

Ahmet SAĞIROĞLU*, Zeynep ÖZDEMİR**

* Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

** Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin

Biyojeokimyasal Prospeksiyon

Giriş

Biyojeokimya; birkaç yüzyıl önce bilinen kökenine rağmen terim büyük olasılıkla ilk defa Vernadsky (1926) tarafından dünyadaki bütün jeokimyasal tepkimelerin herhangi bir yolla canlı yaşam tarafında etkilendiğini belirtmek üzere kullanılmıştır (Schiesinger, 1992). Ancak; cevher minerallerinin izlerini bulmak için sistematik olarak örneklenmiş ağaç çalımların (shrubs) kimyasal analizlerinin yapılması ilk biyojeokimyasal çalışmalar olarak kabul edilir. 1930'ların başlarında jeokimyada öncü olan Goldschmidt minör elementlerin çoğunun zenginleşmiş olduğu humusları incelemiş ve böylece humusun türediği bitkilerin de aynı şekilde iz elementler açısından zengin olabileceğini düşünmüştür. Bunun sonucunda da bitki materyali analizinin önemli bir arama yöntemi olacağını ileri sürerek ilk önerisini yapmıştır. Daha sonraki yıllarda Rus jeokimyacı Vernadsky'in terminolojisini izleyerek BİYOJEOKİMYASAL YÖNTEM olarak bilinmeye başlanmıştır (Rose vd, 1979).

Ancak, 1965 yılından itibaren biyojeokimyasal prospeksiyon tam anlamıyla uygulanmaya başlanmıştır. Bir milyon bitki örneğinden fazlası o günden bu güne kadar kullanılmıştır. Karşılaştırmak için 105 milyon toprak ve kayaç örneği 1949-1973 yılları arasındaki (25 yıllık zamanda) kullanılmıştır. Bu çalışmalarla da 90 mineral yatağı keşfedilmiştir (Erdman ve Kokkola, 1984).

Daha sonraları, Kovalevsky "bariyer etkisi" kavramını ortaya atmış ve her mineralizasyona bütün bitkilerin rehber olmayacağını ileri sürmüştür. Gerçekten de yapılan bir çok araştırmada bitki türlerinin sadece % 5 inin dokularındaki element konsantrasyonu ile topraktaki element konsantrasyonu arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu ortaya çıkartılmıştır. Ancak biyojeokimyasal prospeksiyonun öncüleri bitkilerin tamamen, topraktaki elementleri yansıtabilmesinin mümkün olmayacağını belirterek "böyle bir ilişki var olabilir ancak bu bir kural değildir" demişlerdir. Bununla birlikte Kovalevski'nin belirttiği "bariyer etkisi" kavramının tartışılması biyojeokimyasal yolla maden arama yöntemlerinin gelişmesinde büyük rol oynamıştır (Erdman ve Kokkola, 1984).

Jenetik olarak biyojenik anomaliler tüm canlıları içeren bitki, hayvan ve mikroorganizmaların jeokimyasal özellikleri ile ilgili bir anomali grubudur. Ancak biyojenik anomaliler de-

nince çoğu zaman yaygın uygulama alanı göz önüne geldiğinden, bitki (botanik) anomaliler anlaşılmaktadır. Çünkü hayvan ve mikroorganizmalarla ilgili jeokimyasal anomalilerin uygulama alanları çok sınırlıdır (Köksoy, 1991).

Görülebilir bitkilerin gözlemi; gömülü cevhere bir rehber olarak kullanıldığında "jeobotanik arama" olarak bilinir. Daha açık olarak ifade edersek; bitki türlerinin cevherleşmelerle ilgili olarak gösterdikleri dağılım ve morfolojik değişikliklerini gözlem yoluyla incelenmesiyle yapılan cevher aramasına "Jeobotanik prospeksiyon" ve bunun dayandığı anomaliye "jeobotanik anomali" denir. Bitki organlarından sistematik şekilde toplanan örneklerin kimyasal analizlerinin yapılmasıyla cevher aranmasına "Biyojeokimyasal Prospeksiyon" ve bunun dayandığı anomaliye ise "Biyojeokimyasal Anomali" denir. Biyojeokimyasal ve Jeobotanik Prospeksiyon yöntemlerinin bir ikisine birden de "BOTANİK PROSPEKSİYON YÖNTEMLERİ", ilgili anomalilerin ikisine birden ise "Bitki veya Botanik Anomaliler" denilmektedir (Köksoy, 1991, Rose vd, 1979).

Biyojeokimyasal prospeksiyonun başarılı bir şekilde uygulanması da, toprakta cevherleşmeye ait element derişimi ile bitkideki element derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmasıyla bağlıdır.

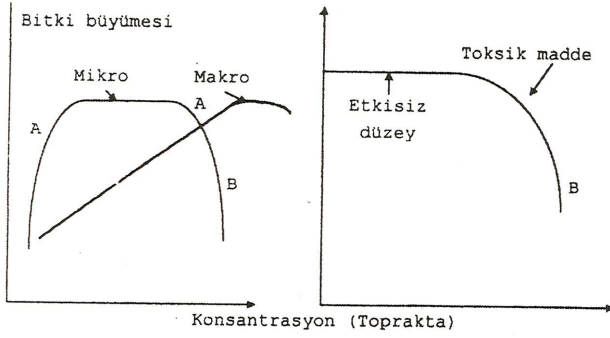
Bitkiler tarafından elementlerin alınması

Bitki anomalilerinin gelişmesindeki faktörler Rose vd. (1979)'a göre şöyle özetlenebilir:

1. Bitkilerin besin ihtiyacı
2. Bitkilerin alabilecekleri kadar toprakta elementlerin hazzir bulunması
3. Bitki köklerindeki reaksiyonlar ile bitkilerde hareket ve depolanma

Bitki beslenmesi

Doğada besin maddeleri döngüsü; Şekil 1'de görüldüğü gibi, Hava-Su-Fauna-İnsan-Flora-Toprak gibi karşılıklı ilişkiler içindedirler (Özbek vd, 1993). Her bitki türünün kendine özgün bir beslenme şekli vardır ve bitkilerde bulunan elementlerin miktarı ve çeşitleri toprakta bulunan elementlerin miktarı ve çeşitleri ile ilişkilidir (Rose vd, 1979). Bununla birlikte bilinen 92 elementten 60 tanesi bitkilerin değişik organlarında bulunmaktadır. Her ne kadar bitkiler kökleri ile aldıkları elementler arasında seçim yapma özelliğine sahiplerse de, bünyeye-



Şekil 2. Topraktaki besin ve zararlı madde konsantrasyonunun bitki gelişimi ve verimine etkileri (Özbek vd, 1993).

Potasyum bitkilerin sap ve yapraklarında diğer kısımlarına oranla daha fazla bulunur. K⁺ yokluğunda büyüyen bitkilerin dış görünüşünde çok belirgin ve karakteristik belirtiler; yaşlı yapraklarda önce sarı benekler meydana gelir, daha sonrada bu benekler büyüyüp leke halini alır. Çoğu hallerde yaprak uçları aşağı doğru kıvrılır ve yaprak kenarları üst yüzeyde kutlanarak yaprak bir rulo şeklini alır. Genel olarak K⁺ eksikliğinde büyüyen bitkilerin gövdelerindeki internodyumlar çok kısalmış olup bitkilerin boyu bodur kalmaktadır (Bozcuk, 1986).

Kalsiyum (Ca): Toprakta hem primer hem de sekonder olarak bulunur. Oligoklaz, labradorit, anortit, ojit, hornblend, kalsit, dolomit, jips ve özellikle kireçtaşında bol miktarda kalsiyum bulunmaktadır. Kalsiyum ihtiva eden çeşitli minerallerin hidrolizleri ve karbondioksitle reaksiyonu sonucunda suda çözünerek kalsiyum açığa çıkar. Kalsiyum kurak bölge topraklarında fazla miktarda bulunurken, nemli bölgelerde geniş ölçüde kimyasal yıkanmaya uğrar. Kalsiyum, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini kuvvetli olarak etkiler. Bitkilerin sağlamlığıyla dayanıklılığı üzerinde etkilidir. Kalsiyum, yaprak ve sapların dayanıklılığını artırır. Toprakta fazla miktarda bulunduğu takdirde, demir, fosfor ve diğer bazı elementleri, bitkilerin faydalanamayacağı hale getirir (Atalay, 1982).

Ca²⁺ yokluğunda, bitkilerin boyları genellikle bodur kalır, genç yapraklarda kıvrılma ve yaprak yaprak uçlarında kanca oluşumu çok tipiktir. Ca²⁺ eksikliğinde meydana gelen bu semptomlar genel olarak önce genç yapraklarda ve büyüme noktalarında belirir. Çünkü bitki bünyesinde Ca²⁺ pek hareketli değildir (Bozcuk, 1986).

Magnezyum (Mg): Klorofil molekülünde bulunan tek elementtir. Bunun için alınan Mg²⁺ genellikle bitkinin klorofil içeren yeşil organlarında bulunur. Mg²⁺'nin bitki hayatındaki fotosentez ve karbonhidrat metabolizmasında önemli rolü vardır.

Toprakta bulunan magnezyum, biyotit, ojit, hornblend, olivin, klorit, talk, peridotit, serpantin ve dolomit tarafından verilir. Magnezyum, bitkiler tarafından organik ve inorganik bileşikler ile değişebilir katyonlardan alınır.

Fazla miktarda magnezyum ihtiva eden topraklar genellikle verimsizdir. Bu verimsizlik, bazen magnezyumun bitkilere zehirleyici etki yapmasından kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Aşırı miktarda magnezyumlu topraklar, diğer maddeler tarafından da fakirdir ve ayrıca nikel, kobalt bileşik-

Tablo 2. Çeşitli ortamlardaki element miktarları.

Element	Litosfer, ppm	Magmatik kayalar, ppm	Sedimenter kayalar, ppm	Toprak, ppm	Bitki, ppm	Tatlı su, ppb	Referans
Cu	110	30-140	5-150	21	210	2-30	T
	-	12-72	5-42	15	130	3-1000	R
Zn	51	30-130	14-300	51	910	1-200	T
	-	31-94	21-100	36	570	20-5000	R
Mn	910	600-2200	385-1300	850	7500	0.3-300	T
	-	390-1500	850-1100	320	6700	15-50	R
Fe	-	94300-14200	3800-47000	21000	1600	100-300	R
As	5	1.5-2.8	4	5	3.1	1-30	T
	-	1-5	1-12	7-5	⊕ <0.25	2-50	R
Sb	-	0.1-0.2	0.3-1	2	1	2	R
Ba	510	15-830	120-640	510	500	35	T
	-	0.4-840	92-550	300	140-2800	20-1000	R
Bc	6	0.2-5.5	1-6	6	2	0.1	T
	-	3	3	0.5-4	0.7	5.5	R
B	6	10-40	3-310	10	40	1-10000	T
	-	3-10	20-100	29	230	10	R
Cd	0.5	0.13-0.19	0.3	0.5	0.01	-	T
	-	0.1-0.2	0.03-0.3	0.1-0.5	4.3	0.032-10	R
Cr	210	25-2000	5-400	210	250	0.5-40	T
	-	4-2980	11-90	43	6.3	1-50	R
Co	11	18-200	0.2-50	11	15	0.3-10	T
	-	1-110	0.1-0.33	10	5	0.1	R
Au	0.005	0.003-0.1	0.03	-	1.1	0.001	T
	-	0.0032	0.004	0.002	<0.0007	0.002	R
I	-	0.11-0.17	0.5-4	-	45.6	7	R
Pb	16	8-48	5-40	11	11	0.3-3	T
	-	1-18	5-25	17	30	3-50	R
Li	-	40	5-66	22	6.2	3	R
Hg	0.07	0.09	0.03-0.4	0.03-0.3	0.001	0.01-0.1	T
	-	0.004-0.01	0.02-0.4	0.056	0.01	0.07-2	R
Mo	3.1	0.9-1.9	0.1-0.5	2	21	0.05-3	T
	-	0.3-1.5	0.4-2.6	2.5	5	1.5	R
Ni	61	8-1200	3-100	41	50	0.02-10	T
	-	4.5-2000	2-68	17	18	1.5	R
Nb	-	15-20	20	-	-	-	T
	-	1-20	20	15	0.3	1	R
V	150	40-200	2-300	110	61	-	T
	-	40-250	20-130	57	5	2	R
P	-	-	-	-	-	-	T
	-	220-1000	170-700	300	16000	20	R
K	-	34-42000	2700-26600	11000	120000	2300	R
Ag	0.11	0.15-0.3	0.05-0.4	0.1	1.1	0.01-0.7	T
	-	0.06-0.1	0.1-0.25	-	0.1-1	0.3-30	R
Sr	410	27-800	25-500	310	310	-	T
	-	5.8-465	20-610	67	140-1800	400	R
S	-	-	-	-	⊕ 300	3700	R
Th	8	11.5	0.5-10	1-6	0.6	0.05-1	T
	-	0.004-20	1.7-12	13	20	0.1	R
Sn	41	6-45	40	11	5	-	T
	-	0.5-3	6	10	15	0.09	R
W	-	1-10	1-2	-	-	-	T
	-	0.1-1.5	0.5-1.8	1	0.4	0.03	R
U	0.5	0.03-3.5	1.3	3.1	1.1	-	T
	-	0.03-3.9	1.7-3.7	1	0.6	0.5	R
Bi	-	0.1-2	0.3-1	-	-	-	T
	-	0.3-1.2	0.3-1	0.8	0.7	0.005	R
In	-	0.013-0.12	0.3-0.5	0.5	-	-	T
Zr	-	45-175	19-220	270	<20	-	R
Ni	61	8-1200	2-100	41	50	0.02-10	T
Ge	-	1.5-3	3-7	-	-	-	T
Si	-	1.5-2.4	0.7-6.4	-	-	-	T
Tl	6000	2300-9000	400-4400	4600	1100	0.2-30	T
F	-	20-810	250-680	300	⊕ 7.7	100-2400	R
I	-	0.11-0.17	0.5-4	-	⊕ 4.6	7	R
K	-	34-42000	2700-26600	11000	120000	2300	R
Re	-	0.0006	0.0005	0.005	0.005	5-21	R
Rb	-	0.14-276	40-143	35	73	1	R
Se	-	0.13-0.14	0.05-0.88	0.31	⊕ 0.027	0.4-10	R
S	-	5.8-465	20-610	67	140-1800	400	R
Sr	-	300	240-2400	100-2000	500	3700	R
Ta	-	0.018-3.5	3.5	-	-	-	R
Te	-0.0018	-	-	0.001-0.01	-	-	R

T= Toprak ve Köksöy (1976); R= Rose vd (1979)

⊕: Kuru ağırlık üzerinden, diğerleri kul ağırlık üzerinden verilmiştir.

Tatlı su (ppb), diğerleri (ppm) üzerinden verilmiştir.

leri halinde zehirli maddelerde bulundurulabilirler. Bitkilerde yeşil rengin kaybolması veya sararma magnezyum eksikliğine genellikle işaret eder (Atalay, 1986). Aynı N ve P eksikliğinde olduğu gibi Mg²⁺ eksikliğinde de sararma önce yaşlı yapraklardan başlar sonra genç yapraklara geçer. Bu da bize Mg²⁺'nin de bitki bünyesinde hareketli olduğunu gösterir. Hareketli yeşil yapraklardan genç yapraklara doğrudur. Yaprak sararması (kloroz hastalığı) ve çok ekstrem hallerde de nekrotik lekeler (çürüyüp ölmüş doku) meydana gelir (Bozcuk, 1986).

Azot (N): Topraktaki azotun kaynağı organik maddelerdir; mikroorganizmaların organik maddeyi ayrıştırmaları ile bitki-

ler tarafından alınabilir duruma getirilir. Bunlar esas itibariyle NO_3^- ve NH_4^+ iyonları halinde bitkiler tarafından alınır ve bitkilerin hızlı büyümesini ve erken olgunlaşmasını sağlar. Ancak, bu olay, fosfor, potasyum ve diğer gerekli elementlerin de alınması ile ilişkilidir. Azot toprakta fazla miktarda olduğu takdirde, bitkilerin hızlı gelişmesini sağlamasına rağmen, bitkilerde gevşek ve sulu dokuların oluşmasını sağlar. Bu durum ise, bitkilerde çeşitli hastalıkların meydana gelmesine ve ürünün kalitesinin düşmesine yol açar (Atalay, 1982).

Azot noksanlığında, yapraklardaki klorofil miktarı azalacağından yaprakların rengi sararır ve kloroz hastalığı meydana gelir. Hastalık önce yaşlı yapraklarda daha sonra genç yapraklarda belirir. Klorozun genç yapraklarda daha geç gözlenmesinin sebebi, bitki bünyesine giren N'un doğrudan doğruya gidip genç yapraklara yerleşmesi ve orada kalmasıdır. Ayrıca yaşlı yapraklarda bulunan N'da zamanla daha genç yapraklara transfer edilir. Bitki de çok fazla N eksikliği varsa, en alttaki yaşlı yapraklar sararır, kurur ve dökülür. Ancak en üstteki genç yapraklar ise soluk yeşildir (Bozcuk, 1986).

Kükürt (S): Topraktaki ana kaynağı pirit ve jipsdir. Ayrıca, sülfidler, sülfatlar, sülfirik asit ve hatta serbest kükürt halinde de bulunur. Bazı bakteriler, kükürtlü organik maddeleri, sülfürleri ve sülfatları oksitleyebilir. Böylece çeşitli şekilde bulunan kükürt, bitkilerin faydalanması için elverişli sülfata dönüşür. Bundan başka, özellikle sanayi bölgelerinde atmosferde önemli miktarda kükürt bileşikleri bulunmaktadır; bunlar yağmur suları ile sülfirik asite dönüşerek, o bölgedeki bitkiler tarafından alınır.

Kükürt, bitki bünyesinde oldukça bol olarak bulunur. Klorofilin yapısında bulunmadığı halde S'ün klorofil sentezinde rolü olduğu sanılmaktadır. Çünkü S yokluğunda büyüyen bitkilerde de, N yokluğunda olduğu gibi, yaprakların rengi soluk yeşile dönmektedir. Kükürt eksikliğinin meydana getirdiği semptomlar aynen azotunkine benzer (yapraklarda kloroz hastalığı görülür). Ancak N'un tersine S eksikliği semptomları önce genç yapraklarda görülür. Ekstrem hallerde de bütün yapraklar yeşil rengini kaybeder ve sarı bir renk alır (Bozcuk, 1986).

Mikro elementler

Demir (Fe): Yer kabuğunun % 5'ini oluşturan demir (Atalay, 1982) bitkiler, hayvanlar ve insanlar için mutlak gerekli bir elementtir. Ancak bütün canlılar tarafından az miktarda ihtiyaç duyulur (Özbek vd, 1993).

Toprakta demir, gerek primer mineraller ve gerekse kil minerallerinde ve serbest ferri hidroksit ile ferri oksit halinde bulunmaktadır. Demir bitkiler tarafından iki değerli demir katyonu (ferro) Fe^{2+} halinde alınır (Atalay, 1982). Bununla beraber, bitkilerin faydalanacağı şekilde çözünebilir demir, toprak reaksiyonuna, oksidasyon ve redüksiyon durumuna göre değişir. Demir, yüksek derecede asit olan topraklarda nisbeten kolay olarak çözünür halde bulunmasına karşılık, nötre yakın ve bazik reaksiyon şartlarında pek yavaş çözünür.

Fe eksikliğinde meydana gelen kloroz hastalığına yakalanmış yapraklarda oldukça bol miktarda Fe^{3+} 'e rastlanır. Bu haldeki Fe bitki için kullanılır halde değildir, ancak Fe^{2+} (ferro) halde indirgenmiş taktirde fizyolojik olarak aktiftir.

Toprakta Fe eksikliğinde yapraklarda meydana gelen kloroz hastalığı, özellikle genç yapraklarda; çok ince ağsı damarlanma ve damarlar arasındaki bölgelerde yer yer sararma şeklinde kendisini belli eder. Çoğu zaman da Fe yokluğunda meydana gelen semptomlar giderilemez (Bozcuk, 1986).

Bakır (Cu): Bakır, bütün canlıların beslenmesi için mutlak gerekli bir elementtir. Cu fazlalığında bitkiler ve hayvanlarda (daha çok koyunlarda) Cu toksitesi ortaya çıkabilmektedir (Özbek vd, 1993).

Bazik intrüziflerde bol miktarda bulunan bakır, çözünür ve değişebilir durumda bitkilere faydalı olur ve Cu^{2+} kanyonları halinde bitkiler tarafından alınır. Toprakta fazla bakırın bulunması, bitkilere zehir etkisi yapar. Özellikle fazla organik madde ihtiva eden topraklarda ve peat (turba) alanlarında bakır noksanlığı yaygındır. Klorofil yapımında kullanılan bakır, noksan olduğu zaman bitkilerde klorozun oluşmasına ve büyümenin yavaşlamasına neden olur (Atala, 1982). Aynı zamanda genç yaprakların uçlarında ve kenarlarında çürüme (gangren) meydana gelerek, pörsümüş bir hal alır. Ekstrem hallerde yaprakları dökülür ve tüm bitki sanki susuz kalmış gibi bozunup buruşur (Bozcuk, 1986).

Çinko (Zn): Çinko; bitkiler, hayvanlar ve insanlar için mutlak gerekli bir mikro elementtir. Toprak içinde fazla miktarda bulunan çinko bitkilere ve mikro organizmalara toksik etki yapmaktadır. İnsanlarda, besin maddeleri ile çok miktarda çinko alınması durumunda kronik çinko zehirlenmesi olayına rastlanılmamıştır (Özbek vd, 1993).

Normal bitki metabolizması için çinkonun çok az miktarda bulunması gerekmektedir. Bitkiler tarafından Zn^{2+} katyonu halinde alınan çinko, orta derecede asit reaksiyonlu topraklarda çözünür. Organik madde bakımından fakir topraklarda çinko eksikliği yaygındır (Atalay, 1982). Diğer bir deyimle çinko bitkiler tarafından genellikle Zn^{2+} ve olasılıkla ZnOH^+ ve çözülmüş organik çinko kompleksleri şeklinde alınmaktadır. Bitkilerin Zn ile beslenmesi üzerine toprak çözeltisinde Zn konsantrasyonunun etkisi esastır (Özbek vd, 1993).

Zn yokluğunda yaşlı yaprakların uç ve kenarlarında kloroz hastalığı belirmektedir. Daha sonra yapraklarda yer yer beyaz nekrotik lekeler meydana geldiği gibi, küçük, çarpık şekilli kıvrılmış haldedir. Bunun için Zn eksikliğinde meydana gelen bu karakteristik hastalığa küçük yaprak hastalığı (rozet oluşumu) adı verilir (Bozcuk, 1986).

Magmatitlerde, metamorfiteerde ve maden yataklarında çinko sülfür (ZnS , sfalerit) şeklinde ve diğer bazı ağır metal-lerle birlikte karışık sülfürler halinde bulunur.

Mangan (Mn): Mangan bütün canlılar için mutlak gerekli bir elementtir. Topraklarda mangan oksitler, silikatlar ve karbonatlar (MnCO_3) şeklinde bulunur. Bunların dışında demiroksitler tarafından adsorbe edilmiş, organik kompleksler olarak bağlanmış, değişebilir ve çözülmüş şekilde bulunabilir (Özbek vd, 1993).

Mn toprakta çözünebilir halde bulunduğu gibi çeşitli minerallerin bileşiminde de yer almaktadır. Bitkiler tarafından Mn^{2+} iyonu şeklinde alınır ve asit reaksiyonlu topraklarda manganin çözümlülüğü artar ve bitkilere zehir etkisi yapar. Kireçli alkale reaksiyon gösteren topraklarda ise çözümlülüğü azalır. Ayrıca topraktaki mangan, oksidasyon olaylarında katalizör etkisi yapar. Demir, kalsiyum, magnezyum absorbsi-

yonunda önemli rol oynar ve bitkilerin klorofil oluşturmaya yardım eder (Atalay, 1982).

Mn eksikliğinde yapraklarda kahverengli lekeler meydana gelir. Yapraklarda kloroplastlarda, klorofil ve nişasta miktarı çok azalır ve yapraklar sarımsı bir renk alır (Bozcuk, 1986).

Bitkiler manganı Mn^{2+} şeklinde alır. Böylece mangan alımı toprak reaksiyonu kadar redoks oluşumunda etkisi altındadır. pH yükseldikçe çayırda saptandığı gibi bitkilerin mangan alımı düşmektedir. Yani hafif asitten alkaline reaksiyona doğru topraklarda Mn eksikliği ortaya çıkmaktadır. Bitkilerin Mn içeriği 1000 ppm'in üzerine çıkarsa Mn toksisitesi sonucunda verimde düşüşün ortaya çıkacağı açıktır. Bu kuvvetli asit topraklarda, örneğin bazı tropik topraklarda, genellikle aynı zamanda Al toksisitesi ile bağlantılıdır. Bunun dışında Mn toksisitesi bitki çeşidine de bağlıdır. Örneğin arpada Mn içeriği kuru ağırlıkta 150-200 ppm'e ulaştığı zaman verimde düşüş olmaktadır. Buna karşılık pamukta bu miktar 2000-5000 ppm (kuru ağırlık üzerinden) değerine kadar çıkmaktadır. Mn toksisitesi pH yükselmesiyle düşebilir (Özbek vd, 1993).

Molibden (Mo): Bitkiler tarafından (MoO_4^{2-}) iyonu halinde alınır; düşük pH derecelerinde molibdenin çözünürlüğü demir tarafından azaltılır, böylece mobilden azalması meydana gelir (Atalay, 1982).

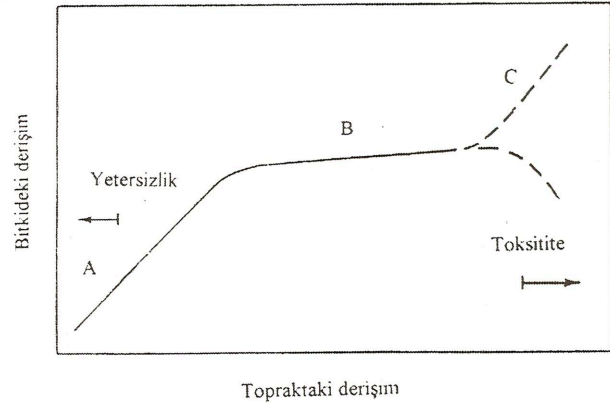
Molibdenin metabolik rolü tam olarak bilinmemekle birlikte azot metabolizmasında önemli bir görevi olduğu sanılmaktadır (Bozcuk, 1986). Azot tesbit eden bakterilerin faaliyetini artıran molibden, noksanlığı halinde baklagillerde etkili olup, bunlarda yumru oluşumunu zayıflatır ve narenciye yapraklarının da sararmasını sağlar (Atalay, 1982).

Bor (B): Bitkiler tarafından tetra borat (B_4O_7) halinde alınan bor, hem çok az bulunur ve hemde bitkiler tarafından çok az olarak kullanılır. Fazla bor, bitkilere zehir etkisi yapar; noksanlığı halinde büyümenin ve ürün veriminin düşmesine sebep olur (Atalay, 1982). Ayrıca B eksikliğinde en belirgin olarak gövde ve kök uçları kurumakta, çiçek tomurcukları gelişemekte, yapraklar gevrekleşmekte ve ekseriye rulo şeklinde kıvrılmaktadır (Bozcuk, 1986).

Klor (Cl): Bitkiler tarafından Cl^- iyonu halinde alınır; toprakta fazla bulunan bir elementtir. Bazı bitkiler için Cl^- faydalı bir element olmasına karşın bazı bitkilerde büyümeyi engellemektedir. Hatta bazı bitkiler için ne yararı ne de zararı vardır. Özellikle sebzelerin klora olan ihtiyacı fazladır. Bunun-

OLAYLAR		TOPRAK HORIZYONU
Biyolojik aktivite maksimum çözülü ve süspansiyon halindeki bileşenlerini kaybetmiş	ZENGİNLEŞMİŞ ZON	A0; Kısmen ayrılmış, organik döküntü
		A1; Koyu renkli, humus zonu, bazı elementlerce zengin
Çözülü malzemenin biriktiği, çökme zonu	ZENGİNLEŞMİŞ ZON	A2; Açık renkli, gevşek dokulu, bazı elementlerce zengin
		B; Kahverengli-turuncu renkte, tıksı bloklu, prizmatik yapıda, killi, bazı elementlerce zengin zon
Ayrılmış ana kayaç malzemesi		C; Parçalanmış ana kayaç, toprak
		R; Ana kayaç

Şekil 3. Biyojeokimyasal çevrim (Rose vd, 1979).



Şekil 4. Toprak ve bitkide element miktarı arasındaki ilişki (Rose vd, 1979).

la birlikte *Asparagus* (kuşkonmaz), *Salicornia* (deniz börülçesi), *Atriplex* gibi bitkiler sadece yüksek Cl^- konsantrasyonuna tolerans göstermekle kalmayıp normal gelişmeleri için bu elemente büyük gereksinim duyarlar.

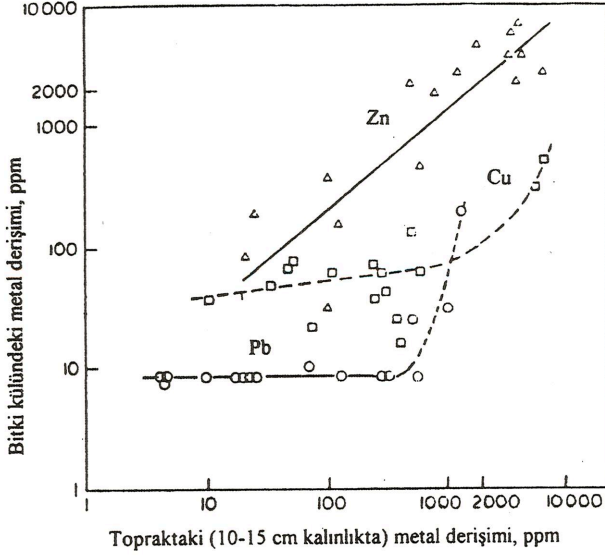
Topraktaki elementlerin bitkilere geçişi

Bitkiler toprakta ve daha derinliklerdeki yeraltı sularında çözülmüş elementlerin kökleri ile bünyelerine alarak beslenirler. Bu nedenle besin suyu, köklerin kapsadığı geniş bir sahadaki toprak ve yer altı suyunu temsil eder. Besin suyu içerisindeki inorganik tuzları oluşturan elementler fotosentez ve metabolizma sonucunda organik bileşiğe dönüşürler. Bunun için bitkilerin beslendikleri toprak ve yeraltuları ile besin suyunun bitki organlarının kimyasal yapılarında çoğu zaman tartışmasız bir bağıntı görülür. İşte bu bağıntı sayesinde botanik anomaliler oluşmakta ve anomalilerin saptanması ile de maden yatakları prospeksiyonu yapılabilmektedir.

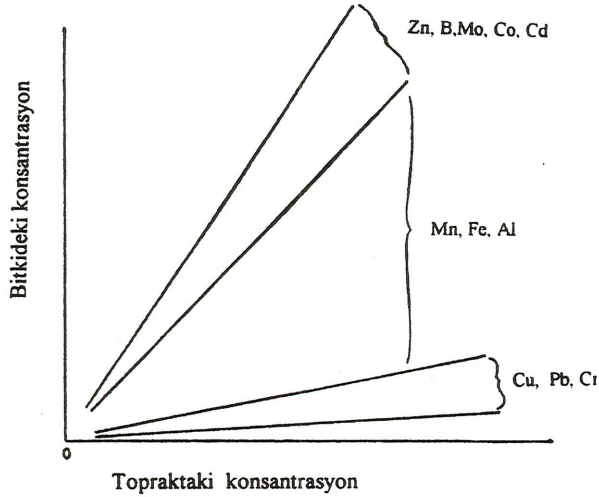
Bitkilerin kökleri ile üzerinde büyüdükleri toprak ve kayalardan çeşitli elementleri yapılarına alarak bitkinin yaprak, dal vb gibi çeşitli organlarının yapılarına giren bu elementler bitki organlarının dökülme kırılma veya ölümü ile toprağın üst kısmında birikirler. Böylece de bitkiler derinlerdeki elementleri toprak üstüne taşımış olurlar. Toprak üstünde biriken organik döküntüler bakteri faaliyetleri ile çürümeye başlarlar. Çürüme ürünlerinin bir kısmı da toprağın B zonunda, Fe, Mn ve Al ile birlikte çökelir veya adsorbe olur. Diğer bir kısmı ise bitki kökleri tarafından tekrar emilirler. Böylece bazı elementler için BİYOJEOKİMYASAL ÇEVİRİM kayaç-toprak-bitki-toprak-bitki şeklinde devam eder. Yüzyeide çürüten veya bozulan organik maddelerin suda çözünmeyen veya çok az çözünen kısmı toprağın A zonunda birikerek humusu oluşturur. Elementlerin Biyojeokimyasal çevrimi Şekil 3'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi derinliklerdeki bazı elementler bitkiler yolu ile toprağın üst kısmına taşınabilmekte ve zamanla toprağın bazı zonlarında zenginleşmektedir (Köksoy, 1991).

Bitki köklerindeki reaksiyonlar ile bitkilerde hareket ve depolanma

Bir elemente olan gereksinim başka elementlerle giderilemeyeceği için, bitki besin suyunu alırken ihtiyacı olan ele-

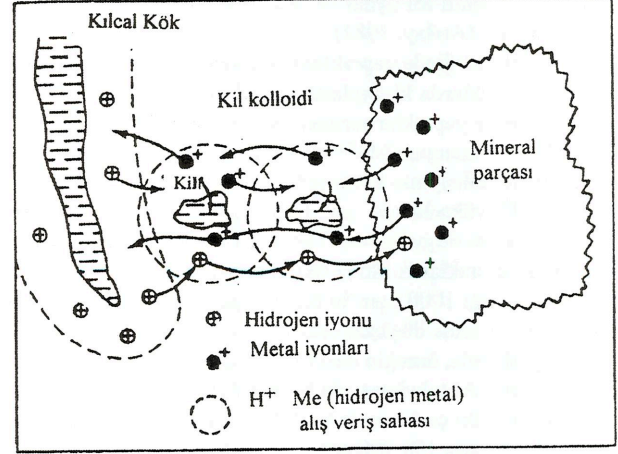


Şekil 5. Cu, Zn ve Pb'un toprak ve bitki küllü arasındaki ilişki; (Rose vd, 1979).



Şekil 6. Bazı elementlerin toprak ve bitki miktarları arasındaki ilişki (Alloway, 1995).

mentleri seçmeye yarayan ve niteliği henüz iyice anlaşılama-
yan bir mekanizmaya sahiptir. Böylece bazı elementler bünye-
ye kolayca kabul edildikleri halde diğer elementler aynı oran-
larda kabul edilmemektedir. Bu mekanizmada; difüzyon (ya-
yılma), iyon değiştirme gibi fizikokimyasal olayların yanı sıra
bitki metabolizmasının da büyük bir rolü vardır. Özellikle "be-
sin taşıyıcıları" adı verilen organik moleküller besin suyuna
girmiş gerekli iyonların bitki organlarına taşırken bitkiye
gerekli olmayan diğer iyonların bitki köklerinde birikmelerini
veya toprağa iade edilmelerini sağlamaktadır. Böylece normal
yaşam şartları altında bitkiler gereksinim duydukları element-
leri kabul edebilirler. Ancak zararlı elementlerin emilebilir



Şekil 7. Bitkilerin beslenme mekanizması ile ilgili olarak bitki kılcal köklerinde kation alış-veriş şeması (Rose vd, 1979).

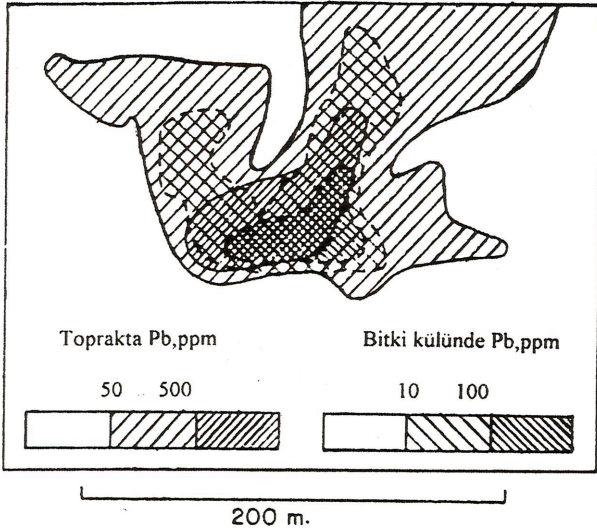
haldeki miktarları çok olursa bunlar bitkide hastalıklara ve hat-
ta bazen ölüme de neden olabilirler. Genellikle toksik element-
lerin büyük bir kısmı bitki köklerinde tuzlar oluşturarak biri-
kirler. Az bir kısmı da diğer organlara dağılır. Bunun için tok-
sik elementlerin bitki küllerindeki miktarları topraktaki miktar-
ından daha azdır (Köksoy, 1991).

Bir bitkideki inorganik bileşikler bazı elementlerin ser-
bestçe girmesine neden olurken bazı elementlerin girmesine de
az veya çok engel olurlar (Rose vd, 1979). Şekil 4'de bitkiler
ile topraktan alınan elementlerin genel ilişkisi verilmektedir.

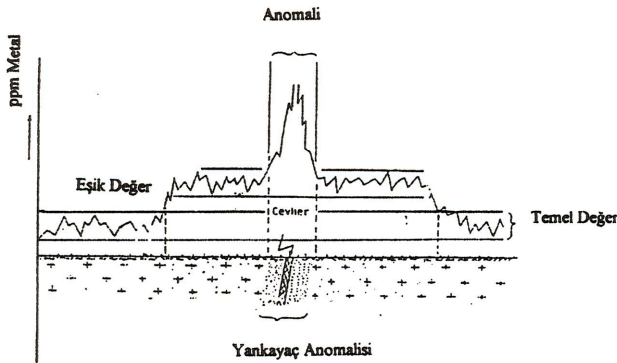
Şekilde de görüleceği gibi topraktaki bir miktar element bit-
kiye faydalı, ancak bundan fazlası zararlıdır. A bölümü boyun-
ca topraktaki element bitkiye faydalı, B bölümü boyunca bit-
kinin topraktan aldığı topraktaki bulunanla orantılı değildir,
azdır. C bölümü boyunca bitkinin element seçme mekanizma-
sı fazla miktarda elementin bünyeye girmesine engel olama-
maktadır. Böylece kök depolama mekanizması bozulabilir.
Toksik etki nedeniyle bitki sağlıklı olabilir, deforme olabilir
ve hatta ölebilir.

Bazı elementler için bu eğri Şekil 5'de verilmiştir. Şekil
6'da ise bazı elementlerin toprak ve bitkideki miktarları arasın-
daki ilişki verilmiştir. Toprakta ve kayada bulunan elementle-
rin bitki tarafından emilebilir durumda olması gerekir. Bitkiler
sadece toprak neminde çözülmüş veya başka iyonlarla kolay-
ca yer değiştirebilecek şekilde kil mineralleri ya da kolloidler
üzerine adsorbe olmuş iyonları kolayca emilmektedir. An-
cak bu durumda bulunan iyonlar toprakta veya kayada bulu-
nan aynı elementin çok küçük bir kısmını oluşturur. Bu ele-
mentin emilebilir kısmının azlığı ya da çokluğu toprağın cinsi-
ne, Eh-pH derecesine, organik bileşik miktarına, iyon değişti-
rebilme kapasitesine, su tablası seviyesine, iklime, topoğrafya-
ya ve anakayaç gibi birçok faktöre bağlıdır. Toprak nemi ile
beraber emilebilen iyonlar difüzyon veya iyon deęişme yolu
ile bitkinin kılcal köklerindeki stoplazmaya geçerler ve oradan
bitkinin diğer hücrelerine taşınırlar.

Günümüzdeki genel görüşe göre; bitkiler kılcal kökleri
çevrelerinde yerel olarak kuvvetli asidik (pH=3-4) bir ortam

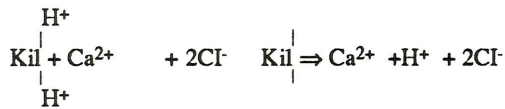


Şekil 8. Biyojeokimyasal anomalili bir bölgede toprak ve bitkideki Pb konsantrasyonu haritası (Rose vd, 1979).



Şekil 9. Temel, Anomali ve Eşik değerler arasındaki ilişki (Köksoy, 1991).

yaratırlar. Bu asidik ortam olasılıkla bitki köklerinin salgıladıkları bazı organik asitlerle ve yine bitki köklerinin çıkardığı CO₂'in suda çözülmesi ile karbonik asit (H₂CO₃)'den meydana gelmektedir (Şekil 7). Böylece H⁺ iyonunca zenginleşmiş kılcal kökler çevresinde kuvvetli iyon değiştirme ortamı oluşur (Köksoy, 1991). Bu reaksiyon Kacar'a (1984) göre aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;



Bitkiler kökleri ile kayaları ayrıştırırlar, minerallerin parçalanmaları ve bozunmaları sonucunda serbest hale gelen kationların bir kısmı kolloidler tarafından adsorbe edilir. Bir kısmı da toprak neminde çözünür. Bu kationların bazıları önce kök uçlarındaki H⁺ iyonları ile yer değiştirir ve sonra difüzyon veya karmaşık bir iyon alışverişi sonucunda köklerin stoplazmasına girerler. Kök uçlarındaki asidik ortam aynı zamanda iyice bozunmamış mineralleride kısmen parçalayarak element-

lerin emilebilir bir durumuna gelmesini sağlar. Bazı bitkilerin köklerinde oluşturdukları asitler o kadar kuvvetli olurki; çok sağlam mineralleri bile parçalayabilir. Bu minerallerin parçalanmalarıyla emilebilir duruma gelen elementler bitkinin ölümlünden sonra asidi zayıf başka bitkiler tarafından kullanılabilir duruma gelmiş olabilir. Mineralleri böyle parçalama yeteneğine sahip olan bitkilere değiştirici veya çözücü bitkiler denilmektedir (Köksoy, 1991).

Kil parçacıkları ise bu olayda yardımcı rol oynayarak iyon değiştirici rolünü üstlenmiştir. Bitki bünyesine faydalı olmayan özellikle zehirleyici fonksiyonu olan elementlerin ise köklerin etrafına çökeldiği gözlenmiştir. Böylece bitki, zehirleyici maddeler bakımından zengin bölgelerde dahi yaşamını sürdürmüş olur örneğin Pb, U ve V tuzlarının bulunduğu bölgeler. Aksi halde bitkinin bu bölgede yaşamını sürdürmesi mümkün olamamakta ve bu ayrımı yapabilme yeteneği, bitki türüne göre de değişmektedir. Bazı elementlerin bitki kökleri tarafından çöktülmesi genellikle organik fazda meydana geldiği için çoğunlukla sulara erimeyen organik bileşikler halindedirler (Bürküt, 1975).

Rose vd'e (1979) göre; belirli seviyelerde belirli metallerin konsantrasyonu mikroorganizmalarca da sağlanabileceği belirtilmiştir (Şekil 8).

Biyojeokimyasal anomaliler

Genel düşünce olarak metalce zengin bölgelerde yetişen bitkiler yüksek derişimde metal içermektedirler. Aynı zamanda bu bölgelerdeki topraklarda büyüyen bitkilerinde, diğer bölgelerde yetişen hem cinslerine göre bu elementlerden daha fazla miktarı bünyelerine almış olmaları gerekir (Şekil 9). Yani bazı bitkiler, bu bölgelerde biyojeokimyasal anomali gösterirler.

Bitki organlarındaki metal derimişi prospeksiyon amacıyla kullanılacaksa, bölgedeki maden yataklarıyla, bitkideki metal derişimi arasında bir ilişki olmalıdır. Bu bitkilerin organlarını toplayarak (belki de yalnızca tek organını) kimyasal analizleri yapıldığında cevherleşmeye uğramış bölgeler saptanabilir. Ancak unutmamak gerekir ki bitkilerdeki elementlerin miktarı yalnız topraktaki elementlerin farklı oluşuna bağlı değildir. Bitki türlerine, bitki kökünün derinliğine, bitkinin sağlığı ve görünümü (güneş ışığının miktarı ve yönü) gibi faktörlerin yanında pH, Eh, sıcaklık, toprak nemi ve topraktaki diğer elementlerin girişim etkisi gibi 20'ye yakın faktör vardır.

Biyojeokimyasal prospeksiyon yapılırken, her örnek için mümkün olduğu kadar bütün bu faktörleri sabit tutmaya ve örneklerdeki element miktarlarındaki değişimin yalnız cevherleşmeye bağlı kalmasına çalışılmalıdır. Aksi halde elde edilen anomaliler cevherleşme ile değil, diğer faktörlerle ilgili olacaktır, yanlış bir yorum yapılabilir (Köksoy, 1991; Rose vd, 1979).

Bitki türleri arasındaki değişim

Farklı bitki türlerinin topraktaki elemente gereksinimleri farklı olduğu gibi bünyelerine alabilme yetenekleri de farklıdır. O nedenle bir bitki türünün içerdiği element miktarları aynı yerde aynı şartlar altında büyüyen diğer bitki türlerinin içerdiği elementlerden çok farklı olabilmektedir. Örneğin; Cr çayırlarında 19 ppm, çalı türü bitkilerde 10 ppm, kozalaklı bit-

kilerde 8 ppm'dir Zn ise çayır otlarında 850 ppm, çalı türü bitkilerde 660 ppm kozalaklı bitkilerde 1127 ppm'dir (Rose vd, 1979).

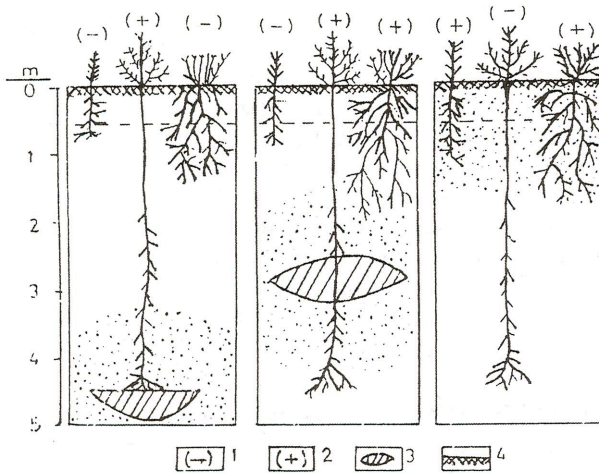
Bunun için biyojeokimyasal prospeksiyon yapılırken bitki türlerini tanımak ve daima aynı türlerden örnek almak gerekir. Tabii bir elementi en çok toplayan tür, her zaman cevher anomalisini en iyi belirten tür olmayabilir. Onun için prospeksiyona başlamadan önce, yönlendirme çalışmaları yapıp; cevherleşmiş ve kısır bölgelerdeki bitki türlerinden örnekler olarak cevher anomalisini en iyi verecek türü seçmek gerekir (Köksoy, 1991; Rose vd, 1979).

Eğer yönlendirme çalışmaları sonucunda bir kaç bitki türü aynı şekilde elverişli olduğu anlaşılırsa o zaman bu türlerden örnekler olarak sonuçları karşılaştırmak yararlı olabilir.

Bitki organları arasındaki değişim

Analiz için seçilen bitkinin organları arasındaki farklılıklar temel bir faktördür. Çünkü kökler tarafından emilen elementler bitki suyu tarafından bitkinin çeşitli organlarına taşınır. Genel olarak yeni emilen elementler daha çok bitkinin o anda gelişmekte, büyümekte olan organlarına taşınırlar. Bunun için bu organlar çoğu zaman diğer kısımlara göre eser elementlerce daha zengin olurlar ve bundan dolayı da örnek alınacak en uygun organın bunlar olması gerekir. Ancak bu taze organlardan alınan örnekler her zaman güvenilir sonuçlar vermemektedir. Deneyimler en uygun, en elverişli bitki organlarının 2 yaşında ve 3-5 mm çapındaki dalcıkların (sürgünlerin) olduklarını göstermektedir.

Elementlerin organlarda toplanma derecesi aynı zamanda fotosentez ile de ilişkilidir. Güneye bakan dalar kuzeye bakan dallardan farklı derecede element içerebilmektedir. Bir ağacın değişik tarafına dağılan dallar aynı kök üzerinde bulunmakta ve burkulmalardan dolayı da bir taraftaki dal sayısı artmaktadır. Böylece örnek alınan organlar, daha çok kendi taraflarındaki köklerle beslendiklerinden bitkinin bir tarafındaki organ-



Şekil 10. Biyojeokimyasal B anomalilerinin tespitinde bitki köklerinin yapısı ile cevher zonu arasındaki bağlantının etkisi (Köksoy, 1991) 1. Normal B miktarı, 2. Anormal B miktarı, 3. Borca zengin zon, 4. Toprak (Köksoy, 1991).

lar diğer tarafındaki organdan farklı miktarda element bulunmaktadır. Yan dalları arasındaki metal içeriği farklı olabilir. Bu nedenle bitkinin bir kaç cephesinden örnek olarak karşılaştırmakta fayda vardır. Ayrıca örnek alınacak organların köklerinin aynı uzaklıkta olmasına da dikkat etmek gerekir (Köksoy, 1991).

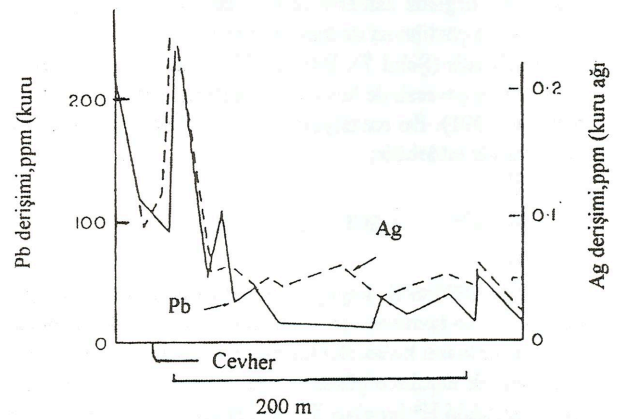
Bitkinin yaşı

Bitki köklerin gelişmesi ve derinlere inebilmesi zamana bağlıdır. Genç bitkilerin kökleri yüzeye yakın ve yayılmış oldukları alan küçük olduğundan yakınındaki cevherleşme ile temas olanağı azdır. Olgun ve yaşlı bitkilerin kökleri derinlere ve daha geniş bir alana yayıldıklarından çevredeki bir cevherleşme ile temas olanağı genç bitkilere göre çok daha fazladır. Ayrıca bir bitkinin belirli bir yaşa gelinceye kadar elementlere olan gereksinimi yıldan yıla farklı olabilir. Belirli bir yaşa geldikten sonra ise diğer faktörler aynı kalmak koşulu ile bitkinin elementlere olan gereksinimi normelleşir. Bitki kök sisteminin gelişmesi 30 yaşından sonra olgunlaştığı ve bu yaştan sonra elementlere olan gereksiniminin normelleştiği kabul edilmektedir (Malyuga, 1964; Köksoy'dan 1991). Her organın mevsime göre elementlere olan gereksinimi farklı olabilir. Bunun için bitkiler örneklenirken yaklaşık aynı yaştaki bitkilerin aynı yaştaki organlarından aynı mevsimlerde örnek alınmasına özen gösterilmelidir (Köksoy, 1991; Rose vd, 1979).

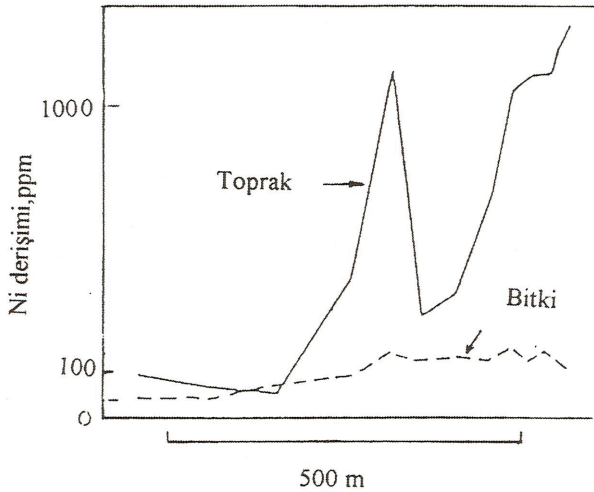
Bitki kökünün gidebildiği derinlik

Bir örtü tabakası altındaki bir cevherleşmeyi biyojeokimyasal yolla saptayabilmek; örtünün kalınlığına, bitki köklerinin derinlere inebilme yeteneğine ve daha derinlerdeki metal iyonlarının yukarıya doğru hareket edebilme derecesine bağlıdır. İyonların yukarıya doğru hareket edebilmesi su tablası seviyesi ve kapillarite ile ilişkilidir.

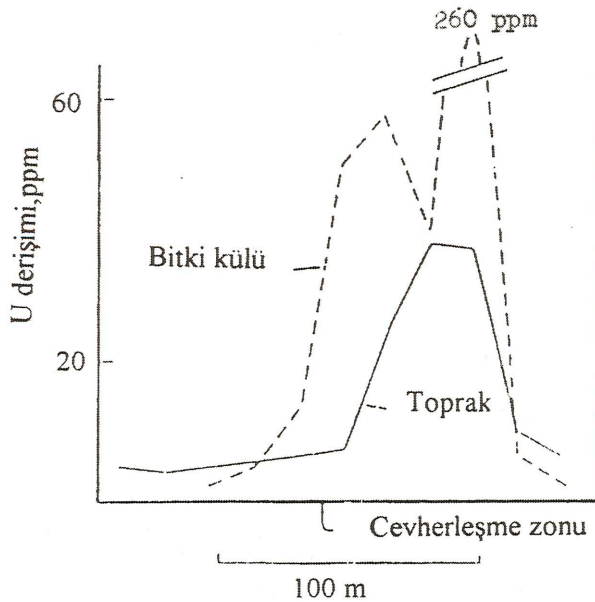
Bazı bitkiler köklerine 40-50 m. derinlere, su tablası seviyesine göndererek yer altı sularından yararlanırlar. Bu gibi bitkilere "Phreatophytes" denilmektedir. Bazı bitkiler ise köklerini derinlere göndermeyip gerekli suyu toprak nemi kuşağından elde etmeye çalışırlar. Bu bitkilere de "Xerophytes" adı verilmektedir. Uzun köklü bitkiler (Phreatophytes) biyojeokimya-



Şekil 11. Nijerya da Nyebe Pb-Zn alanında cevher üzerinde Rubiaceae sp.'nin kurtulmuş sürgünlerinin Pb ve Ag içerikleri (Rose vd, 1979).



Şekil 12. Eski SSCB'de Novo-Tayketken'de uygun toprak ile karşılaştırıldığında bitki külünün Ni içeriği (Rose vd, 1979).



Şekil 13. Fransa'da (Esterel bölgesinde) uygun topraklarla karşılaştırıldığında çamların iğne yapraklarının külünün U içeriği (Rose vd, 1979).

sal prospeksiyonda daha başarılı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber biyojeokimyasal prospeksiyon uygulanırken kök uzunlukları ile birlikte bazen kök sistemlerinin yapısında dikkat etmek gerekir. Rusya'da bir B prospeksiyonu sonucunda elde edilen ve Şekil 10'da gösterilen sonuçlar bu özelliği gösteren çok ilginç bir örnektir (Shuryaev, 1957). Bor yatağının yüzeye yakın olan yerlerde kısa köklü bitkiler (*Salsola nitra* ve *Limonium suffruticosum*) anomali verdikleri halde uzun köklü bitki (*Anabasis aphylla*) besleyici kökleri B yatağında kalmadığı için anomali vermemiştir. Diğer yandan B yatağının 4-5 m derinlerde bulunduğu yerlerde ise bu uzun köklü bitkiler anomali vermişlerdir. Bu gibi durumlarda bitki köklerinin uzunluk ve yarıçapları bilinirse cevher yatağının derinliği hakkında bir fikir edinilebilir (Köksoy, 1991).

Kontrast (Zıtlık) ve etkileşim

Temel (normal veya background) değerlere karşı biyojeokimyasal anomalilerin kontrastı (zıtlığı), toprak çözeltilerindeki elementlerin hareketliliğiyle ilişkilidir. Kontrast etkisinden yararlanarak metaller için güvenli veriler elde edilebilir. Örneğin Mo oldukça düzenli (doğru) bir yüksek kontrast gösterir. Mo anomalisindeki kontrastın oranı 10/1'den 100/1'e kadardır. Co, Pb, Fe ve U kontrast gösterirler. (Cu ve Zn'nin anomalileri düşük kontrasta örnektir. Bu metallerin bazı yataklarında Cu ve Zn'nin eksikliğinin tanınabilmesi için bir sınırdır. Bu anomalinin düşüklüğü bitki yetiştirilmesiyle ilişkili olduğu gibi metabolik proseslerle de sınırlıdır (Rose vd, 1979).

Şekil 11'de görülen Nijeryadaki Pb-Zn mineralizasyonun olduğu alanda, bitkideki Ag ile karşılaştırıldığında Pb'nin genellikle daha büyük zıtlığa sahip olduğu görülmüştür. Ancak bazı elementler için, toprak anomalilerinden büyük veya eşdeğer olabileceği gibi, bazı elementler için de tersi olabilir. Bu iki ilişki Şekil 12 ve 13'de verilmiştir.

Etkileşim bitki büyümesi ile ilgili olarak bir elementin diğer bir element üzerine iki taraflı (karşılıklı) etkisi veya bir elementin diğer bir elemente farklı tepkisi olarak tanımlanabilir. Diğer yandan iki elementten yalnızca biri değil ikisi birlikte ilave bir etki yaratabilir. Örneğin P yada Zn uygulandığında, bir verim tepkisi ölçülebilir. Ancak bireysel tepkilerin toplamı, ikisi birlikte uygulandığındaki tepkiden, önemli ölçüde daha az olabilir.

Etkileşimler daha iyi ve daha sağlıklı bitki gelişmesine neden olabilir. Örneğin; asit toprakta zayıf bir şekilde büyüyen bir baklagil bitkisi, toprak kireçlendikten sonra normal olarak büyüyebilir. Ayrıca kireçli toprakta bitkiye yararlı, Mo'deki artış da daha iyi büyümenin nedeni olabilir.

Toprağa P gübresinin uygulanması, bitki büyümesini artırabilir. Ancak bitki büyümesinin son aşamasında Zn yönünden noksanlık gösterebilir. Ayrıca bitkide Zn noksanlığı meyve yada dane verimini de azaltabilir. Bir bitki yarayışlı besin elementini başka bir besin elementinin normal metabolik işlevini engelleyecek kadar aşırı veya zehirli düzeyde aldığı zaman, bitkide etkileşimler artabilir. Örneğin bir bitki tarafından aşırı Zn alımı, Fe'nin metabolik işlevini alt üst eder ve bitkide Fe normal konsantrasyonda olsa bile, bitkinin Fe klorozu zarar görür (Köleli ve Aydemir, 1994).

Homojenlik

Bitkilerin mineral içerikleri temel kayacın bileşimi ile indirekt olarak ilişkili olmakla beraber bir çok değişkenden etkilenirler. Bundan dolayı biyojeokimyasal anomalilerin, en azından mobil elementler için, benzer kalıntı toprak anomalilerinden daha düzensiz olduğunu bulmak sürpriz değildir. Örneğin; bir doğrultu boyunca alınan bitki ve toprak örneklerinin göreceli homojenlikleri Şekil 14'de verilmiştir (Rose vd, 1979).

Anomalilerin formları

Daha öncede belirtildiği gibi; bir çok faktörün etkisi altındaki kök sisteminin çözeltideki değişim, üst kısımda bitkilerin de kimyasal bileşiminin değişmesine neden olur.

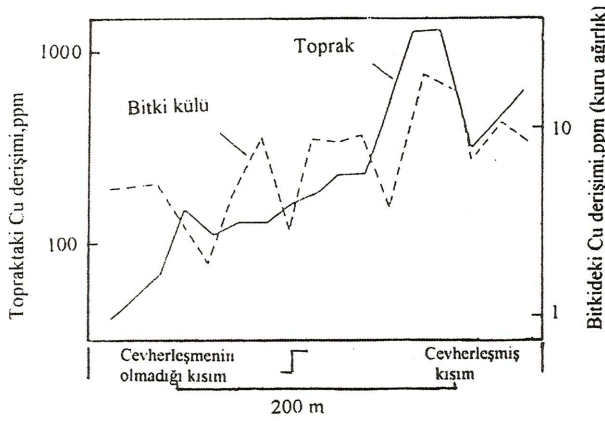
Böylece biyojeokimyasal anomalilerin formu, bir hidromorfik, sinjenetik birliğin formunun birleşimi ve yeraltı suyu anomalilerinin bütünü ile beraber temel topraktaki biyojenik anomaliler olarak belirlenir.

Bir örtülü toprak anomalisi veya cevhere ulaşan bitkinin kökü, biyojeokimyasal anomaliyle yeryüzünde (yukarıda) temsil edilir. Eğer anomaliye neden olan bir yanal yeraltı suyu veya hidromorfik toprak anomalisi varsa biyojeokimyasal anomali ile cevherle ilgisinin olup olmadığı ortaya çıkarılabilir (Rose vd, 1979).

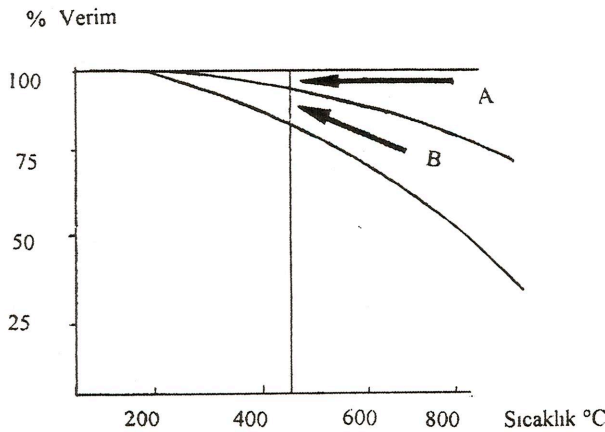
Kirlenme

Kirlenme olayı biyojeokimyasal çalışmalarda üzerinde durulması gereken en önemli konudur. Çünkü bitki örnekleri otomobil eksozları, endüstriyel gazlar, arıtma gazları, gübreler ve çeşitli fabrika atıkları vs'den etkilenebilirler. O nedenle ciddi kirlenme alanlarında biyojeokimyasal ölçümlerin yapılmaması gerekmektedir (Rose vd, 1979).

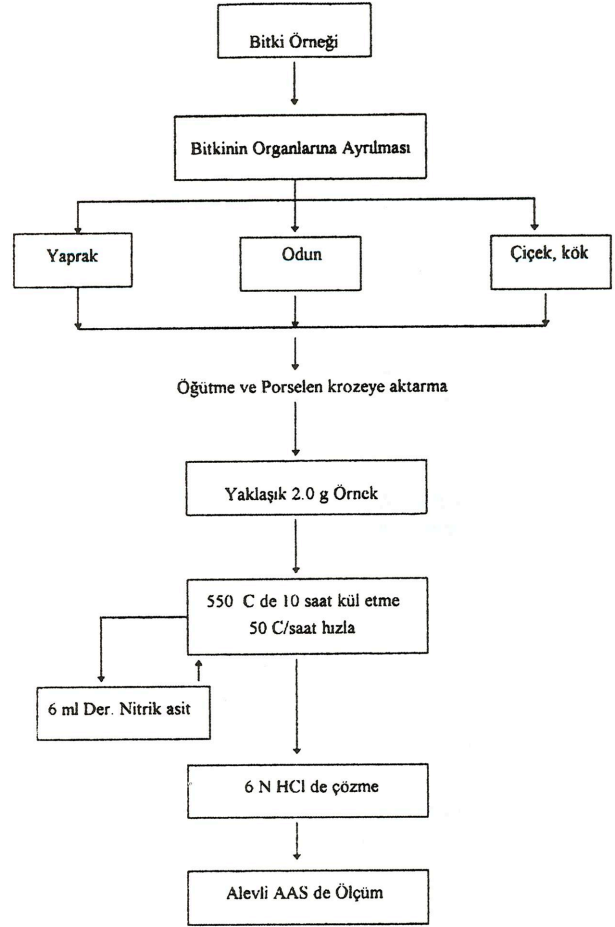
Bir veya iki yıllık sürgünler, yüksek çalılıklar ve ağaçlar çok farklı iklimsel ortamlarda başarıyla kullanılabilirler. Örneğin olgunlaşmış çalılıkların metal içeriği yetiştiği mevsimde hissedilir derecede değişmez. Üstelik; sürgün örnekleri kabuk ve



Şekil 14. Ugan'da (Kilembe) Elephant grass bitkisinin toprak örneğiyle arasındaki Cu içeriği homojenliği (Rose vd, 1979).



Şekil 15. Kül etme basamağında sıcaklığa bağlı olarak element kayıplarının genel görünüşü A-Buharlaşma kayıpları, B-Asit ile çözeltiye almada istenen forma dönüşmeyen kayıplar (Özdemir, 1992).



Şekil 16. Bitki örnekleri için işlem basamakları (Benton ve Jones, 1994).

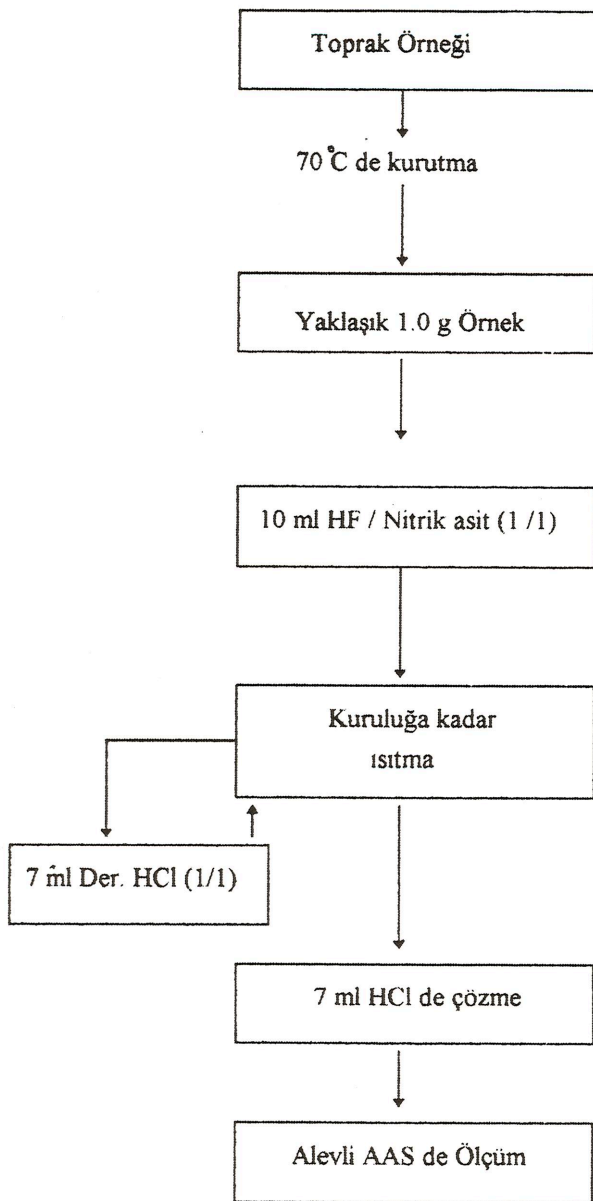
ağaçlardan daha fazla element biriktirirler. Bunun için yerde itibaren 1-1.5 m yüksekliğindeki yaprak ve genç sürgünlerden alınır. Çok genç sürgünden ziyade 1-2 yıllık dalcık tercih edilir. Uzun çalılıklar ve ağaçlar, küçük çalılıklar ve odunsu olmayan bitkilerden daha az yağmurun toprak sıçratmasından kirlenirler. Bataklık bölgelerde ise yağmur sıçramasının bir tehlike oluşturmadığı bölgelerde yosun ve çalılıklar başarı ile kullanılabilir (Rose vd, 1979).

Biyojeokimyasal ölçüm teknikleri

Hazırlık ve önçalışma

Biyojeokimyasal prospeksiyonun en iyi nasıl yapılabileceğini anlatmak çok zordur. Çünkü işin içine o kadar çok faktör girmektedir ki; bir yerde başarı ile yürütülen bir prospeksiyon başka bir yerde başarısızlığa uğrayabilmektedir. Rose vd'e (1979) göre şu özelliklere dikkat etmek gerekir;

1. Bölge hakkında yazılmış jeolojik raporlar ve haritaları gözden geçirmek,
2. Arazide kısa bir ön çalışma yapmak,
3. Optimum türler, türlerin yayılımı, anomalilerin kontras-



Şekil 17. Toprak örnekleri için işlem basamakları (Brooks vd, 1992).

tı, anomalilerin homojenliği, bitkileri tanıma ve kolay örnekleme, kök sisteminin derinliği,

4. Örnek alınacak organın saptanması (yeni sürgün, yaprak, meyve, kabuk ve dal vs),

5. En iyi belirtgen element veya elementlerin saptanması,

6. Güneş ışığının etkisi, drenaj, gölgeleme, ve diğer elementlerin etkisi,

7. Toz ve diğer kaynaklardan kirlenme,

8. Örnekleme modeli, alınacak örnek miktarı ve örnekleme aralığı.

Daha sonra da esas prospeksiyona geçilir.

Örnek toplama

Örnek alımı için seçilen bitki sahada yaygın olarak bulunuyorsa, örnekler sistematik olarak (ağa, traverse göre) alınmalıdır. Eğer sahada dağılışı seyrek ve gelişimi güzel ise de, o zaman uygun yerlerde bulunan bitkiler örneklenir ve yerleri topoğrafik olarak saptanır. Her örneğin yeri topoğrafik ve jeolojik haritaya işaretlenmelidir. Ayrıca örnek numaraları ve element miktarına etki edebileceği düşünülen her türlü özellik bir deftere not edilmelidir. Örneğin; karayolları kenarında ve fabrika yakınlarında büyüyen bitkilerin, motorlu araç eksoz ve fabrika bacalarından çıkan gazlarda bulunan bazı elementlerce zenginleşmiş oldukları görülmüştür. Bunun için prospeksiyon yapılırken, bu özelliklerin de not edilmesi ve sonuçları değerlendirirken göz önünde bulundurulması gerekir. Örnek alımı için bağ makasları ve bıçakları kullanılabilir. Normal olarak yaklaşık 200-300 gramlık bir örnek bir kaç analiz için yeterlidir. Ayrıca hem bitkilerin sistematigi içinde örnek gerektiğinden, hemde herhangi bir nedenle tekrar analiz yapmak gerekebileceğinden biraz daha fazla örnek almakta fayda vardır.

Toplanan örnekler 2-3 gün içinde laboratuvara getirilerek, bir kısmı sistematik tanımlama için ayrılmalı, geriye kalan örneklerde yıkanıp saf sudan geçirildikten sonra oda sıcaklığında temiz bir şekilde kurutulmalıdır.

Bitki külünün hemen hemen tamamı, bitkilerin geliştikleri ortamdan aldıkları elementlerden oluşmuştur. Kül etme esnasında bitkinin ana bileşenleri olan N, C, O ve H elementleri ortamdan uzaklaşırlar (Kacar, 1984).

Külleşme sırasında kaybolabilecek kritik elementler bulunuyorsa, o zaman örneği kimyasal olarak oksitlemek (Wet-ashing) gerekir. Bunun için HNO_3 , HClO_4 , H_2O_2 gibi oksitleyici kuvvetli kimyasal maddeler kullanılmalıdır (Köksoy, 1991). Özdemir (1992)'e göre kül etme basamağında, sıcaklığa bağlı olarak element kayıplarının genel görüntüsü Şekil 15'de verilmiştir.

Bitki örnekleri için işlem basamakları Şekil 16'de, toprak örnekleri için işlem basamakları Şekil 17'de verilmiştir. Kül etme işlemi yapılırken, uygun sıcaklığın seçilmesi optimum verimin alınabilmesi bakımından önemlidir.

Örnek hazırlama teknikleri

Her hangi bir örnekteki bileşenlerin analiz edilmesinde; örnekten ölçüm basamağına kadar yapılan bütün işlemlere "örnek hazırlama basamağı" ve bu basamaklarda kullanılan tekniklere de "örnek hazırlama teknikleri" denir.

Element analizlerinde ölçüm basamağı olarak Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) veya Atomik Emisyon Spektrofotometresi (AES) kullanıldığında, katı örneklerin çözünürleştirilmesi ve organik maddelerin giderilmesi gerekmektedir. Organik maddelerin giderilmesi; bitki kökenli örneklerin kompleks matrik içermesinden dolayı ölçüm basamağında birçok problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemler; örnek yapısının tam olarak bilinmemesinden ve özellikle bitki kökenli örneklerin yetiştiği bölgelere göre farklı düzeylerde bileşenler içermesinden veya ölçüm basamağında bu bileşenlerin matriks etki göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yukarıda belirtilen problemlerin giderilmesinde uygun bir örnek hazırlama basamağı seçilmelidir (Hoenig ve Borger, 1983).

Tablo 3. Örnek Hazırlama Tekniklerinin Karşılaştırılması (Özdemir, 1992).

Parametre	Kül etme	Yaş kimyasal
Hız	2-10 saat	10-60 dakika
Sıcaklık	az	fazla
Kör örnek	az	fazla
Örnek miktarı	az	fazla
Örneğin fiziksel özelliği	katı	katı ve viskoz
Özel düzenek	gerekli	gereksiz

AAS ve AES ile bitki ve bitki kökenli organik matris içeren örneklerde element analizlerinde ve organik maddelerin giderilmesinde; genellikle kül etme ve yaş kimyasal parçalama teknikleri kullanılmaktadır (Özdemir, 1992).

Kül etme tekniği

Bitki kökenli örneklerde kül etme tekniği; örnek uygun kaplarda belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede tutularak organik maddelerin uzaklaştırılması ve elde edilen kalıntının inorganik bir asit içerisinde çözülerek analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır.

Organik maddelerin tamamen uzaklaştırılmasında; öyle bir kül etme sıcaklığı seçilmelidir ki; kül etme süresince analiz yapılan elementin kayba uğramaması (veya mümkün olduğunca az kayba uğraması) ve elde edilen kalıntının asitte çözünmesi istenmektedir (Hoenig ve Borger, 1983).

Yaş kimyasal parçalanma tekniği

Bu teknikte; örnek asit veya asit karışımları ile muamele edilerek organik maddenin uzaklaştırılması ilkesine dayanır. Yaş kimyasal parçalanma tekniğinde yükseltgen özellikler taşımaları açısından genellikle nitrik, sülfirik, perklorik asit ve hidrojen peroksit veya bu asitlerin karışımları kullanılmaktadır.

Nitrik/Sülfirik asit karışımı ile parçalanma: çeşitli örneklerle uygulanabilen ve birçok element için (Selenyum hariç) iyi tekrarlanabilirlik elde edilebilmektedir. Ancak Sülfirik asit, örneklerin yapısında bulunan Ca'un CaSO₄ halinde çökmesi ve oluşan çökelek ile birlikte eser elementlerinde çökmesinden dolayı kayıplara neden olmaktadır. Aynı zamanda analiz edilecek elementlerle çözünmeyen sülfat bileşikler oluşturması açısından dezavantajlar bulunmaktadır.

Sülfirik asit/Hidrojen peroksit parçalanması: klorür içeren ve yüksek oranda uçucu olmayan hidrokarbon içeren örneklerde bazı elementlerin büyük miktarda kayıplarına neden olmaktadır.

Nitrik/Perklorik asit parçalanması: en geniş olarak kullanılan tekniktir. Organik maddeler sıcak perklorik asit varlığında kolaylıkla yükseltgenebilmektedirler (Özdemir, 1992). Bu iki yöntemin karşılaştırılması Tabla 3'de verilmiştir.

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Jeokimyasal prospeksiyonda bir çok değişken; bir fonksiyonel ilişki şeklinde birbirine bağlıdır. Bu fonksiyonun bilinmesi halinde değişkenin değerine karşı gelen bağımlı değişkenin değeri bulunabilir. İki değişken arasındaki ilişki için en çok rastlanan doğrusal ilişkidir. Bu ilişki de ise iki değişken

birbirine doğrusal bir şekilde etkilenmektedir ve $y=ax+b$ şeklinde gösterilir. Burada bağımsız değişken x ve bağımlı değişken y 'dir. Bu denklem bir koordinat sisteminde doğrusal bir çizgi olarak görülecektir, a katsayısı bu doğrunun eğiminin tanjantı, b katsayısı ise; $x=0$ için bulunan y değeridir, yani doğrunun y eksenini kestiği noktadır.

Ancak doğadaki değişkenler arasındaki ilişki her zaman bir fonksiyonla ifade edilemez. Çeşitli örneklerde ölçülmüş iki değişkenin değerlerini bir koordinat sistemi üzerine noktalayacak olursak, iki değişken arasında doğrusal bir bağıntı olmadığı durumlarda, doğrusallığın ne derecede iyi olduğu saptanmalıdır. Tam olarak doğrusal olmayan durumlarda $y=ax+b+e$ (e : hata terimi). Hata terimi ne kadar küçük ise doğrusallık o derece iyi demektir.

İki değişken arasında doğrusal bağıntıyı ararken genellikle iki soruya cevap vermek gerekir.

1) x ve y gibi iki değişken arasında ne derecede iyi bir doğrusal bir ilişki vardır.

2) y ile x arasındaki doğrusal değişimin denklemi nedir. Eğer x bağımsız ve y bağımlı değişken olarak alınırsa bu ilişki; $y=ax+b$ şeklinde olduğuna göre a ve b katsayılarını değerleri nedir.

İstatistiksel olarak a ve b katsayılarının hesaplanmasında genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Bulunacak en iyi a ve b katsayıları, her gözlem veya örnek için hatanın karelerinin toplamını en küçük yapan, minimize eden değerler olacaktır.

İki değişken arasındaki ilişkiyi (i) inci örnek için ($i=1,2,...,n$) $y_i=ax_i+b+e_i$ şeklinde yazabiliriz. n nokta için hataların karelerinin toplamı,

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$$

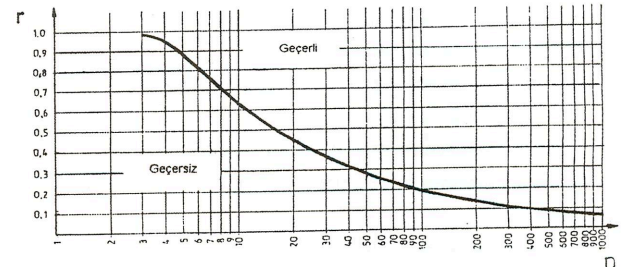
olacaktır. Bu değeri minimize eden a ve b değerleri ise,

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

şeklinde bulunur.

x ile y arasındaki doğrusal ilişkinin denklemi, y 'nin x 'e ne derece bağımlı olduğu hakkında bir fikir vermemektedir. y ile



Şekil 18. Örnek sayısı (n) ile korelasyon katsayısı (r) arasındaki ilişki (Wellmer, 1989).

x arasındaki doğrusal derecesini korelasyon katsayısı belirtmektedir. Korelasyon katsayısı (r) ise +1 ile -1 arasında değişen bir sayıdır. Korelasyon katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

Korelasyon katsayısının karesi (r^2), y değişkenindeki değişimin yüzde kaçının x de değişmelerle belirlendiğini gösterir. Örneğin $r=0.6$ ise $r^2=0.36$ olacaktır. Bu da y'nin değişiminin % 36'sının x değişkeni tarafından kontrol edildiğini gösterir. Geride kalan % 64 ise başka değişkenler ve kaynaklarca belirlenmektedir.

Biyojeokimyasal prospeksiyon da elde edilen veriler değerlendirilirken, Şekil 18'de verilen grafiğe göre örnek sayısına bağlı olarak, olması gereken teorik r değerleri hesaplanarak, deneysel olarak saptanan r değeri ile karşılaştırılır. İstenilen güvenilirlik sınırları içerisinde $r_{\text{deneysel}} > r_{\text{teorik}}$ olmalıdır (Wellmer, 1989). Scroll'a (1979) göre ise güvenilirlik sınır değerleri; n-2 olduğunda % 95 ve % 99 olarak verilmiştir.

Analiz değerlerinin yorumlanması

Analiz sonuçları jeolojik harita üzerine işlenerek sahanın biyojeokimyasal haritası elde edilir. Bu sonuçlara etki edebilen topoğrafya, drenaj, yol vb faktörlere ait bilgiler de bu harite üzerine işlenmelidir. Haritadan çıkarılacak ilk önemli sonuçlar normal ve anomali sahalalarının saptanmasıdır. Analiz sonuçları bazen küldeki element miktarı, bazen de kuru organdaki element miktarı olarak ifade edilebilir. Bunlardan hangisinin anomalileri daha iyi belirlediklerini saptamak ve haritaya bu değerleri işlemek gerekir.

Elde edilen anomalilerin cevherleşmeyle ilgili olup olmadığına karar vermek, sahanın değerlendirilmesinde en kritik rolü oynar. Önceki konularda da belirtildiği gibi bitkilerdeki element miktarı cevherleşmeden başka topoğrafya, toprak pH'sı, bitkinin güneşe göre durumu gibi bir çok faktörde bağlı olabilmektedir. Bunun için örneklerdeki diğer elementlere ait değerlerin de göz önünde bulundurulması gerekir. Eldeki anomalilerin jeolojik olmayan faktörlere bağlı olabileceği şüphe

Tablo 4. Maden Çayı boyunca saptanan belirgen bitkiler (Özdemir, 1996).

Element	Bitki adı	Bitkide aralık, ppm	Tercih edilen organ	Toprakta aralık, ppm
Cu	Salix acmophylla	84-811	Odun	15-6646
	Tamarix smyrnensis	22-583	Odun	
	Phragmites australis	15-560	Odun	
Zn	Salix armenorisica	58-781	Odun	169-5899
	Platanus orientalis	117-704	Odun	
	Populus nigra	535-2534	Odun	
Mn	Salix acmophylla	16872-648	Yaprak	250-1966
	Tamarix smyrnensis	111-923	Yaprak	
Fe	Phragmites australis	987-11753	Yaprak	39442-135231
	Carex acuta	856-4764	Yaprak	

edildiği zaman, bu faktörler karşısında aynı şekilde davranan iki cevher elementine ait değerlerin oranlarını ele almak çoğu zaman bu faktörlerin etkilerini ortadan kaldırmaktadır.

Köksoy (1991)'dan; Warren'e (1949 ve 1952) göre cevherleşmemiş sahalardaki bitkilerden elde edilen örneklerin Cu ve Zn miktarları, yerel faktörler nedeniyle büyük değişiklikler göstermektedir. Ancak bu elementlere ait oranlar oldukça sabit kalmaktadır. Örneğin normal sahalarda Cu/Zn oranı 0.07 ile 0.23 arasında değişmektedir. Bu oran, bakır cevherleşmesinin bulunduğu yerlerde 0.23'den daha büyük, çinko cevherleşmesinin bulunduğu yerde ise 0.07'den daha küçük değerler göstermektedir.

Cevherleşme bölgelerinde toprağın humus zonunun, ölmüş bitki organlarının birikmesi ve bozunmasıyla biyojenik elementlerce zenginleşmiş olduğu bilinmektedir. Bazı zamanlar bu zonlardan alınan toprak örnekleri, bitki organlarından alınan örneklerden daha belirgin ve homojen anomaliler vermektedir. Bunun için prospeksiyon yapılan bölgede böyle bir epijenik biyojenik dağılım bulunuyorsa, bitkilerden elde edilen anomalileri humus zonundan alınan örneklerin sonuçlarıyla karşılaştırarak sahte anomalileri ayırt etmek veya anomali zirvesinin yerini daha iyi saptamak olasıdır.

Yerli klastik anomalilerle ilgili biyojeokimyasal anomalilerin, cevherleşme ile doğrudan ilişkisi vardır. Bu yüzden daha detaylı çalışmalar anomali zirvesi çevresinde yapılır. Taşınmış klastik anomalilerle ilgili biyojeokimyasal anomalilere ait cevher yatağı ise; klastik malzemenin taşınma miktarına bağlı olarak biyojeokimyasal anomali zirvesinden uzakta bulunabilir. Cevher yatağının yerinin saptanması için, bölgede klastik malzemenin taşınma yönünde, bir araştırma yapmak gerekir (Köksoy, 1991; Rose vd, 1979).

Biyojeokimyasal ölçümlerin avantaj ve dezavantajları

Biyojeokimyasal metodların dezavantajları, pH, Eh, drenaj, organ yaşı, bitki metabolizması, bitkinin kabul emdiği mekanizma, güneş ışığı miktarı ve diğer değişkenlerin neden olacağı sonuçlar bu yöntemi güvensiz kılar. O nedenle bütün bu faktörlere dikkat etmek gerekir. Üstelik biyojeokimyasal çalışmalarda bitki türlerinin belirlenmesi ve seçimi iyi bilgi ve dikkat gerektirmektedir. Çünkü türler toprak örtüyü yapıp yüzeye çıkarak düzensiz olarak dağılırlar. Ayrıca biyojeokimyasal prospeksiyon metodlarının diğer jeokimyasal yöntemlerden bazı konularda da avantajları vardır. En önemlisi derinlerde elementlerin çoğalması ve bu elementlerinde bitkilere yansımaları çok önemlidir. Yani bitkinin kökü o birikmiş elemente kadar uzanıyorsa, aynı element zenginleşmesini bitkide bulabiliriz. Tabii her tür bitkiye aynı şekilde yansımaları da olası değildir.

Diğer yandan element açısından zenginleşmemiş ve taşınmış topraklarda, ağaçların analizleri yüzey topraklarına yakın olmayan anomalinin tanınmasına olanak sağlar. Böyle ağaçların anomali değerini yansıtması, toprağın taşınması, donması, çimentolanması, ince humuslu veya karla kaplandığı bölgelerde çok daha önem kazanmaktadır. Yani bitkiler sıg sondaj görevi yaparlar (Rose vd, 1979).

Tablo 5. Dünya'nın bazı bölgelerinde Botanik Prospeksiyon'da kullanılan bitki türleri.

Element	Tür adı	Lokalite	Referanslar*
B	<i>Eurotia ceratoides</i> (L)	Rusya	1a
	<i>Limonium suffruticosum</i> (L)	Rusya	1a
	<i>Salsola nitraia</i> (L)	Rusya	1a
Co	<i>Betula papyrifera</i>	Kanada	28b
	<i>Populus tremuloides</i>	Kanada	28b
	<i>Crassula alba</i> (L)	Zaire	1b
	<i>Crotalaria cobalticola</i> (U)	Zaire	2
	<i>Haumaniastrum robertii</i> (U)	Zaire	3
	<i>Silene cobalticola</i> (U)	Zaire	1d
Cu,Co	<i>Aeollanthus subcaulis</i> (L)	Zaire	48
	<i>Basananthe cupricola</i>	Zaire	48
	<i>Crepidophopalon tenuis</i> (L)	Zaire	48
	<i>Crepidophopalon perennis</i> (L)	Zaire	48
	<i>Faroa chalcophila</i> (L)	Zaire	48
	<i>Gutenbergia cupricola</i> (L)	Zaire	48
	<i>Haumaniastrum katangense</i> (U)	Zaire	48a,b,c
	<i>Haumaniastrum robertii</i> (U)	Zaire	48a,b,c
	<i>Vigna dolomitica</i>	Zaire	48
Cu	<i>Acacia radianna</i>	D. İsrail	21
	<i>Acalypha dikuluwensis</i> (U)	Zaire/	1d
	<i>Adhatada vasica</i>	Hindistan	9
	<i>Aeollanthus bifurcatus</i> (U)	Zaire	41
	<i>Anisopappus hoffmanianus</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Armeria maritima</i> (L)	Almanya	1f
	<i>Ascolepis metallorum</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Becium homblei</i> (U)	Zaire/Zambia	15
	<i>Becium peschianum</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Bulbostylis barbata</i> (U)	Australya	1g
	<i>Bulbostylis burchelli</i> (L)	Australya	14
	<i>Bouchea morubifolia</i>	Hindistan	9
	<i>Coleus scutellarioides</i> (U)	Endonezya	42
	<i>Commelina zigzag</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Crotalaria cobalticola</i> (U)	Zaire	1c
	<i>Crotalaria francoisiana</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Cyanotis cupricola</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Cymaria acuminata</i>	Endonezya	42
	<i>Dysoxylum spectabile</i>	Yeni Zelanda	45
	<i>Ecobolium lugardae</i> (L)	GB Afrika	14
	<i>Elsholtzia haichowensis</i> (L)	Çin	1h
	<i>Esholtzia meksicana</i> (L)	ABD	4
	<i>Fagonia mollis</i>	Beyrut	21
	<i>Gladiolus actinomorphanthus</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gladiolus duvigneaudii</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gladiolus klavianus</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gladiolus peschianus</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gladiolus tshombeanus</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gutenbergia cuprophila</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Gypsophila patrinii</i> (L)	Rusya	1i
	<i>Grewia hirsuta</i>	Hindistan	9
	<i>Haumaniastrum katangense</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Haumaniastrum robertii</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Heichrysum leptolepis</i> (L)	GB Afrika	14
	<i>Impatiens balsamina</i> (U)	Hindistan	15
	<i>Lindernia dambionii</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Lindernia perennis</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Lychnis alpina</i> (L)	İskandinavya	6,16
	<i>Merceya latifolia</i> (U)	Dünyada yaygın	1j
	<i>Mielichoferia mielichhoferi</i> (U)	Dünyada yaygın	1j
	<i>Minuartia verna</i> (U)	Almanya	1r
	<i>Oligotrichum hercynicum</i> (U)	Alaska	11
	<i>Palicaria undulata</i>	Beyrut	21
	<i>Pandiaka metallorum</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Polycarpaea corymbosa</i> (L)	Hindistan	1k
	<i>Polycarpaea spirostylis</i>	Australya	12
	<i>Prosopis juliflora</i> (L)	ABD	39
	<i>Rendlia cupricola</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Sopubia metallorum</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Sopubia neptunii</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Sporobolus stelliger</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Sporobolus deschampsoides</i> (U)	Zaire	1d
	<i>Tephroise villosa</i>	Hindistan	9
	<i>Vernonia cinerea</i> (L)	Hindistan	1k
	<i>Vernonia ledocteana</i> (U)	Zaire	1d
Cu,Mo	<i>Picea marina</i>	Kanada	28a
Cu,Ni	<i>Becium obovatum</i>	Kanada	28c
Fe	<i>Burtonia polyzyga</i> (L)	B. Avusturalya	11
	<i>Calythrix longiflora</i> (L)	B. Avusturalya	11
	<i>Chenopodium rhadinostachyum</i> (L)	B. Avusturalya	11
	<i>Eriachne dominii</i> (L)	B. Avusturalya	11
	<i>Goodenia scaevolina</i> (L)	B. Avusturalya	11
Cu, Fe	<i>Glycosmis mauritina</i>	Sri Lanka	20
	<i>Pterospermum canescens</i>	Sri Lanka	20
Cu, Zn	<i>Pinus contorta</i>	Kolorado	23
Zn	<i>Armeria halleri</i> (L)	Fransa	1p
	<i>Hutchinsia alpina</i> (L)	Fransa	1p
	<i>Minuartia verna</i> (L)	B. Avrupa	1r
	<i>Thlaspi calaminare</i> (U)	B. Avrupa	1r
	<i>Viola calaminaria</i> (U)	B. Avrupa	1r
Mn	<i>Alyxia</i> sp. (U)	Yeni Kaledonya	5
	<i>Crotalaria congolensis</i> (L)	Zaire	1y
	<i>Maytenus bureauvianus</i> (L)	Yeni kaledonya	17
	<i>Vacinum myrtillus</i>	İtalya	33
Ni	<i>Alyssum bertoloni</i> (L)	İtalya	27
	<i>Alyssum</i> sp. (U)	G. Avrup. Türkiye	6
	<i>Blepharis acuminata</i> (L)	Zimbabi	26
	<i>Cornus stolonifera</i>	Kanada	44
	<i>Dicoma nicolifera</i> (L)	Zimbabi	26
	<i>Euphorbia</i> sp.(U)	Brezilya	10
	<i>Geissois</i> sp.(U)	Y. Kaledonya,Fiji	18
	<i>Hybanthus austrocaledonicus</i> (U)	Yeni kaledonya	7, 46
	<i>Hybanthus floribundus</i> (L)	B. Avusturalya	8, 46
	<i>Homolium caledonicus</i> (L)	Yeni Kaledonya	46
	<i>Homolium kamaliensis</i> (L)	Yeni Kaledonya	35
	<i>Homolium gullianu</i> (L)	Yeni Kaledonya	46
	<i>Homolium francu</i> (L)	Yeni Kaledonya	46
	<i>Homolium deplanchei</i> (L)	Yeni Kaledonya	46
	<i>Justicia lanstykii</i>	Brezilya	10
	<i>Lychnis serpicicola</i> (L)	İskandinavya	1z
	<i>Merremia xanthophylla</i> (L)	Zimbabi	26
	<i>Oxalis</i> sp.(U)	Brezilya	10
	<i>Peixotoa magnifica</i>	Brezilya	10
	<i>Melaleuca sheathiana</i>	Avusturalya	25
	<i>Pimelea suteri</i> (L)	Yeni Zelanda	35
	<i>Rhus wildii</i> (L)	Zimbabi	26
	<i>Rinorea bengalensis</i>	Endonezya	40
	<i>Securidaca longepedunculata</i>	Kanada	28c
	<i>Streptanthus polygaloides</i>	Kaliforniya	31
	<i>Vellozia</i> sp.(U)	Brezilya	10
Ag	<i>Abies lasiocarpa</i>	Kolombiya	24
	<i>Alnus sitchensis</i>	Kolombiya	24
	<i>Epilobium angustifolium</i>	Kolombiya	24
	<i>Picea glauca</i>	Kolombiya	24
	<i>Pinus contorta</i>	Kolombiya	24
	<i>Salix</i> sp.(U)	Kolombiya	24
U	<i>Alnus</i> sp.(U)	İskandinavya	28e
	<i>Betula nana</i>	İskandinavya	28e
	<i>Betula alba</i>	İskandinavya	28e
	<i>Emblca officinalis</i>	Hindistan	32
	<i>Salix</i> sp.(U)	İskandinavya	28e

	<i>Shorea robusta</i>	Hindistan	32
	<i>Lagerstroemia parviflora</i>	Hindistan	32
	<i>Picea rubens</i>	Kanada	30
Se, U	<i>Aster venustus</i> (L)	B ABD	1o
	<i>Astragalus albulus</i> (L)	B ABD	1o
	<i>Astragalus argillosus</i>	B ABD	1o
	<i>Astragalus confertiflorus</i>	B ABD	1o
	<i>Astragalus pattersoni</i>	B ABD	1o
	<i>Astragalus preussi</i>	B ABD	1o
	<i>Astragalus thompsonae</i> (L)	B ABD	1o
Au	<i>Abies balsamea</i>	Kanada	34
	<i>Alnus crispa</i>	Kanada	34
	<i>Alnus rugosa</i>	Kanada	34
	<i>Alnus sp</i> (U)	Kanada	50
	<i>Artemesia californica</i>	Kaliforniya	33
	<i>Arctostophylos alpina</i>	K. Kanada	49
	<i>Betula sp</i> (U)	K. Kanada Kanada	49, 50
	<i>Curatella americana</i>	Kosta Rika	47
	<i>Chamaespatrium tridentatum</i> (L)	İspanya	19
	<i>Equisetum arvense</i>	Çekoslovakya	28d
	<i>Empetrum nigrum</i>	K. Kanada, Finlandiya	49, 36
	<i>Fagus grandifolia</i>	Washington	53
	<i>Festuca ovina</i>	İspanya	19
	<i>Franseria dumosa</i>	Kaliforniya	54
	<i>Junifer communis</i>	Finlandiya	36
	<i>Larrea tridentata</i>	Kaliforniya	54
	<i>Ledum decumbens</i>	K. Kanada	49
	<i>Nyssa sylvatica</i>	Washington	53
	<i>Picea glauca</i>	Kanada	34
	<i>Picea mariana</i>	Kanada	34
	<i>Pinus radiata</i>	Yeni Zelanda	43
	<i>Pinus sp</i> (U)	Kanada	50
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Kanada	52
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	ABD	51, 52
	<i>Salix lanata</i>	K. Kanada	49
	<i>Vaccinium uliginosum</i>	K. Kanada	49
	<i>Viburnum acerifolium</i>	Washington	53
Nb, Rb, Sr	<i>Populus tremuloides</i>	Kanada	44
B, Be, Li	<i>Acacia radiana</i>	Mısır	28f
Co, Cu, Ni	<i>Acacia ehrenbergiana</i>	Mısır	28f
Pb, Zn	<i>Acacia radiana</i>	Mısır	28f
Mo	<i>Olearia rani</i>	Yeni Zelanda	28g
Mg	<i>Pimelea suteria</i>	Yeni Zelanda	22
	<i>Myosotis monroi</i>	Yeni Zelanda	22
Hg	<i>Ledum Palustre</i>	ABD	37
	<i>Betula papyrifera</i>	ABD	37
Cd	<i>Salix sp</i> (U)	Kolorado	38
Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Os	<i>Picea mariana</i>	Kanada	29

-(U): Universal belirtgenler

-(L): Lokal belirtgenler

-() : Lokal veya Universal oldukları tesbit edilememiştir (Özellikle Afrika bitkileri için yeterli kadar kaynak bulunmamaktadır).

*1 Brooks, 1979c; 2 Brooks vd, 1977; 3 Brooks, 1977; 4 Chaffee vd, 1976; 5 Brooks vd, 1981; 6 Brooks vd, 1979; 7 Brooks vd, 1974; 8 Severne vd, 1972; 9 Tiagi ve Acry 1986; 10 Brooks vd, 1988; 11 Canon 1971; 12 Brooks ve Radford, 1978; 13 Acry, 1977; 14 Cole 1971; 15 Howard, 1970; 16 Brooks, 1979b; 17 Jaffre, 1977; 18 Jaffre vd, 1979; 19 Valente vd, 1986; 20 Brooks vd, 1985; 21 Bogoch ve Brenner, 1984; 22 Lee vd, 1975; 23 Stednick ve Reese, 1987; 24 Warren vd, 1984; 25 Hall vd, 1973; 26 Brooks ve Yang, 1984; 27 Minguzic ve Vergnanno 1948; Brooks ve Yang' dan 1984; 28a Wolfe 1971; Brooks' dan 1979c; 28b Hornbrook 1971; Brooks' dan 1979c; 28c Wild 1970; Brooks' dan 1979c; 28d Cannon vd, 1968; Brooks' dan 1979c; 28e Armands, 1967; Brooks' dan 1979c; 28f Elsholz vd, 1971; Brooks' dan 1979c; 28g Brooks' dan 1979c; 28h Armands, 1967; Brooks' dan 1979c; 29 Dunn vd, 1989; 30 Brooks vd, 1982; 31 Reeves vd, 1981; 32 Pande vd, 1993; 33 Vergnanno vd, 1971; 34 Dunn, 1986; 35 Lee vd, 1977; 36 Pulkkinen ve Ukansaahtalo, 1989; 37 Shacklette, 1970; 38 Shacklette, 1972; 39 Chaffee, 1975; 40 Brooks ve Wither, 1977; 41 Malaisse vd, 1978; 42 Brooks vd, 1978; 43 Goff vd, 1985; Colin, 1993; 45 Yates vd, 1974; 46 Brooks vd, 1977; 47 Siegel ve Paguaga 1991; 48 Brooks vd, 1992; 49 Reading vd, 1987; 50 Cohen vd, 1987; 51 Erdman ve Olson, 1985; 52 Brooks, 1982; 53 Siegel ve Barrows 1991; 54 Busche, 1989

Biyojeokimyasal prospeksiyonun uygulamaları

Özdemir (1996)'ın yaptığı çalışmada; Maden-Elazığ bölgesinde Maden Çayı boyunca saptanan bitki türlerinde Cu, Zn, Mn ve Fe elementleri için anomali değerler ve bölgede bu elementler için saptanan belirtgen bitkiler Tablo 4'de verilmiştir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından Dünya'nın bazı bölgelerinde botanik prospeksiyonda kullanılan bitki türleri de Tablo 5'de verilmiştir.

Değinilen Belgeler

- Aery N.C. 1977, "Studies on the geobotany of Zawar Mines" Geobios 4, 225-228.
- Alloway, B.J(ed) 1995 "Heavy metals in Soil" Blackie Academic and Professional Second edition. s. 368 U:K.
- Atalay İ., 1982 "Toprak Coğrafyası" Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi Yayınları No. 8 İzmir.
- Aydemir O. ve Kökeli N. 1994 "Mikro besin elementleri arasındaki etkileşim" Atatürk Üniversitesi Zir. Fak. Der. 25(3) 469-478.
- Benton J. ve Jones R. 1984, "Developments in the measurement of trace metal in foods" Anal. Food. Cont. 157-206.
- Busche F.D. 1989 "Using plants as an exploration tool for gold" J. Geo. Exp. 199-209.
- Bogoch R. ve Brenner I.B., 1984, "Biogeochemical orientation survey in an arid rocky desert" J. Geo. Exp: 20, 311-321.
- Bozcuk S., 1986 "Bitki Fizyolojisi (Metabolik Olaylar)" Hatiboğlu Yayınları s. 176 Ankara.
- Brooks R.R., Lee J. ve Jaffer T., 1994, "Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel", J. Ecol. 62, 493-499.
- Brooks R.R., 1977, "Copper and Cobalt uptake by Haumaniastrum species" Plant and Soil 48, s:541-545.
- Brooks R.R., Cleave J.A. ve Schofield E.K., 1977, "Cobalt and nickel uptake by the Nyssaceae" Taxon 26, s:197-201.
- Brooks R.R., ve Wither E.D., 1977 "Nickel accumulation by Rinorea bengalensis" J.Geo. Exp. 7, 295-300.
- Brooks, R.R., Wither E.D. ve Westra L.Y. 1978. "Biogeochemical copper anomalies on salajar Island Indonesia" J. Geo. Exp. 10, 181-188
- Brooks R.R., ve Radford C.C., 1978, "An Evaluation of background and zinc concentrations in the copper plant Polycarpaea spirostylis and other Australian species of the genus". Proc. Austral. Inst. Min. Metall., 268, 33-37.
- Brooks, R.R., 1979a(Edit), "Biogeochemistry of Nickel", Accumulation of nickel by terrestrial plants in: J. Nriagu Wiley, New York.
- Brooks R.R., 1979b, "Biogeochemical anomalies in Fennoscandia A Study of copper, lead and nickel levels in Melandrium dioicum and Viscaria alpina". J. Geo. Exp., 11, 73-87.
- Brooks R.R., 1979c, "Advances in Botanical methods of Prospecting for Minerals Part II-Advances in Biogeochemical Methods of Prospecting", Economic Geology Report, 31, 397-410.
- Brooks R.R., 1979d, "Indicator Plants for mineral Prospecting" A-Critique" J. Geo. Exp. 12:s:67-78.
- Brooks R.R., Morrison R.S., Reeves R.D., Dudley T.R. ve Akman Y., 1979 "Hyperaccumulation of nickel by Alyssum Linnaeus (cruciferae)" Proc. R. Soc. Lond. Sect. B, 203, 287-403.
- Brooks R.R., Trow J.M., Veillon J-M ve Jaffre T. 1981 "Studies on Manganese-accumulating Alyxia species from New Caledonia" Taxon 30(2), 420-423.

- Brooks R.R., Holzbecher J., Robertson D.J. ve Ryan D.E., 1982. "Biochemical prospecting for Uranium in Nova Scotia., J. of Geo. Exp. 16, 189-195.
- Brooks R.R. ve Yang X-H 1984 "Element levels and relations in the Endemic serpentine flora of the Great Dyke, Zimbabwe and their significance as controlling factors for the flora" Taxon Ağustos 33(3), 392-399.
- Brooks R.R., Baker A.J.M., Romakrishna R.S. ve Ryan D.E. 1985, "Botanic and geochemical exploration studies at the seruwila copper-Magnetite prospect in Srilanka" J. Geo. Exp. 24, 223-235.
- Brooks R.R., Reeve R.D., Baker A.J.M., Rizzo J.A. ve Ferrra H.D. 1988, "The Brazilian serpentine plant Expedition (Braspex)", National Geographic rearch 6(2), 205-219.
- Brooks R.R., Baker A.J.M. ve Malaisse F., 1992 "'Copper flowers" National geographic reasearch and Exploration 8(3)-338-351.
- Canon H.L., 1971, "Use of Plant indicators in ground Water surveys, geologic mapping and mineral prospecting", Taxon 20, 227-256.
- Chaffee M.A., 1975, "Geochemical exploration techniques applicable in the searc for copper deposits" U.S. Geol. Surv. S.26.
- Chaffee M.A. ve Gale III C.W., 1976 "The California popy (Eschscholtzia maxicana) as a copper indicator plant-a new example" J.Geo. Exp. 5, 59-63.
- Cole M.M., 1971, "The importance of environment in biogeographical/geobotanical and biojeochemical investigations" can. ins. Min. Metall. spec. 11, 414-425.
- Çağatay N. ve Eler A., 1978, "Yeryuvarı ve İnsan" TJK yayını, Ağustos, c:3, s:3 Ankara.
- Dunn C.E., 1986 "Biochemistry as an aid to exploration for gold, platinum and paladium in the northern forests of Saskatchewan, Canada" J. Geo. Exp. 25, 21-40.
- Erdman, J.A. ve Kokkola M. 1984, "Workshop 2:Biogeochemistry in mineral Exploration" J. Geo. Exp. 21, 123-128.
- Hall J.S., Both R.A. ve Smith F.A., 1973 "Comparative Study of Rock, Soil and Plant Chemistry in Relation to Nickel Mineralization in the Pioneer Area, Western Australia", Proc. Australas inst. Min. Metall. 247, 11-22.
- Hoening H. ve De Borger M., 1983 "particular problems encountered in trace metal analysis of plant by AAS", Spec. Chem. Acta. 38B (5/6), 673-880.
- Howard-Williams C., 1970, "The ecology of Becium hamblei in central Africa With special reference to metalliferous soils". J.Ecol. 58, 745-763.
- Jaffre T., 1977 "Acumulation of Manganess by species associated with ultrabasic terrain in New Caledonia" (in Fr.). C.R. acad Sci. Paris Ser. D, 284: 1573-1575.
- Jaffre T., Brooks R.R., Trow J.M. 1979 "Hyperacumulation of Nicel by Geissis species" Plant and Soil 51, 157-162.
- Kacar B., 1984, "Bitki Beslenmesi" A.Ü. Ziraat Fak. yay. no. 889, s: 317 Ankara.
- Köksoy M., 1991, "Uygulamalı Jeokimya" H.Ü. yayınları A/64, s:368 Ankara.
- Köksoy M. ve Topçu Ş., 1976, "Jeokimyasal Prospeksiyonun Tanımı ve Laboratuvar Metodları" MTA yayınları eğitim serisi 16, s:96 Ankara.
- Lee J., Brookss R.R., Reeves R.D. ve Boswell C.R., 1975, "Soil Factors Controlling a New Zealand serpentine flora" Plant and Soil 42, 153-160.
- Lee, J., Brooks R.R., Reeves R.D. ve Boswell C.R., 1977, "Plant and Soil Relationship in a New Caledonian Serpentine Flora" Plant and Soil 46, 675-680.
- Malaisse, F., Gregorie, J., Brooks, R.R., Morrison, R.S. ve Reeves R.D., 1978 "Aeolanthus biformifolus: a hyperaccumulator of Copper from Zaire", Science, 199: 887-888.
- Özbek, H., Kaya Z., Gök M. ve Kaptan H. 1993, "Toprak Bilimi" Schehten çeviri. Ç.Ü. Ziraat Fak. Yayınları 73, s.816 Adana.
- Özdemir, Y. 1992, "Türk Çaylarında Kimyasal Bileşimin İncelenmesinde Spektrofotometrik ve Kromotografik Yöntemleri Yeri" İ.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi s. 178 Malatya (Yayınlanmamış).
- Özdemir, Z., 1993, "Biyojeokimyasal Prospeksiyon" F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora semineri, s. 65 Elazığ (Yayınlanmamış).
- Özdemir, Z. ve Sağiroğlu A. 1996, "Botanik Prospeksiyon" M.Ü. Müh. Fak. Derlemeler dizisi, 4, 93-100 Mersin.
- Özdemir, Z., 1996, "Maden Çayı (Elazığ) Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi" F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi s. 145 Elazığ.
- Özkaya, İ., 1980, "Sedimantoloji İlkeleri ve Yöntemleri, Sedimantoloji'de istatistik yöntemler" TJK Yerbilimleri kitaplar dizisi No. 1 Bölüm 9 Ankara.
- Pande, S.K., Deshumkh A.N. ve Shrivostava P.K., 1993 "The significance of the dormant stage in the growth cycle of deciduous plants for biochemical Uranium prospecting", 46, 365-374.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1979, "Geochemistry in mineral exploration", Second edition, Academic press. New york, s.657.
- Schrol, E (ed) 1975, "Analytische Geochemie Enke verl." Bd. I Stuttgart s. 292.
- Schiesinger, V.H., 1992, "Biogeochemistry", Geotimes 37, no.2, s.2.
- Shacklette H.T., 1970, "Mercury content of plants; in U.S." Geol. Survey. Prof. Paper 713, 35-36.
- Shacklette H.T., 1972, "Cadmium in plants" U.S. Geol. Surv. Bult. S. 28.
- Severne B.C. ve Brooks R.R., 1972, "Nickel-accumulating plant from Western Australia", Plant 103, 91-94.
- Stednick J.D. ve Reiese W.C. 1987 "Temporal Variation of Metal Concentrations in Biogeochemical Samples over the Royal Tiger Mine, Colorado, Part II. Between-Year variation" J.Geo. Exp. 27, 53-62.
- Tiagi, Y.D. ve Aery, N.C., 1986, "Biogeochemical Studies at the Khetri Copper Deposits of Rajasthan, India", J. Geo. Exp. 26, 267-274.
- Wellmer, F.W., 1989, "Rechnen für lagerstaetten kundler und Rohstoffwirtschaftleri" verlag Elger, clausthal-zellerfeld" s. 462 Deutschland.
- Valente, I., Minski M.J. ve Peterson P.J., 1986, "Biogeochemical exploration for gold at site in the cordillera cantabrica, spain" J. Geo. Exp. 26, 249-258.
- Vergnano G.O., Gabriell R., Lotti L. ve Polideri V., 1971, "Biogeochemical Aspects of Manganese in the Tosco-Emiliano Region of the Appennines" (in Italy) Webia 25, 353-382.
- Warren H.V., Horsky S.J., Barakso J.J. 1984 "Biogeochemistry; preliminary studies of the biogeochemistry of silver in British Columbia" Cim Bultein, March 1984, 95-98.
- Yates, T.E., Brooks, R.R. ve Boswell, C.R., 1974, "Biogeochemical exploration at copper mine Island, New Zealand"; J. science, 17, 151-159.