun kaynağı esas itibariyle organik materyaldir. Ayrıca yağışlarla havadan toprağa ulaşan NO_x (NO , NO_2 , N_2O_5) gazları nitrit asidi ile nitrik asit ile diğer azot bileşikleri de topraktaki azotun kaynağıdır. Ancak bu azot bileşiklerinin miktarı normal şartlarda ortalama 13-15 kg/ha/yıl Tablo 68. Toprakta; ince toprak, kolloid madde miktarları ve pH değerleri ile değiştirilebilir katyonlar, baz doygunluğu oranı ve total azot miktarları arasındaki ilişki ve bu değerlerin yükselti-iklim kuşaklarında artan yağış ve nemliliğe göre değişimi (Kaynak: Kantarcı, M.D. 1979-2).

		Yükselti-İklim Kuşakları			
		I	II	III	IV
		900-110	1100-1300	1300-1500	1500-1634
		m	m	m	m
Ort.Yağış mm/yıl		613-721	721-829	829-937	937-991
Ort.Sıcaklık C°/yıl		9.4-8.4	8.4-7.4	7.4-6.4	6.4-5.9
İklim Tipi		Yarı nemli- nemli	Nemli	Çok nemli	Çok nemli
İnce toprak (< 2 mm) g/lt	A _{el}	891	709	650	573
	B _{st}	1003	893	848	708
Kil g/lt	A _{el}	186	159	166	164
	B _{st}	270	217	246	222
C _{org} g/lt	A _{el}	14.1	15.6	19.2	26.5
	B _{st}	6.7	8.3	10.8	15.5
pH (nKCl)	A _{el}	4.55	4.38	4.83	4.66
	B _{st}	4.22	4.33	4.58	5.51
N _t mg/lt	A _{el}	0.844	0.777	1.328	1.993
	B _{st}	0.477	0.495	0.906	1.474
K ⁺ mg/lt	A _{el}	91.7	133.0	143.9	105.6
	B _{st}	107.6	139.9	119.9	71.2
Na ⁺ mg/lt	A _{el}	25.8	15.1	13.5	10.6
	B _{st}	41.8	25.1	18.3	15.0
Ca ⁺⁺ mg/lt	A _{el}	1919	1500	2447	2151
	B _{st}	3394	1608	2370	1805
Mg ⁺⁺ mg/lt	A _{el}	417	259	275	175
	B _{st}	787	390	364	326
S me/lt	A _{el}	133.5	96.3	150.2	124.9
	B _{st}	238.7	117.1	155.3	111.3
T me/lt	A _{el}	285.5	238.3	338.0	370.0
	B _{st}	382.9	247.5	278.1	248.0
V %	A _{el}	47	40	45	34
	B _{st}	63	46	59	47

Not : 1) Topraklar andezit anakayasından oluşmuş ve Uludağ Göknarı ormanları altında gelişmiştir. Topraklar boz-esmer orman toprağı tipindedir.

2) Örnekler Aladağ kütlesinin Bolu Ovasına bakan kuzey bakılı yamacından alınmıştır.

3) Organik madde miktarı yerine organik karbon (C_{org}) değerleri belirlenmiştir.

4) A_{el} : Yıkama horizonu, B_{st}: Birikme horizonu

5) S: Değiştirilebilir katyonların toplamı

T: Tüm katyon değişim kapasitesi

% V: Baz doygunluğu (S/T) .

arasındadır (Hüser, R. 1971). Endüstri bölgelerinde veya bu bölgedeki kirli havayı sürükleyen rüzgârların etkisi altındaki bölgelerde ise havadan gelen azot bileşiklerinin miktarı daha da fazladır. Türkiye'de elektrik üretim tesislerinden (kömür, doğalgaz ve sıvı yakıt ile çalıştırılan termik santrallerden) havaya verilen NO_x miktarı 1990 yılında 52 000 ton/yıl iken, 1999 yılında 99 700 ton/yıl değerine yükselmiştir. (Bkz. International Energy Agency 1997 ve Kantarcı, M.D. 1999).

Bitki proteinlerindeki azotun oranı % 16 kadardır. Topraktaki azotun kaynağı ise esas itibariyle bitki artıklarından oluşmuş ölü örtüdür. Topraktaki azotun önemli bir kısmı üst toprakta ve ölü örtüde toplanmıştır (organik maddeye bağlı olarak) (Tablo 69, 70, 71). Toprakta organik maddeye bağlı azot proteinlerin yapı taşı olan aminoasitler halindedir. Anorganik olarak bağlı olan azot ise çoğunlukla amonyum bileşikleri halindedir. Amonyumun (NH₄⁺) az bir miktarı

değiştirilebilir durumda toprak kolloidleri tarafından tutulur. Çok az miktar azot ise NO_2^- veya NO_3^- durumunda bulunur.

Toprakta NH_4^+ , NO_2^- ve NO_3^- bileşikleri bitkiler tarafından alınabilir azot formlarıdır. Devam eden organik madde ayrışması ile bu alınabilir formdaki azot bileşikleri sağlanır. Ancak durgunsu şartlarında organik maddenin ayrışması sonucunda azot bileşiklerinin indirgenip amonyak'a (NH_3) dönüşerek gaz halinde topraktan kaybedilmesi de sözkonusu olabilmektedir.

5.1.1. Toprakta Azotun Bağlanması

Yukarıda da belirtildiği gibi havadaki azot bileşikleri yağışlar yolu ile toprağa ulaşır. Ancak bu miktarın azlığı dikkatimizi toprağın organik maddesi ve organik maddede bağlanmış olan azotun üzerinde toplanmaktadır. Toprakta anorganik materyal azot kaynağı olmadığına göre ilksel olarak azotun toprakta bağlanması nasıl oluyor? Bu işlemi toprakta yaşayan bazı mikroorganizmalar toprak havasındaki serbest azotu bağlayarak yapmaktadırlar. Bu mikroorganizmaları; 1) Serbest yaşayanlar, 2) Ortak yaşayanlar olarak ikiye ayırmak gerekir. Serbest yaşayan mikroorganizmalar aerob ve anaerob ortam şartlarında yaşayanlar olarak ayrılırlar.

1) SERBEST YAŞAYAN MİKROORGANİZMALAR TARAFINDAN AZOTUN BAĞLAMASI

Serbest yaşayan mikroorganizmalardan aerob bakteriler arasında azotbakter (*Azotbacter chroococcum*) ve azotomonas (*azotomonas insolita*) toprak havasındaki element azotu asimile etmektedirler. Bu bakteriler nötr ve nötre yakın pH alanında, yeterli oksijenin bulunduğu ortamda ve güneş ışığı etkisine element durumundaki azotu (N_2) kendi bünyelerinde bağlarlar.

Serbest yaşayan ve havadaki azotu (N_2) bağlayan bakterilerden *Clostridium* türleri ise anaerob ortamda daha faaldirler. Bunlar asit ortamdan alkali ortama (pH 9) kadar ve kötü havalandırılan topraklardan (anaerob ortam) iyi havalandırılan topraklara (aerob ortam) kadar yaygın olarak bulunurlar. Bu geniş yayılım *clostridium* türlerinin aerob bakterilerle birarada bulunduğunu ifade etmektedir.

Mantarlardan *pullularia* ile mayalardan *Saccharomyces* ve *Rhodotorula* da serbest azotu bağlamaktadırlar.

Serbest yaşayan mikroorganizmalardan yeşil-mavi algler de havadaki serbest azotu organik bileşikler halinde bağlamaktadırlar (*nostoc* ve *calothrix* gibi).

2) ORTAK YAŞAYAN MİKROORGANİZMALAR TARAFINDAN AZOTUN BAĞLANMASI

Ortak yaşayan bakteriler (Symbionten) bitki köklerinde yumrular teşkil ederler. Bu nedenle bu bakteriler yumru bakterileri adı ile de anılırlar. Yumru bakterilerinin arasında baklagillerin köklerinde yerleşen Rhizobium leguminosarum (Bakterium radicola) önemli miktarda azotu bağlayarak bitkilere aktarılmasını sağlar. Rhizobium'lardan bugün tanınan 16'sı 6 grupta toplanmaktadır (Mengel, K. 1968).

- Bezelye grubu (bezelye, burçak, mercimek, bakla)
- Yonca grubu (yonca türleri)
- Acıbakla grubu (lupine grubu)
- Taşyoncası grubu (medicago grubu)
- Fasulye grubu
- Soya fasulyası grubu

Ortak yaşayan bakteriler hafif asit-nötr-hafif alkali ve yeterli havanın (O₂) bulunduğu ortamlarda yaşayabilmektedirler. Asit ortamda bu bakteriler yaşayamazlar ve köklerde yumru oluşturmazlar. Asit topraklarda yukarıda anılan baklagiller yetişebilirler ama köklerinde bakteri yumruları oluşmaz. Bu tip ortamlarda yetişen baklagiller topraktaki mevcut azotu (mineralize olan kısmını) kullanırlar (Mengel, K. 1968).

Ağaç köklerinde ortak yaşayan yumru (Rhizobium) bakterileri ve mantarlar da toprak havasındaki serbest azotu bağlamaktadırlar. Bunlar arasında kızılbaş köklerindeki Actinomyces alni mantarı ile iğde köklerindeki Actinomyces elaeagni mantarı ve akasyalarla (Kıbrıs Akasyası dahil), YalancıAkasya (Salkım ağacı = Robinia pseudoacacia) köklerindeki yumru bakteriler sayılabilir⁶⁴⁾.

Bu mantarların ve bakterilerin tamamı aerob olup hafif asit – nötr - hafif alkali ve nemli - havalanabilen (gevşek ve geçirgen) topraklarda yaşayabilmektedirler.

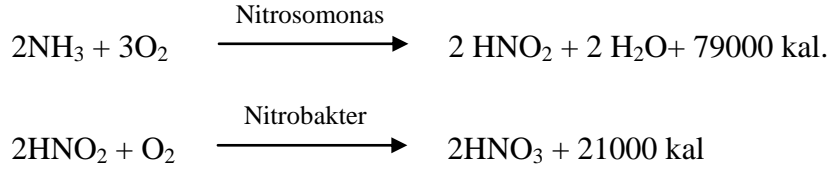
5.1.2 Toprakta Azotun Mineralizasyonu

Azot bağlayan mikroorganizmaların azotu amonyağa dönüştürdükleri ve CO₂ özümlemesi ile de aminoasit sentezinin gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Toprağa ulaşan organik artıklardaki aminoasitler (proteinlerde) ortam şartlarına göre çeşitli bakteriler tarafından mineralize edilmektedir.

İyi havalanabilen ve hafif asitten hafif alkaliye kadar reaksiyonlu topraklarda aminoasitlerdeki NH₄ önce nitrifikasyon bakterileri (Nitrosomonas) tarafından nitritlere, nitritler de nitrat bakterileri (Nitrobakter) tarafından nitratlara yükseltgenmektedir.

⁶⁴⁾ Fazla bilgi için bak. Fiedler, H.J. ve ark. 1973

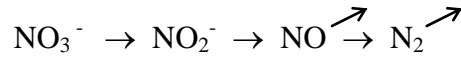
Dikkat çekici husus yumru bakteriler sayesinde yonca ile taş yoncasının 200-400 kg/ha/yıl (Mengel, K. 1968), Salkım ağacının ise (4 yaşında) 300 kg/ha/yıl (Hoffmann, G. 1961) azotu toprağa kazandırabilmeleridir. Bu miktarlar çok yüksektir.



Nitritleşme ve nitratlaşma olayları orman topraklarında hava (O_2), nem ve sıcaklığın yeterli olduğu mevsimlerde en yüksek düzeye ulaşır. Kışın soğuktan dolayı, yazın da kuraklıktan dolayı nitritleşme ve nitratlaşma yavaşlar veya duraklar. Mevsimlik değişiklikler nitrit ve nitrat bakterilerinin faaliyetleri üzerinde etkili olmaktadır. Nitritleşme ve nitratlaşma sonucunda oluşan HNO_2 ve HNO_3 toprağın reaksiyonunun bahar aylarında biraz düşmesine de sebep olur. Bu asit ürünler toprak kolloidlerinde tutulan katyonlar tarafından tamponlandıkları için devamlı bir toprak asitliği sözkonusu olmaz (Tablo 67'ye bakınız).

Havalanmanın kötü olduğu dugunsu ve tabansuyu veya bataklık topraklarında organik maddelerdeki proteinler anaerob bakteriler tarafından parçalanır ve amonyak açığa çıkar (amonyaklaşma = amonifikasyon). Serbest kalan amonyak ortamdaki su ile amonyuma (NH_4^+) dönüşür.

Havalanmanın kötü olduğu durgunsu topraklarının durgunsu zonlarında ise denitrifikasyon olayı görülmektedir. Üst toprakta veya havalanmanın iyi olduğu mevsimde teşekkül eden nitritlerle nitratlar durgunsu zonuna ulaştıklarında veya ıslak (ama soğuk değil) devre geldiğinde (sonbahar) denitrifikasyon bakterileri (pseudomonas ve akromobakter) tarafından indirgenirler. Bu indirgeme sürecinde azot ve molekül halinde azot son ürün olarak ortaya çıkar. Gaz haline dönüşen azot ise atmosfere geri döner (Toprakta azotun kaybı, Tablo 47).



Denitrifikasyon olayı ıslak ortamlarda alkalin toprakların amonyum tuzları ile gübrenmesinde hızlanır. Bu nedenle kireçli toprakların amonyum tuzları ile gübrenmesinin ıslak devrede yapılmaması gerekmektedir. Ayrıca toprağa kireç katılacaksa amonyum tuzları ile gübreleme aynı zamanda yapılmamalıdır. Buna karşılık yüksek dağlık arazide sonbaharda amonyum tuzları ile gübreleme yapılması gereklidir. Hemen yağın karın sağladığı soğuk ortamda amonyum tuzları nitratlara dönüşmemekte, topraktan da yıkanamadığı içine erken ilkbaharda bitkiler tarafından alınabilmektedir (yangın etkisi ve yangın kültürü).

5.1.3. Orman Topraklarında Azotun Bulunuşu ve Etkili Faktörler

Orman topraklarında azotun bulunuşu esas itibariyle organik maddeye bağlıdır. Organik maddede bağlanan ve organik maddenin ayrışması ile mineralize olarak toprağa ulaşan azot toprakta bulunan azotun çok önemli bir kısmıdır. Bu nedenle topraktaki organik karbon ile tüm azot miktarı arasındaki oran (C/N oranı) üzerinde fazlaca durulmuştur. Toprakta azotun bulunuşu başta organik madde olmak üzere aşağıda sıralanan faktörlere de bağlıdır.

1) C/N ORANI

Toprağın ölü örtüsü ve organik maddeleri farklı miktarda azot içerirler. Bu fark ağaç türüne bağlı olduğu gibi yükselti, iklim, toprak vd. özelliklere dolayısı ile organik maddenin ayrışma hızına bağlıdır. Bu nedenle aynı miktar organik maddeli toprakta farklı C/N oranları bulunmuştur.

Ayrışmanın hızlı olduğu mul tipi humusta C/N oranı 15'ten küçüktür. Ayrışmanın yavaşladığı fakat devam ettiği çürüntülü mul tipi humusta C/N oranı 15-25 arasındadır. Ayrışmanın sık sık engellendiği çok yavaş ilerlediği ham humusta ise C/N oranı 25'ten fazladır. C/N oranının 30'dan fazla oluşu halinde ayrışma, önemli derecede engellenmiş demektir (Bak. org. mad. ayrışması)

Ağaç türüne göre ve farklı anakayalardan oluşmuş topraklarda C/N oranları farklı bulunmuştur (organik maddece zengin A_h horizonu ile hemen altındaki A_{el} (yıkama zonunda) (Tablo 69 ve 70). Özellikle A_h horizonundaki C/N oranları meşe, kayın ve karaçam ormanlarında 18-20 arasında olduğu halde meşe + kayın + orman gülü altında 40 olarak bulunmuştur. Bu yüksek değer bir yandan ormanın pek sık oluşuna ve orman gülü yapraklarının asit humus yapmasına, bir yandan da kuvarsit anakayasının mineralojik bileşimine (Ca bakımından pek fakir) ve toprağın podsollaşmış oluşuna bağlıdır (Toprağın tamponlama özelliği ile ilişki kurunuz).

Yükselti ile artan yağış ve serinleşen iklim etkisi ölü örtüde C/N oranının artmasına sebep olmaktadır (Tablo 70). Ancak andezit anakayasından oluşmuş ve Ca bakımından zengin olan topraktaki C/N oranları ayrışmanın toprakta daha hızlı olduğunu göstermektedir (Tablo 70).

Ölü örtünün ışık ve dolayısıyla sıcaklık alamadığı ve çok nemli şartların hakim olduğu ormanlarda da organik maddenin ayrışması yavaşlamaktadır. Ormanın kapalılığı gevşetildiği veya orman tıraşlandığı sırada ölü örtü daha fazla ışık ve dolayısı ile ısı aldığı ve nemlilik ayrışma için uygun derecelerde bulunduğu durumlarda ölü örtü daha hızlı ayrışmakta ve C/N oranı azalmaktadır. Tablo 71'de sık baltalık altında A_h - horizonunda C/N oranı 38 (ortalama değer), bulunduğu halde baltalığın kesildiği fakat ölü örtü kaldırılmadan ağaçlandırma yapılan toprakların A_h - horizonlarındaki C/N değeri 28'e düşmüştür.

2) HUMUS TİPİ ve TOPRAK TİPİ

Topraktaki azotun miktarı üzerinde humus tipi ve toprak tipinin önemli etkisi vardır. Organik maddelerin ayrışması ve ayrışmanın hızının topraktaki mikroorganizma (özellikle bakteriler) faaliyetlerine bağlı olduğu daha önce açıklanmıştı. Mikroorganizma faaliyeti ise bir yandan topraktaki katyonlara (özellikle Ca^{++}), öte yandan da toprağın reaksiyonuna ve dolayısı ile toprak tipine göre kazanılmış özelliklere bağlıdır. Özellikle mul tipi humusun bulunduğu topraklar ile esmer orman topraklarında organik madde ayrışması daha hızlı olduğu için azotun mineralizasyonu da artmaktadır. Tablo 69'da esmer orman topraklarının A_h - horizonlarında C/N oranlarının daha düşük ve azot miktarlarının da diğer toprak tiplerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak Tablo

69’de verilen değerler genelleştirilmemelidir. Çünkü toprakta azotun miktarı ve C/N oranları üzerinde etkili birçok başka faktör vardır.

3) TOPRAK REAKSİYONU

Toprak reaksiyonunun; kültür topraklarının azot miktarı üzerindeki, etkisi pek önemli sayılmamaktadır. Ancak orman toprakları işlenmedikleri, orman gölgesi altında buldukları için organik maddenin ayrışması ile toprağın reaksiyonu arasında ilişki önemlidir. Azotun bağlanması ve mineralizasyonunu sağlayan bakterilerin hafif asit- nötr- hafif alkali ortamda faal oldukları belirtilmiştir (Bak. 5.1.1. ve 5.1.2.) Toprak reaksiyonu da organik maddenin ayrışmasını etkilediği için orman topraklarının azot miktarını dolayısı ile etkisi altında tutabilmektedir (Tablo 69). Asit topraklara kireç verildiğinde organik maddenin ayrışması hızlandığı için toprağın azot miktarı da önce artmaktadır. Fakat bir süre sonra durum eski haline dönmektedir (kireç etkisinin kaybolması). Asit yağışlar (özellikle asit yağmur ve asit kar) da toprağın reaksiyonunu asitleştirdikleri (katyonların yıkanması) için organik maddelerin ayrıştırılmasında bakterilerin etkisini azaltmaktadırlar.

4) TOPRAĞIN DİĞER ÖZELLİKLERİNİN ETKİLERİ

Toprağın azot miktarına etkili olan diğer özelliklerinden biri toprak suyunun çeşidi ve topraktaki suyun bulunuş süresidir. Topraktaki yüksek tabansuyu veya durgunsu veya toprağın zaman zaman bataklık halini alması ortamı anaerob (havasız) duruma dönüştürür. Anaerob ortamda ise organik maddenin ayrışması ve azotun mineralizasyonu ya güçleşir veya başka bir yol izler (Bak. toprağın organik maddesi, azotun bağlanması ve mineralizasyonu). Buna karşılık kurak şartların etkisi ile toprakların kuruması veya uzun süre kar altında kalmak veya don olayları ve bunların süresi de topraktaki mikroorganizma faaliyetlerini, dolayısı ile azotun mineralizasyonunu etkilemektedir (Toroşlarda sedir kuşağının yüksek kesimleri gibi.)

Topraktaki su ile karşılıklı bir denge durumunda bulunan havanın (özellikle O₂) ve her ikisi ile ilişkili olan toprak sıcaklığının da organik maddenin ayrışması, mikroorganizmaların çalışması ve azotun mineralizasyonu üzerinde etkileri vardır.

Toprağa anakayadan gelen özelliklerin bilhassa kalsiyumun da azotun mineralizasyonu üzerinde etkisi sözkonusudur.

5) YÜKSELTİ-İKLİM AZOT İLİŞKİSİ

Toprağın azot miktarlarının yükseltiye bağlı olarak değişen iklim özellikleri ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Yükselti arttıkça serinleyen ve nemli bir karakter kazanan iklim özelliklerinin etkisi ile organik maddenin ayrışması yavaşlamaktadır. Bu genel kaideye bağlı olarak toprağın tüm azot miktarı da artmaktadır. Ancak bu olayın sadece maddenin ayrışmasının yavaşlamasına bağlı

Tablo 69. Toprağın A_h Horizonunda C_{org}, N_t ve C/N oranlarının ormanın tür bileşimi, anakaya, humus tipi, toprak tipi ve toprak reaksiyonu ile ilişkisi

Orman Toplumu	Mevki	Anakaya veya Anamateryal	Humus Tipi	Toprak Tipi	A _h Horizonunda			
					pH (nKCl)	C _{org} (%)	N _t (%)	C/N (%)
Meşe	Demirköy- Sergen Sergen arası ¹⁾ T -122 680 m	Klorit şist	Mul	Esmer orman toprağı	5,2	6,35	0,45	14
Meşe	Belgrad Ormanı ²⁾	Toztaşı şisti	Kuru çürüntülü mul	Solgun-Esmer orman toprağı	4,1	5,92	0,29	20
Meşe	Belgrad Ormanı ²⁾	Pliosen balçığı	Kuru çürüntülü mul	Boz-Esmer orman toprağı	4,8	5,41	0,27	20
Meşe	Belgrad Ormanı ²⁾	Pliosen ağır balçığı	Kuru çürüntülü mul	Solgun-Esmer orman toprağı	4,6	5,99	0,34	18
Meşe	Çilingöz ¹⁾ Beytepe T-9 235m	Serisit şist	Mul	Boz-Esmer orman toprağı	5,4	4,29	0,12	20
Kayın	Belgrad Ormanı ²⁾	Toztaşı şisti	Çürüntülü mul	Solgun-Esmer orman toprağı	4,2	3,39	0,19	18
Kayın	Belgrad Ormanı ²⁾	Pliosen balçığı	Çürüntülü mul	Boz-Esmer orman toprağı	4,1	3,35	0,19	18
Kayın	Belgrad Ormanı ²⁾	Pliosen ağır balçığı	Çürüntülü mul	Solgun-Esmer orman toprağı	4,4	4,47	0,27	18
Kayın + Orman Gülü	Kardeşlik çeşmesi ¹⁾ (Demirköy Yolu) T- 121 780 m	Klorit şist	Çürüntülü mul	Esmer orman toprağı	5,8	13,40	0,71	19
Meşe + Kayın Orman Gülü	Vava tepe ¹⁾ (Demirköy Yolu) T-58 655 m	Kuvarsit	Çürüntülü mul	Podsol	3,5	11,80	0,29	40
Doğal Karaçam+ Fundalık	Çamlıkoy ¹⁾ (Vize) T-93 155 m	Kuvars serisit şist	Ham humus	Podsollaşmış Boz-Esmer orman toprağı	3,5	4,65	0,26	18

¹⁾ Kantarcı, M.D. 1979-1 ²⁾ Eruz, E. 1979

(Not Belgrad Ormanı'nın ortalama yükseltisi 200 m'dir.)

olmadığını da belirtmek gerekir. Bir ağaç türünün optimum yetiştirme ortamı olan yükselti-iklim kuşaklarında daha iyi beslenmesi ve yapraklarında daha fazla azotun bulunması da ölü örtüde ve topraktaki azot miktarının yükselti-iklim kuşaklarına göre artmasına sebep olmaktadır (Tablo 70).

Tablo 70: Uludağ Göknaarı ormanlarında (andezit üstünde) toprağın C_{org} , N_t ve C/N oranlarının yükseltiye bağlı olarak değişimi)
Kaynak: Kantarcı, M.D. 1979-Aladağ (Bolu).

	900-1100			1100-1300			1300-1500			1500-1634		
	C_{org} %	N_t %	C/N	C_{org} %	N_t %	C/N	C_{org} %	N_t %	C/N	C_{org} %	N_t %	C/N
Ölü örtü	30.2	1.248	24	31.8	1.306	24	32.0	1.308	25	29.4	1.444	30
A_h	6.5	0.335	19	9.2	0.426	22	8.1	0.406	20	10.3	0.610	17
A_{el}	1.6	0.087	16	2.3	0.104	22	2.9	0.205	14	4.6	0.344	13
A-B	0.7	0.054	13	1.4	0.072	19	1.5	0.124	12	1.6	0.180	9
B_{ts}	0.7	0.047	15	1.0	0.061	16	1.7	0.110	15	2.6	0.213	12
B-C	0.4	0.028	14	0.4	0.041	10	0.6	0.063	10	1.2	0.136	9
C_v	0.3	0.080	4	0.3	0.030	10	0.3	0.040	8	0.8	0.080	10

Not: 1) 1300 m'den yukarısı Uludağ Göknaarı'nın optimum yetiştirme ortamı özelliğindedir. Göknaarı ibrelerindeki N_t oranı da 1300 m'den yukarıda artmaktadır.
2) Topraklar boz-esmer orman toprağı tipindedir.

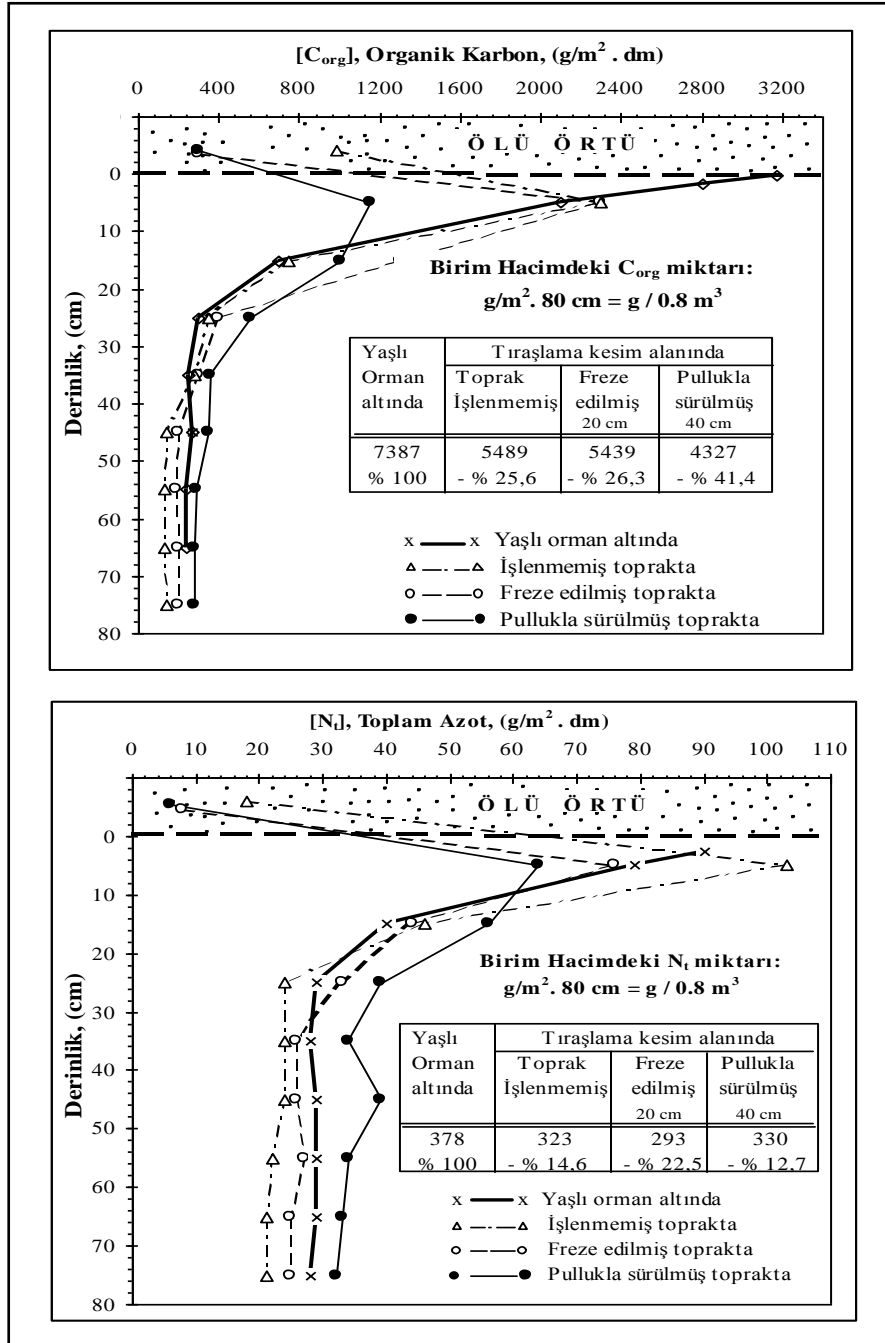
6) TOPRAK İŞLEMELERİNİN ETKİSİ

Toprağın işlenmesi organik madde ile mineral maddenin karıştırılmasını ve havalanmayı sağlamakta, ıslaklık etkisini ortadan kaldırmakta veya azaltmaktadır. Böylece organik maddenin ayrışması hızlanmaktadır. Organik maddenin toprakla karşılaştırılması sonucunda derinliğe bağlı olarak toprağın organik karbon ve azot miktarının da değiştiği saptanmıştır (Şekil 55). Ancak mineralizasyon hızlandığı için toprağın organik maddesi ile azotun azaldığı da saptanmıştır (Tablo 32). Mineralize olan azot bitkiler tarafından kullanılmış veya sistem dışına taşınmıştır. Toprak işleminin organik maddeyi ve üst toprağı kazımak şeklinde yapıldığı yerlerde ise toprağın organik karbon ve azot miktarında önemli azalmalara sebep olduğu görülmektedir (Tablo 71'te bölme 5 ve Tablo 33).

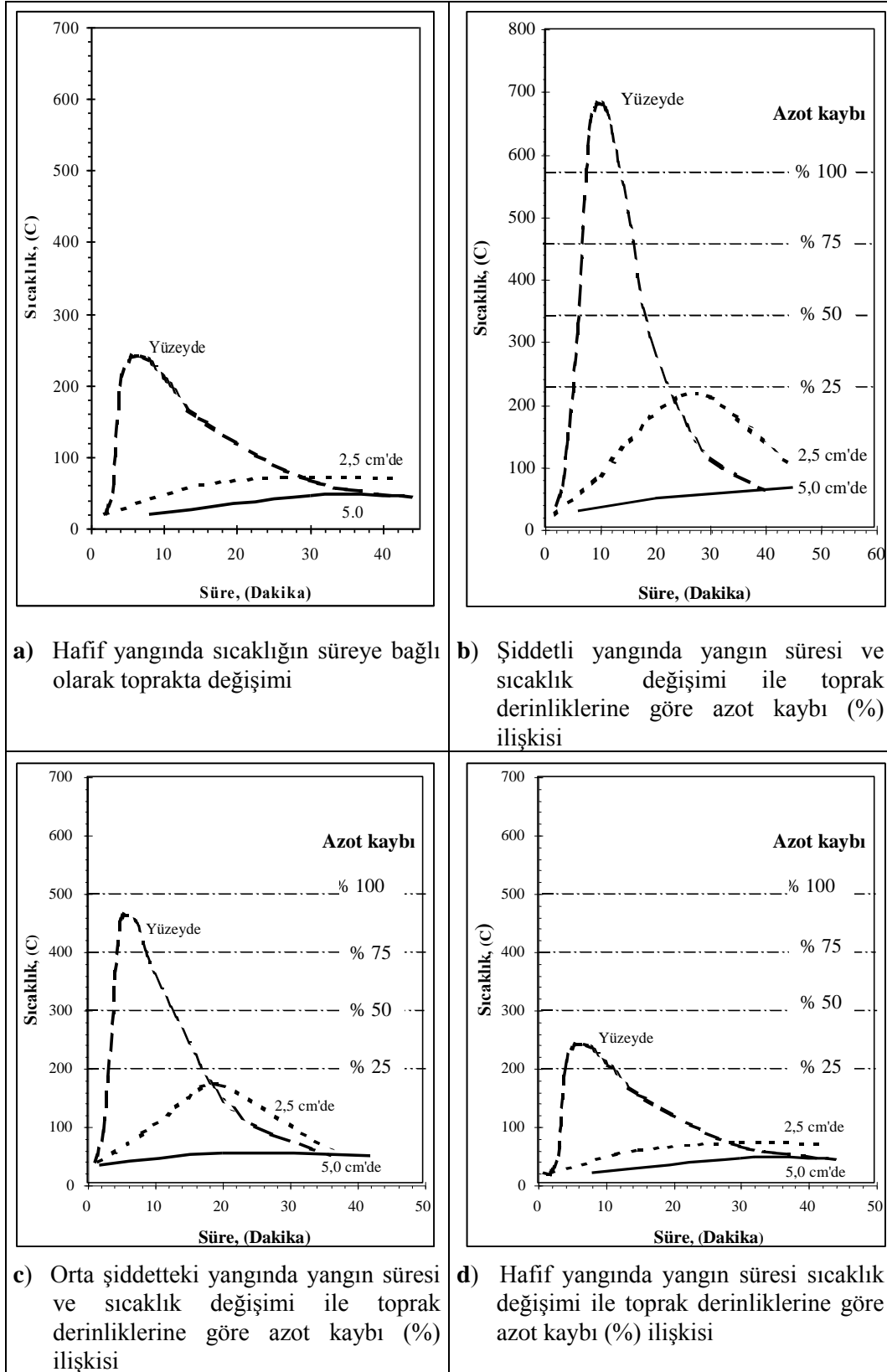
7. YANGINLARIN ETKİSİ

Orman yangınlarında özellikle örtü yangınları topraktan önemli miktarda azotun kaybına sebep olmaktadır. Genel olarak ölü örtünün yanması ve azotun kaybı ormancılıkta arzu edilmeyen bir olaydır. Ölü örtü ve toprakta yangın şiddetine göre meydana gelen sıcaklık ve bu sıcaklıkta azot miktarındaki kayıp şekil 56'da görülmektedir. Toprak yüzeyindeki sıcaklık üst toprakta daha az ölçülmüştür (Şekil 56). Şiddetli yangınlarda sıcaklığın 500 C°'nin üstüne çıkması azotun tamamının kaybına sebep olmaktadır. Sıcaklığın 300 °C'nin altında kalması halinde (hafif yakma) azotun kaybı % 50'den aşağıda kalmıştır (Şekil 56). Soğuk ve nemli ortamda (kışın) meydana gelen yangınlarda ortamdaki azot kaybının daha az olduğu bildirilmektedir (De Bano, L.F. ve ark. 1979). Çalılık alanlarda yapılan yangın deneylerinde orta şiddette ve hafif yangınlarda ilk yıl amonyum miktarının arttığı, ikinci yıldan itibaren nitrat miktarının ve mikroorganizma toplumlarının da arttığı bildirilmiştir (Dunn, P.H. ve ark. 1979).

Türkiye’de yapılan yakma denemelerinde de toprak yüzeyinde sıcaklığın yüksek olmasına rağmen (180-300 °C) üst toprakta 2.5 ve 5.0 cm derinliklerdeki sıcaklık 40 °- 119°C arasında, 10 cm derinlikte ise genellikle 40 °C’tan daha az olarak ölçülmüştür (Neyişçi, T. 1986). Çeşitli yükseltilerde yapılan denemelere göre yükseklik arttıkça yakma sıcaklığı azalmaktadır. Akdeniz Bölgesi’nde kontrollü yakma işlemleri sonucunda topraktaki tüm azotun % 50 oranında azaldığını fakat 3. yılda eskisinden daha fazla bir düzeye ulaştığı ölçülmüştür (Neyişçi, T. 1986).



Şekil 55. Toprağın işleme derinliğine bağlı olarak organik karbonun ve tüm azotun toprak kesitindeki dağılımı ve mineralizasyon ile kayıp olan miktar (8. yıl sonunda) (Kaynak: Kantarcı, M.D.- K.E. Rehfuess 1974’ten).



Şekil 56. Çalılık (maki vb.) alanlarında yangın şiddetine bağlı olarak ölü örtüde ve toprakta sıcaklığın zamana göre değişimi ve azotun kaybı arasındaki ilişki
(Kaynak: De Bano, L.F.; P.M. Rice; C.E. Conred 1979)

Yangın eğer kontrollü olarak kullanılırsa toprağın özellikle amonyum ve nitrat azotu miktarının ve mikroorganizma toplumlarının artması sağlanabilmektedir. Yangın kültürü ile gençleştirmede sedir fidanlarının ibrelerinde % 1.84, gövdelerinde % 1.05 oranında azot bulunmuştur. Yakılmaksızın getirilen sedir gençliğinin ibrelerinde % 1.40, gövdelerinde % 0.40-0.50 oranında N ölçülmüştür. Yakılmış alandaki fidanlar yakılmamış alandakilerden 4-5 misli daha fazla büyüyerek kurak devreyi atlatabilmektedirler (Kantarıcı, M.D. ve ark 1986, 1990 ve Kantarıcı, M.D. 1990-1, 2, 3, ile Kantarıcı, M. D. – Cengiz, Y. 1990). Yangın kültürü ile gençleştirme çalışmaları herhalde kurak mıntikalarda üzerinde önemle durulması gereken bir yöntemdir.

Tablo 71. Meşe + Kayın + Kestane baltalık ormanı ile toprağı işlenmiş olan Sahil Çamı Ormanlarında ölü örtü ve topraktaki C_{org} , N_t ve C/N oranlarının durumu
Kaynak : Kantarıcı, M.D. 1983 Kerpe TUR - 71/521)

	Baltalık (çok sık) Kerpe			Baltalık + Sahil çamı (5 yıllık) Kerpe (Bölme 10-F)			Saf Sahil çamı (5 yıllık) Kerpe(Bölme 5)			Saf Sahil Çamı (10 yıllık) Kefken		
	C_{org} %	N_t %	C/N %	C_{org} %	N_t %	C/N %	C_{org} %	N_t %	C/N %	C_{org} %	N_t %	C/N %
Ölü örtüde	1.351			1.355			0.418			0.380		
Toprakta												
0-5 cm	7.08	0.186	38	6.46	0.228	28	1.45	0.063	23	-	0.124	-
5-20 cm	2.61	0.088	30	3.38	0.138	24	1.39	0.060	23	-	0.069	-
20-40 cm	1.36	0.063	22	1.63	0.059	28	0.47	0.052	9	-	0.054	-
40-60 cm	0.77	0.051	15	0.69	0.037	19	0.26	0.038	7	-	0.042	-
60-80 cm	0.55	0.044	13	0.31	0.019	16	0.21	0.033	6	-	0.034	-
80-100 cm	0.44	0.036	12	0.31	0.019	16	0.21	0.033	6	-	0.034	-

- Not: 1) Çok sık baltalık altında ölü örtü güç ayrısmaktadır (ışık ve dolayısı ile ısı azlığı). Bu nedenle A_h horizonunda (0-5 cm) C/N oranı yüksektir.
- 2) Bölme 10-F'de baltalığın kesilmesi ölü örtünün ışık ve dolayısı ile ısı alması sonucunda hızla ayrışmasını sağlamıştır. Böylece A_h (0-5 cm) ve A_{e1} (5-20 cm) horizonlarında organik karbon ve azot miktarı artmıştır. C/N oranı da düşmüştür. Bölme 5'teki C/N oranları üst toprak kazındıktan sonra kalan alt toprağa aittir. Sahil Çamı ile ilgili değildir.
- 3) Sahil Çamının ibresinde N_t oranı düşüktür. Bölme 5'te uygulanan ve toprağın kazınmasına sebep olan toprak işleme sonucunda toprağın da organik karbon ve azot miktarı çok azalmıştır.
- 4) Kefken'deki Sahil Çamı ağaçlandırması teras üzerinde yapılmıştır. Toprak kazınmadığı için azot kaybı bölme 5'ten daha azdır. Sahil Çamı ibresinin azotça fakir oluşundan dolayı ölü örtüde de (ayrışmadan duruyor) azot miktarı düşüktür.

5.1.4 Toprakta Amonyum (NH_4^+) Fiksasyonu

Toprakta potasyum fiksasyonuna benzer şekilde amonyum da fiksasyon ile tutulur. Çünkü K^+ ve NH_4^+ iyonlarının çapları birbirine çok yakındır. Özellikle illit ve vermiküllit mineralleri amonyumu değiştiremez durumda bağlarlar. Toprağın yüksek miktarda amonyumlu gübrelerle gübrenmesi ve kuruması sonucunda amonyum fiksasyonu sözkonusu olmaktadır (Potasyum fiksasyonuna bakınız). Değiştirilemeyen durumda tutulan NH_4^+ iyonlarını bitki alamamaktadır. Ancak toprağa amonyumlu gübrelerle birlikte potasyumun verilmesi halinde amonyumun fiksasyonu önlenmektedir.

5.1.5. Topraktaki Azot ile Bitki Arasındaki İlişkiler

Azot birçok organik maddenin bileşimine önemli ölçüde katıldığı gibi madde değişimi ve büyüme ilişkilerini de önemle etkilemektedir. Bir yandan proteinlerin (aminoasitler ve amidler), öte yandan klorofilin sentezinde azotun etkisi pek yüksektir. Köklerin solunumunda, çiçeklenmenin zamanında gerçekleştirilmesinde, meyvanın (tohumun) oluşmasında ve olgunlaşmasında azotun rolü çok önemlidir. Azotça iyi beslenen ağaçların zararlılara karşı direnci de artmaktadır.

Azotun topraktan doğrudan alınabilmesi birçok bitki için mümkün değildir. Özellikle koniferlerin topraktan azotu almasına mikoriza mantarı aracı olmaktadır. Koniferlerden başka yapraklılardan meşe, kayın, gürgen, dışbudak, ıhlamur ve huş'da mikoriza aracılığı ile topraktaki azotu alabilmektedirler. Köklerin dışındaki mikoriza mantarı dış mikoriza olarak adlandırılmaktadır (ektotrof mikoriza). Kök ile bu dış mikoriza arasında iyi bir ilişki kurulmaktadır. Dış mikorizalar genç köklerin uçlarında bir kılıf oluşturmaktadırlar. Mikoriza bitkiden karbonhidrat almaktadır. Buna karşılık mikoriza topraktan sadece azotun değil aynı zamanda fosfor ve potasyumun da bitkiye geçmesini sağlamaktadır. Mikorizanın bitki ve kökleri ile yaşama birliği oluşturması özellikle ağaçlandırma alanlarında fidanların daha hızlı büyümesini sağlamaktadır (tüplü fidan dikimi). Toprağın reaksiyonunun 7.5 pH'dan daha yukarı çıkması mikoriza üzerinde olumsuz etki yapmaktadır (kireçtaşından oluşmuş topraklar ile kireçlenmiş topraklar) (Bkz. M. Abourouh 1990).

Orman ağaçları optimum yetişme ortamında topraktan daha fazla azot alabilmekte ve daha iyi büyüebilmektedirler. Uludağ Göknarı, sedir ve kızılçamın yükselti - iklim kuşaklarına göre optimum yetişme ortamlarında ibrelerindeki azot miktarı daha yüksek bulunmuştur (Tablo 72). Ancak yapraktaki azotun yüksek miktarda bulunması daima hızlı büyüme anlamına gelmez. Bazı yetişme ortamlarında yaprakta azot yüksek olduğu halde büyüme geri kalabilmektedir. Bu durum Uludağ Göknarı'nda 1500-1634 m yükselti - iklim kuşağında, kızılçamda 400 m kuşağında görülmektedir (Tablo 72 ve ilgili araştırmalarla ilişki kurunuz).

Tablo 72 . Uludağ Göknarı, Kızılçam ve Sedir'in ibrelerindeki N_t miktarlarının (g/100 gr) yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi

	Yükselti-İklim kuşakları					
	900-1100 m	1100-1300 m	1300-1500 m	1500-1634 m		
Uludağ Göknarı ¹⁾ (Bolu-Aladağ)	1.090		1.290		2.173	
Kızılçam ²⁾ (Manavgat)	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m	1200 m
	1.156	1.563	1.372	1.406	1.472	1.354
Sedir ³⁾ (Kumluca deniz etkisinde) (Çamkuyusu karasal etkide)	1200 m	1400 m	1600 m	1800 m	2000 m	
	1.320	1.430	1.520	1.420	1.390	
	1.370	1.310	1.320	1.190	1.050	

Kaynaklar : 1) Kantarcı, M.D. 1980, Uludağ Göknarı ibre analizleri
2) Kantarcı, M.D. Araştırma henüz yayınlanmamıştır.
3) Kantarcı, M.D. 1985, Sedir ibre analizleri.

5.2. Fosfor

Toprakta fosforun kaynağı apatit mineralidir. Apatit minerali fluor apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ veya hidroksilapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ bileşimlerinde bulunur. Toprağın oluştuğu anakayaların türüne ve mineralojik yapılarına göre fosfor miktarı da değişmektedir (Tablo 8). Genel olarak kuvarsitler, fillitler ve mikaşitler gibi kristalin şistler az miktarda fosfor içerdikleri halde bazalt ve benzeri bazik erüptif kayalardaki fosfor miktarı daha fazladır.

Fosforun organik madde miktarına bağlılığı fazladır. Orman topraklarında organik maddenin bol bulunduğu A_h - horizonunda fosfor miktarı da yüksektir (Tablo 73).

Toprakta fosfor fluorapatit ve hidroksilapatit bileşiminden başka:

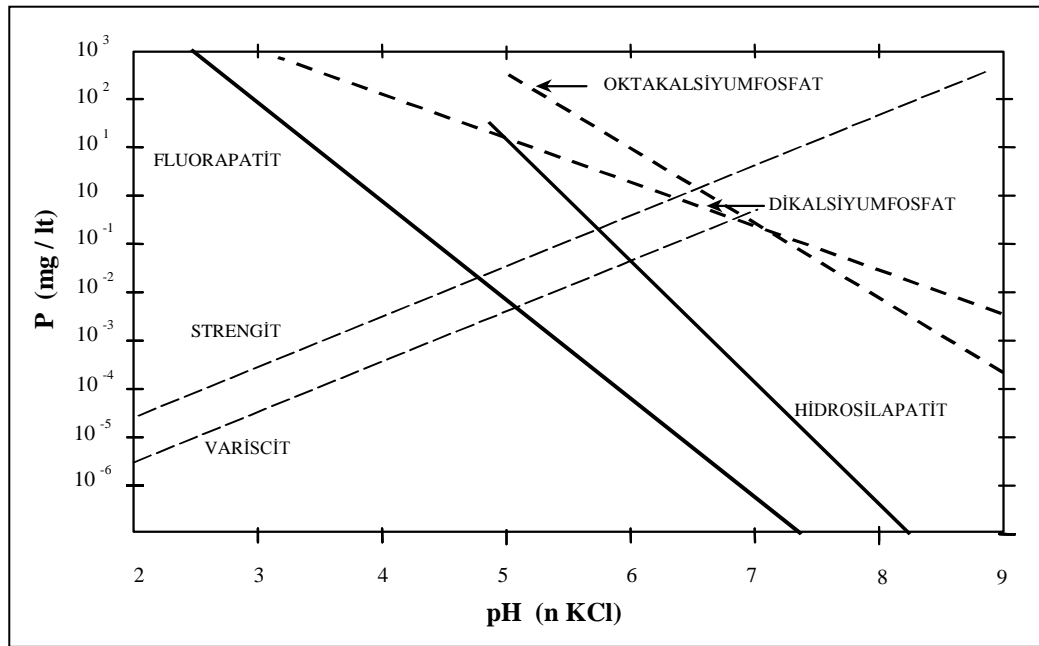
- *Kalsiyumfosfat bileşikleri halinde*
 - Dikalsiyumfosfat CaHPO_4 veya $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 - Oktakalsiyumfosfat $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
esas formülü
- *Demirfosfat bileşikleri halinde*
 - Strengit (Fe^{+3}) $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 - Vivianit (Fe^{+2}) $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
- *Alüminyumfosfat bileşikleri halinde*
 - Variscit (Al^{+3}) $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 (Al^{+3}) $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- *Organik bileşikler halinde*
 - Pitin, pitin tuzları (pitat'lar), pitin türevleri (nukleosid ve nükleotid'ler).
 - Fosfatid'ler (lesitin, kefalin, sfingofosfatid ve bakteri fosfatidleri gibi) Organik madde artıkları veya mikroorganizma sentezlerinin ürünleri halinde bulunmaktadır.

Topraktaki fosfor bileşiklerinin önemli kısım suda çözünmeyen durumdadırlar. Bunlardan bir kısmı asit ortamda bir kısmı da alkalin ortamda çözünmez bileşikler halindedir. Bitkiler tarafından alınabilir fosfor miktarı pek azdır ve bu miktar toprağın reaksiyonu ile organik madde içeriğine önemle bağlıdır.

5.2.1. Toprak Reaksiyonu ile Fosfat Bileşiklerinin ve Fosfat Çözünürlüğünün İlişkisi

Toprakta yeterli miktarda kalsiyum bulunduğu fosfat anyonları kalsiyum fosfatlar halinde bağlanmaktadır. Kalsiyum fosfatların çözünürlüğü

pH 7-8 civarında iken minimumdur. Toprak reaksiyonu 4-5 pH (KCl'de) değerlerinde iken kalsiyum fosfatların çözünürlüğü artar. Bu pH alanında bitkiler tarafından alınabilir fosfat miktarı en yüksek düzeydedir. Toprak reaksiyonunun daha asitleşmesi aynı zamanda kalsiyumun da yıkanmasına sebep olur. Asit ortamda (nKCl çözeltisindeki $\text{pH} < 4$) serbest kalan demir ve alüminyum ile demir fosfat ve alüminyum fosfat bileşikleri oluşmaktadır. Demir ve alüminyum fosfat bileşikleri asit ortamda çözünmedikleri için bitkiler bunlardan yararlanamamaktadır. Bu nedenle şiddetli asit toprakların kireçlenmesi demir ve alüminyum fosfatların çözünür kalsiyum fosfatlara dönüşmesini sağlamaktadır. Ancak kalsiyum fazlalığı da fosfatların çözünürlüğünü azaltmaktadır. Topraktaki kalsiyum, demir ve alüminyum fosfatların çözünürlüğü ile toprak reaksiyonu arasındaki ilişki şekil 57'de görülmektedir.



Şekil 57 Topraktaki fosfatların toprak suyundaki çözünürlüğü ile toprak reaksiyonu (n KCl'deki pH) arasındaki ilişki (25°C'ta)
(Kaynak: Scheffer-Schachtschabel 1970'ten)

5.2.2. Topraktaki Fosfat Fraksiyonlarının Ekstraksiyonu

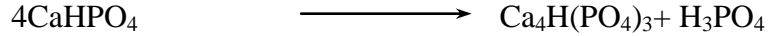
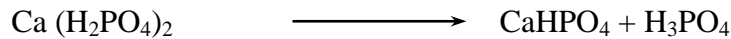
Fosfatların farklı toprak reaksiyonlarında farklı bileşimlerde bulunuşu ve çözünme zorlukları bitkilerin alabileceği fosforun tayininde zorluklar yaratmaktadır. Genellikle asit topraklarda uygulanan ekstraksiyon kalsiyumca zengin topraklarda sonuç vermemektedir. Birçok araştırmacı tüm fosfor miktarının (P_t) tayinini daha uygun bulmaktadırlar. Ancak tüm fosforun pek az bir kısmının bitkiler tarafından alınabilir olması toprağın besin gücünün yorumlanmasında güçlükler yaratmaktadır. Bu nedenle toprak analizlerinde fosfat fraksiyonlarının incelenmesi veya toprağın reaksiyonuna göre bir ekstraksiyon yönteminin seçilmesi gerekmektedir (Tablo 73).

Tablo 73. Fosfat fraksiyonları ve bunların ekstraksiyon çözeltileri.
(Kaynak : Fiedler, H.J. ve ark. 1973).

Fosfatlar	Ekstraksiyon çözeltileri
Suda çözünebilir ve kilde değiştirilebilir olarak bağlı fosfatlar	1.0 N NH ₄ Cl
Alüminyumfosfatlar	0.5 N NH ₄ F
Demirfosfatlar	0.1 N NaOH
Kalsiyum fosfatlar	0.5 N H ₂ SO ₄

5.2.3. Kalsiyum Fosfatların Ayrışması

Gübreleme ile toprağa verilen kalsiyum fosfatlar uygun nem ve toprak reaksiyonunda fosforik asit kaybederek daha güç çözünür fosfatlara dönüşürler. Bu olay suda çözünebilir monokalsiyumfosfatların dikalsiyum fosfata, onun da otakalsiyumfosfata ve giderek suda çözünemeyen hidroksilapatite dönüşümü şeklinde tahmin edilmektedir.



Serbest kalan fosforik asit toprağın reaksiyonunu 1-2 pH'ya kadar asitleştirilebilir. Ancak bu asitliğe sebep olan H⁺ iyonları toprak kolloidlerinde değiştirilebilir durumda tutulan katyonlar tarafından tamponlanır. Anyon halinde toprak suyunda bulunan H₂PO₄⁻ ve HPO₄⁻² anyonları ise bitkiler tarafından alınır veya toprak kolloidleri tarafından değiştirilebilir durumda bağlanır. Bu fosfat anyonlarının önemli bir kısmı ise toprağın özelliğine göre alüminyum, demir veya tekrar kalsiyum fosfat bileşiklerini oluştururlar.

5.2.4. Toprak Kolloidlerinde Fosforun Tutulması

Toprak kolloidlerinden kil mineralleri ve serbest oksitler fosfat anyonlarını değiştirilebilir durumda tutmaktadırlar. Toprakta killer ve serbest oksitler tarafından tutulabilen değiştirilebilir fosfat miktarı 1-4 me/100 g toprak arasındadır.

Toprak reaksiyonu 4-5 pH (n KCl'de) arasında iken montmorillonitin 16-20 me/100 g kil, illit ve kaolinitin 5-10 me/100 g kil fosfat anyonu tutabildiği bildirilmektedir (Scheffer-Schachtschabel 1970) (Kil Mineralleri ve Anyonların Tutulması bahsine bakınız).

Serbest oksitlerden alüminyum ve demirin hidroksitleri fosfat anyonlarını tutabilmektedirler. Toprak reaksiyonunun nötr ve hafif asit olduğunda hidroksit durumundaki demir ve alüminyum oksitler daha fazla fosfat iyonu tutmaktadır. Toprak reaksiyonunun şiddetli aside dönüşmesi ile su kaybeden ve kristalleşen demir ve alüminyum oksitlerin değiştirilebilir durumda tuttıkları fosfat iyonu miktarı azalmaktadır. Daha doğrusu alüminyum ve demir hidroksitler düşük pH derecelerinde Variscit ve Strengit'e dönüşerek toprak suyunda çözünmez fosfatlar geliştirmektedirler (Şekil 57).

5.2.5. Topraktaki Fosforun Toprak Suyu ile İlişkisi

Topraktaki fosfor bileşiklerinin toprak suyunda anyonlar halinde bulunuşu ve bitkiler tarafından alınabilmesi vejetasyon devresinde toprak neminin devamlılığına bağlıdır.

Tabansuyu ve durgunsu topraklarında indirgenme zonlarında demir fosfatlar da 2 değerli demir fosfata (vivianit) indirgenmektedir. Özellikle dungunsu topraklarında ıslak devredeki anaerobik ortamda demir fosfat iki değerli forma indirgenmekte, kuru devredeki aerobik ortamda ise üç değerli forma yükseltgenmektedir. İki değerli formda iken suda kolay çözünebilir demir fosfatı bitkiler alabilmektedirler. Ancak vejetasyon devresinin bir bölümünde toprakta durgun suyun yarattığı ıslaklık bir sorundur. Hemen arkadan gelen yaz kuraklığının sebep olduğu aerobik ortamda ise demir fosfatlar erimeyen 3 değerli forma dönüşmektedirler.

Gerek tabansuyu, gerekse durgunsu zonlarında anaerobik ortamdaki organizma faaliyetinin ve organik madde ayrışmasının sonucunda ortaya çıkan asit ürünlerin etkisi ile toprak suyunda asitleşme söz konusudur. Şiddetli asit şartlarda topraktaki demir ve alüminyum fosfatların suda çözünmez formlara dönüşmesi de söz konusu olmaktadır. Asitliğin şiddetli olduğu anaerobik ortamlarda demir fosfatların 2 değerli forma indirgenmesi söz konusu olmamakta ve bitkilerin fosfor alımında güçlükler ortaya çıkmaktadır.

5.2.6. Toprak Tipi ile Fosfor Miktarı Arasındaki İlişki

Toprağın genetik gelişimi ile fosfor miktarı arasında ilişki bulunmaktadır. Esmer orman topraklarında fosfor miktarı daha yüksektir. Solgun-Esmer Orman topraklarında fosfor miktarının biraz daha az olduğu, yıkanmanın şiddetlendiği boz-esmer orman toprakları ile podsollarda fosfor miktarının daha da azaldığı anlaşılmaktadır (Tablo 74). Aslında bu durum toprağın genetik gelişim safhası (toprak tipi) ile toprağın reaksiyonu arasındaki sıkı ilişkiye bağlıdır. Tablo 74'de boz esmer orman toprağı ile podsol toprağında üst toprakta fosforun şiddetli yıkanma sonucunda azaldığı görülmektedir (T. 58'in A_h- horizonunda organik madde çok oluşu için P_t miktarı yüksektir). Öte yandan ılıman kuşakta toprağın oluşum ve gelişiminde anakayanın etkisi de burada görülmektedir. Seçilen örnek toprakların hepsi kristalen şistlerden olmakla beraber kuvars-serisit şistlerin katyonlarca fakirliği düşük pH'ya ve fosforun yıkanmasına (veya azlığına) sebep olmaktadır (Tablo 74).

Alkalin reaksiyonlu topraklarda (rendsina, kireçli esmer orman toprağı, terra rosa, terra fuska, vertisol = karakepir ve lateritler gibi) ise kalsiyum fosfatların suda çözünürlüğü pH - 7-8 civarında azaldığı için tüm fosfor çok olsa bile bitkiler tarafından alınabilir fosfor az miktardadır.

Tablo 74. Tüm fosfor (P_t) miktarının (mg/100 gr) genetik toprak tipi, toprak reaksiyonu (n KCl'de pH) ve organik karbon (C_{org} %) ile ilişkisi (Kaynak : Kantarcı, M.D. 1979, Ilıman iklim koşullarında)

	Esmer orman toprağı T.121			Solgun-Esmer orman toprağı T.120			Podsollaşmış Boz-Esmer orman toprağı T.93			Podsol T.58		
	pH	C_{org}	P_t	pH	C_{org}	P_t	pH	C_{org}	P_t	pH	C_{org}	P_t
A_h	5.8	13.4	52.1	4.6	6.1	46.4	3.5	4.7	9.7	3.5	11.8	24.5
B_v	5.7	2.6	22.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A_{el}	-	-	-	4.4	5.6	41.8	3.9	0.4	10.7	3.8	1.2	7.9
A-B	-	-	-	4.8	3.3	36.1	3.8	0.5	9.5	4.3	0.9	6.1
B_{ts}	-	-	-	5.2	2.3	39.5	4.0	0.6	17.3	4.4	0.2	7.9
B-C	5.7	1.1	16.0	5.4	1.2	38.0	4.0	0.2	28.6	4.3	0.1	12.2
C_v	-	-	-	-	-	-	4.0	-	13.4	4.3	0.1	16.7
Anakaya	Klorit şist			Klorit şist			Kuvars serisit şist			Kuvarsit (kuvars-serisit şist)		

5.2.7. Bitkiler İçin Fosforun Önemi ve Alınışı

Fosfor bitkideki birçok organik bileşiklerin temel elementini oluşturmaktadır⁶⁵⁾. Fosfor aynı zamanda bitki içindeki madde dolaşım ve değişimi ile enerji bilançosunda da önemli etkiler yapar. Fosfor eksikliği bitkideki azot miktarını ve bitkide azotun bağlanış şeklini (azot bileşiklerini) önemle etkilemektedir.

Bitkiler toprak suyundan fosforu $H_2PO_4^-$ veya HPO_4^{2-} anyonları halinde alabilmektedirler. Topraktaki organik fosfor bileşikleri köklerin salgıları ile ayrışmakta ve bitkiler organik fosforu böylece alabilmektedirler.

Fosforun bitki tarafından alınışında Mg^{+2} iyonunun taşıyıcı bir görev yaptığı ve fosforun alımını kolaylaştırdığı bildirilmektedir (K.Mengel 1968'e göre Truog ve ark. 1947).

Fosforun bitki tarafından alınışında toprak suyunun ve toprak reaksiyonunun önemli etkisi vardır. Yukarıda ilgili bölümlerde bu konuya değinilmiştir. Şiddetli asit ve alkalin ortamda suda çözünebilen fosfatların azlığı bitkilerin alımını da güçleştirmektedir. Ancak organik maddenin fazla miktarda bulunduğu topraklarda veya toprak horizonlarında pH şiddetli asit de olsa toprakta fosfor fazla miktarda bulunabilmektedir (Tablo 74, T. 58-A_h). Organik

⁶⁵⁾ Bu bileşikler pitin, nükleik asit, nükleotid, fosfatid ve mayalardır.

maddece zengin asit reaksiyonlu toprakta bitkiler tarafından alınabilir fosfor asit reaksiyonlu mineral topraktakinden daha yüksek miktardadır.

Organik fosfor bileşiklerinin ayrışmasında ve mineralizasyonunda topraktaki mikroorganizmaların etkisi büyüktür. Uygun pH derecelerinde mikroorganizmalar tarafından önemli miktarda organik fosfor bileşiği mineralize edilmektedir.

Özellikle ibreli ağaç türleri demir ve alüminyum fosfatları köklerinde ortak yaşayan mikorizaların aracılığı ile almaktadırlar. Mikorizanın fosfor alımındaki yardımcı etkisi ibreli türlerin asit reaksiyonlu topraklarda gelişebilmelerini sağlamaktadır.

Toprakta organik karbon miktarı ile fosfor arasındaki oranın toprağın verimliliği hakkında bir fikir verebileceği düşünülmektedir. C/P oranı C/N oranına benzemektedir. Ancak C/P oranı çok geniş sınırlar arasında değişmektedir (< 100-1100 gibi). Çok düşük C/P değerleri toprakların verimli olduğunu işaret etmektedirler, yüksek değerlere ise organik madde ayrışmasının güçleştiği topraklarda veya drenajın engellendiği (durgunsu toprakları gibi) topraklarda rastlanmıştır.

Ağaç yapraklarında fosfor miktarı yetişme ortamının verimlilik durumuna göre farklıdır. I. bonitetteki karaçam meşçelerinde ibredeki P miktarı ortalama 153 mg/100 g olarak bulunduğu halde V. bonitette ibredeki P miktarı ortalama 121 mg/100 g olarak bulunmuştur (Eruz, E.- B.Zenke 1984). Yükseltiye bağlı olarak değişen iklim özelliklerine göre göknar ölü örtüsündeki fosfor oranları azalmaktadır. Buna karşılık organik maddenin birim alandaki artışına bağlı olarak m²'deki fosfor miktarı da artmaktadır. Göknar ibrelerinin fosfor oranları da yükselti artışına bağlı olarak (yetişme ortamının göknar için optimum olduğu 1300 m'den yüksek kuşaklarda) artmaktadır (Tablo 75 - a) .

Tablo 75-a. Göknar ibreleri ile ölü örtüsünde tüm fosfor miktarının (P_t mg/100 g) yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi.
(Kaynak : Kantarcı, M.D. 1978-1979-1980 Aladağ-Göknar)

	900-1100 m	1100-1300 m	1300-1500 m	1500-1634 m
İbrede P_t %	168	227	242	321
Ölü örtüde P_t %	50.5	51.5	44.7	49.3
Ölü örtüde P_t gr/m²	1.896	1.750	1.783	2.066

Not : Yükselti ile artan ölü örtü miktarına bağlı olarak birim alandaki P_t miktarı da artmaktadır.

Sedir ve kızılçam ormanlarında yaptığımız araştırmalara göre bu ağaç türleri için optimum olan yükselti-iklim kuşaklarında ibredeki P_t oranları da yüksek bulunmuştur (Tablo 75 - b).

Tablo 75-b. Sedir ve kızılçam ibrelerindeki tüm fosfor miktarının (P_t mg/100 g) yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi
(Kaynak: Sedir ibreleri için Kantarcı, M.D. 1985, Kızılçam ibreleri için henüz yayınlanmadı).

	Yükselti-iklim kuşakları					
	< 200 m	400 m	600 m	800 m	1000m	1200 m
Kızılçam kuşağı						
P_t mg/100 g	80	95	188	105	130	106
Sedir Kuşağı	1200 m	1400 m	1600 m	1800 m	2000 m	
P_t mg/100 g	160	150	175	148	141	

5.3. Kükürt

Kükürt primer olarak bazik eruptif taşlarda Fe_2S ve bakır, nikel sülfidler halinde bulunur. Tortul taşlarda veya materyallerde yerine göre anhidrit ($CaSO_4$) veya jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), tuzlu tortullarda (deniz tortullarında) $CaSO_4 + MgSO_4$ bileşimlerinde bulunur.

Kükürt genellikle yağışlı bölgelerde topraktan kolay yıkandığı için anorganik formda az miktarda bulunur. Nemli bölgelerde kükürdün bulunuşu organik maddeye bağlıdır. Bu nedenle orman topraklarında kükürt miktarı üst toprak kesiminde daha fazladır (yıllık yaprak dökümüne bağlı olarak). Toprakta organik karbon ile kükürt oranı (C/S) 100-150 arasında bulunmaktadır.

Kurak bölgelerde ise topraktaki sülfatlar yıkanamadığı için anorganik kükürt bileşikleri (sodyum ve kalsiyum sülfatlar) çok miktarda bulunur (Toprak suyunun sıvı- buhar halimde hareketine ve tuzlanma bahsine bakınız).

Havalanmanın kötü olduğu anaerob ortamda kükürt indirgenir. Tabansuyunun indirgenme zonunda (G_r) indirgenen kükürt koyu mavi renkli demir sülfüre (FeS_2) dönüşmektedir (Tabansuyunun indirgenme zonunun zamanla koyu mavi renk alması). Durgunsu zonlarında ise sülfatların anaerob şartlarda indirgenmesi sonucunda H_2S (hidrojen sülfür) oluşmaktadır. Sülfatların hidrojen sülfüre indirgenmesi olayında anaerob olan renksiz kükürt bakterilerinin de etkisi vardır. Hidrojen sülfür ağaç kökleri için zehir etkisi yaptığından durgunsu zonunda kök gelişimi engellenir ve toprak çukurlarında çürük yumurta kokusu hissedilir.

Havalanabilen topraklardaki aerob ortamda bilhassa kükürt bakterilerinin (*Thiobasillus thiooxidans*) etkisi ile sülfidler sülfatlara dönüştürülmektedir. Bu sülfata yükseltgenme olayının çevresinde toprak reaksiyonu 2 pH civarına kadar düşer. Havalanabilen topraklarda mineral maddedeki kükürt sülfatlar halinde bulunur.

Toprağa atmosferden de bir miktar kükürt ulaşmaktadır. Havadaki SO_2 gazı yağışlarla toprağa indirilmektedir. Geçmiş yıllarda Almanya'da deniz kıyısında ve kıyı şeridinde atmosferden gelen miktarları 2 - 4 kg/ha/yıl olduğu halde, havası kirlenmemiş olan bölgelerde atmosferden gelen kükürdün 1 kg/ha/yıl'dan daha az olduğu, buna karşılık endüstri bölgelerinde 100 kg/ha/yıl değerine ulaşıldığı (asit yağışlar) bildirilmiştir (Scheffer/Schachtschabel 1970). Türkiye Göktaş (Murgul) bakır fabrikasının çevresinde günde 560 mg/m^3 SO_2

yaydığı bildirilmektedir. Bu miktardaki SO₂ yoğunluğu Göktaş Vadisi'ndeki ormanları tamamen tahribetmiştir⁶⁶⁾. Türkiye'de kömür ile çalıştırılan termik santraller de önemli miktarlarda SO₂ gazını havaya vermektedirler. Türkiye'deki elektrik üretimi tesislerinden havaya verilen SO₂ miktarı 1990 yılında 744 500 ton/yıl iken 1995 yılında 949 300 ton/yıl değerine yükselmiştir (Bkz. International Energy Agency 1997 ve Kantarcı, M D.1999). SO₂ ile oluşan asit yağışlar ormanların ölümüne ve toprağa önemli miktarda kükürt yağışına sebep olmaktadır.

Bitkiler kükürdün önemli bir kısmını yapraktan almaktadırlar. Topraktan kükürt SO₄⁻² iyonları halinde alınmaktadır. Almanya'da gaz zararlarının olmadığı bölgelerde ladin ibrelerindeki kükürt oranı % 0.08-0.10 arasında bulunmuştur (Fiedler, H.J ve ark. 1973'e göre Materna 1966-63). Samsun yakınında kurulmuş olan Bakır-Azot Fabrikasından çıkan SO₂'in Samsun-Gelemen Fidanlığı'ndaki fidanlar üzerinde zararlı etkiler yaptığı gözlenmiştir. Fidanlıkta yetiştirilen fidanların ibrelerindeki kükürt oranları Sahil Çamında % 0.112-0.375, Fıstık çamında % 0.113- 0.339, Himalaya Sedirinde % 0.080-0.145, Monteri çamında (pinus ridaiata) % 0.112-0.124 arasında bulunmuştur. Aynı türlerin Belgrad Ormanı'ndaki fidanlıkta yetiştirilenlerinde ibredeki kükürt miktarı Sahil Çamı'nda % 0.091-0.159, Fıstık çamında % 0.099-0.137, Himalaya Sedirinde % 0.091-0.151, Monteri Çamında (Pinus radiata) % 0.137-0.157 arasındadır (Çepel, N.; M.Dündar, E.Ertan, 1980). Samsun bakır fabrikalarından çıkan SO₂ gazının çevredeki kireçli topraklarda asitleştirici bir etki yapmadığı, kireçsiz topraklarda ise yakın gelecekte asit etkisi yapabileceği bildirilmiştir (Çepel, N.; M.Dündar 1983). Yatağan Termik Santrali, Yeniköy Termik Santrali ve Kemerköy (Gökova) Termik Santralının etkisi altındaki orman alanlarında yapraklardaki kükürt oranları % 0,25 - % 0,80 arasında bulunmuştur. Son yıllarda Türkiye'de pek çok orman alanında ağaçların yapraklarındaki kükürt oranlarının % 0,20 - % 1 olduğu belirlenmiştir⁶⁶⁾ (Kantarcı, M.D ve ark. 2000).

Kükürt bitkilerde aminoasitlerin ve proteinlerin sentezinde önemle etkili olup bunların bileşiminde yer almaktadır. Bitkilerde yumurta akı maddelerinde, birçok mayanın bileşiminde ve B₁ (Thamin) ile H(Biotin) vitaminlerinde kükürt önemli miktarda bulunmaktadır.

5.4. Potasyum

Potasyum en fazla potasyumlu feldispatlar (ortokslar ve mikrolin) ile mikalar (muskovit ve biyotit) gibi minerallerde (Tablo 4) ve illit, vermiküllit, glaukonit gibi kil minerallerinde (Tablo 16) bulunmaktadır.

Toprakta minerallerde bağlı olan potasyumun (K_t) miktarı anakayanın mineralojik bileşimine göre değişebilmektedir (Tablo 76). Toprağın değiştirilebilir potasyum miktarı (K⁺) ise anakayanın mineralojik bileşiminden çok toprağın kolloid madde miktarına ve toprak horizonlarına göre değişir (Tablo 76). Değiştirilebilir potasyum (K⁺) miktarı tüm potasyumun küçük bir bölümüdür:

Toprakta potasyumun değiştirilebilir durumda tutulması kil miktarına önemle bağlıdır. Kil minerallerinin tuttuğu K⁺ iyonları kolay değiştirilebilir ve güç değiştirilebilir olarak ikiye ayrılır. Kolay değiştirilebilir potasyum iyonların kil

66) Türkiye'de hava kirliliği ve SO₂ miktarları için bak. Çevre Sorunları Vakfı 1983, 89, 93, 97 ile Kantarcı – Karaöz 1998 ve 1999'da derlenmiş olan İ.Ü. Or. Fak. Toprak İlmi ve Ekoloji Abd. araştırmaları

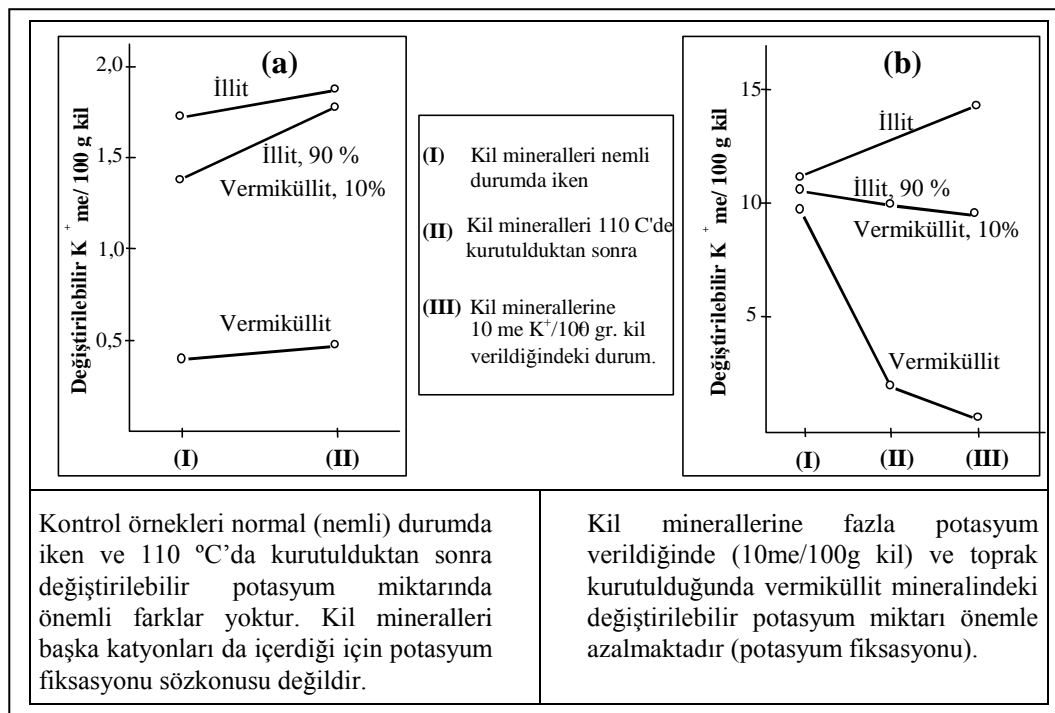
minerallerinin dış yüzeylerinde tutulmaktadır. Güç değiştirilebilir potasyum iyonları ise kil minerallerinin iç yüzeylerinde tutulmaktadır.

Tablo 76. Farklı anakayalardan oluşmuş topraklarda tüm potasyumun (K_t) ve değiştirilebilir potasyum (K^+) miktarları arasındaki ilişki .
(Kaynak : Kantarcı, M.D. 1976).

Toprak horizonları	T.93		T.59		T.39	
	K_t	K^+	K_t	K^+	K_t	K^+
	g/100 g		g/100		g/100	
A _h	0.801	0.031	3.119	0.031	1.816	0.052
A _{el}	0.860	0.022	3.154	0.023	1.884	0.026
A-B	0.817	0.021	3.158	0.020	1.877	0.027
B _{ts}	1.442	0.022	3.077	0.020	1.739	0.027
B-C	1.490	0.020	2.906	0.020	1.818	0.028
C _v	1.870	0.020	3.805	0.020	1.639	0.032

T.93 : Kuvars-serisit şist anakayasından oluşmuş podsollaşmış boz-esmer orman toprağı (Çamlıkoy-Vize).
T.59 : Klorit-serisit şist anakayasından oluşmuş solgun-esmer orman toprağı (Vava Tepe-Yüksek Yıldız-Demirköy)
T.39 : Granit anakayasından oluşmuş boz-esmer orman toprağı (Asker Köprüsü-Demirköy)

Potasyumun özellikle vermiküllit ve illit minerallerinin iç yüzeylerinde kuvvetle tutulması ve değiştirilebilir katyon özelliğini kaybetmesine “Potasyumun fiksasyonu” denir. Toprak suyunda çok miktarda K^+ bulunması halinde (fazla miktarda potasyumlu gübre verildiğinde) potasyum iyonları kil minerallerin tuttuğu diğer katyonların yerine geçerler. Toprağın kuruması ve kil minerallerinin yaprakçıkları arasında hidratlatma enerjisinden daha yüksek bir elektriksel güç ile tutulurlar. Kil minerali su alarak bir daha şişemez (yaprakçıklar açılmaz). Böylece vermiküllit minerali de illite dönüşür (Bak.3.4.3.2.Vermiküllit) (Şekil 58)



Şekil 58. İllit, vermiküllit ve % 90 illit ile % 10 vermiküllit karışımında değiştirilebilir potasyumun durumu ve potasyumun fiksasyonu.

(Kaynak: De Mumburum ve Hoover 1958'e göre H.J. Fiedler ve ark. 1973).

Asit reaksiyonlu topraklarda potasyum kolayca yıkanabilmektedir. Nötr ve alkali reaksiyonlu topraklarda potasyum miktarı daha fazladır. Toprakta değiştirilebilir potasyumun miktarı yağış miktarına da önemle bağlıdır. Sızıntı suyu topraktaki değiştirilebilir potasyumu Ca ve Mg dan daha kolay yıkayıp götürebilmektedir. Ancak toprakta değiştirilebilir potasyum yeterli ise bitkilerin optimum yetişme ortamına doğru K^+ alımı artmaktadır. Tablo 77'de Uludağ Göknaarı'nın optimum dışı ve optimum yetişme ortamı olan yükselti-iklim kuşaklarında ibrelerdeki potasyum miktarının da farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 77. Uludağ Göknaarı topraklarındaki değiştirilebilir potasyum miktarı ile ibrelerdeki potasyum miktarının yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi (Aladağ kuzey yamacı-Bolu)

(Kaynak: Kantarcı, M.D. 1978 ile 1979 ve 1980'den derlenmiştir.)

İklim Tipi	Yükselti-İklim Kuşakları			
	Optimum dışı		Optimum	
	900-1100m	1100-1300m	1300-1500m	1500-1634 m
İbrede K_t g/100 g	0.950	1.088	1.150	1.245
Ölü örtüde K_t g/m ²	5.998	5.262	5.460	5.144
Toprakta K^+ g/m ³	96.441	131.854	107.504	81.434

Not: 1) Yükselti arttıkça artan yağış toprakta K^+ iyonunun yıkanmasını sağlamıştır.
2) 900 – 1000m kuşağında yağışın daha az, sıcaklığın daha yüksek olması nedeniyle ölü örtüde K_t miktarı daha fazladır. Daha yukarıda ise ölü örtüdeki K_t miktarı azalmaktadır.
3) İbrelerdeki K_t miktarı göknarın optimum yetişme ortamında daha fazladır.

Toprakta değiştirilebilir potasyum ile değiştirilebilir kalsiyum iyonları arasında karşılıklı bir denge vardır. Fazla miktarda kalsiyum varlığında potasyumun bitkiler tarafından alınması zorlaşmaktadır. Özellikle potasyumca fakir toprakların kireçlenmesi halinde K^+ iyonunun alınmasında güçlükler ortaya çıkmaktadır. Potasyumca zengin toprakların kireçlenmesinde böyle bir durumun ortaya çıkmadığı bildirilmektedir (İrmak, A. 1972).

Potasyum bitkide bir iyon olarak etki yapar. Özellikle hücre özsuyunun ve dolayısı ile bitkinin su dengesini sağlaması kuraklığa karşı dayanma gücünü artırır. Potasyumun toprakta yeterli bulunması ve yeterince alınabilmesi yaz kuraklığının atlatılmasında ve donlara karşı dayanıklılıkta olumlu etkiler yapmaktadır. Potasyum fotosentez olayında olduğu kadar bitki içindeki mayaların aktifleştirilmesinde, madde oluşum ve değişimlerinde de vazgeçilemez bir bitki besin maddesidir.

5.5. Sodyum

Toprakta sodyum, değiştirilebilir katyon durumunda veya sodyumun suda çözünülebilir tuzları halinde (Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , $NaCl$ gibi) bulunur. Suda çözünemeyen tüm sodyum miktarı anakayanın mineralojik bileşimine (Tablo 78) veya tuzlu sularda tortullaşmış olup olmamasına bağlıdır. Ayrışma sonucunda serbest kalan sodyum katyonları yağış suları ile yıkanıp giderler. Bu nedenle asit ve nötr reaksiyonlu topraklarda değiştirilebilir sodyum katyonunun tüm sodyum katyonununun pek az olduğu bulunmuştur (Tablo 78).

Alkalin topraklarda ise sodyum miktarı daha fazladır. Özellikle kurak mıntikalarda tuzlu toprağın alt kesiminde soydumla zenginleşmiş (çökelekli) bir zon yer alır (Şekil 32-c ve d).

Tablo 78. Farklı anakayalardan oluşmuş topraklarda tüm sodyum (Na_t) ve değiştirilebilir sodyum (Na^+) miktarları arasındaki ilişki (Kaynak : Kantarcı, M.D. 1976).

Toprak horizonları	T.93		T.59		T.39	
	Na_t	Na^+	Na_t	Na^+	Na_t	Na^+
	g/100 g		g/100 g		g/100 g	
A_n	0.145	0.016	0.949	0.009	1.764	0.024
A_{el}	0.126	0.009	1.058	0.008	1.961	0.025
A-B	0.161	0.009	0.902	0.009	1.805	0.051
B_{ts}	0.478	0.013	0.934	0.008	1.500	0.052
B-C	0.620	0.010	0.817	0.008	1.714	0.061
C_v	0.707	0.008	0.709	0.007	1.815	0.041

T.93, T.59 ce T.39 için Tablo 76'in dip notuna bakınız.

Toprakta az miktarda sodyumun bulunması bitkiler için zararlı bir etki yapmamaktadır. Bazı bitkiler için sodyum potasyumun görevini de üstlenmekte ve bitki besin maddesi olarak sayılmaktadır⁶⁷⁾. Ayrıca otlak topraklarında sodyumun biraz fazla olması ve otların sodyum oranının yüksek olması hayvancılık bakımından faydalı sayılmaktadır. Nispeten daha tuzlu olan otlar hayvanların tuz ihtiyacını karşılamaktadırlar. Buna karşılık toprakta sodyumun yüksek miktarda bulunması halinde diğer katyonlar alınamamakta ve sodyum zehir etkisi yapmaktadır. Ayrıca sodyum çok şiddetle hidratlandığı için bitki köklerinde veya kök çevresinde sodyum toplanması köklerin su alımını engellemektedir (Bernstein ve Pearson 1956'ya göre K.Mengel 1968).

Topraktaki değiştirilebilir sodyum (Na^+) ve bunun orman ağaçları tarafından alınan miktarı iklimin nemliliğindeki artışa paralel olarak azalma göstermektedir (Tablo 79).

Tablo 79. Toprakta değiştirilebilir durumdaki Na^+ miktarı ve ölü örtüdeki Na_t miktarı ile Uludağ Göknaarının ibrelerindeki Na_t miktarlarının yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi (Aladağ'ın kuzey yamacı-Bolu) (Kaynak: Kantarcı, M.D. 1978-79-80).

İklim Tipi	Yükselti-İklim Kuşakları			
	900-1100 m Yarı nemli nemli	1100-1300 m nemli	1300-1500 m çok nemli	1500-1634 m çok nemli
İbrede Na_t g/100 g	0.013	0.010	0.010	0.009
Ölü örtüde Na_t g/m²	0.850	0.532	0.589	0.609
Toprakta Na^+ g/m³	37.692	25.165	20.035	14.059

Toprakta sodyumun artması kilin dispersleşmesine ve toprak strüktürünün bozulmasına sebep olmaktadır. Toprak strüktürünün bozulması ise topraktaki su ve hava rejimini olumsuz yönde etkilemektedir. Fazla miktarda değiştirilebilir sodyum katyonları ile doyurulmuş olan kil mineralleri, özellikle montmorillonit 160 Å'e kadar şişmektedir. Sodyum iyonlarının fazlalığı montmorillonitin yaprakçıklarının birbirinden tamamen uzaklaşmasına ve dağılmasına sebep olur (Bak, 3.4.3.2. Montmorillonit). Kireçli topraklarda yüksek Ca^{++} miktarı sodyumun olumsuz etkilerini azaltmaktadır.

⁶⁷⁾ Şeker pancarı, yulaf, lahana, şalgam, havuç ve pamuk gibi (Kacar, B.1984).

5.6. Kalsiyum

Kalsiyum, erüptif kayalardaki primer minerallerden, kireçli tortul kayalarla gevşek materyallerden ve kalkıştılar gibi başkalaşım kayalarından toprağa intikal etmektedir ⁶⁸⁾.

Toprakta tüm kalsiyum (Ca_t) ile değiştirilebilir kalsiyum (Ca^{++}) miktarı anakayanın minerolojik bileşimine önemle bağlıdır. Tablo 80'de 3 ayrı kireçsiz anakayadan oluşmuş toprakların Ca_t ve Ca^{++} miktarlarının farklı olduğu görülmektedir. Kireçli anakayalardan oluşan topraklarda değiştirilebilir kalsiyum miktarlarının fazlalığı veya azlığı toprağın reaksiyonu ve tampon alanları üzerinde önemli etkiler yapmaktadır (Tablo 67).

Tablo 80. Farklı anakayalardan oluşmuş topraklarda tüm kalsiyum (Ca_t) ve değiştirilebilir kalsiyum (Ca^{++}) miktarları arasındaki ilişki
(Kaynak : Kantarcı, M.D. 1976).

Toprak horizonları	T.93		T.59		T.39	
	Ca_t g/100 g	Ca^{++} g/100 g	Ca_t g/100 g	Ca^{++} g/100 g	Ca_t g/100 g	Ca^{++} g/100 g
A _h	0.202	0.109	0.153	0.058	1.012	0.156
A _{el}	0.060	0.045	0.132	0.043	0.632	0.050
A-B	0.071	0.041	0.132	0.041	0.692	0.057
B _{ts}	0.067	0.049	0.152	0.041	0.566	0.092
B-C	0.061	0.043	0.133	0.041	0.661	0.110
C _v	0.050	0.040	0.122	0.041	0.712	0.140

T.93, T.59 ve T.39 için Tablo 76'in dip notuna bakınız.

Kalsiyum, kalsiyumlu minerallerin hidratlanması ve hidrolizi ile toprak suyuna geçer. Toprak suyunda bulunan HCO_3^- ile Ca^{++} bağlanarak $Ca(HCO_3)_2$ meydana gelir. Bu olayda bitki köklerinin ve toprak içi canlılarının solunumu ile ortaya çıkan CO_2 'nin toprak havasındaki miktarı önemli rol oynar. Bikarbonat halindeki kalsiyum nemli bölgelerde topraktan kolayca yıkanır. Kurak bölgelerde ise bikarbonatlar su kaybederek kireç taşları veya kireç çökeleklerine dönüşürler.

Toprakta kalsiyumun yıkanıp gitmesini derin kök sistemlerine sahip olan ormanlar önemli ölçüde önleyebilmektedirler. Köklerin toprağın derinliklerinden aldıkları kalsiyum iyonları yaprak dökümü ⁶⁹⁾ ile tekrar toprak yüzeyine ulaşır ve

⁶⁸⁾ Erüptif kayalardaki mineraller : Anorit, plajyoklas, piroksenler, amfiboller, epidot vd.
Tortul kayalar : Kireçtaşı, dolomit, jips (alçı taşı), kireç çimentolu kumtaşı, marn vd. anakayalar ile kalsit gibi mineraller.

⁶⁹⁾ Bitki içindeki kalsiyum kökten doğrudan yapraklara ulaşmaktadır. Yapraktaki kalsiyum bitkinin diğer organlarına dağılmamakta ve yaprakta toplanıp kalmaktadır. Bu nedenle yapraklar (ve ibrelilerde yaşlı yapraklar) kalsiyum bakımından zengindir (Bak. Kantarcı, M.D. 1980). Ekosistemde Ca^{++} dolaşımında ormanın yaprak dökümü çok önemli bir rol oynamaktadır. Orman altından yaprakların taşınması (rüzgârla veya hayvan altlığı olarak vb.) veya alçak baltalıklarda hayvan otlatılması kalsiyumun tekrar toprağa geri dönüşünü engellemektedir. Özellikle kalsiyumca fakir anakayalardan oluşan topraklarda bu olay ormanın beslenme ve büyümesi bakımından çok önemlidir (Tablo 80).

ölü örtünün ayrışması ile toprağa dönerler. Gerek ölü örtünün ayrışmasında, gerekse toprak içindeki mikrobiyolojik olaylarda kalsiyum çok önemli bir katyondur. Kalsiyum bitkilerinin beslenmesi bakımından da vazgeçilemez bir yapı taşıdır. Kalsiyumun bitki beslenmesi ve topraktaki mikrobiyolojik faaliyetler üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri onun en önemli bitki besin maddelerinden biri olarak incelememize sebep olmaktadır.

Kalsiyum eksikliği kök gelişimi üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Toprakta yeterli Ca^{++} bulunmaması H^+ iyonlarının tamponlanamamasına ve toprak suyu ile kolloidlerinde Al^{+3} ile Mn^{+2} iyonlarının artmasına sebep olmaktadır (Tablo 67). Toprakta kalsiyumun hızla yıkanmasının sebebi asit humus yapan bazı bitkiler ve asit yağışlardır. Toprakta kalsiyumun yetersizliği ve eksikliği sonucunda ise bitki gelişimi olumsuz olarak etkilenmekte ve artan Al^{+3} ile Mn^{+2} iyonları zehir etkisi yapmaktadır (Bitki fizyolojisi ve hava kirliliğinin etkisi için bkz. Kantarcı, M. D. 1992, 1995, 1997 /1, 2, 3, 1998).

Kalsiyumun fazlalığı topraktan diğer katyonların (özellikle, Mg gibi) alınmasına engelleyebilmektedir. Özellikle kirece karşı hassas bitkilerin kireçli topraklara dikilmesi bu bitkilerde kloroza yol açmaktadır. Kireçli topraklar üzerinde özellikle bazı koniferlerin iyi gelişemedikleri bilinmektedir. Kireçli topraklarda kalsiyum alımının azaltılmasının mümkün olduğu bitkilerde potasyum alımı artmakta ve bitkinin gelişmesi daha iyi olmaktadır. Fidanlıklarda da topraktaki kalsiyum fazlalığı sonucunda (ıslak ortamda) mantar hastalıklarının artışı çok miktarda fide ölümüne sebep olmaktadır (damping off). Kalsiyum fazlalığı mikrobiyolojik faaliyeti (bakteri faaliyeti) hızlandırdığı için organik maddenin hızlı ayrışmasına da sebep olmaktadır. Bu etkiyi olumlu veya olumsuz yönde kullanmak uygulayıcının elinde olan bir husustur.

Hava neminin yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarından terleme çok azaldığı için ve Ca^{++} katyonunun kökten - yaprağa taşınması ise terlemeye bağlı olduğu için (pasif alım), terleme azalır - toprak suyu yeterince kökler tarafından emilemediğinde, yapraklar kalsiyum katyonunu alamamaktadır. Yeterli Ca^{++} alamayan yapraklarda ise mantarlar gelişmektedirler. Fidanlıklarda yaprak ve sak çürümelerinde vb. olaylardaki sorunlardan biri de topraktaki Ca^{++} yetersizliği değil, yaprağa yeterli Ca^{++} ulaşmamış olmasıdır.

Kalsiyum toprağın kırıntılı bir yapıya sahip olmasını da sağlamaktadır. Bilhassa kil minerallerini pıhtılaştırarak birbirine bağlaması sonucunda kil topraklarının havalanması düzelmektedir. Hava ve su ekonomisi dengelenen topraklarda bitki kökleri (gelişme ve solunum) ve diğer canlı faaliyetleri de olumlu yönde etkilenmektedirler. Kalsiyumun toprağın fiziksel özellikleri üzerindeki olumlu etkisi bitkilerin beslenmesi ve gelişmesi üzerinde de olumlu sonuçlar vermektedirler Kantarcı, M. D. 1997-1, 2, 3 ve 1998).

Orman ağaçlarının kalsiyum alımı optimum yetişme ortamı şartlarında artmaktadır (Tablo 81).

Tablo 81 . Toprakta değiştirilebilir Ca^{++} miktarı ile Uludağ Göknaı ibrelerindeki Ca^{++} miktarının yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi (Aladağ'ın kuzey yamacı-Bolu) (Kaynak : Kantarcı, M.D. 1978-79-80).

İklim Tipi	Yükselti-İklim Kuşakları			
	900-1100 m Yarınemli nemli	1100-1300 m nemli	1300-1500 m çok nemli	1500-1634 m çok nemli
İbrede Ca_t g/100 g	2.178	2.332	2.501	2.534
Ölü örtüde Ca_t g/m ²	118.0	94.6	107.5	103.4
Toprakta Ca^{++} g/m ³	2723	1612	2234	1587

Not: Anakaya andezit olup plajyoklasca zengindir.

Tablo 82'in incelenmesinden göknarın topraktan yüksek miktarda Ca^{++} aldığı ve bunu yaprak dökümü ile toprağa iade ettiği anlaşılmaktadır. Ancak göknarın yüksek kalsiyum alımının alt toprakta asitlik derecesini arttırdığı, üst toprakta ise Ca^{++} zenginleşmesi sonucunda pH'nın yükseldiği anlaşılmaktadır.

Tablo 82. Göknaıın topraktan yüksek miktarda kalsiyum alması sonucunda alt toprağın Ca^{++} oranı ve pH'sı düşmekte ölü örtü ile üst toprağa geri verilen Ca^{++} ise üst toprağın pH'sını yükseltmektedir. (Kaynak: Kantarcı, M.D. 1979-2)

Toprak horizonları	Yükselti-İklim kuşakları							
	900-1100 m		1100-1300 m		1300-1500 m		1500-1634 m	
	pH nKCl'de	Ca^{++} mg/100 g	pH nKCl'de	Ca^{++} mg/100 g	pH nKCl'de	Ca^{++} mg/100 g	pH nKCl'de	Ca^{++} mg/100 g
A _h	5.20	688.9	5.63	782.3	5.33	732.1	5.02	812.3
A _{el}	4.55	218.2	4.38	207.9	4.83	382.0	4.66	377.4
A-B	4.44	230.5	4.38	171.1	4.48	234.5	4.46	267.4
B _{ts}	4.22	341.2	4.33	180.5	4.58	282.0	4.51	256.1
B-C	4.17	324.1	4.31	179.2	4.45	266.2	4.44	184.2
C _v	4.28	374.2	4.20	197.6	4.48	304.5	4.38	191.3

5.7. Magnezyum

Magnezyumun kaynağı biyotit, ojit, hornblende, olivin, serpantin, klorit, dolomit gibi minerallerdir. Toprakta magnezyum anakayanın minerolojik bileşimine göre çeşitli miktarlarda bulunur (Tablo 83). Magnezyumun topraktan yıkanıp gitmesi Na^+ ve K^{++} dan daha güç ve yavaş fakat Ca^{++} dan daha hızlıdır. Serpantinlerden ve kloritçe zengin olan klorit şistlerden oluşan topraklarda Mg^{++} fazla bulunmakta ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Tablo 83. Farklı anakayalardan oluşmuş topraklarda tüm magnezyum (Mg_t) ve değişebilir magnezyum (Mg^{++}) miktarları arasındaki ilişki (Kaynak : kantarcı, M.D. 1976).

Toprak horizonları	T.93		T.59		T.39	
	Mg_t g/100 g	Mg^{++} g/100 g	Mg_t g/100 g	Mg^{++} g/100 g	Mg_t g/100 g	Mg^{++} g/100 g
A _h	0.135	0.028	0.562	0.012	0.597	0.041
A _{el}	0.131	0.005	0.821	0.006	0.580	0.011
A-B	0.089	0.006	0.574	0.006	0.635	0.021
B _{ts}	0.128	0.016	0.609	0.006	0.713	0.043
B-C	0.120	0.007	0.550	0.007	0.753	0.056
C _v	0.157	0.003	0.773	0.003	0.746	0.072

T.93, T.59 ve T.39 için Tablo 76'nın dip notuna bakınız.

Magnezyumun toprakta bulunuşu ile toprağın genetik tipi arasında genel bir ilişki saptanmıştır (Schröder, D.; J.Zahiroleslam 1963).

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{Bataklık} \\ \text{Toprakları} \\ \text{(deniz marşları)} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{c} \text{Balçıklı} \\ \text{esmer orman} \\ \text{toprakları} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{c} \text{Kumlu} \\ \text{esmer orman} \\ \text{toprakları} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{c} \text{Podsölmü} \\ \text{esmer orman} \\ \text{toprakları} \end{array} \right\} > \left\{ \text{podsollar} \right\}$$

Tuzlu alkali topraklarda magnezyum daha da fazladır. Magnezyumun toprakta tutulması toprak tipine olduğu kadar toprak türüne ve özellikle topraktaki kolloid kompleksine de bağlıdır. Normal şartlarda Mg^{++} toprak kolloidleri tarafından Ca^{++} 'dan daha az fakat K^+ 'dan daha kuvvetle tutulmaktadır. Toprağın asitlik derecesi de Mg^{++} un tutulan miktarını kuvvetle etkilemektedir (Tablo 67).

Topraktaki değiştirilebilir magnezyum miktarı iklim nemli ve serin karakter kazandıkça daha kolay yıkanmaktadır. Buna karşılık çok nemli ve serin şartlarda organik madde hızla ayrışmadığı için ölü örtüdeki Mg_t birikimi yükseltiye ve nemlilik derecesine paralel olarak artmaktadır (Tablo 84).

Tablo 84. Uludağ Göknaarı ölü örtüsündeki tüm magnezyum (Mg_t) ile toprakta değiştirilebilir Mg^{++} miktarının yükselti-iklim kuşaklarına göre değişimi (Aladağ'ın kuzey yamacı-Bolu) (Kaynak : Kantarcı, M.D. 1979-b)

İklim Tipi	900-1100 m Yarı nemli nemli	1100-1300 m nemli	1300-1500 m çok nemli	1500-1634 m çok nemli
Ölü örtüde Mg_t g/m ²	13.868	16.793	20.449	20.321
Toprakta Mg^{++} g/m ³	646	349	379	210

Magnezyum bitkide mayaların etkilediği birçok oluşum ve değişimler için gereklidir. Azot bileşiklerinin oluşumu ve bitkinin fosfat alımı ile fosfatların bitki içinde taşınması olayları da magnezyum tarafından etkilenir. Klorofilin merkezinde Mg^{++} iyonu bulunmaktadır. Klorofilin sentezi ve asimilasyon olayları magnezyumun önemle etkisi altındadır. Magnezyum eksikliğinde bitkilerde asimilasyon ve sentez faaliyetlerinde önemli duraklama ve gerilemeler görülmektedir. Toprakta magnezyumun fazlalığı diğer katyonların azlığına ve iyon dengesizliğine dolayısı ile de verimsizliğe sebep olmaktadır.

5.8. Topraktaki Diğer Bitki Besin Maddeleri

Diğer bitki besin maddeleri başlığı altında minör elementler olarak tanınan demir, manganez, bakır, çinko, molibden ve bor hakkında bilgi verilmiştir.

5.8.1 Demir

Topraktaki demirin primer kaynağı hornblende, ojit, olivin ve biotit mineralleridir. Topraktaki demir bileşikleri genel olarak üç grupta incelenmektedir:

- (1) Minerallerde bağlı topraklaşmamış demir
- (2) Topraklaşmış demir (demir oksitler - kristalleşmiş durumda)
- (3) Aktif demir (demir hidroksitler-amorf durumda)

Organik maddece zengin olan A_h - horizonlarında demir amorf durumda bulunur ($Fe(OH)_3$ ve $FeOOH$ gibi). Amorf demir bileşikleri toprakta yukarıdan aşağı doğru yıkanır. Böylece üst toprakta ağarmış renkli yıkama horizonu gelişir. Alt toprakta su kaybederek kristal demir oksitlerine dönüşen demir (topraklaşmış demir) kırmızı renkli birikme horizonunun göstergesidir.

İyi havalanabilen topraklarda demir yükseltgenerek 3 değerli demir bileşikleri halinde bulunur (kırmızı renkli). Kötü havalananan topraklarda ise demir indirgenerek 2 değerli bileşikler halinde bulunur (griden maviye değişen renklerde). İki değerli demir bileşiklerine tabansuyu topraklarının indirgenme zonlarında (G_r) ve durgunsu topraklarının indirgenme zonlarında (S_d) çok miktarda rastlanır.

Toprağın toplam demir miktarı (Fe_t); topraklaşmamış demir, topraklaşmış demir (Fe_d) ve aktif demir (Fe_o) miktarlarının toplamıdır⁷⁰⁾. Toprağın toplam demir miktarı ve bunun fraksiyonları anakayanın mineralojik bileşimine ve toprağın genetik gelişim sürecine göre farklıdır (Tablo 85). Toprakta demirin yıkanma hızı ise aktif demirin topraklaşmış demire oranı ile belirlenir (Fe_o/Fe_d) (Fazla bilgi için bak. Kantarcı, M.D. 1979 -a ve 1981 -b).

Demir bitki tarafından 2 veya 3 değerli kasyonlar halinde alınabildiği gibi, organomineral bileşikler (çelat) halinde de alınabilir (Aktif demir alınabilir). Demirin bitki bünyesindeki önemli görevlerden biri klorofilin sentezindeki fonksiyonudur. Demir eksikliği halinde klorofilin yükseltgenememesi ve yeni klorofil sentezlerinin gerçekleştirilememesi sonucunda yapraklarda sararma (kloroz) olayları görülür (Kantarcı, M.D. 1997-1).

Örnek olarak *populus euromericana*'nın kloroza uğramış yapraklarındaki klorofil miktarı $1.3 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ olduğu halde, demirle gübrelenen yapraklardaki klorofil miktarı $5 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ 'ye yükselmiştir (Fiedler, H.J. ve ark. 1973'e göre Keller ve Koch 1962-64). Demirin bitki içinde etkisi indirgenme ve yükseltgenme özelliğinden ileri gelmektedir. Bitkinin solunumu ve karbonhidratların ayrışması (terleme için enerji) olayında etkili olan mitokondrinlerin bileşiminde çok miktarda demir vardır (Mengel, K. 1968).

Bitkilerin topraktan demir alımı özellikle kireçli ve alkalin reaksiyonlu topraklarda güçleşmektedir. Bu topraklarda demir suda güç çözünen bileşikler halinde bulunmaktadır. Ayrıca Kalsiyum kationunun toprak çözeltisindeki hakimiyeti de sözkonusudur. Özellikle kireçli topraklara sahip fidanlıklarda görülen kloroz olaylarında toprağın pH'sını düşürecek seyreltik (%2'lik) sülfirik asit veya kükürt serpilmesi yanında toprak veya yaprak gübrelenmesi halinde demir bileşiklerinin verilmesi fayda sağlamaktadır.

Sarıçamlarda demir eksikliği sonucu sararmış olan ibrelerdeki demir miktarı $15-20 \text{ ppm}/100 \text{ g}$ kuru madde olarak bulunmuştur (Zech W. 1970). Buna

⁷⁰⁾ Fe_d : Diyonit çözeltisinde çözünen demir fraksiyonu (pedojen demir)

Fe_o : Oksalat çözeltisinde çözünen demir fraksiyonu

Fazla bilgi için bakınız Kantarcı, M.D. 1979 (ılıman iklim koşullarında) ve 1981 (Granit toprakları)

Tablo 85 Topraktaki demir fraksiyonlarının anakayaya, toprak tipine ve toprak horizonlarına göre değişimi ile demirin aktifliğinin (Fe_o/Fe_d) durumu.
(Kaynak : Kantarcı, M.D. 1979-b).

Anakaya Toprak tipi Toprak No	Klorit Şist Esmer Orman Toprağı T. 121				Klorit Şist Solgun - Esmer Orman Toprağı T. 61				Kuvars – serisit şist Podsollaşmış Boz – Esmer Orman Toprağı T.93			
	Fe_t (%)	Fe_d (%)	Fe_o (%)	Fe_o/Fe_d (%)	Fe_t (%)	Fe_d (%)	Fe_o (%)	Fe_o/Fe_d (%)	Fe_t (%)	Fe_d (%)	Fe_o (%)	Fe_o/Fe_d (%)
	A_h	3.862	1.323	1.124	85	4.627	1.882	0.867	46	0.877	0.214	0.190
B_v	4.920	1.751	1.459	83	-	-	-	-	-	-	-	-
A_{el}	-	-	-	-	5.231	2.030	1.051	52	0.890	0.257	0.118	46
A-B	-	-	-	-	5.557	2.289	0.862	38	1.154	0.492	0.178	36
B_{ts}	-	-	-	-	5.896	2.823	0.961	34	2.479	0.989	0.342	35
B-C	5.376	1.951	1.272	65	6.049	2.859	0.820	29	1.956	0.591	0.122	21
C_v	-	-	-	-	6.716	2.514	0.615	18	1.464	0.215	0.880	41

karşılık kloroz görülmeyen yapraklarda demir oranı 80-350 ppm arasında değişmektedir. Türkiye’de sarıçam ormanlarında ibredeki demir oranı 34-280 ppm (Dündar, M. 1978), kızılçam ormanlarında 43-103 ppm (Çepel, N.-M.Dündar (1984), karaçam ormanlarında 43-180 ppm (Eruz, E. - B. Zenke 1984) arasında bulunmuştur.

Sedir ormanlarında ibredeki demir oranlarının deniz etkisi altındaki yamaçlarda (Kumluca Dibek Ormanı) yükselti arttıkça azaldığı (yağışın etkisi), karasal iklim etkisi altındaki yamaçlarda ise (Elmalı-Çamkuyusu Sedir Araştırma Ormanı) yükselti arttıkça arttığı tespit edilmiştir (Tablo 86).

Tablo 86. Sedir ibrelerinde demir miktarının yükseltiye bağlı olarak değişimi (kireç taşından oluşmuş topraklarda) (ppm/g kuru madde)
(Kaynak: Kantarcı, M.D.-K.E. Rehfuess yayınlanmamış sedir araştırması).

	Yükelti İklim Kuşakları				
	1200 m	1400m	1600 m	1800 m	2000m
Kumluca Dibek ormanı (Deniz etkisi altında) G bakı	171.35 (157.1-185.4)	177.33 (148.7-223.2)	157.30 (146.9-169.2)	151.19 (130.3-177.0)	143.3 (137.3-156.1)
Elmalı- Çamkuyusu Ormanı K bakı (Karasal iklim etkisi altında) G bakı	154.60 (129-182)	159.83 (124-221)	170.75 (152-204)	185.67 (162-206)	177.40 (136-208)
	---	--	--	173.17 (127-209)	187.25 (144-261)

5.8.2. Mangan

Manganın primer kaynağı silikat mineralleridir. Olivinli gabro ve mikaşistler ile serpantinlerde daha fazla bulunur. Toprakta mangan güç çözünen 3 ve 4 değerli mangan oksitleri bulunur.

Topraktaki manganın çözünürlüğü toprak reaksiyonuna, mikroorganizma faaliyetlerine ve toprak suyunun özelliklerine göre değişiklikler göstermektedir. Toprak reaksiyonu asitleştikçe manganın toprak suyundaki çözünürlüğü artar. Toprak reaksiyonunun (n KCI’deki) pH 6’dan daha yüksek olduğunda manganın çözünürlüğü hızla azalır (Şekil 52). Bu nedenle kireçli toprak suyundaki ve toprak kolloidlerinde değiştirilebilir durumda tutulan mangan miktarı çok azdır. Toprak suyunun da bu yöndeki etkisi önemlidir. Aerob ortamda manganın 3 ve 4 değerli duruma yükseltgenmesi (oksitlenmesi) güç çözünmeye sebep olmaktadır. Durgunsu ve tabansuyu topraklarındaki anaerobik ortamda ise mangan 2 değerli duruma indirgenmektedir. Asit toprak reaksiyonu ile anaerobik ortam şartları biraraya geldiğinde manganın çözünürlüğü artmaktadır. Toprağın fazla asitleşmesi ise mangan zehirlenmelerine sebep olacak kadar manganın serbest kalmasına sebep olmaktadır (Tablo 67 tampon alanları). Aerob mikroorganizmalar özellikle kireçli ve humuslu topraklarda manganın 3 ve 4 değerli duruma yükseltgenmesine sebep olmaktadır. Anaerob mikroorganizmalar ise manganın 2 değerli duruma indirgenmesini sağlamaktadırlar.

Toprakta mangan aynen demir gibi topraklaşmış (Mn_d) ve aktif (Mn_o) formlarında bulunur. Mangan da toprak kesitinde humusça zengin A_h horizonunda ve A_e (yıkama) horizonunda humus asitlerinin etkisi ile organomineral bileşikler (çelatlar) halinde aktif duruma geçerek yıkanır ve birikme (B_s) horizonunda birikir. Durgunsu topraklarının havalanabilen oksitlenme zonlarında (S_w) oluşan koyu kahverengi - siyah çökelelerde (konkresyonlar) üç değerli demir ve 4 değerli mangan oksitler bulunmaktadır.

Bitkiler topraktan manganı 2 değerli katyonlar halinde almaktadırlar. Manganın toprakta çözünürlüğü ile yapraklardaki miktarı arasında bir ilişki sözkonusudur. Toprağın kireçlenmesi mangan alımını engelleyici bir etki yapmaktadır. Kalsiyum iyonunun mangan alımını ve bitki içindeki mangan dolaşımını olumsuz yönde etkilediği, demir ve magnezyum iyonlarının da benzer etkiler yaptığı belirtilmiştir (Mengel, K. 1968).

İndirgenme ve yükseltgenme özellikleri ile mangan bitkide birçok oksidasyon olaylarını ve mayaların aktifleşmesini sağlamaktadır. Ayrıca bitkideki fotosentez olayları için mangan gereklidir.

Kireçli topraklarda yetiştirilen bitkilerde görülen mangan eksikliği yaprak gübrelemesi ile giderilebilir ($MnSO_4$ çözeltisi ile). Bitkilerin mangana karşı toleransı epeyce yüksektir. Orman ağaçlarından yapraklarının mangan miktarları geniş oranlar içinde değişmektedir. Batı ladininin ibrelerindeki mangan oranı yetişme ortamının verimliliğine göre 555-2055 ppm, sarıçam ibrelerinde ise 445-830 ppm, göknar ibrelerinde 136-5160 ppm arasında bulunmuştur (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Yapraklı ağaçların yapraklarındaki mangan miktarı toprağın reaksiyonu ile pek yakından ilişkilidir. Özellikle kireçli toprakları tercih eden kavakların yapraklarındaki mangan oranı düşük bulunmuştur (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Türkiye'deki araştırmalarda sarıçam ibrelerindeki mangan oranının 32-945 ppm (Dündar, M. 1978), kızılçam ibrelerinde 11.1-139.0 ppm (Çepel, N.-M. Dündar 1984), karaçam ibrelerinde 21-689 ppm (Eruz, E., - B. Zenke 1984), sedir ibrelerinde ise 15-228 ppm (Kantarıcı, M.D.-K.E.Rehfuess) arasında bulunmuştur.

Yapraklardaki mangan oranının yükselti arttıkça azaldığı da belirlenmiştir. Batı ladinin ibrelerinde mangan oranının alt dağlık araziden yüksek dağlık araziye doğru 2500 ppm'den 200 ppm'e düştüğü bildirilmiştir (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Türkiye'de sedir ormanlarında yapılan tesbitlere göre ibredeki mangan oranı deniz etkisi altındaki yamaçlarda yükselti artışı ile ters orantılı bir değişim gösterdiği halde, karasal iklim etkisi altındaki yamaçlarda yükselti artışı ile doğru orantılı bir değişim göstermektedir (Tablo 87).

Tablo 87. Sedir ibrelerinde mangan miktarının yükseltiye bağılı olarak değişimi (kireç taşından oluşmuş topraklarda (ppm/gr kuru madde)
(Kaynak : Kantarcı: kantarcı, M.D.-K.E Rehfuess yayınlanmamış araştırma)

	Yükelti İklim Kuşakları				
	1200 m	1400m	1600 m	1800 m	2000m
Kumluca Dibek ormanı (Deniz etkisi altında) G bakı	160.2 (109.2-221.8)	108.6 (61.8 - 228.4)	109.3 (76.6-159.0)	97.4 (46.6 - 144.0)	85.2 (67.5 - 100.8)
Elmalı- Çamkuyusu ormanı K bakı (Karasal iklim etkisi altında G bakı	52.4 (29.8-84.4)	51.3 (29.0-87.7)	71.0 (56.3-118.4)	45.0 (14.8-61.5)	94.9 (87.2-119.0)
	---	---	---	66.0 (31.0-173.4)	46.0 (38.9-68.9)

5.8.3. Bakır

Toprakların oluştuğu anakayalarda bakırın oranı pek azdır. Granitler (10 ppm'den daha az), kumtaşları, kumlu materyaller bakırca daha fakirdir. Mikaşistlerde ise bakır oranı daha yüksek (100 ppm civarında) bulunmuştur. Toprak çözeltisinde bakırın 2-100 ppm arasında bulunduğu bildirilmektedir (Scheffer-Schachtschabel 1970). Mağmatik kayalarda bakıra genellikle sülfidler halinde, tortul kayalarda ve materyallerde kil minerallerinde tutulmuş durumda rastlanmaktadır.

Toprakta bakırın bulunuşu ile organik madde miktarı arasındaki ilişki önemlidir. Topraktaki bakırın önemli bölümü güç çözünebilen veya çözünmeyen organik veya anorganik bileşikler durumunda bulunur. Toprağa gübre olarak verilen bakırın kısa sürede değiştirilemez durumda bağlandığı bildirilmiştir (Scheffer Schachtschabel 1970). Bakır bakterilerden Thiobacillus thiooxydans tarafından oksitlenerek bitkiler tarafından alınabilecek duruma getirilir. Toprakta bakır bileşiklerinin çözünürlüğü ile toprak reaksiyonu arasında belirgin bir ilişki bulunmamıştır. Ancak bakır durgunsu topraklarında oluşan demir-mangan çökelekleri (konkresyonlar) içinde daha yüksek miktarda bulunmaktadır.

Bakırın bitki içinde pek hareketli olmadığı ve köklerde daha çok biriktiği bildirilmektedir (Russ 1958'e göre Mengel, K. 1968). Yapraklardaki bakırın önemli bir kısmının kloroplastlarda toplandığı ve bu nedenle bakırın da fotosentez olaylarında etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Orman ağaçlarının yapraklarında bakır miktarı (diğer bitkilerde olduğu gibi) çok az miktardadır. Sarıçam ibrelerinde 3.9 - 4.5 ppm, batı ladini ibrelerinde 2.4 - 3.5 ppm, göknar ibrelerinde 4 - 8 ppm arasında bulunmuştur. Kavak yapraklarında bakır eksikliği belirtilerinin genellikle 5 ppm'den daha az bulunduğu ortaya çıktığı bildirilmektedir (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Bakırın $CuSO_4$ çözeltisi halinde yaprak gübresi olarak verilmesi daha uygundur.

Türkiye'de sarıçam ibrelerinde 2.7-8.8 ppm (Dündar, M. 1978), kızılçam ibrelerinde 2.3-8.1 ppm (Çepel, N.- M. Dündar 1984), karaçam ibrelerinde 4-58

ppm (Eruz, E. -B.Zenke 1984) ve sedir ibrelerinde 3.3.-5.5. ppm (Kantarıcı M.D.-K.E. Rehfuess) arasında bakır bulunmuştur. Sedir ibrelerindeki bakır oranlarının yükselti ile ters orantılı olarak değiştiği anlaşılmaktadır (Tablo 88).

Tablo 88. Sedir ibrelerinde bakır miktarının yükseltiye bağlı olarak değişimi(kireç taşından oluşmuş topraklarda) (ppm/g kuru madde)
(Kaynak: Kantarcı, M.D.-K.E. Rehfuess yayınlanmamış araştırma)

	Yükelti İklim Kuşakları				
	1200 m	1400m	1600 m	1800 m	2000m
Kumluca Dibeğ ormanı (Deniz etkisi altında)	5.5	4.2	4.0	3.5	3.3
G bakı	(4-7)	(3-5)	(3-5)	(3-4)	(3-4)
Elmalı- Çamkuyusu Ormanı)	(Eser miktarda olduğu için tayin edilemedi)				

5.8.4. Çinko

Topraktaki çinko silikat minerallerinde, oksitler halinde, kil minerallerinde tutulmuş olarak veya organik maddede bulunur. Topraktaki çinkonun ancak % 1'inin değiştirilebilir durumda olduğu, gübrelemeler ile toprağa verilen çinkonun zamanla çözünmez bileşiklere dönüştüğü bildirilmiştir. Çinkonun çözünmez durumda bağlanması yüksek pH'da artmaktadır (Scheffer-Schachtschabel 1970). Buna karşılık toprak asitleştikçe çinko bileşiklerinin çözünürlüğü artmaktadır.

Çinkonun bitki içindeki etkilerinin magnezyum ve mangana benzerlik gösterdiği, çeşitli mayaların aktifleşmesinde, yumurta akı maddesinin sentezinde (katalizör olarak), ribonükleik asit sentezinde etkili olduğu belirtilmiştir (Mengel, K. 1968).

Yapraklardaki çinko miktarı; sarıçamda 47-56 ppm, batı ladininde 40.5-57.5 ppm, gürgen ve kızılğaç yapraklarında 35 ppm'den az, buna karşılık huş, kavak, söğütlerin yapraklarında daha yüksek çinko bulunmuştur (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Türkiye'de sarıçam ibrelerinde 26-105 ppm (Dündar, M. 1978), kızılçam ibrelerinde 25-64 ppm (Çepel, N.- M.Dündar 1984), karaçam ibrelerinde 31-72 ppm (Eruz, E.- Zenke 1984) ve sedir ibrelerinde 10-27 ppm (Kantarıcı, M.D.-K.E. Rehfuess) arasında çinko bulunmuştur. Sedir ibrelerindeki çinkonun yükselti arttıkça azaldığı anlaşılmaktadır (Tablo 89).

Tablo 89. Sedir ibrelerinde çinko miktarının yükseltiye bağlı olarak değişimi(kireç taşından oluşmuş topraklarda) (ppm/g kuru madde)
(Kaynak: Kantarcı, M.D.-K.E. Rehfuess yayınlanmamış araştırma)

	Yükelti İklim Kuşakları				
	1200 m	1400m	1600 m	1800 m	2000m
Kumluca Dibeğ ormanı (Deniz etkisi altında) G bakı	20.5 (16-27)	18.0 (16-20)	18.7 (16-23)	16.3 (10-22)	12.7 (10-17)
Elmalı-Çamkuyusu K bakı ormanı (Karasal iklim etkisi altında) G bakı	21.2 (17-24)	20 (15-22)	22.5 (18-23)	19.5 (14-24)	15.4 (12-20)
	---	---	---	16.2 (14-20)	16.8 (14-18)

5.8.5. Molibden

Molibden özellikle primer minerallerde daha çok bulunur. Olivin minerali molibden bakımından zengindir. Toprakta molibdat (MoO_4^{2-}) anyonları halinde bulunan molibdenin toprak kolloidleri tarafından tutulması fosfat anyonlarının tutulmasına benzer. Molibdat anyonları topraktaki demir ve alüminyum oksitler tarafından da tutulurlar. Toprak reaksiyonunun asitleşmesi ile bu oksitler molibdeni daha güçlü tutarlar. Toprak reaksiyonunun 5-6 pH ve daha yukarı oluşu halinde molibdenin toprak suyundaki çözünürlüğü artar. Molibden toprakta molibdat anyonlarından başka, molibden sülfür (MoS_2), kalsiyum molibdat ve molibden oksitler, halinde de bulunur. Organik maddelerin ayrışması ile de toprağa mobilden verilir. Özellikle asit topraklarda molibdatların suda çözünürlüklerinin azalması sonucu ortaya çıkabilecek olan molibden eksiklikleri organik maddelerin ayrışması ile karşılanır. Buna rağmen demirce zengin ve reaksiyonu 5.4 pH'dan (n KCl'de) düşük olan asit topraklarda molibden alınmasının güçlüğe uğradığı belirtilmektedir. Bu topraklar genellikle organik maddesi az tarım topraklarıdır.

Molibden bitkiler tarafından molibdat anyonları halinde alınır. Molibdenin alınışı ile fosfatın alınışı arasında benzerlikler ve ilişki olduğu anlaşılmaktadır (Mengel, K. 1968). Buna karşılık sülfat anyonları molibdenin alınışı önleyici etki yaparlar (Trobisch 1965'e göre Mengel, K. 1968). Sülfat anyonlarının engelleyici etkisi ile toprağın asitliği ortak bir ilişki olarak görünmektedir. Molibden zehir etkisi yapmadan bitkiler tarafından oldukça fazla alınabilmekte ve yapraklarda daha fazla birikmektedir.

Molibden anorganik fosforun organik fosfora dönüşmesi için gereklidir (Possingham 1954'e göre K.Mengel 1968). Öte yandan fosforik asit esterlerinin ayrışmasını (fosforun aktifleşmesi) da molibden önlenmektedir. Molibden Mo^{+5} ile Mo^{+6} değerleri arasındaki değişiklikler sonucunda nitratların indirgenmesinde

de etkili olur. Nitratları indirgeyen ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$) mayaların bileşiminde molibden vardır. Molibden eksikliğinden dolayı klorofil miktarının azaldığı, fotosentezin düştüğü, buna karşılık solunumun arttığı bildirilmiştir (Loneragon ve Arnon 1954'e göre Mengel, K. 1968). Molibdenin yetersizliği askorbik asit (C vitamini) sentezinin de engellenmesine sebep olmaktadır. Molibdenin eksikliğinde bitkiler büyüyememekte ve azot eksikliğinde görülen belirtiler ortaya çıkmaktadır. Bu olay molibdenin nitratların indirgenmesindeki etkinliğinin önemini ortaya koymaktadır. Molibden eksikliği halinde ağaç yapraklarındaki NO_3^- miktarı artmaktadır.

Kızılağacın (*Alnus glutinosa*) köklerindeki yumrulu bakteriler yüksek miktarda molibden biriktirmektedirler. Molibdenin yetersiz olduğu topraklarda kıızılağaç köklerindeki yumrulu bakteriler pek küçük boyutta olup ağacın azot beslenmesinde etkisiz kalmaktadırlar.

Çeşitli araştırmacılar ladin ibrelerindeki molibden miktarını 0.03-0.20 ppm/g arasında, sarıçam ibrelerinde ise 0.01-0.17 ppm/g, duglas ibrelerinde 0.05-0.10 ppm/g arasında bulmuşlardır. Bu miktarların bir molibden eksikliği yaratmadığı belirtilmiştir (Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Huşlarla (*Betula lutea*) yapılan su kültürü denemelerinde besi suyunda molibden bulunmadığı örneklerde molibden eksikliği gözlenmiştir. Besi suyuna 0.01 ppm molibden eklendiğinde eksiklik belirtileri kaybolmuştur (Laflamme ve Lafond 1967'ye göre Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Molibden eksikliği halinde toprağa veya yaprağa (yaprağa % 0.01-0.1 ppm) sodyum molibdat gübre olarak verilmektedir.

5.8.6. Bor

Bor silikat minerallerinde daha çok (özellikle turmalin'de) kireç taşları ve dolomitlerde az miktarda bulunur. Buna karşılık denizel tortularda bor miktarları çok yüksektir. Toprakta bor, borik asitin tuzları olan boratlar halinde veya organik maddede bağlı olarak bulunmaktadır. Bor kil minerallerinde, demir ve alüminyum oksitlerin (oksihidroksitlerin) hidroksil iyonlarının yerlerine geçerek değiştirilebilir durumda da tutulabilmektedir. Killi topraklarda değiştirilebilir durumda tutulan borun pek az bir kısmı toprak suyuna verilebilmektedir. Bu olayın, özellikle kurak devrelerde borun kil tarafından fiks edilmesine bağlı olduğu ve bu nedenle de bitkilerde bor noksanlığına sebep olduğu tahmin edilmektedir (Mengel, K. 1968). Toprakta boratlar (tuz) halinde tutulan bor özellikle asit ortamda suda kolay çözünebilmekte ve hızla yıkanıp gitmektedir. Özellikle nemli bölgelerde bor hızla yıkandığı için podsollar bor bakımından fakirdir. Buna karşılık kurak bölge topraklarında suda çözünebilen bor miktarının 100 ppm'e ulaşabileceği bildirilmiştir (Scheffer-Schachtschabel 1970).

Toprakta borun tutulması düşük pH derecelerinde azalmakta, yüksek pH derecelerinde ise bor daha kuvvetle tutulmaktadır. Toprakların kireçlenmesi borun daha kuvvetle tutulmasına ve bor alımının güçleşmesine sebep olmaktadır.

Borat anyonunun etkisi fosfat anyonunu etkisine benzemektedir. Bor kalsiyum gibi ve onunla birlikte hücre çeperlerinin dayanıklılığını artırdığı için hücre yapısında, generatif organlarda ve polen (çiçektozu) torbacıklarında temel yapı elementlerinden biri sayılmaktadır. Bor bitkideki karbonhidrat dolaşımını da olumlu yönde etkilemektedir. Bor eksikliği özümleme ile oluşan karbonhidratların yapraklarda birikmesine ve bitki içinde dağılımının engellenmesine sebep olmaktadır. Böylece bitkinin beslenmesi ve meyvelerin tatlanması da engellenmektedir. Bor eksikliğinde kök gelişimi ve iletim dokularının teşekkülü ve gelişimi engellenmektedir. Bu olayın sonucu olarak bor eksikliği bitkideki su iletimini ve bitkinin su ekonomisini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Orta Avrupa'da sarıçam ibrelerindeki bor oranı 21.0-26.3 ppm, batı ladini ibrelerinde 28.3-40.8 ppm arasında bulunmuştur. Nemli bölgelerde toprakta bor eksikliği ve bitkinin yetersiz bor alımı sorunları üzerinde durulmaktadır. Kurak bölgelerde ise toprakta bor fazlalığı ve bitkilerin fazla bor alımından zehirlenmesi sorun yaratmaktadır. Bor fazlalığı bitkide solunumu artırmaktadır. Solunumun artımı ile karbonhidrat sarfiyatı da artmaktadır. Bu olay özümleme ile üretilen karbonhidratın önemli kısmının solunumla tüketilmesine ve bitkideki karbonhidrat birikiminin azalmasına sebep olmaktadır. Ankara çevresindeki ağaçlandırmalarda bor zehirlenmesi sonucunda hastalanan ve kuruyan karaçam ibrelerinde 83.2-379,9 ppm, sarıçam ibrelerinde ise 145.7-486.7 ppm bor bulunmuştur. Buna karşılık Ankara çevresindeki alkali topraklar üstünde sağlıklı karaçamların ibrelerinde 21.2-69.6 ppm arasında, sağlıklı sarıçam ibrelerinde ise 39.0-98.6 ppm arasında bor bulunmuştur. Çamkoru (Kızılcahamam)'daki asit reaksiyonlu topraklarda yetişen (sağlıklı) karaçamların ibrelerinde bor oranı 8.7-14.2 ppm, sarıçamların ibrelerinde ise 11.1-18.6 ppm arasında bulunmuştur (Dündar, M. 1973).

5.9. Bitkiler Tarafından Alınan Diğer Elementler

Bitkiler topraktan bitki besin maddelerinin yanında diğer bazı anyon ve katyonları da almaktadırlar. Bu anyon ve katyonların bitkiler için yararlı veya zehirleyici etkileri sözkonusudur. Bunlar arasında silisyum, klor ve kobalt bitkiler için yararlı, iyot, fluor, alüminyum, nikel ve selen ise zararlı etkiler yapabilmektedirler.

5.9.1. Silisyum

Silisyum toprakta silikatları oluşturan ve bol miktarda bulunan bir elementtir. Ancak toprak suyunda pek az miktarda çözünebilir. Genellikle toprak içindeki canlıların (kökler dahil) solunumu ile artan karbondioksitin toprak suyunda oluşturduğu zayıf karbonik asidin silikatlara etkisi sözkonusu edilir. Karbonik asidin hidrojeni silikat katyonu yerine geçerek silis asidinin teşekkülüne sebep olur. Toprağın reaksiyonu alkalen ise (kireçli topraklar) silis asidinin bir kısmı hidrolize uğrayarak çözünür. Toprak reaksiyonu nötr veya asit ise silis asidinin çözünmesi genellikle sözkonusu olmamaktadır (Toprağın oksitleri ve toprağın kimyasal özellikleri konularına bakınız).

Silisyumun bitkiler için besin maddesi olarak bir değeri yoktur. Ancak bitki tarafından fosfat ve borat anyonları gibi bağlandığı bildirilmektedir. Silisyum bitkide amorf silis (opal) halinde birikmektedir. Williams ve Vlamis (1957)e göre silisyum bitkide manganezin dağılımını olumlu yönde etkilemektedir (Mengel, K. 1968).

Silisyumun ışık alan ladin ibrelerinde gölgedekilerden daha fazla biriktiği bildirilmiştir. Bu olay transpirasyon şiddeti ile ilgilidir. Ladin ibrelerindeki silis miktarı sarıçam ibrelerinkinden daha fazla bulunmuştur. Gökmar ibrelerinde de silis oranı ladin ibrelerinkinden daha az bulunmuştur (Mustafa Asaf 1934). Ladin ibrelerindeki silis oranının yükselti arttıkça (0-1200 m arasında) % 0.6'dan % 0.1'e düştüğü tesbit edilmiştir (Nebe 1967 ve Höhne 1968'e göre Fiedler, H.J. ve ark. 1973). Bolu Aladağ'da gökmar ibrelerindeki silis oranı 900-1500 m arasında % 0.15 - 0.17 arasında fakat güney rüzgârlarının terlemeyi arttırıcı etkisi altındaki sırtlarda 1600 m'de % 0.36 oranında bulunmuştur (Kantarıcı, M.D.1980-3).

5.9.2. Klor

Klor kaynakları apatit $Ca_5(F, Cl) PO_4)_3$ ve sodalit $Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$ mineralleri ile sekonder olarak oluşmuş NaCl, KCl ve $MgCl_2$ mineralleridir. Denizel tortullar ve tuz yataklarından gelen suların etkisi altındaki alanlar, kurak mıntikalardaki topraklarda klor bileşikleri (tuzlar) önemli sorunlar yaratmaktadır (Tuzlanma konusuna bakınız).

Toprak kolloidleri kloru tutamadıkları için nemli bölgelerde toprakta klor birikmemektedir. Kurak bölgelerde ise klor tuzlar halinde toprağın derinliklerinde birikir. Özellikle kurak bölgelerdeki killi topraklarda suyun sıvı-buhar hareket sınırında klorürler çökelmektedir (Toprak suyunun hareketine ve tuzlanma konularına bakınız.)

Bitkiler kloru topraktan aldıkları gibi yaprakları ile havadan da alabilmektedirler. Klor bitki içinde hareketli bir anyondur. Klor eksikliğinin belirgin bitki besin maddesi belirtileri göstermesi bu elementin vazgeçilmez nitelikte olduğunu göstermektedir (Broyer ve ark. 1954, Ulrich ve Ohki 1956'ya göre K.Mengel 1968). Bitkilerin hücre özsuğunu tutma kapasitesi klor miktarına bağlı olarak artmakta ve bitkilerin kuraklığa dayanıklılığı artmaktadır. Nieman (1956)'ya göre klor bitki köklerinin oksijen alımını artırmaktadır (Mengel, K. 1968). Bu nedenle yeterli klor alınması halinde kök büyümesi hızlanmaktadır. Ancak klora karşı hassas bazı bitkiler de vardır. Ayrıca klorun fotosentezde ve karbonhidrat metabolizmasında da olumlu etkiler yaptığı bildirilmektedir. Klorun bitkideki etkileri üzerindeki bilgilerimiz yeterli değildir. Toprakta klorun artması (kurak mıntikalarda klorürler) ve bitkilerin fazla klor almaları sonucunda zararlı etkiler ortaya çıkmaktadır. Özellikle sodyum klorür ile tuzlanmanın % 5-34 arasına olduğu topraklarda kambium faaliyeti ve köklerdeki dokuların gelişmesi üzerine zararlı etkiler söz konusu olmaktadır (Pollyakoff-Mayber, A. ve J. Gale 1975).

5.9.3. Kobalt

Kobaltın topraktaki bileşikleri hakkındaki bilgiler oldukça azdır. Silikatların bileşiminde ve demir-mangan oksitlerle birlikte durgunsu topraklarındaki konkresyonlarda kobalt bulunmaktadır. Konkresyonların bileşiminde kobaltın yüksek miktarda bulunuşu özellikle demir ve mangan oksitlerin ağır metalleri bağlama özellikleri ile açıklanabilir. Toprak kolloidleri konusunda oksitlere bakınız). Kobalt ile demirin anakayadaki bulunuşu arasında ilişki bulunmuştur. Almanya'da Karaormanlarda demirce fakir granitlerde kobalt 0.02-0.2 ppm arasında bulunduğ halde, demirce zengin paragnayslarda kobalt 2,5-10.0 ppm arasında bulunmuştur (Scheffer-Schachtschabel 1970). Toprakta bitkilerin alabileceği kobalt toprak kolloidlerinde değiştirilebilir kation (Co^{++}) halinde tutulmakta veya organomineral bileşikler (çelat) yapmaktadır. Ancak toprakta kobaltın miktarı 0.2-31 ppm arasında bulunmuştur (Hill ve ark. 1953'e göre K.Mengel 1968). Bitkilerde ise 0.01-0.4 ppm/g kuru madde arasında kobalt bulunduğ bildirilmektedir (Mengel, K. 1968).

Kobalt bazı bitkilerin (baklagiller, kızılağaçlar gibi). köklerindeki yumrulu bakterilerin azotu bağlamalarında vazgeçilmez bir minör element olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bitki beslenmesinde ve büyümesinde önemlidir. Ayrıca kobalt B₁₂ vitaminin yapı taşı niteliğindedir (Mengel, K. 1968). Kobalt eksikliği bitkide (otlarda) ve dolayısı ile koyun-sığır gibi hayvanların beslenmesinde de etkili olmaktadır. Kobaltın fazlalığı ise kloroza sebep olmaktadır.

5.9.4. İyot

İyotun toprakta bulunuşu deniz etkisine ve denizden uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Toprakta kil ve organik madde miktarı ile iyotun tutulması arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmuştur. Toprağın iyot miktarının 0.6-8.0 ppm arasında bulunduğ bildirilmektedir (Scheffer-Schachtschabel 1970). Topraktaki iyot miktarının azlığı (< 0.1 ppm) bitki büyümesine olumlu etki yapmaktadır. Toprağın iyot miktarının 6 ppm ve daha yüksek oluşu bitki büyümesini engellemektedir (Mengel, K. 1968).

İyot, bitkide solunumu arttırmakta ve ayrışmayı hızlandıran mayaların (Invertaz ve peroksidaz) etkinliğini yükseltmektedir.

5.9.5 Fluor

Fluor toprakta apatit, fluorit ve turmalin minerallerinde bulunmaktadır. Özellikle mikaşistlerde bu minerallere rastlanır. Ayrıca fosfat gübreleri ile de toprağa fluor verilmektedir. Toprağın fluor miktarı anakayaya ve fosfatlı gübrelerin kullanılmasına bağlıdır. İçme suyunda fluor miktarının 0.3-0.5 ppm arasında bulunduğ bildirilmiştir (Scheffer-Schachtschabel 1970). Fluor genellikle bitkilerde 2-20 ppm civarında bulunduğ halde bazı bitkilerde örnek olarak çay yapraklarında daha yüksek (400 ppm'e kadar) bulunmuştur (Mitchell ve Edman 1945'e göre K.Mengel 1968)⁷¹⁾.

⁷¹⁾ Araştırmalar göre 5 gr karaçayın 160 cm³ suda 5 dakika demlenmesi ile elde edilen çaydan günde 6 – 9 bardak içilmesi ile insanın günlük fluor ihtiyacı sağlanmakta ve diş çürümelere büyük ölçüde önlenmektedir. Demleme süresinin 10 dakikaya çıkması halinde deme geçen

Bitkilerin topraktan aldıkları flor miktarı zararlı düzeye nadiren ulaşmaktadır. Ancak sanayi bölgelerinde havada gaz halinde bulunan hidrojen florür bitkiler için zehir etkisi yapmaktadır (çeşitli kaynaklara göre Mengel, K. 1968). Özellikle toprak (tuğla, kiremit) ve seramik sanayi kuruluşlarının baca gazlarında HF miktarı yüksektir. Kömür ile çalıştırılan termik santrallerin baca gazlarında da HF vardır.

5.9.6. Alüminyum

Alüminyum silisyumla birlikte anakayayı oluşturan minerallerin en önemli elementlerinden biridir. Kil minerallerinin de temel elementlerinden biri alüminyumdur. Toprakta alkalen, nötr ve hafif asit reaksiyonlarda alüminyum pek çözünmez. Ancak toprak reaksiyonunun 4.5 pH (nKCI çözeltisinde) değerinden aşağı düşmesi halinde kil minerallerinin ayrışması ve alüminyumun toprak suyunda çözünmesi artmaktadır (Şekil 52 ve tablo 67).

Şiddetli asit reaksiyonlu topraklarda değiştirilebilir. Alüminyum miktarının artması bitkiler için zehir etkisi yapmaktadır. Toprak suyunda asitliğin artması ile diğer kationların yıkanması ve alüminyum çözünmesi sonucunda kil minerali Al^{+3} kationlarını değiştirilebilir durumda tutmaktadır. Bu şartlarda bitki tarafından alınan alüminyumun önemli kısmını köklerde birikmektedir. Fazla miktarda alüminyumun varlığı köklerin fosfatları almasını da engellemektedir (Wright ve Donahue 1953'e göre Mengel, K.1968). Fosfat alımının engellenmesi asit ortamda alüminyum fosfatların çökmesine bağlanmaktadır. Alüminyum fazlalığı sonucunda zarar görmüş bitkilerin yapraklarında fosfor miktarlarının da düşük olduğu bildirilmektedir (Mengel, K. 1968).

Asit humus yapan bazı ağaç ve çalı türlerinin (Orman Gülü, Ayı üzümü, Kara Yemiş gibi) altındaki kalsiyumca fakir anakayalardan oluşan topraklar ile sanayi bölgelerin SO_2 ile kirlenmiş havasının etkisi altındaki araziye düşen asit yağışlarla toprağın reaksiyonu şiddetle asitleşmektedir. Toprakta aşırı asitleşme kil mineralleri ile diğer alüminosilikatların ayrışmasına ve toprak suyunda Al^{+3} kationunun artmasına sebep olmaktadır. Aşırı asitliği tamponlayabilecek olan kalsiyum, magnezyum ise daha önce yıkanıp ortamdaki uzaklaştırılmışlardır. Böyle durumlarda toprağın kireçlenmesi ile aşırı asitliğin tamponlanması ve alüminyumun zararlarının önlenmesi mümkündür(Bkz. Kantarcı, M. D. 1992, 1995, 1997-1, 2, 3 ve 1998)

Alüminyum miktarı sarıçam ibrelerinde 326-512 ppm, batı ladini ibrelerinde 130-183 ppm arasında, göknar ibrelerinde 0-391 ppm arasında duglas ibrelerinde 175-750 ppm arasında bulunmuştur (Fiedler, H.J.ve ark. 1973)⁶³⁾. Sedir ibrelerinde alüminyum miktarının Toros Dağlarının deniz etkisi altındaki yamaçlarında 1200 m'den 2000 m'ye doğru 273 ppm'den 107 ppm'e azaldığı, deniz etkisini alamayan yamaçlarda ise 131 ppm'den 147 ppm'e arttığı tesbit edilmiştir (Tablo 90). Çay bitkisinin yapraklarında ise alüminyum miktarı 2000 - 5000 ppm arasında bulunmuştur (Mengel, K. 1968)⁷²⁾.

flor miktarı da artmaktadır. (Kacar, B. 1984).

⁷²⁾ Türkiye çaylarının yapraklarında alüminyum miktarları ortalama 980 – 1940 ppm arasında bulunmuştur (Kacar, B. 1984).

Tablo 90. Akdeniz Bölgesi'nde deniz etsine açık ve kapalı olan yamaçlarda sedir ibrelerindeki alüminyum miktarlarının yükseltiye göre değişimi (ppm/g kuru madde)

	Yükselti İklim Kuşakları				
	1200 m	1400m	1600 m	1800 m	2000m
Kumluca Dibeğ ormanı (Deniz etkisi altında) G bakı	273,1 (200,4-348,7)	200,0 (103,5-349,3)	147,3 (116,2-188,7)	148,9 (81,9-212,0)	106,5 (89,1-127,3)
Elmalı-Çamkuyusu ormanı K bakı	130,7 (71,7-177,2)	136,4 (76,4-296,6)	131,4 (103,7-152,3)	133,5 (66,9-184,3)	147,0 (120,7-197,4)
(Karasal iklim etkisi altında) G bakı	-	-	-	84,3 (39,6-149,9)	140,2 (104,1-195,8)

(Kaynak: Kantarcı, M.D. - K.E. Rehfuess yayınlanmamış araştırma).

5.9.7. Nikel

Genel olarak topraklarda nikel miktarı pek düşüktür. Ancak serpantinlerden oluşmuş topraklarda kobalt gibi nikel de yüksek miktarda bulunmaktadır. Toprak suyuna geçen nikel de yüksek miktarda bulunmaktadır. Toprak suyuna geçen nikel sızıntı suyu ile topraktan uzaklaştırılmaktadır. Kurak mıntikalarda ise topraktaki nikel yıkanamayıp birikmektedir. Bu nedenle özellikle kurak mıntikalardaki serpantin toprakları yüksek nikel miktarları bitkilerin zehirlenmesine sebep olmaktadır. Serpantin topraklarının potasyum ve kalsiyumla gübrenmesi ile nikelin zehir etkisinin önlenebileceği, buna karşılık fosfatlı gübrelerin nikelin zehir etkisinin arttırdığı bildirilmektedir (Mengel, K. 1968).

5.9.8. Selen

Genellikle paleozoik şistlerinde ve bunlardan oluşan topraklar selen miktarı yüksek bulunmaktadır. Selenin zararlı etkisi kurak mıntikalarda görülmektedir. Bitkiler suda çözünebilen seleni almaktadırlar. Nemli mıntikalarda selenin topraktan yıkanıp gittiği, kurak mıntikalarda ise yıkanmadığı için toprakta biriktiği ve zarar verebilecek düzeye ulaştığı anlaşılmaktadır.

Kurak mıntikalarda yetişen bitkilerden astragalus türleri, ayçiçeği, mısır, buğday ve arpa ile çavdarın selence zengin yetişme ortamlarında etkilenmedikleri bildirilmektedir (Mengel, K. 1968). Buna karşılık fazla miktarda selen içeren bitkileri yiyen hayvanlarda (ve insanlarda) kıl, tüy ve dişlerde zararlar ve (hastalıklar) görülmektedir. Selenin fazla olduğu toprakların sülfatlarla gübrenmesi tavsiye edilmiştir (Mengel, K. 1968).

