

**BOZÜYÜK YÖRESİNDE ENDÜSTRİYEL
FAALİYETLERDEN KAYNAKLANAN AĞIR
METALLERİN BİTKİ VE TOPRAKTAKİ
BİRİKİMİ**

**Hülya Tuna
Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
2001**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hülya TUNA'nın "Bozüyük Yöresinde Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan Ağır Metallerin Bitki ve Topraktaki Birikimi" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 03.10.2001 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı - Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yard. Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL

Üye : Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN

Üye : Yard. Doç. Dr. Arzu ÇİÇEK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
10.10.2001 tarih ve 31/7 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

"Bozüyük Yöresinde Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan Ağır Metallerin Bitki ve Topraktaki Birikimi" başlıklı bu çalışma Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamın başlangıcından beri bilgi, hoşgörü, anlayış ve yardımlarını esirgemeyerek bana vakit ayıran ve önerileri ile çalışmalarımı yönlendiren hocam Sn.Yard.Doç.Dr.A. Savaş Koparal'a, laboratuvar çalışmalarına yardımcı olan Sn.Yard.Dç.Dr. Arzu Çiçek'e, Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarından yararlanmamı sağlayan Sn.Prof.Dr. Ülker Bakır Öğütveren'e, çalışmalarım sırasında bilgisayarını benimle paylaşan ve bana yardımcı olan sevgili arkadaşım doktora öğrencisi Okutman Yusuf Yavuz'a ayrıca odalarını benimle paylaşan ve tüm nazlarıma katlanan sevgili arkadaşlarım doktora öğrencileri Araş.Gör. Ebru Önder ve Araş.Gör. Serdar Göncü'ye,

Bugüne değin, tüm yaşantımda maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, kanımca elde ettiğim başarılardaki en büyük paya sahip, daima yanımda olacaklarına inandığım sevgili aileme

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hülya Tuna

Eylül 2001

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOZÜYÜK YÖRESİNDE ENDÜSTRİYEL FAALİYETLERDEN KAYNAKLANAN AĞIR METALLERİN BİTKİ VE TOPRAKTAKİ BİRİKİMİ

HÜLYA TUNA

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç.Dr. A.Savaş Koparal
2001, 121 sayfa

Endüstriyel alan ile iç içe olan bölgelerde, tarımsal alanlar ve bitki örtüsü direk olarak kirleticilere maruz kalmaktadır. Çeşitli kaynaklardan atmosfere yayılan kirleticilerin bitki ve toprakta birikimi öncelikle kalitenin düşmesine ve verim kaybına neden olmakta, daha sonra ise biyoakümülyasyon ile tüm besin zincirindeki elemanlarda toksik etki yapmaktadır.

Bu çalışmada Bozüyük yöresinde ağır metallerden (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) kaynaklanan hava kirliliğinin boyutlarının belirlenmesi amacı ile ilçedeki bazı bitki türleri ve toprak örneklerinde ağır metal analizleri yapılmıştır. Kasım 2000 ve Nisan 2001 tarihleri arasında yapılan çalışmada 35 farklı noktadan alınan 58 bitki ve 32 toprak örneğinde Atomik Absorpsiyon yöntemi (AAS) ile ağır metal analizleri yapılmıştır. En yüksek ağır metal derişim değerlerine anayol civarlarından toplanan bitkilerde rastlanmıştır. Karayolundan ve demiryolunun güneyinden alınan bazı örneklerdeki ağır metal birikiminin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi hakim rüzgar yönünün kuzey-kuzey batı olmasıdır. Ayrıca Bozüyük merkezine yakın yerlerde de yüksek derişimler elde edilmiştir, bu da fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan ağır metal oluşumunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metaller, Hava Kirliliği, Toprak Kirliliği, Biyomonitörleme

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN PLANT AND SOIL RESULTING FROM INDUSTRIAL ACTIVITIES IN THE BOZÜYÜK REGION

HÜLYA TUNA

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assist.Prof.Dr. A.Savaş Koparal
2001, 121 pages**

Agricultural lands and plants near the industrial areas subject to the pollutants. Accumulation of pollutants come from different sources in plants and soil causes the decreasing in efficiency. And then with the bioaccumulation, contaminants such as heavy metals have toxic effect on the elements of food chain.

In this study, heavy metal analysis have been carried out in some plants and soils to determine the air pollution comes from the heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) in Bozüyük region.

Atomic Absorption Spectrometry has been used to determine the heavy metal concentrations in 58 plant species and 32 soil samples taken from 35 different sampling points between November 2000 and April 2001.

The highest value of heavy metals have been observed in plants collected from the region around motorway. The accumulation of heavy metal in some samples taken from motorway and southern part of railway region were observed to be higher. The reason for this value is direction of prevailing wind to the north and north-west.

In addition, heavy metal concentrations have been found higher in samples taken from the center of Bozüyük. It has been thought that this higher heavy metal concentrations were the result of fossil fuels.

Keywords: Heavy Metals, Air Pollution, Soil Pollution, Biomonitoring

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. HAVA KİRLİLİĞİ	6
2.1. Tanım.....	6
2.2. Hava Kirleticileri.....	7
2.3. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri	9
2.3.1. Hava kirliliğinin bitkiler üzerine doğrudan etkileri.....	10
2.3.1.1. Hava kirletici kimyasal maddelerin tarım ürünleri üzerine etkileri.....	10
2.3.1.2. Hava kirliliğinin yaprak yüzeyine teması ile oluşan zararlı etkileri	11
2.3.1.3. Hava kirliliğinin ormanlar üzerine etkileri.....	11
2.3.1.4. Hava kirliliğinin odun kalitesine etkileri	12
2.3.1.5. Hava kirliliğinin süs bitkileri üzerine etkileri.....	13
2.3.2. Hava kirliliğinin bitkiler üzerine dolaylı etkileri.....	14
3. AĞIR METALLER VE KAYNAKLARI.....	15
3.1. Tanım.....	15
3.2. Metallerin Kaynakları.....	18
3.2.1. Toprak ana maddesi.....	20
3.2.2. Ticari gübreler	20
3.2.3. Pestisidler ve kireç.....	21
3.2.4. Kanalizasyon atıkları	21
3.2.5. Hayvansal atıklar	22
3.2.6. Kömür atıkları	22

3.2.7. Kentsel atıklar.....	23
3.2.8. Atık sular.....	23
3.2.9. Madencilik.....	23
3.2.10. Araçlardan çıkan dumanlar.....	23
3.3. Biyolojik Birikim.....	24
3.3.1. Biyolojik birikimi görülen maddeler ve birikim süreci.....	26
3.3.2. Biyolojik birikimin organizmalara etkisi.....	27
3.3.4. Biyolojik monitorlama.....	28
3.4. Toprak ve Ağır Metaller.....	28
3.4.1. Ağır metallerin toprak üzerine etkileri.....	29
3.4.2. Topraktaki ağır metallerin kimyası.....	29
3.4.3. Toprakta ağır metal birikimi.....	30
3.4.4. Toprak profilleri.....	31
3.5. Bitkiler ve Ağır Metaller.....	32
3.5.1. Bitkilerdeki ağır metallerin seviyeleri.....	33
3.5.1.1. Bitki türleri.....	36
3.5.1.2. Bitki dokuları.....	37
3.5.1.3. Topraklardaki ağır metallerin seviyeleri.....	38
3.5.1.4. Metal kaynaklarından uzaklık.....	38
3.5.1.5. Mevsimlik etkiler.....	39
3.5.2. Bitkilerdeki ağır metallerin toksik etkileri.....	40
3.6. Besin zincirinde ağır metaller.....	40
4. METALLER VE ÖZELLİKLERİ.....	43
4.1. Bakır (Cu).....	43
4.1.1. Bitkilerde Bakır.....	43
4.1.2. Toprakta Bakır.....	43
4.2. Çinko (Zn).....	44
4.2.1. Bitkilerde Çinko.....	44
4.2.2. Toprakta Çinko.....	45
4.3. Demir (Fe).....	46
4.3.1. Bitkilerde demir.....	46
4.3.2. Toprakta demir.....	46

4.4. Kadmiyum (Cd)	47
4.4.1. Endüstriyel Kullanım.....	47
4.4.2. İnsanlar üzerine etkisi	48
4.5. Krom (Cr)	49
4.5.1. Endüstriyel Kullanım.....	49
4.5.2. Metabolizmaya olan etkileri.....	50
4.6. Kurşun (Pb)	50
4.6.1. Atmosferik kurşun kirliliği	50
4.6.2. Kurşun derişimleri	53
4.6.3. Kurşun döngüsü.....	54
4.7. Nikel (Ni).....	54
4.7.1. Kaynakları	55
4.7.2. Endüstriyel Kullanım.....	56
4.7.3. Metabolizmaya olan etkileri.....	57
4.7.4. Nikel derişimleri.....	57
5. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR...	58
6. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI.....	71
7. MATERYAL VE METOT.....	78
7.1. Araç ve Gereçler	78
7.2. Kimyasal maddeler.....	78
7.3. Yöntem	78
7.3.1. Bitkilerde Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn analizleri :	78
7.3.2. Topraklarda Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn analizleri :	79
7.4. Hesaplamalar.....	79
8. BULGULAR.....	80
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
KAYNAKLAR.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Atmosferik aerosol süreçleri aerosol boyut dağılımları	8
3.1. Topraktaki ağır metal reaksiyonlarının sistematik gösterimi	30
3.2. Cd'un kirlenmiş toprak profillerinde derinlikle değişimi	32
3.3. Toprak ve bitkilerdeki Cd	38
3.4. Trafik yoğunluğu ve bitkilerdeki Pb arasındaki ilişki	39
6.1. Büyük için 2000 Ocak ayı ile 2001 Nisan ayı arasındaki verilerden elde edilen rüzgar gülü	74
6.2. Çalışma alanının haritası	76
7.1. Bitki türleri ve lokalitelere karşı çinko derişimleri	85
7.2. Bitki türleri ve lokalitelere karşı bakır derişimleri	88
7.3. Bitki türleri ve lokalitelere karşı demir derişimleri	91
7.4. Bitki türleri ve lokalitelere karşı kurşun derişimleri	94
7.5. Bitki türleri ve lokalitelere karşı krom derişimleri	97
7.6. Bitki türleri ve lokalitelere karşı nikel derişimleri	100
7.7. Bitki türleri ve lokalitelere karşı kadmiyum derişimleri	103
7.8. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan çinko derişimleri	106
7.9. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan bakır derişimleri	107
7.10. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan demir derişimleri	108
7.11. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan kurşun derişimleri	109
7.12. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan krom derişimleri	110
7.13. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan nikel derişimleri	111
7.14. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan kadmiyum derişimleri	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	Normal kuru havanın doğal bileşimi.....	7
2.2.	Havadaki iz elementlerin referans değerleri.....	7
2.3.	Aerosollerdeki ağır metallerin rastgele/ rutin ölçümlerinin derişim oranları.....	9
2.4.	Hava kirliliğinin sebep olduğu bitki hasarları	10
3.1.	Temel elementler	17
3.2.	Kirli topraklarda bulunabilecek elementler ve kaynakları.....	18
3.3.	Tarım alanlarından eklenen birincil kaynaklardan olan ağır metallerin seviyeleri ($\mu\text{g.g}^{-1}$).....	19
3.4.	Doğal kaynaklardan gelen eser elementlerin global emisyonları.....	19
3.5.	1983'de atmosferdeki eser elementlerin doğal ve antropojenik emisyonları	20
3.6.	Kaya ve topraklardaki ağır metallerin ortalama seviyeleri ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	20
3.7.	Ağır metallerin toprakta bulunabilen miktarları ile kirlilik sınırı olarak toprakta kabul edilebilir değerler	31
3.8.	Bitki dokularındaki Cd seviyeleri.....	34
3.9.	Bitki dokularındaki Pb seviyeleri	35
3.10.	Bir bitkinin farklı kısımlarındaki Cd alımı.....	36
3.11.	Bitkilerin değişik dokularındaki Pb derişimleri, ppm.....	37
3.12.	Kurşun eritme tesisi yakınında yetişen bitkilerdeki bazı ağır metallerin seviyeleri	39
3.13.	ABD'de atmosfere yayılan kurşun miktarları.....	51
3.14.	Atmosferdeki doğal kaynaklardan gelen Ni'in global emisyonları	55
3.15.	Atmosferden antropojenik kaynaklardan gelen nikelin global emisyonları.....	56
4.1.	Farklı ülkelerden toplanan yıkanmamış <i>Nerium oleander</i> yapraklarının metal derişimleri (ppm).....	59
4.2.	Deney sonuçları ve literatürden alınan ağır metal derişimleri	60
4.3.	Farklı bölgelerindeki ortalama kurşun seviyeleri	62
4.4.	Trafik yoğunluğuna bağlı olarak Cd, Pb ve Zn derişimlerindeki derişimler.....	65
4.5.	Günlük öğünlerdeki besinlerden alınan metallerin ortalama derişimleri.	69
5.1.	Bozüyük'te toprak gruplarının dağılımı	72
5.2.	Arazi kullanım şekillerinin dağılımı	73
5.3.	Hava kirlitici parametreler, sıcaklık ve nem aylık ortalamaları.....	73
5.4.	Çalışma alanındaki lokalitelerin özellikleri.....	77
7.1.	Yaprakların ağır metal derişimleri, ppm.....	81
7.2.	Toprak örneklerindeki ağır metal derişimleri, ppm.....	84

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Hızla artan dünya nüfusu ve üretimin dengesiz dağılımı, bugünün ve yarının insanlarını "açlık tehlikesi" ile karşı karşıya bırakmakta ve çevre kirliliği de bunun en etkili sonuçlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak, su ve atmosferden oluşan ve adına çevre dediğimiz üçgen, 19. yüzyıldan itibaren korkunç bir hızla sömürülmeye başlanmış, bu güçlü zorlama ve sömürmenin etkisi 20. yüzyılın insanını giderek bozulan bir doğal denge içine sürüklemiştir.

Hava kirliliği bütün dünyanın ortak problemi olmasına rağmen, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde daha fazla görülmekte ve bütün canlıları dolaylı ve dolaysız olarak, olumsuz yönde etkilemektedir. Cansız bir madde olmasına rağmen Mısır'da 3500 yıl boyunca bozulmadan kalabilen bir heykel 1890 yılında New York kentine getirilişinden 60 yıl sonra tanınmaz hale gelmiştir (Kasap ve Dilbirliği 1995).

Hava kirliliği doğal olaylar, sosyal ve ekonomik etkinlikler sonucu oluşan is, duman, gaz, buhar ve aerosol biçimindeki kirleticilerin havanın doğal bileşimini ve yapısını olumsuz yönde etkileyerek insan, hayvan ve bitkilere zarar verecek seviyeye ulaşması olarak tanımlanır (Durmaz 1987).

Fosil nitelikli yakıt maddeleri yakan termik santrallerden, maden ocaklarından, izabe fırınlarından, çeşitli üretim yapan endüstri tesislerinden, ev ve binaların ısıtılması için fosil nitelikli maddelerin yakıldığı ocak ve kazanlardan, çeşitli motorlu araçlardan zararlı maddeler atmosfere verilmektedir. Böyle zararlı maddelerle yüklü hava, bacaların yüksekliğine, hava koşullarına, rüzgarın yönüne ve şiddetine, arazinin topoğrafik yapısına bağlı olarak, yüzlerce metreden bin kilometre uzaklıklara ve dağlara taşınmakta, bir ülkeden diğerine geçmekte, böylece kirli havanın zararlı alanı genişlemektedir (Eraslan 1988).

Yakma sistemlerinden atmosfere yayılan birinci dereceden hava kirleticileri, tozlar, kükürtoksitler, karbonmonoksit ve azotoksitlerdir. İkinci dereceden hava kirleticileri ise hidrokarbonlar, ağır metaller, hidrojen florür ve hidrojen klorürdür. Yanmadan kaynaklanan hava kirliliği, yakılan yakıtın miktarına, yakıtın kirletme ve yanma özelliğine, yakma sistemleri ve işletme

şartlarına, kirletici emisyonların atmosfere verilme biçimine, topoğrafik ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişmektedir (Ceylan ve ark. 1995).

Hava kirliliğinin bitkiler üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkiler en az diğer canlılar üzerindeki etkiler kadar önemlidir. 1945 yılında ABD'nin Tennessee eyaletindeki Copperhill Bakır işletmesi, kısa bir zaman içerisinde çevrenin bitki örtüsünü yok etmiş, fabrika faaliyetini durdurduktan sonra bile çevre ekolojisi eski haline kavuşmamıştır. Benzer etkilerin tamamı ülkemizin Murgul Bakır İşletmeleri civarında hala yaşanmaktadır. Ülkemizin en gözde üretim alanları olan Samsun-Tekkeköy ve Çarşamba ovaları ise Karadeniz Bakır ve Azot Sanayii tesislerinin çıkardığı atıklardan dolayı çöl haline gelmeye yüz tutmuştur. Ülkemizde yeni yeni uyanmaya başlayan sanayileşme ile birlikte Türk insanına yabancı gelen kirlilik kavramı kendiliğinden ortaya çıkmış ve günlük hayatta yerini almıştır (Kasap ve Dilbirliği 1995).

Kirleticilerin en önemlileri ortamda uzun süre bozunmadan kalabilen, özümsemeyen (asimile edilemeyen) ve toksik olan maddelerdir. Bu tür maddelerin havaya, suya veya toprağa belirli miktarların üzerinde karışmaları sonucunda ekosistemdeki tüm canlıların yaşamları ve diğer aktiviteleri üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ekosistemdeki bu olumsuz etkiler nedeni ile diğer kirleticilerle birlikte, organizmalar için toksik özellikler taşıyan ağır metallerin, besin zincirine etkilerini konu alan araştırmalar yapılmıştır (Tunçer ve Uysal 1987).

Bugün "endüstriyel metaller" olarak nitelendirilen 44 metal ve alaşımının kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin bakır elektrik teknolojisinde iletken; germanyum kristalleri doğal rektifier (doğru ışığa çeviren düzenek) ve transistör; kurşun selenür ve tellürleri yarı iletken; manganez kobalt cam yapımında; çeşitli çelik, wolfram ve alüminyum alaşımları, radyoaktif metaller savaş endüstrisinde kullanılırlar. Bunun dışında evlerde besin kapları (alüminyum, bakır, porselen, seramik gibi), su boruları (kurşun) ve çeşitli eşyalar ayrıca süs ve ziynet amacı ile kullanılan eşyalar metal veya metal alaşımlarıdır.

Sayılsız kullanım yeri olan metal ve tuzları farmasötik olarak da kullanılmaktadırlar. İnfeksiyöz hastalıklar için kullanılan metal bileşiklerinin yerini organik maddeler almakla beraber; civalı diüretikler halen kullanılmaktadır.

Lityum karbonat yakın zamanda manik depresif psikozların tedavisinde etkin bir preparat olarak yer almıştır. Bizmut tuzları ise gastrointestinal bozuklukların tedavisi için çok miktarda üretilmektedir.

Metal bileşikleri ayrıca veteriner hekimlikte ilaç (Fowler tuzu gibi); pestisit etken maddesi (fungusit, insektisit, herbisit, rodendisit) olarak da kullanılırlar.

Bir çok metal insanlar ve hayvanlar için gereklidir. Bunlardan 8 element (kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum metalleri ile kükürt, klorür, silisyum ve fosfor ametalleri) olmaksızın insan yaşayamaz. Bu elementlerin yetişkin bir insan vücudundaki miktarı 1000 gram (kalsiyum) ile 18 gram (silisyum) arasında değişir. İnsan vücudunda ayrıca miktarları %0,02'den az, fakat bazıları, çeşitli fonksiyonlar için gerekli 54 kadar eser element bulunmaktadır. Bunlar arasında vanadyum, krom, manganez, demir, kobalt, bakır, molibden ve çinko gerekli eser metallerdir. Vücutta bulunan diğer eser elementlerin (kadmiyum, arsenik, civa, kurşun, berilyum gibi) birçoğunun biyolojik fonksiyonları bilinmemektedir.

İnsan vücudu için gerekli olan ve olmayan metaller başta besinler olmak üzere diğer bazı yollarla (su, hava gibi) alınmaktadır. Böylece "vücut metal yükü" oluşmakta; bazıları ise (alüminyum, vanadyum, titanyum, krom, stronsiyum, kalay, kurşun ve kadmiyum) 40 yaşına kadar birikerek vücuttaki derişimleri artmaktadır (Vural 1984).

Ağır metallerin ve diğer toksik maddelerin canlılar üzerindeki zararlı etkileri ve birikimleri konusunda bir çok ülkede araştırmalar yapılmaktadır. Temelini, toksisite testlerinin ve biyoakümülyasyon deneylerinin oluşturduğu bu çalışmalar ekosistemin korunması açısından oldukça önemlidir (Warren ve ark. 1998).

Son yıllarda ülkemizde de araştırmacılar bu konuya yönelmiş ve biyolojik birikim konusunda çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Örneğin İzmir merkez ve çevre yolları kenarında yaşayan toprak solucanı (*Lumbricus terrestris*) ve ortamlarında trafik kökenli olan kurşun ve kadmiyum kirlenmesinin düzeyleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre gerek *L. terrestris*'te gerekse toprakta, yağışlardan sonra farklı istasyonlarda bu iki toksik metalin birikimlerinin daha da artmakta olduğu saptanmıştır (Yaramaz ve Tunçer 1983).

Diğer bir çalışmada ise İzmir İl merkezi ve çevre yolları kenarında yetişen bitkilerde trafik kökenli olan kurşun, çinko ve kadmiyum kirlenmesinin düzeyleri araştırılmış, bitkilerde kurşun, çinko ve kadmiyum miktarının trafik yoğunluğuna bağlı olarak arttığı ve yoldan uzaklaştıkça azaldığı saptanmıştır (Türkan 1986).

Yapılan araştırmalara göre motorlu taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollardan 100-200 m uzaklıktaki mesafe içinde toprak ve bitki örtüsünde başta kurşun olmak üzere bir çok ağır metalin yüksek düzeyde miktarlarına rastlanmaktadır. Öyle ki toprak ve bitkideki söz konusu ağır metal kirliliği dolaylı olarak insan sağlığını da etkileyebilecek boyutlara varabilmektedir (Çakmak ve ark. 1989).

Canlılar için gerekli besin maddelerini bünyesinde oluşturan doğa yani çevremiz, çeşitli şekillerde kirlenir, zayıflar veya hastalanırsa, buradan elde edilen ürünlerde de bu olumsuz özellikler görülecektir. Çevreyi kirleten bu sakıncalı maddeler gıdalara geçecek ve gıdalar yolu ile de insana kadar ulaşacaktır. Vücudumuzda istenmeyen bir çok yabancı kimyasal maddenin %80-85 kadarının vücuda gıdalardan geçtikleri gerçeğinin ışığında ise, çevre ve özellikle "Gıda Kirlenmesinin" önemi ve ciddiyeti daha da açık olarak ortaya çıkmaktadır (Konar 1989).

Biyolojik birikim, insan açısından ekolojik döngü kavramının önemli bir uygulaması biyolojik birikim denilen olaydır. Bazı kirletici maddeler besin zincirlerinde birikirler, bazıları ise birikmezler. Önce bu iki grup madde arasında genel bir ayırım yapmak gerekir. Cansız çevreye çeşitli yollarla eklenen sentetik maddeler ve diğer kirleticiler, çoğu kez havada ve suda iyice seyreltilerek organizmalara zarar vermeyecek düzeylere indirilirler. Bundan başka zehirleyici niteliği olan pek çok kirletici madde de, ya ortamdaki mikroskobik ayrıştırıcı organizmaların etkisiyle, ya da ortamda doğal olarak yer alan fiziksel ve kimyasal işlemler sonucu zararsız veya daha az zararlı bir şekle çevrilir. Örneğin, azotlu gübre fabrikalarından yan ürün olarak çıkan ve zehirli bir madde olan amonyak, suda okside olur; nitrit ve nitratlara dönüşerek kısa zamanda zehirli olmayan bir şekle gelir.

Bazı kirleticiler ise, ne ortamda seyreltilerek düşük yoğunluklara ulaşabilir, ne de doğal, yahut biyolojik yollarla zararsız maddelere ayrıştırılabilir. Bu tür maddelerin besin zincirlerinin değişik halkalarında bulunan tüketicilerin

dokularında biriktiği grlr. Bazı kirleticilerin hava, su ve toprakta düşük miktarlar da bulunsalar bile, besin zincirlerinin birbirini izleyen halkalarındaki tüketicilerde giderek artan yoğunluklarda bulunması olayına “biyolojik birikim” denir (Kışlaloğlu ve Berkes 1994).

Bu alışmada, Bozüyük Yöresinde bulunan bitki ve topraklardaki Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn metalleri incelenmiş, bundan sonra yapılacak biyoakümülasyon çalışmalarına ışık tutması ve katkıda bulunması amaçlanmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİ

2.1. Tanım

Hava kirliliği, havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek derişim ve sürede bulunmasıdır.

Toplumsal bir olay olan hava kirliliğini meydana getiren temel kaynakları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Fabrika bacalarından çıkan dumanlar,
- Vapur, lokomotif vb. araçlar ile otomobil eksozlarından çıkan dumanlar,
- Kalorifer ve soba gibi ısıtma sistemlerinin çıkardığı dumanlar,
- Anız, çapa ve budama artıkları, ot, çalı, çırpı gibi artıkların yakılmasından meydana gelen dumanlar,
- Orman yangınlarının meydana getirdiği dumanlar.

Kent merkezleri ve civar bölgelerinde meydana gelen kirlilikte sanayii ile birlikte, araç eksozlarından çıkan kirletici gazlar etkin olurken, küçük yerleşim birimlerinde ise tamamiyle bölgede bulunan sanayii tesisleri ve kuruluşları ekolojinin bozulmasına sebep olmaktadır.

Havanın bileşiminde bulunan elementler, normal hava koşullarında, belli derişimlerin üzerine çıktıklarında tüm canlılar için zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle soluduğumuz hava mümkün olduğu kadar ideal hava koşullarından uzak olmamalıdır. Çizelge 2.1 ve 2.2'de normal kuru havanın doğal bileşimi ve havada bulunan iz elementlerinin referans değerleri verilmektedir (Kasap ve Dilbirliği 1995).

Çizelge 2.1. Normal kuru havanın doğal bileşimi

Bileşen	%	ppm
N ₂	78,084	780840
O ₂	20,954	209546
Ar	0,934	9340
CO ₂	0,033	330
Ne	-	18
He	-	5,2
CH ₄	-	1,2
Kr	-	0,5
H ₂	-	0,5
Xe	-	0,08
NO ₂	-	0,02
O ₃	-	0,01-0,04

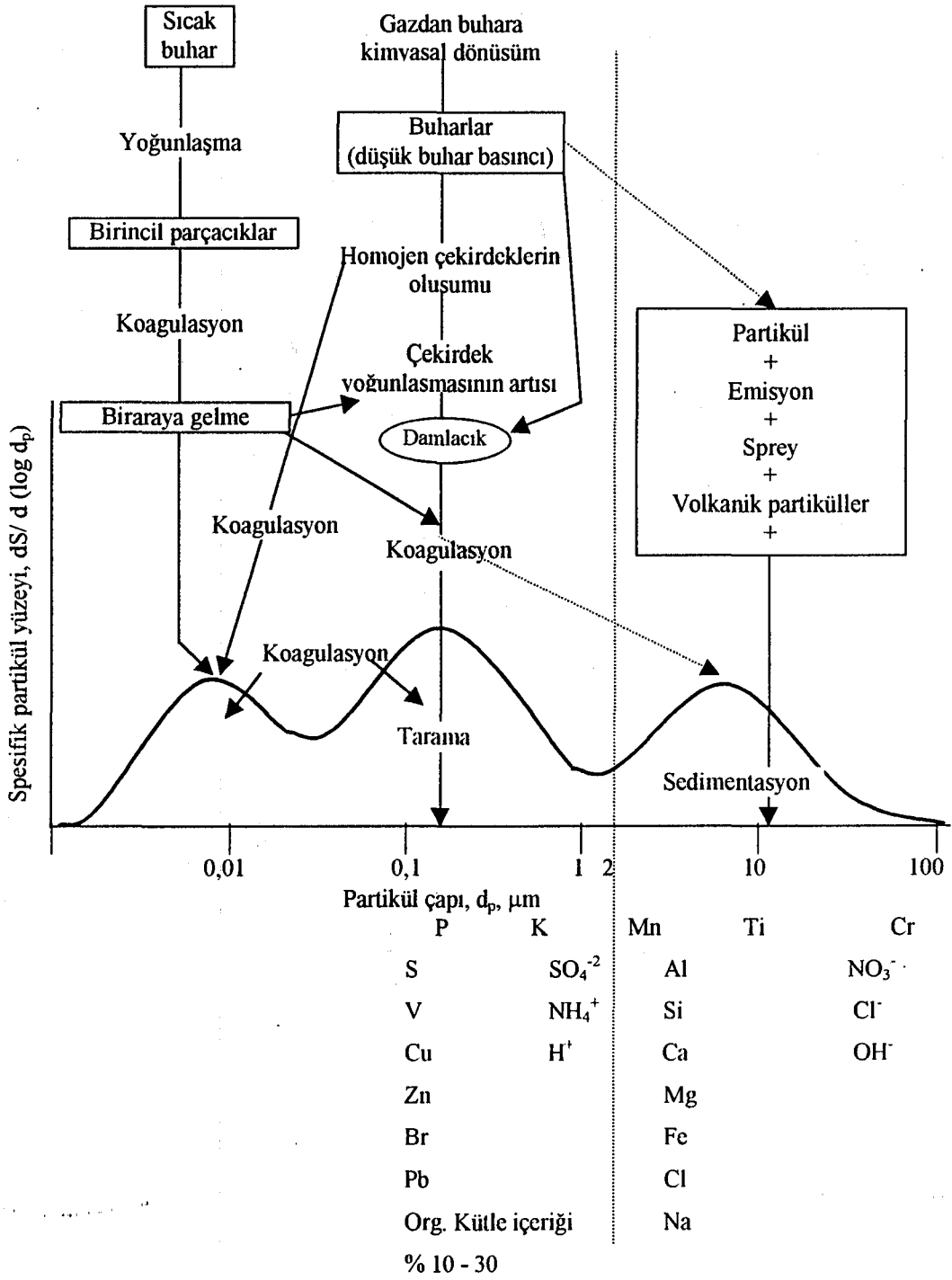
Çizelge 2.2. Havadaki iz elementlerin referans değerleri

Element	Kapalı yerler (µg/m ³)	Açık yerler (µg/m ³)
Cd	50	1,25
Pb	150	2,00
Zn	1000	25,00
Fe	1000	25,00
Ni	100	2,50
Cr	500	12,50

2.2. Hava Kirleticileri

Hava kirliliğini meydana getiren katı maddeler çapları 0,05-20 mikron arasında olan ve havada asılı olarak bulunabilen taneciklerdir. Bunların arasında toz (Ø 20-2 mikron) ve kil (Ø<2 mikron) gibi toprak vb. yüzeylerden gelen katı maddeler bulunduğu gibi, uçucu küllerden (kömür külleri vb.) ve sanayi baca atıklarından kaynaklanan Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, Pb vd. elementler ve bunların bileşikleri ile radyoaktif tozlar (linyit kömürü küllerinden vd.), fosil yakıtların tam yanmamasından kaynaklanan is (hidrokarbonlar, C ve H kökleri) de bulunmaktadır (Kantarci 1995).

Atmosferdeki toz partikülleri sadece büyüklük ve kimyasal yapılarıyla değil, aynı zamanda oluşum mekanizmalarıyla da ayrılırlar. Atmosferdeki aerosol süreçlerinin bir özeti ve aerosol büyüklük dağılımları Şekil 2.1'de verilmiştir. Aynı şekilde, büyüklüklerine göre sınıflandırılmış bileşenlerin partikül boyut dağılımı da özetlenmiştir (Günter 1996).



Şekil 2.1. Atmosferik aerosol süreçleri ve aerosol boyut dağılımları

Tarımsal ve kentsel alanlarda oluşan aerosollerdeki bazı antropojenik ağır metallerin miktarları Çizelge 2.3'de verilmiştir (Günter 1996).

Çizelge 2.3. Aerosollerdeki ağır metallerin rastgele/ rutin ölçümlerinin derişim oranları

Madde	Aerosol bileşenleri / m ³ / derişim oranı					
	Tarımsal alanlar			Kentsel alanlar		
Kurşun	Pb	20	...	60	200	... 1000
Kadmiyum	Cd	0,2	...	2	2	... 20
Bakır	Cu	1	...	10	20	... 150
Nikel	Ni	1	...	10	5	... 20
Çinko	Zn	50	...	100	100	... 1000

2.3. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Katı tanecikler, gazlar, buharlar ile bunlardan oluşan fotokimyasal pus (smog), asit yağışları (yağmur, sis, kırağı, kar) ve fotooksidasyon ürünleri (PAN, Peroksiasetilnitrat), ozon (O₃) vb. maddeler havayı kirlletmektedirler. Bu maddeler bitki yapraklarına ya doğrudan (temas yolu ile) zarar vermekte, ya yapraktaki solunum gözeneklerinin kapakçıklarının açılıp kapanmasını önlemekte (devamlı terleme ile su kaybı), ya da solunum boşluklarına girerek CO₂'in özümlemesi olayına karışmakta ve asit sentezine sebep olmaktadır. Bu nedenle bitki yaprakları zarar görmekte, kurumakta ve bitki ölmektedir. Yağışlarla toprağa ulaşan hava kirlleticileri, toprağın katyonlarının yıkanmasına ve toprağın asitleşmesine sebep olmaktadır. Toprak mikroflorası ve mikrofaunası bu kirli hava ile asitleşmiş ve kirlenmiş yağışlardan olumsuz olarak etkilenmektedir. Bitkilerin kökleri de asitleşmiş, ağır metallerle ve zehirli iyonlarla (Al⁺³) zenginleşmiş toprak suyundan olumsuz olarak etkilenmektedir.

Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki doğrudan olumsuz etkilerinin yanısıra, toprak kirliliği ile oluşan olumsuz etkilerinin üzerinde de önemle durulması gerekmektedir (Kantarıcı 1995).

2.3.1. Hava kirliliğinin bitkiler üzerine doğrudan etkileri

Hava kirliliği; bitkilerin yapraklarına, toprak ve toprak suyu vasıtası ile köklerine ve meyveleri ile gövdeyi oluşturan hücre dokularına (ağaçlarda oduna) olumsuz veya öldürücü etkiler yapmaktadır. Hava kirliliği, kök-yaprak (toprak-

hava-su) ilişkilerinin yanı sıra bitkinin ürün kalitesi ve miktarı (orman ağaçlarında odun verimi ve odunun niteliği) ile de ilgilidir. Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri geniş alanlarda ve çok belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Kantarıcı 1995).

Çizelge 2.4'de metallerin bitkilere zarar verebilecekleri eşik değerleri verilmektedir (Günter 1996).

Çizelge 2.4. Hava kirliliğinin sebep olduğu bitki hasarları

Hasar Mekanizması	Metaller	Eşik değerleri ^a
	Cd, Cr, Co, Ta, V	5...10 ppm
Sindirim fonksiyonlarını ve hücre membran yapısı bozar	Hg, Ni	25...40 ppm
	Cu, Pb	125...140 ppm
	Zn	740 ppm

^a düz veya iğneli yapraklı bitkilerin küllerindeki kütle derişimleri

2.3.1.1. Hava kirletici kimyasal maddelerin tarım ürünleri üzerine etkileri

Hava kirliliği daha ziyade endüstri merkezleri ve kentlerin atmosferinde büyük bir problem olarak ortaya çıktığından bu gibi merkezlerin civarında yapılan bağ-bahçe, çiçek ve sebze ziraatına büyük zararlar vermektedir. Hava kirliliğini meydana getiren bitki zehirleyici maddelerin, özellikle yaprakları yenen sebzelere yaptığı zararlar daha büyük olmaktadır. Gaz halindeki kirleticiler, bitkilerin normal solunumu ile yapraklardaki gözeneklerden içeriye girmekte, başlangıçta yapraklardaki klorofil oluşumunu etkileyerek fotosentezi yavaşlatmaktadır. Yaprakları, kirletici gazlardan etkilenmiş olan bitkilerde normal gelişme etkilendiğinden dolayı üründe azalma meydana gelmekte, bu nedenle yapraklar hava kirliliğinin zararlı etkilerinin en açık olarak görüldüğü bitki organları olarak göze çarpmaktadır. Bir çok zararlı kimyasal madde bitki fizyolojisini dolaylı ve dolaysız olarak etkileyerek zarar vermekte ve bitkiler, hava kirlenmesinden “nekroz” adı verilen yaprak dokusunun eğilip bükülmesi, “klorosis” adı verilen farklı renkte lekeler meydana gelmesi ve büyüme bozulmaları şeklinde zarar görmektedir (Kasap ve Dilbirliği 1995).

2.3.1.2. Hava kirliliğinin yaprak yüzeyine teması ile oluşan zararlı etkileri

Hava kirliliği oluşturan maddeler; bitki yapraklarının yüzeyine temas ile, yapraktaki solunum gözeneklerinin kapakçıklarını tıkayarak, solunum gözeneklerinden içeri girip karbondioksit özümlemesine katkı olarak olumsuz etkiler yapmaktadırlar.

Yaprak yüzeyine temas ile oluşan zararlar, katı madde tanecikleri ve gazların kuru veya nemli-ıslak birikiminin sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Tozlar kısa mesafede çökenler ($\emptyset >10$ mikron) ve daha uzak mesafelere taşınabilenler (uçucu tozlar $\emptyset <10$ mikron), asit veya alkali nitelikli olanlar, ağır metaller (Cd, Cu, Ni, Hg vd.) veya radyoaktif içerikli olanlar şeklinde sınıflandırılabilirler.

Kuru durumda yaprak yüzeyinde biriken tozlar şu zararlara sebep olurlar:

- Yaprak yüzeyinde biriken tozlar güneş ışınlarını geri yansıtıkları için fotosentezi (fiziksel olarak) geriletirler.
- Tozlar, yaprak yüzeyindeki solunum gözeneklerinin kapakçıklarının çevresine yerleşerek onların çalışmasını önlerler. Hava kurduğunda (öğle vakti) kapanamayan kapakçıklardan terleme devam eder. Bitki yaprağı devamlı ve aşırı su kaybından (kuraklık etkisi) zarar görür veya kurur (Kantarıcı 1995).

2.3.1.3. Hava kirliliğinin ormanlar üzerine etkileri

Bitkiler üzerinde olumsuz etkileri bulunan hava kirleticilerinin ormanlar üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Hava kirliliğinin etkisi ile meydana gelen zararlı gazlar; kent ve orman ağaçlarının, metabolik faaliyetlerinin bozulmasına ve ağaçların hastalanmasına neden olmaktadır. Hastalanmış ağaçların kurağa, dona, zararlı böceklere ve mantarlara karşı dirençleri kırılmaktadır.

Ozon ve asit yağmurları, orman ekosistemini etkileyen en önemli hava kirleticiler olarak karşımıza çıkmaktadır. Laboratuvar ve arazi çalışmalarında, bu kirleticilerin yapraklara zarar vererek fotosentez miktarını azalttığı, sert geçen

kurak periyot ile birlikte asit yağmurları, ağır metaller ve ozonun kök gelişimi ile kök fizyolojisini bozarak verimi düşürdüğü saptanmıştır.

Havadaki zararlı maddelerin ağaçların üzerinde ve yetiştiği toprakta depolanması, iki yol ile gerçekleşmektedir. Birincisi, gaz ve partikül halindeki zararlı maddeler, direk olarak ağaçların yaprak ve kabuklarında ve toprağın üzerinde depolanmaktadır. Buna "kuru depolama" veya "kuru birikme" denilmektedir. Bu biriken maddeler, yağmur, kar ve sisin etkisi ile suda çözünerek, çeşitli asitlere dönüşmektedir. İkincisinde ise, zararlı maddeler daha havada iken yağmur, kar ve sisin etkisi ile asitlere dönüşerek, asitli yağmurlar halinde ağaçların ve ormanların üzerine, ormanın toprağına ve sularına ulaşmaktadır. Ağaçların köklerinde depolanan asitlerin etkisi ile su ve besin maddelerinin dolaşımı bozulmakta, ayrıca topraktaki ağır metallerin çözünmesi ile kök zehirlenmesi meydana gelmekte, topraktaki yaşam değişmekte, kök mantarları ve mikroorganizmalar ölmektedir.

Hava kirliliğine karşı ağaçların göstermiş oldukları hassasiyet, ağacın türü, gelişme dönemi, ağacın yaşı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna göre; Gökmar (Abies), Ladin (Picea) ve Pseudotsuga çok duyarlı, Pinus sylvestris, Pinus strobus, Melez (Larix), Ihlamur (Tilia), Fagus silvatica ve Carpinus betulus duyarlı, Pinus nigra austriaca, Taxus baccata, Meşe (Quercus), Kavak (Populus), Akçaağaç (Acer), Kızılağaç (Alnus), Söğüt (Salix) ve Huş (Betula) ağaçları ise hava kirliliğine az duyarlı olarak kabul edilmektedir (Kasap ve Dilbirliği 1995).

2.3.2. Hava kirliliğinin bitkiler üzerine dolaylı etkileri

Havayı kirleten katı maddelerin, gaz ve buharların yağışlarla toprağına inmeleri, toprağı ve toprak suyunu etkilemeleri, besin maddelerini ve suyu topraktan alan bitkileri de dolaylı olarak etkilemektedir.

Toprağın özellikleri, oluştuğı anakayanın özelliklerine bağlıdır. Zamanla iklim, yeryüzü şekli, canlılar (özellikle bitki örtüsü) gibi faktörlerin etkisi altında toprağın özelliklerinde bazı değişimler ve gelişmeler olmaktadır. Ancak anakayadan gelen mineraller, bu minerallerin içerdikleri katyonlara göre oluşan 2

veya 3 tabakalı kil mineralleri, toprağın killi (geçirimsiz) veya kumlu oluşu, kil minerallerinde tutulan katyonlar ve humusun nitelikleri ile mikrobiyolojik faaliyetin durumu toprağın önemli özellikleri arasındadır. Bütün bu toprak özellikleri toprak suyundaki katyonların cinsini ve miktarını etkilemektedir. Bu özelliklere dayanarak toprağın reaksiyonu tampon alanlara ayrılmıştır. Minerallerin ve organik maddelerin (humus) ayrışması ile serbest kalan katyonlar ile anyonlardan fosfatlar toprak kolloidleri tarafından tutulur. Bu iyonlar bitki kökleri tarafından su ile birlikte alınırlar (bitki besin maddeleri). Yaprak dökümü ile toprak yüzeyine inen organik maddeler ise toprak hayvancıkları ve mikroorganizmalar tarafından parçalanıp ayrıştırılırlar. Bu ayrışma ürünleri yağış suları ile toprağın derinliklerine sızar, kil mineralleri tarafından tutulur ve bitki besin maddesi olarak kökler tarafından yeniden alınır (Kantarıcı 1995).

3. AĞIR METALLER VE KAYNAKLARI

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bazı elementlerin üretiminin ve gereksinimin sürekli artış göstermesi, bunların çevreye yayılma ve bulaşma olasılığını arttırmaktadır. Bir element gerek maden cevheri halindeyken gerekse işlenirken doğaya karışabilmektedir. Tarımsal atıklar ve diğer katı atıkların karada düzenlenmesi için açılan biriktirme sahaları da toprağın metal yükünü arttırabilmektedir. Japonya'da İtaitai ve Minamata hastalıklarının ortaya çıkmasıyla, ilgi odağı haline gelen ağır metaller ile ilgili çalışmalar son 30-40 yılda artış göstermiştir. Son hesaplamalara göre ortalama ~ 0.5, 20, 240, 250 ve 310 milyon ton Cd, Pb, Cu, Zn ve Cu çıkarılarak işlenmiş ve bir kısmı biyosferde birikmiştir. As, Cd, Pb, Cu ve Zn'nun antropojenik kaynaklarının ise sırasıyla 22000, 73000, 400000, 56000 ve 214000 ton civarında olduğu ve atmosferden diğer ekosistemlere dağıldığı hesaplanmıştır. Genel olarak antropojenik kaynaklardan giriş, doğal kaynaklardan girişin birkaç kat üzerindedir. Bu durum insan etkinliklerinin tüm dünyadaki ağır metallerin döngülerini etkilediğini göstermektedir (Öztürk ve ark. 1992).

3.1. Tanım

Bitkilerin beslenmesi için gerekli olan ve üzerinde en çok çalışılan elementler; B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn'dür. Benzer şekilde hayvanlar için gerekli besinler olmaları nedeniyle, gıda maddelerinde ve bitkilerde araştırılan elementler ise Cu, Co, Fe, Mn, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn ve V'dür. "İz element" deyimini farklı bilimsel disiplinlerde farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Bu deyim doğal sistemlerdeki bir grup elementin çok küçük derişimini ifade etmesinin yanında, organizmalar tarafından az miktarlarda alınan fakat beslenmeleri için gerekli olan veya fizyolojik işlevi bilinmeyen elementleri de belirtmektedir. Yer bilimciler ise bunları biyosferde kaya oluşturan O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K ve Mg gibi sekiz elementin dışındakiler olarak görürler. Genelde bir element litosferde %0,01'den daha az düzeylerde bulunduğu "iz" olarak kabul edilmektedir. Biyomedikal veya biyokimyasal araştırmalar bunların bitki ve hayvan dokularında

organizmanın %0,01'den daha az derişimde bulunduğunu kabul eder. Beslenmede iz elementler, milyonda 20 birim (ppm) düzeyindeki elementler olarak tanımlanırlar. Ancak Mn ve Zn gibi besleyiciler bu derişimin üzerine çıkabilmektedir. İz elementler için kullanılan diğer bir tanım ise; doğal ve bozulmuş sistemlerde küçük oranlarda yeterli olup, aşırısı tüm canlılar için toksik olanlardır. İz elementler için kullanılan diğer deyimler "iz metaller", "iz elementler", "iz inorganikler", "mikro besleyiciler", "mikro elementler" ve "küçük elementler"dir. Literatürde yoğunlukları 5'den daha fazla olan elementler için "ağır metal" deyimini kullanılmıştır. Aşağıdaki özellikleri taşıyan bir element canlılar için gerekli olarak kabul edilmektedir (Öztürk ve ark. 1992):

- Elementin yokluğu, anormal büyümeye veya yaşam döngüsüne etki ederek erken yaşlanma ve ölüme neden olmalı,
- Etki özđün olmalı ve yerini başka bir element almamalı,
- Metabolizma ve büyümeyi doğrudan etkilemeli, element diğer besinlerle ya da tek olarak alındığında tutarlı büyüme yanıtları göstermeli,
- Besleyicilerde yetersizliği, uygunsuzluğu belli olmalı,
- Hayvan dokuları ve kanda oluşan etkilere göre yeterlilik düzeyi bilinmelidir,
- Yüksek bitkiler için B, Cu, Mn, Mo ve Zn; algler ve bakterilerde azot bağlanması için Se ile V gereklidir. Hayvanlarda ise Cu, Co, Zn, Mn, Se, Cr, V, Sn, Ni, F, Mo daha önemlidir.

Bitkiler ve hayvanlar için temel elementler Çizelge 3.1'de verilmektedir (Wild 1998).

Çizelge 3.1. Temel elementler

Bitkiler	Hayvanlar	Tipik toprak içeriği	
		Ortalama	Dağılım
<i>Temel besinler</i>			
Karbon	Karbon	% 2,0	0,700 - % 50
Hidrojen	Hidrojen		
Oksijen	Oksijen		
Azot	Azot	% 0,2	< 0,002 - > % 2,5
Fosfor	Fosfor	% 0,04	0,002 - % 0,6
Potasyum	Potasyum	% 1,8	0,005 - % 7,9
Kükürt	Kükürt	433	3 - 8200
Kalsiyum	Kalsiyum	% 2,0	0,01 - % 32
Magnezyum	Magnezyum	% 0,83	0,005 - % 16
*	Sodyum	% 1,1	< 0,005 - % 10
m	Klor	485	18 - 806
<i>Mikro besinler</i>			
Boron	*	38	0,9 - 1000
Klor	M	485	18 - 806
*	Kobalt	12	0,3 - 200
*	Krom	84	0,9 - 1500
Bakır	Bakır	26	2,5 - 60
*	Flor	270	6 - 7070
*	İyot	7	< 0,09 - 80
Demir	Demir	% 3,2	0,01 % 21
Mangan	Mangan	761	< 1 - 18300
Molibden	Molibden	1,9	0,07 - 5
*	Nikel	34	0,1 - 1523
*	Silikon (1)	% 60	50 - % 70
*	Selenyum	0,41	0,03 - 2
*	Kalay	5,8	0,1 - 40
*	Vanadyum	108	3 - 1000
Çinko	Çinko	60	1,5 - 2000

Not: M = temel besinler, m = mikro besinler, * = tespit edilememiş, (1) dioksit olarak alınmıştır. % 'nin dışındaki ölçümler mg.kg⁻¹ olarak alınmıştır.

3.2. Metallerin Kaynakları

Topraktaki ağır metallerin antropojenik kaynakları ya birincil kaynaklar yani gübreleme gibi toprak işleminin bir sonucu olarak toprağa eklenen ağır metaller, ya da ikincil kaynaklar yani maden eritme veya aerosol birikimi gibi faaliyetlerin bir sonucudur. Kaynaklardan bazıları ve toprakta biriken elementler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kirli topraklarda bulunabilecek elementler ve kaynakları

<i>Kaynak</i>	<i>Belirli element</i>
Birincil Kaynaklar	
Gübreler (fosfatlı)	Cd, Pb, As
Kireç	As, Pb
Pestisitler	Pb, As, Hg
Atık çamur	Cd, Pb, As
Sulama	Cd, Pb, Se
Gübre	As, Se
İkincil Kaynaklar	
Otomobil aerosolleri	Pb
Maden eritme alanları	Pb, Cd, Sb, As, Se, In, Hg
İnsineratörler	Pb, Cd
Maden sahaları	Pb, Cd, As, Hg
Dış lastik	Cd
Boya	Pb, Cd
Deniz	Se
Çöp döküm alanları	Pb, Cd, As
Uzun yayılımı olan aerosol	Pb, As, Cd, Se
Kömürün yanması	As, Se, Sb, Pb
Kloralkali piller	Hg

Tarımsal alanlara birincil kaynaklardan eklenen ağır metallerin bazı tipik değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir (Fergusson 1990).

Çizelge 3.3. Tarım alanlarından eklenen birincil kaynaklardan olan ağır metallerin seviyeleri ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

M	Fosfat gübreleri	Nitrojen gübreleri	Kireçtaşı	Atık çamur	Gübre	Sulama suyu*	Pestisitler **
Cd	0,1-190	<0,1-9	<0,005-0,1	2-3000	<0,1-0,8	<0,05	
Pb	4-1000	2,120	20-1250	2-7000	0,4-16	<20	11-26

*Kısa süreli kullanım için Su kalitesi kriteri, **pestisitteki % element

Kaynakların yoğunluk ve uzaklıklarına ve atmosferik koşullara bağlı olduğu için ikincil kaynakların sebep olduğu ağır metallerin miktarlarını belirlemek daha zordur. İngiltere'de topraklara ikincil kurşunun eklenmesine dair bir çalışma yapılmış ve 1946'dan beri otomobillerden eklenen kurşun, tarımsal alanlardaki yüzey topraklarında $\sim 3\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ve şehir alanlarında $<10\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Doğal kaynaklardan gelen eser element emisyonları Çizelge 3.4'de ve 1983 yılında atmosferde bulunan eser element emisyonları ise Çizelge 3.5'de verilmiştir (EHC-135 1992).

Çizelge 3.4. Doğal kaynaklardan gelen eser elementlerin global emisyonları (x 1000 ton/yıl)

	Kadmiyum	Bakır	Kurşun	Çinko				
Rüzgarla taşınan toprak patikülleri	0,01-0,4	0,21	0,9-15	8,0	0,3-7,5	3,9	3,0-35	19
Deniz tuzu püskürmesi	0-0,11	0,06	0,23-6,9	3,6	0,02-2,8	1,4	0,02-0,86	0,44
Volkanlar	0,14-1,5	0,82	0,9-18	9,4	0,54-6,0	3,3	0,31-19	9,6
Orman yangınları	0-0,22	0,11	0,1-7,5	3,8	0,06-3,8	1,9	0,3-15	7,6
Biyojenik kontinental partiküller	0-0,83	0,15	0,1-5,0	2,6	0,02-2,5	1,3	0,3-5,0	2,6
Biyojenik kontinental uçucular	0-0,8	0,04	0,01-0,62	0,32	0,01-0,38	0,2	0,02-5,0	2,5
Biogenic deniz	0-0,1	0,05	0,02-0,75	0,39	0,02-0,45	0,24	0,04-6,0	3,0
Toplam emisyon	0,15-2,6	1,3	2,3-54	28	0,97-23	12	4,0-86	45

Çizelge 3.5. 1983'de atmosferdeki eser elementlerin doğal ve antropojenik emisyonları (x 1000 ton/yıl)

Eser Elementler	Antropojenik kaynaklar	Doğal kaynaklar	Toplam emisyon	Doğal/ Toplam Emisyonlar
Kadmium	7,6 (3,1-12)	1,3 (0,15-2,6)	8,9 (3,2-15)	0,15
Bakır	35 (20-51)	28 (2,3-54)	63 (22-105)	0,44
Kurşun	332 (289-376)	12 (0,97-23)	344 (290-399)	0,04
Çinko	132 (70-194)	45 (4,0-86)	177 (74-280)	0,34

3.2.1. Toprak ana maddesi

Antropojenik etkilerin olmadığı bölgelerde toprağın metal içeriği toprağı oluşturan kayaların parçalanmasına bağlıdır. Yaşlı topraklarda anakayanın etkisi daha az belirgindir (Öztürk ve ark. 1992).

Çizelge 3.6'da kayalardaki ve topraklardaki elementlerin (Cd, Pb) ortalama seviyeleri verilmiştir (Fergusson 1990).

Çizelge 3.6. Kaya ve topraklardaki ağır metallerin ortalama seviyeleri ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

Element	Bazik* kayalar (bazalt)	Asidik* kayalar (granit)	Sediment kayalar	Topraktaki oran	Topraktaki yaklaşık ort. Değer
Cd	0,13	0,09	0,17	0,01-2	0,35
Pb	3	24	19	2-300	19

*Volkanik kayalar.

3.2.2. Ticari gübreler

Topraklarda genellikle bitki yetiştirilmesine elverişli Zn, Mn, Fe, Cu, Mo ve B olmak üzere altı mikroelementin bulunması önerilir. Aslında mikroelement bölgelere ve bitkilere göre ayrıcalık gösterir. Örneğin; sebzeler tarla, yem veya meyve ve çerez bitkilerine göre elementlere daha fazla gereksinim duyarlar. Ticari gübrelerde az miktarlarda çeşitli iz elementler bulunur. Örneğin fosforlu gübreler fosfat kayalarından kaynaklanan diğer iz elementlerin yanı sıra farklı miktarlarda Zn ve Cd içerirler. Bazı araştırmacılara göre, 500 kg/ha diamonyum fosfat kullanımı ile 100 yıllık dönemde sırasıyla 14.25, 0.05, 1.50, 9.75, 1.90 ve 0.24

(bin ton olarak) Zn, Cn, Cd, Cr, Ni ve Pb toprağa karışmaktadır (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.3. Pestisidler ve kireç

Tarımda verimi arttırmak için, böceklerin ve diğer zararlıların kontrolünde herbisidler, insektisidler, fungusidler, rodentisidler vb. pestisidler yaygın olarak kullanılırlar. Bu uygulama sonucu toprağa geçen element miktarı kullanılan pestisite bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin; uygulama başına kurşun arsenat'tan 0,5 kg/ha As ve 2,3 kg/ha Pb gibi yüksek düzeyde element toprağa geçebilir. Bu miktarlar bir meyve bahçesinde birkaç kg'lık düzeye ulaşabilir. Toprakların asiditesini ayarlamak ve besleyici taşınımını optimize etmek için yaygın olarak kireç kullanılır. Bunun için kireç taşı, kalsit ve dolamitten yararlanılır. Uygulanan kireç miktarı toprağın asiditesine ve diğer kimyasal özelliklerine bağlıdır. Aşırı kireçlenmenin zarara yol açmayacağı veya pH kontrolünün kesin gerekli olduğu topraklar dışında, kullanılacak minimum kireç oranınının 32 ton/ha olması gerekir. Kimyasal bileşimine bağlı olarak hektara 4,5 ton kireç verildiğinde, ortalama 1.140 kg Zn, 1.48 kg Mn, 0.012 kg Cu eklenmiş olur (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.4. Kanalizasyon atıkları

Kanalizasyon atıklarının toprağa verilmesi çok eski bir uygulama olup, çevre üzerindeki etkileri son zamanlarda sürekli gündemdedir. Bu atıkların denizlere deşarjı veya yakılması problemler yarattığından özel birikim alanlarına aktarılması söz konusudur. En ekonomik yol toprağa verilmesi olmasına karşın, artırılmadan yapılan böyle bir uygulama toprakta kirleticilerin miktarını arttırarak pek çok çevre sorununa neden olmaktadır. Atıklar ve çöpler büyük oranlarda bitki besleyicileri ve metaller içerirler. Uygulamalarda gübrenin değeri ağır metal derişimini belirler, özellikle Cd, Zn, Cu, Pb ve Ni'in aşırı bulunması bitkilere ve ürüne zarar verir. Topraklarda ağır metal miktarı, atıkların ağır metal içeriklerine göre artar. Derişimler kanalizasyon atıklarının cinsine göre farklılık gösterir.

Sanayii atıklarının bulunmadığı yerlerde değerler düşük olup, kentleşme ve sanayileşme arttıkça çevrede ağır metal miktarları artmaktadır. Bu nedenle atıklar toprağa boşaltılmadan önce, gübre ve metal yükleri konusunda bir ön araştırma yapılmalıdır (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.5. Hayvansal atıklar

Bu tip atıklarda element derişimleri çok değişkendir. Hayvanın yaşı, besin miktarı, yaşama biçimi farklılık yaratmaktadır. Süt ve domuz eti üreticiliğinde besinlere %1 bakır sülfat ve %1 iyotlu kobalt tuzları cinsinden Cu ve Co katılır. Domuz ve kümes hayvanları beslenmesinde antibiyotik eksikliğinde yemlere 250 ppm civarında Cu ve 100-200 ppm Zn eklenmektedir. Bu hayvanlardan elde edilen gübreler normalin 10-40 katı Cu ve 4-10 katı Zn içermektedir. Bu gübrelerin azot gübrelemesindeki oranlarda uygulanması halinde hektar başına yılda 3-6 kg Cu eklenmiş olur. Kanalizasyon atıklarından farklı olarak hayvan dışkıları nadiren zararlı oranlarda metal içerirler. Bu dışkılar günlük olarak büyük miktarlarda üretildiklerinden işlenmeleri sorun olur. Başlıca sorunlar N ve tuzların fazlalığı ile bitkilerde meydana gelen besin dengesizliğidir (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.6. Kömür atıkları

Dünyada üretilen maden kömürü ve linyitin miktarı, yetmişli yıllarda $3,4 \times 10$ ton/yıl civarında olup, bu miktar gittikçe artmaktadır. Bunun büyük bir kısmı elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Bunun sonucu havaya karışan kül miktarı çok yüksek olup çok az bir bölümü çimento yapımında, beton karışımında, seramik ve diğer ürünlerde kullanılmaktadır. Kömür atıkları ve bunların canlılara karşı etkileri çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kömür kalıntılarındaki ağır metal içeriği, ana kömür bileşimine, madencilik şartlarına göre depolama, taşıma ve iklim koşullarına bağlı olarak farklılık gösterir. Kömür kalıntılarında yüksek oranda As, Cd, Mo, Se ve Zn bulunabilir. As, B, Mo, Se ve V ise besin zincirine girerek biomagnifikasyon oluşturabilir.

3.2.7. Kentsel atıklar

Kağıt, cam, seramik, metal ve odun gibi kentsel atıkların toprağa uygulanması en ucuz ve en çok kullanılan yöntemdir. Atıkların kompostunun ev ve bahçelerde kullanımı önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Ancak bunun sınırlı bir pazarı bulunmaktadır. Evsel atıkların ancak %1'i tarım için kullanılabilir. Toprakta kullanıldıklarında Zn, Cu, Ni fitotoksositeye neden olabilmektedir (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.8. Atık sular

Atık sular da ağır metal yönünden potansiyel tehlike yaratabilirler. Cd, Zn, Cu, Ni ve Pb gibi metaller atık sulardan toprağa geçerek tehlike yaratmaktadır.

3.2.9. Madencilik

Metal sanayi çevremizde ağır metallerin birikiminde önemli rol oynamaktadır. Pb, Ni, Cu ve Zn sanayilerinde madenlerin çıkarılmasından, işletilmesine kadar olan tüm kademelerde yüksek oranlarda Pb, Cu, Zn, Co, Mn atmosfere eklenmektedir (Öztürk ve ark. 1992).

3.2.10. Taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazları

Egzoz gazlarının bileşiminde bulunan karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC), kurşunlu bileşikler, çinko ve kadmiyum gibi elementler hayvan ve bitkilerde çok sayıda olumsuz etkiye yol açmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu yerlerde yetişen bitkilerin yapraklarında metal, yağ ve toz damlacıklarının siyah bir tabaka meydana getirdiği ve stomaları kapatmak suretiyle fotosentez hızını yaklaşık % 20 oranında azalttığı belirtilmektedir. Yol kenarında yetişen bitkilerde çinko, kurşun ve kadmiyum elementlerinin trafik yoğunluğuna bağlı olarak önemli miktarlarda birikim gösterdiği saptanmıştır. Harnandez ve arkadaşları (1987) şehir içindeki trafik kirliliğine maruz kalan

çeşitli bölgelerden aldıkları zakkum (*Nerium oleander*) örneklerinde yüksek miktarda kurşun birikimi olduğunu tespit etmişlerdir. Meyve ve sebze konservelerinde yapılan analizlerde kurşun ve kadmiyum elementlerinin varlığı tespit edilmiş ve bunun da trafik kökenli olduğu rapor edilmiştir.

Ülkemizde salatalık ve buğdayda yapılan bir çalışmada egzoz gazının etkisiyle bitkilerin yapraklarında klorozis ve nekrozis gözlenmiş, büyümenin engellendiği, yapraklarda stomaların kapandığı, epidermis, mezofil ve iletim dokularının bütünlüğünün bozulduğu, klorofil miktarı ve biyokütlesel verimliliğin azaldığı tespit edilmiştir (Munzuroğlu ve Baltepe 1993).

Önem sırasına göre sanayileşmiş ülkelerde ağır metal kirlenme nedenlerini; hava kirlenmesi, nehirlerdeki sediment birikimi, evsel atıklar, kanalizasyon atıkları, tarımsal kimyasallar ve atıklar şeklinde sıralayabiliriz (Öztürk ve ark. 1992).

3.3. Biyolojik Birikim

Cansız çevreye çeşitli yollarla eklenen sentetik maddeler ve diğer kirleticiler, çoğu kez havada ve suda iyice seyreltilerek organizmalara zarar vermeyecek düzeylere indirilirler. Bundan başka zehirleyici niteliği olan pek çok kirletici madde de, ya ortamdaki mikroskobik ayrıştırıcı organizmaların etkisiyle, ya da ortamda doğal olarak yer alan fiziksel ve kimyasal işlemler sonucu zararsız veya daha az zararlı bir şekle çevrilirler.

Bazı kirleticiler ise, ne ortamda seyreltilerek düşük yoğunluklara ulaşabilir, ne de doğal, ya da biyolojik yollarla zararsız maddelere ayrıştırılabilir. Bu tür maddelerin besin zincirlerinin değişik halkalarında bulunan tüketicilerin dokularında biriktiği görülür. Bazı kirleticilerin hava, su ve toprakta düşük miktarlarda bulunsalar bile, besin zincirlerinin birbirini izleyen halkalarındaki tüketicilerde giderek artan yoğunluklarda bulunması olayına "biyolojik birikim" denir.

Biyolojik birikim, organizmaların büyümesi ve beslenmesi için gerekli bir süreçtir. İnsanlar ve hayvanlar, yaşam için gerekli besin maddelerini, A, D ve K gibi vitaminleri, eser mineraller, yağ ve aminoasitleri akümüle ederler.

Biyoakümülyasyon, bir kimyasalın alıkonması, depolanması ve elenmesi etkileşimlerinin sonucu olarak ortaya çıkan bir süreçtir.

Alıkoyma: Biyolojik birikim, bir kimyasalın bir organizma hücreğine girmesiyle başlar. Kimyasallar, yüksek derişimden düşük derişimlere difüze olma eğilimindedirler. Difüzyon gücü veya basıncı kimyasal potansiyel olarak bilinir ve bir kimyasalın dışarıdan bir organizmanın içine girmesini sağlar. Bazı maddelerin kimyasal potansiyelini arttıran pek çok faktör vardır. Örneğın, bazı kimyasallar, suyla iyi karışmaz. Bunlar “yağ seven” anlamına gelen lipofilik veya “su sevmeyen” anlamındaki hidrofobik kimyasallardır. Bu tür kimyasallar, sudan ayrılıp bir organizma içine girme eğilimindedir.

Depolama: Bazı kimyasallar, proteinlere bağlanarak veya yağlarda çözünerek belirli yerlere çekilerek depolanırlar. Eğer alıkoyma yavaşlar veya devam etmezse, organizma sonunda kimyasalı elimine eder. Alıkoyma ve depolamada önemli bir faktör de suyun çözünürlüğüdür. Yani bir kimyasalın suda çözünebilmesidir. Genellikle, yüksek su çözünürlüğüne sahip bileşikler düşük bir biyoakümülyasyon potansiyeline sahiptirler. Ağır metaller ve bazı diğere suda çözünür kimyasallar bu durumun dışındadır. Çünkü bunlar organizma içerisinde özel yerlerde birbirlerine sıkıca bağlanmış durumdadırlar.

Örneğın kobalt, suda çözünür olmasına rağmen, karaciğerde belli bölgelere sıkıca bağlanır ve orada birikir. Benzer akümülyasyon süreçleri, civa, bakır, kadmiyum ve kurşun için de geçerlidir.

Eleme: Yağda hemen çözünen fakat suda çözünmeyen kimyasallar, organizma tarafından daha yavaş elimine edilirler. Pek çok metabolik reaksiyon bir kimyasalı suda daha çok çözünür formlara dönüştürür.

Bir kimyasal bir organizmanın içine girdiğinde, dağılır, vücuttan atılır veya depolanır. Vücuttan atma ve depolama, organizma içindeki kimyasalın derişimini azaltır. Bir kimyasala sabit çevre maruziyeti süresince, organizma içinde biriken bir kimyasalın miktarı dinamik bir dengeye ulaşır. Bir kimyasal organizma içine depolanma, azalma ve vücuttan atılma işlemlerinden daha hızlı bir şekilde girer. Sabit maruziyetle, organizma içindeki derişim dereceli olarak artar. Sonunda, organizma içindeki kimyasal derişimi, organizma dışındaki kimyasal derişimiyle dengeye ulaşır ve organizmaya giren kimyasal madde

miktarı organizma dışına çıkan kimyasal madde miktarıyla aynı olur. Organizma, içindeki miktar sabit kalmasına rağmen, kimyasal alıkonma, depolanma ve vücuttan atılma işlemlerini sürdürür. Uzun süre çok miktarda kimyasal maddeye maruziyet, zararlı etkilere sebep olarak dengeyi yok edebilir.

Bir kimyasalın alıkonması ve elenmesi arasındaki süre doğrudan biyoakümülyasyonu etkiler. Benzer şekilde, maruziyet süresi de biyoakümülyasyonu etkileyen önemli bir faktördür. Büyük, uzun ömürlü, düşük metabolizma hızlarına sahip organizmalar veya türler, küçük, ince, kısa ömürlü organizmalara göre daha fazla biyoakümülyasyona uğrarlar (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

3.3.1. Biyolojik birikimi görülen maddeler ve birikim süreci

Biyolojik olarak biriktirilen maddelerin başlıcaları DDT, PCB gibi sentetik organik kimyasallar, bazı radyoaktif maddeler ve bazı ağır metallerdir.

Biyolojik birikimin klasik örnekleri DDT ve PCB'lerdir. Bu sentetik maddelerin organizmalarda biyolojik olarak biriktirilmesi üç nedene dayanır.

- Bu tür maddelerin doğada kimyasal, ya da biyolojik yollarla ayrıştırılamaması, ya da çok yavaş parçalanması,
- Bu maddelerin suda çözünmeyip, yağda çözünür olmaları nedeniyle organizmaların yağ dokularında birikebilmeleri,
- İkinci Termodinamik Kanunu gereğince besin zincirlerinde enerji aktarımlarının randımsız oluşu.

Biyolojik birikimi saptanan sentetik maddelerin besin zincirlerindeki konsantrasyonlarının; toprakta ve sudaki değerlerin yüzlerce, binlerce, ya da birkaç milyon katına çıktığı sık sık gözlenir. DDT'nin tatlı su besin zincirlerinde 75,000-150,000 kat arttığı, okyanuslarda ise bu artışın deniz suyundakinin birkaç milyon katı olduğu hesaplanmıştır. Genel olarak, zincir ne kadar uzun olursa tüketici hayvan besin zincirinin ne kadar üst halkasında olursa, dokularda biriken madde derişimi o kadar fazla olur. Daha az halkalı kara besin zincirlerinde biyolojik birikim oranının daha az olduğu görülür.

Biyolojik birikimleri saptanan bazı maddelerin ise organizmalar tarafından seçici bir biçimde alındıkları gözlenir. Örneğın, omurgalı hayvanlardaki tiroid

bezi, kandan iyotu aktif olarak alır. Eğer bir organizmanın dolaşım sistemine radyoaktif iyot (I-131) karışmışsa, bu madde tiroid bezi tarafından seğilerek alınır. Nükleer reaktörlerden çıkan radyoaktif iyotla kirlenmiş çöl bitkileriyle beslenen çöl tavşanlarının tiroid bezlerinde I-131 miktarının bitkilerdekinin 500 katı olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde Stronsiyum-90 ve Sezyum-137 de, dokular tarafından seçici olarak alınıp biriktirilir. Sr-90 biyokimyasal yönden kalsiyuma, Cs-137 ise potasyuma benzer. Cs-137 kas ve bazı iç organlarda, Sr-90 kemiklerde birikir. Örneğin, nükleer santral artıklarıyla göl suyuna karışan Sr-90'ın, bu göldeki birkaç halkalı bir besin zincirinin en üst halkasındaki etobur balığın kemiklerinde 3000 kata ulaştığı görölür (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

3.3.2. Biyolojik birikimin organizmalara etkisi

Biyolojik birikimi saptanan maddeler ortamda çok dūřuk miktarlarda bulunsalar bile, bazı tüketicilerde, onları ciddi bir biçimde etkileyecek deriřime eriřirler. Özellikle su ekosistemlerinde birikerek su ürünlerini kullanılamaz hale getirebilirler.

Yüksek molekül ağırlığına sahip bileşikler genellikle canlı organizmaların dokularında suda olduğundan daha yüksek derişimlerde birikirler. Kirleticilerin biyoakümüleyon hızları organizmalara olan i ve dış etkenlere bağlıdır. Sudaki kirletici derişimi oldukça önemlidir. Kirli suda yaşayan pek çok tür kirletici yükü taşır. Örneğin alglerde ve biyophytes'deki metal derişimleri sudaki derişime bağlıdır. Sıcaklık, absorpsiyon, detoksifikasyon ve kirletici etkileşim hızlarını etkiler.

Yüksek metabolik hıza sahip balıklar, kirleticileri daha hızlı akümüle ederler. Ayrıca, yař, cinsiyet ve sudaki bütöneyici kirleticilerin varlığı da akümüleyon hızlarını etkiler. Organizmalar, materyalin maruz kalma riskini belirlemek üzere monitorlanır. Tatlı sularda balıklar ayrı bir öneme sahiptir. Bir organizmanın önemli bir biyomonitor olduğu dūřünölmeden önce, çeşitli kriterler gözden geçirilmelidir. Organizmaların yalnızca lokal kirletici seviyelerini etkileyebilmeleri için orada yerleşik olmaları gerekir. Ayrıca dūřuk derişimlerde kirleticilerin başlangıçta tayin edilebilmesi için yeterli çoklukta olmaları gerekir.

Yaşam döngüsü, monitorlama süresince, populasyondaki yaş grupları arasında iyi bir denge sağlaması için yeterince uzun olmalıdır. Organizmaların kirlilik derişimleri kirletici ve türlerle değişir. Toplam kirletici içeriği ve derişimi organizmanın yaşı, boyu, ağırlığı ve cinsiyeti ile değişebilir. Biyoakümülatörler, bölgede ekonomik açıdan önemli olan balıkçılık sebebiyle uzun süredir, daha çok kıyılarda kullanılmaktadır (Mason 1996).

3.3.3. Biyolojik monitorlama

Çevresel monitorlama, birincil kaynakların neden olduğu emisyon düzeylerinin sürekli değerlendirilmesi açısından yararlıdır. Biyolojik monitorlama, metal maruziyetinin öneminin gösterilmesinde önemli bir hale gelmiştir. Biyolojik veya sağlık-ilişkili monitorlama genellikle insan kanında veya diğer örneklerde tekrar eden veya devamlı bir metal ölçümü anlamına gelir (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

Çevresel monitorlama da yararlanılan bitki ve hayvanlar "biyolojik indikatör" olarak adlandırılırlar. Biyolojik indikatörler, metal kirliliğinin birikimi, akümüasyonu ve dağılımını bulmak için kullanılırlar. Yosunlar ve likenler, metal akümüasyonu için yüksek kapasiteli olmalarından dolayı karasal habitatlardaki metal kirleticilerin monitorlanmasında genellikle kullanılan organizmalardır (Seaward and Mashhour 1991).

3.4. Toprak ve Ağır Metaller

Toprağın elementleri tutabilme kapasitesi sınırlıdır. Bu kapasiteye ulaşılmaması ve aşılması bir çok çevre sorunu doğurmaktadır. Jeokimyasal olarak toprağa karışan bir elementin bir veya daha fazla formu bulunabilir. Bunlar; a) Toprak çözeltisinde çözünme, b) Organik katılara veya inorganik bileşiklere asılı kalma, c) Toprak minerallerine veya adsorbe materyale karışabilmelidir. İlk iki form hareketli olup bitki için elverişli olmasına karşın sonrakiler hareketsizdirler. Fakat zamanla hareketli hale geçerek bitki için kullanışlı olabilirler. Toprağın çözelti veya katı fazı arasında ağır metalin kimyasal eşıtliğini elinde tutan

kinetikler iyi bilinmemektedir. Toprak çözeltilisinde metal etkenliğinin genel olarak bu eşitliği kuvvetli olarak etkileyen toprak pH'ı, kil minerali, organik madde, Fe, Mn ve Al'un hidroksi oksitleri ve çözünebilir maddeler arasındaki metal eşitliğinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir (Öztürk ve ark. 1992).

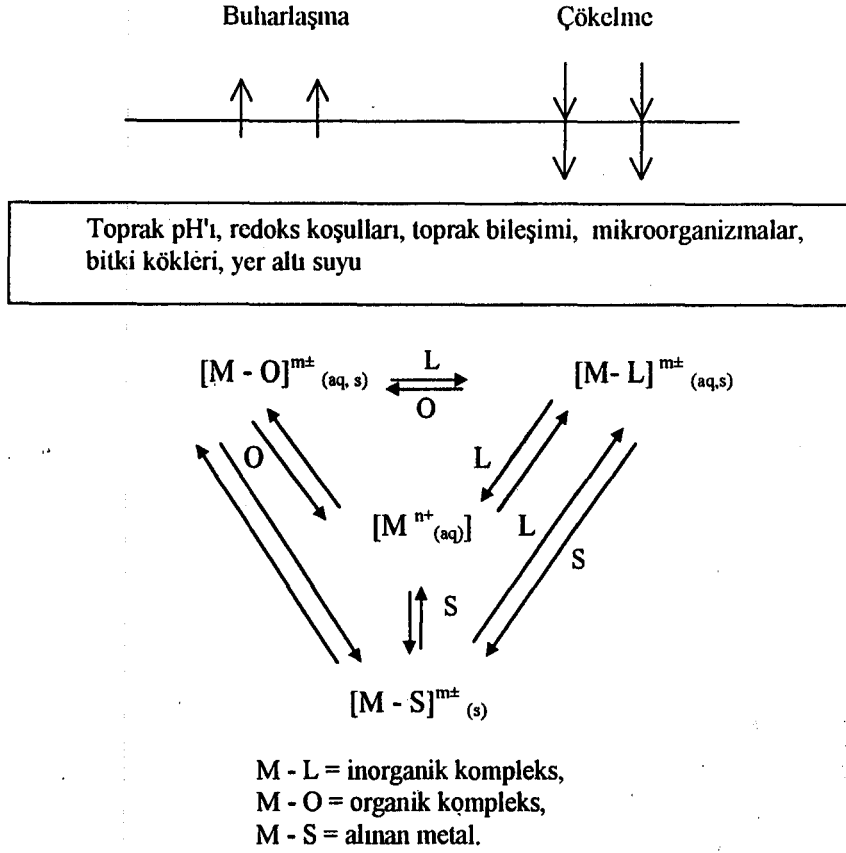
3.4.1. Ağır metallerin toprak üzerine etkileri

Cu, Zn, Mn, Fe ve Mo gibi ağır metaller doğal olarak topraklarda bulunurlar ve bitkiler için gerekli besin maddeleridir. Çeşitli yollarla toprağa önemli derecede ağır metal girişi olmaktadır. Bu şekilde toprağa giren Hg, Cd, Ni gibi ağır metaller toprağın kolloid kompleksi tarafından özellikle üst toprakta ve humusta tutunurlar. Böylece toprak organizmaları üzerindeki toksik etkileri sebebiyle bunların ölümlerine yol açarlar. Dolayısıyla ölü örtü ayrışması engellenir, toprak strüktürü bozulur.

Ağır metaller üst toprakta kuvvetle tutunduklarından alt toprağa doğru hareketleri zayıftır. Ancak toprak asitleşmeye başlarsa üst topraktaki ağır metaller serbest kalarak taban sularına kadar ulaşabilir. Böylelikle ağır metaller insanlar tarafından içme suyundan ve de bitki bünyesinden besin zinciri yoluyla alınabilirler. Ayrıca ağır metallerin toprak suyunda yoğun bir şekilde bulunması bitkiler için öldürücü etki yapar. Ağır metallerin iyon olarak etkileri yanında organometal bileşikler halindeki zehirleyici etkilerinin daha fazla olduğu belirtilmektedir. Organometal bileşiklerinin ağır metallerin çözünmesi üzerine olan etkileri toprak organik maddesinde (özellikle orman topraklarında) asit humus sorununu meydana getirmektedir (Tolunay 1992).

3.4.2. Topraktaki ağır metallerin kimyası

Topraktaki ağır metallerin reaksiyonlarının genel gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir (Fergusson 1990).



şekil 3.1. Topraktaki ağır metal reaksiyonlarının sistematik gösterimi

3.4.3. Toprakta ağır metal birikimi

Havayı kirleten katı maddeler arasında bulunan metal ve ametaller yağışlarla toprağa ulaşmaktadırlar. Bunların arasında bulunan ağır metaller toprağı kirletmektedirler. Bu ağır metal iyonları bitki tarafından alınarak ve meyvelere geçerek veya et/sütte birikerek insanları etkileyecek düzeye ulaşabilmektedir.

Topraktaki iyonlar (\emptyset 0,2-0,5 mikron) toprak suyu ile birlikte kök hücrelerinin zarından plazmanın dış kesimine (sınır bölgesi = plasmalemma) geçmektedirler (pasif iyon alımı). Toprak suyunda H^+ iyonunun artması kök hücrelerinin zar dokusunda Ca^{++} iyonlarının azalmasına ve zar dokusunun iyon geçirgenliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumda pasif iyon alımı artmaktadır. Özellikle, meyve ve tohumlarından yararlanılan tarım bitkilerinin yetiştirildiği toprakların ağır metallerle kirlenmesi yukarıda belirtilen asitleşme

(H⁺ iyonu fazlalığı) ve pasif iyon alımı, bitki organlarında ağır metal birikimi bakımından sorun yaratacak bir olgudur (Kantarıcı 1995).

Çizelge 3.7'de metallerin topraklarda kabuledilebilir değerleri verilmiştir (Fergusson 1990).

Çizelge 3.7. Ağır metallerin toprakta bulunabilen miktarları ile kirlilik sınırı olarak toprakta kabul edilebilir değerler

Metaller	Toprakta		Sulama suyunda, mg/lt	
	Bulunuş, mg/kg	Kabul edilebilir, mg/kg		
Bakır	Cu	5-20	50	A ≤ 0,20
	(Zehir etkisi: 0,1-1,0 mg/lt)			B ≤ 5,00
Çinko	Zn	10-50	300	A ≤ 2,00
				B ≤ 10,0
Kadmiyum	Cd	0,1-1,0	3	A ≤ 0,01
	(Zehir etkisi: 0,1-1,0 mg/lt)			B ≤ 0,05
	(Bitkide ≤ 50 mg/kg olursa insanda hastalık yapıcı)			
Krom	Cr	10-50	100	A ≤ 0,01
	(Zehir etkisi: 0,5-5,0 mg/lt)			B ≤ 0,05
Kurşun	Pb	0,1-20	100	A ≤ 5,00
				B ≤ 20,0
Nikel	Ni	10-50	50	A ≤ 0,20
	(Zehir etkisi: 0,5-5,0 mg/lt)			B ≤ 2,00

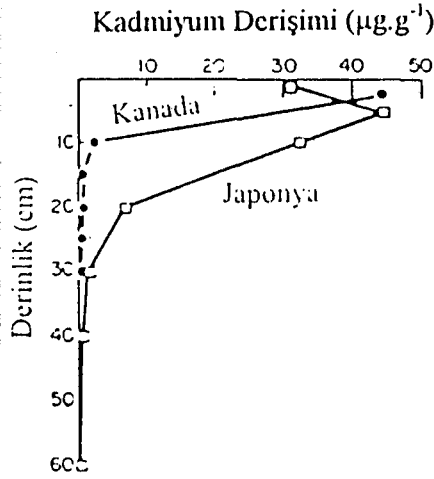
A : İri taneli toprak, B : İnce taneli toprak.

3.4.4. Toprak profilleri

Bitkiler topraktaki eser elementlerin dağılımında önemli bir etkiye sahiptirler. Yaprakların dökülmesiyle yüzeye geri dönen besin elementleri kökler vasıtasıyla topraktan absorplanırlar. Yapraklar çürüdükçe bünyelerindeki eser elementler kompleks şeklinde humusa dahil olurlar veya toprak çözeltisine serbest bırakılır ve sonra humus değişim alanları üzerine absorbe olurlar. Sonuç olarak toprak profilleri genellikle yüzey tabakalarındaki bir çok iz elementin birikimi ile karakterize edilmektedir.

Ana madde içeriği, toprağın organik içeriği, kil içeriği, demir oranı, pH, toprak topografyası, yağış, mikrobiyal aktiviteler ve kirliliğin boyutu bir toprak profilindeki elementlerin seviyesini etkileyebilir.

Trafik, endüstriyel alanlar veya maden ergitme tesisleri gibi kaynaklarca aşırı kirlenmiş topraklarda, derinlik ile ağır metal seviyelerindeki değişimin yüzeyden derinlere gidildikçe azaldığı tespit edilmiştir. Çünkü kirleticilerin çoğu öncelikle toprak yüzeyi ile temas etmektedirler (Bkz. Şekil 3.2). Şekil 3.2'de Cd'un toprak profilinde çok aşağılara taşınmadığı görölmektedir (Fergusson 1990).



Şekil 3.2. Cd' un kirlenmiş toprak profillerinde derinlikle değişimi

3.5. Bitkiler ve Ağır Metaller

Topraklar gibi bitkilerin de ağır metal biriktirme kapasiteleri sınırlıdır. Önemli mikro besleyicilerin aşırısı da toprakta fitotoksik etki yapabilir. Bunların bitkilerce kullanımını etkileyen çeşitli toprak etmenleri dışında, aşağıda değinilecek olan etmenler de bitkilerin biriktirme yeteneklerini etkiler.

Bitkilerin ağır metallere karşı duyarlılıkları farklıdır. Şalgam ve pancar gibi Chenopodiaceae üyeleri metallere çok duyarlıdır. Diğer sebze bitkileri ile mısır, soya ve tahıllar nispeten dayanıklı olup çimler çok toleranslıdır. Domates, pirinç, kabak ve lahana bitkilerinde olumsuz etki ortaya çıkıncaya kadar 100 ppm'in üzerindeki Cd derişimleri tolere edilebilir. Bununla beraber, ıspanak, marul, tere ve soya fasülyesi gibi bitkiler Cd'lu topraklara çok duyarlıdırlar.

Genel olarak, yapraklı sebzeler topraktaki Cd'un en büyük biriktiricisidirler. Halbuki kabak, domates ve turpun yenen kısımları az miktarda Cd biriktirme eğilimindedir. Tarım ürünleri sadece iz elementlere genel duyarlılık açısından değil, aynı zamanda her bir elemente ayrı ayrı nispi duyarlılık açısından da önemli farklılık gösterirler. Genel olarak, pH 5,5 ile 6,5'de Cu, Zn'nun iki katı, Ni ise Zn'nun dört katı toksik etki gösterebilir.

Bitkilerdeki ağır metal derişimi üzerinde yaşın da etkisi vardır. İlkbahar sürgünlerinin Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb ve Zn içeriği daha sonraki mevsimlerde gelişen dokulardakinden daha yüksektir. Diğer taraftan, büyüme mevsiminde çayır otunda Cd, Cr, Cu, Mn, Pb ve Zn gibi ağır metal derişimlerinin azalma eğiliminde olduğu gösterilmiştir (Öztürk ve ark. 1992).

3.5.1. Bitkilerdeki ağır metallerin seviyeleri

Bir bitkide bulunan bir elementin gerçek seviyesini çok sayıda faktör etkiler; bunlar bitkinin tipi, özel bitki dokusu, topraktaki elementin mevcudiyeti ve seviyesi, element kaynağının bitkiye uzaklığı, mevsimsel ve iklimsel koşullar ve çöken aerosollerden alımlar şeklinde sıralanabilirler. Bu faktörlerden dolayı, bitkilerdeki ağır metal derişimleri oldukça değişkendir. Örnek olarak, bitki dokularındaki Cd seviyeleri Çizelge 3.8'de, Pb seviyeleri ise Çizelge 3.9'da verilmektedir.

Bitkilerdeki ağır metal seviyeleri genellikle $\leq 1 \mu\text{g.g}^{-1}$ civarlarındadır (Fergusson 1990).

Çizelge 3.8. Bitki dokularındaki Cd seviyeleri

Bitki tipleri	Bitki dokuları	Derişim, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (ppm) DW	Yer/ yorum
Çimenler(otlar)ve mera			
Çimenler		0,05-1,26*; 0,27	B. Almanya
		0,05-0,20; 0,08	Polonya
		0,03-0,3; 0,16	USA
Yonca		0,28	Kanada
		0,07-0,3; 0,10	Polonya
		0,02-0,35; 0,16	D. Almanya
Saman		0,14-0,33; 0,18	
Yerli bitki örtüsü		0,11-7,6	USA
Tahıllar			
Arpa	Tane	0,006-0,044; 0,022	
Yulaf	Tane	0,21	
Pirinç	Tane	0,05-0,11; 0,08	Japonya
Çeşitleri	Tane	0,01-0,75; 0,22	B. Almanya
	Tane	0,014-0,21; 0,047	USA
	Tane	0,39-0,12	
	Tane	0,015-0,08; 0,38	Hindistan
Buğday	Tane	0,012-0,036; 0,022	Avustralya
Sebzeler			
Fasulye	Tohum	0,29	
Lahana	Yapraklar	0,05	
Havuç	Kökler	0,07; 0,27; 0,2	
Genel		0,017-0,98; 0,044	Hindistan
Marul		0,5-3,3	İrlanda
	Yapraklar	0,12; 0,4; 0,66; 0,062	
Patates	Yumru	0,03; 0,23	
Kırmızı turp	Yumru	0,1-14	USA
	Tepe	0,2-58	USA
Çeşitleri		0,2-3,3	İrlanda
	Yapraklar	0,93-0,88; 0,056	USA
Ağaçlar			
Ladin	Çeşitli kısımlar	<0,1-5,4	Sweden
Karışık ağaçlar	Çeşitli kısımlar	0,2-0,4	USA
Çeşitleri	Yapraklar	30-55	

*dağılım, **ortalama.

Çizelge 3.9. Bitki dokularındaki Pb seviyeleri

Bitki tipleri	Bitki dokuları	Derişim, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (ppm) Kuru Ağırlık	Yer/ yorum
<i>Çimenler(otlar)ve mera</i>			
Yonca		1-3*;1,3**	İngiltere
		3,3-4,7; 4,2	B. Almanya
Çimenler		<1,2-3,6; 1,8	Kanada
Yonca		1-9; 2,1	İngiltere
		5-6	Swedan
		<0,8-5,6; 1,6	USA
<i>Tahullar</i>			
Arpa	Tane	<1,25-1,5	İngiltere
Genel	Tane	0,1-0,2	Kanada
Yulaf	Tane	2,28	Kanada
Çavdar	Tane	0,64	Avusturya
Buğday	Tane	0,13-0,28	Finlandiya
	Tane	0,2-0,8	Polonya
	Tane	0,42-1,0	USA
<i>Sebzeler</i>			
Lahana	Yapraklar	1,7-2,3	
		1,4-26	İrlanda
Havuç	Kökler	3; 1,5; 0,5	
Pırasa		8,3	İrlanda
Marul	Yapraklar	0,7; 2; 3,3; 3,6	
		2,1-67	İrlanda
Patates	Yumru	0,5; 3	
Kırmızı pancar	Kökler	2; 0,7	
Şalgam		12,4	İrlanda
Tatlı mısır	Tane	<0,3; 3; 0,88	
Domates	Meyve	1; 1,2; 3	
Çeşitleri		0,01-3,85; 0,05	
<i>Ağaçlar</i>			
Çeşitleri	Yapraklar		USA
	İnce dal		USA
	Odun		USA
	Kökler		USA

*dağılım, **ortalama.

3.5.1.1. Bitki türleri

Metallerle ilgili olarak bitkileri; akümülatörler, indikatörler ya da metalleri kabul etmeyenler (excluder of the element) olarak sınıflandırabiliriz. Akümülatör bitkiler, bitkilerde toksik etki yapmayan metallerin yüksek derişimlerini alma yeteneğine sahiptirler. İndikatör bitkiler, toprak ortamındaki metalin miktarına bağlı olarak metal alırlar. Bundan dolayı, metal kaynağının ve yoğunluğunun bir indikatörü olarak bu bitkiler kullanılabilirler. Aynı zamanda, metal iyonlarını ayıran bitkiler de vardır ve bu bitkiler biyolojik arıtımda kullanılabilirler.

Farklı bitkilerdeki ağır metal alımları kıyaslanırken, bitkilerin benzer kısımlarını (filizler, kökler vb.) incelemek gereklidir. Çizelge 3.10'da bitkilerin farklı kısımlarındaki Cd derişimleri görülmektedir. (Fergusson 1990).

Çizelge 3.10. Bir bitkinin farklı kısımlarındaki Cd alımı

(a) Akışkan bir çözelti içindeki Cd

Bitkiler	Filizler, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (kuru ağırlık)	Kökler, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (kuru ağırlık)	Kök/filiz Oranı
Mısır	11,5	57,5	5,0
Hayvan yemi	3,1	33,4	10,8
Küspe	21,1	151,1	7,2
Turp	1,8	33,6	18,7
Marul	15,0	48,3	3,2
Domates	5,6	121,6	21,0

*Cd derişimleri $0,01 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$

(b) Toprağa eklenen Cd

Bitkiler	Toprağa eklenen Cd, $\mu\text{g}/\text{g}$		
	0	2,5	5,0
Yulaf taneleri	0,21 (1)	1,50 (7,1)	2,07 (9,9)
Kamış	0,29 (1)	2,30 (7,9)	3,70 (12,6)
Soya fasulyesi kökleri	0,99 (1)	6,09 (6,2)	11,77 (11,9)
Mısır kökleri	0,73 (1)	10,47 (14,3)	17,02 (23,3)
Patates yumruları	0,18 (1)	0,89 (4,9)	1,09 (6,1)
Marul tepeleri	0,66 (1)	7,72 (11,7)	10,36 (15,7)
Kökleri	0,40 (1)	2,96 (7,4)	5,60 (14,0)

3.5.1.2. Bitki dokuları

Bitkilerin ağır metal alımı karşılaştırıldığında bitki dokusuna dikkat edilmelidir. Metaller genellikle bitkiye kök sistemlerinden alındıkları için ağır metal derişimleri köklerde en yüksek değerlerdedir (Bkz. Çizelge 3.10a). Ağır metalin kaynağı toprak olduğunda, genellikle, metal seviyeleri; kökler >sap (veya gövde) >yapraklar >meyve >tohumlar şeklinde sıralanabilir. Çizelge 3.11'de marul, yulaf ve havuçların farklı kısımlarındaki kurşun derişimleri verilmiştir. Topraktaki kurşun miktarı arttıkça, bağıl olarak bitkinin değişik kısımlarındaki kurşun derişimi de değişir. Dış kabuk ve yapraklarda daha yüksek değerlere ulaşılması, kurşunun diğer kaynaklarını kontrol etmek gerektiğini akla getirmektedir (Fergusson 1990).

Çizelge 3.11. Bitkilerin değişik dokularındaki Pb derişimleri, ppm

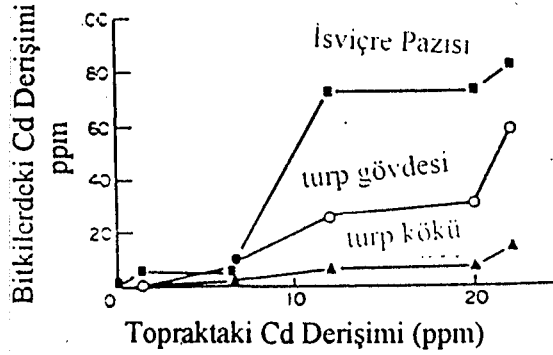
Bitkiler	Bitki dokuları	Kontrol	200 ppm Pb	1000 ppm Pb
			içeren toprakta	içeren toprakta
Marul	Yapraklar	2,5	3,0	54,2
	Kökler	5,8	84,5	867,7
Yulaf	Taneler	3,2	4,4	4,9
	Kabuk	11,1	11,8	16,4
	Yapraklar	6,0	6,8	20,1
	Sap	1,6	2,5	9,2
	Kökler	4,5	82,0	396,6
Havuç	Tepeler	2,3	8,0	17,6
	Yumru	1,9	5,3	41,0
	Kökler	8,9	241,7	561,4

Ağır metaller bitki dokularında uniform dağılmazlar. Genellikle, vejetatif kısımlara göre tohum veya danelerin metal içerikleri düşüktür. Özellikle dane veren tarım bitkilerinin gıdalarımıza yaptığı ağır metal katkısı yapraksı yem ve çayır bitkilerine göre azdır. Örneğin atık çamur uygulanmış toprakta yetişen mısırın farklı kısımlarında Cd ve Zn dağılımının yaprak< gövde< kabuk< dane şeklinde olduğu bulunmuştur. Ağaçlarda bu sıra genel olarak kökler< yaprak< dallar< gövde şeklindedir. Çeşitli vejetatif dokulardaki dağılımın ise ksilem

taşınımının bir özelliği olduğu ve özgül bir dokuda (gövdeler hariç) bir elementin son derişiminin transpirasyonla su kaybına ve bu işlemin sürecine bağlı olduğu ortaya konmuştur (Öztürk ve ark.1992).

3.5.1.3. Topraklardaki ağır metallerin seviyeleri

Topraktaki ağır metallerin derişimlerinin, bitkilerdeki ağır metallerin derişimleri üzerine belirli etkileri vardır. Bütün ağır metallerin topraktaki seviyeleri arttıkça, bitkilerdeki derişimlerinde de bir artış görölmektedir (Bkz. Çizelge 3.11). Şekil 3.3'de topraktaki Cd seviyelerinin İsviçre pazısı ve kırmızı turptaki Cd seviyelerine etkisi görölmektedir.



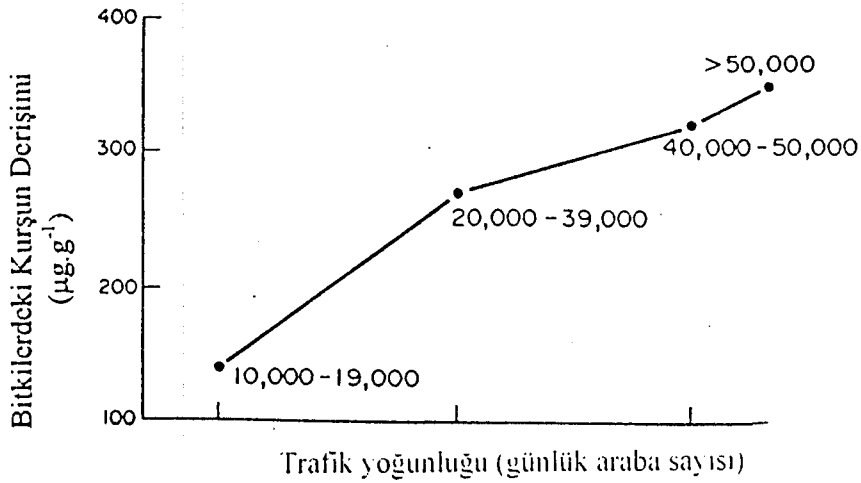
Şekil 3.3. Toprak ve bitkilerdeki Cd (Fergusson 1990)

3.5.1.4. Metal kaynaklarından uzaklık

Bir çok çalışmada bitkilerdeki ağır metal seviyelerinin, metalin kaynaktan uzaklığı ile ilgilisi incelenmiştir. Çizelge 3.12'de, kurşun madenlerinden yayılan ağır metallerin bitkiler üzerine etkisi ve uzaklık ile seviyelerin değişimi görölmektedir. Trafik yoğunluğundaki azalma ile Pb ve Cd derişimlerinde de düşme meydana gelmektedir. Şekil 3.4'de trafik yoğunluğu ile yıkanmamış bitkilerdeki kurşun seviyelerinin ilişkisi gösterilmektedir (Fergusson 1990).

Çizelge 3.12. Kurşun eritme tesisi yakınında yetişen bitkilerdeki bazı ağır metallerin seviyeleri

Metal	Tesisten uzaklık		
	0,27-2 mil	0,27 mil	3,3 mil
Cd	200-9480	9 500	17
Sb	6,2-111	110	4,5
Pb	540-9990	10 000	320
As	4,9-5,9	59	3
Se	0,13-3,2	-	-
In	0,078-2,1	-	-
Hg	$(6,0-77) \times 10^{-3}$	-	-



Şekil 3.4. Trafik yoğunluğu ve bitkilerdeki Pb arasındaki ilişki

3.5.1.5. Mevsimlik etkiler

Bitkilerdeki ağır metallerin derişiminde, mevsimlik bir değişiklik gözlenir. Örneğin, bitkilerdeki kurşun seviyeleri sonbahar ve kış mevsimlerinde bir artış göstermektedir. Buna neden olarak kışın bitkisel maddelerin kaybı, yaşlı yaprakların genç yapraklardan daha kolaylıkla kurşun aerosolünü almaları, aerosollerin depolanması için daha elverişli durum olan rüzgar hızının azalması ve mevsim ile değişen yağışın miktarı ve şiddeti gibi bir çok sebep vardır (Fergusson 1990).

3.5.2. Bitkilerdeki ağır metallerin toksik etkileri

Mangan, nikel, krom, kurşun, demir, çinko, bakır, civa vb. olarak bilinen çok küçük miktarlarda bile genellikle kuvvetli zehir etkisine sahip olan ağır metaller, genellikle toprak ve su aracılığı ile bitkilere taşınmasına rağmen bazı durumlarda havadan direk olarak bitkilere, solunum yoluyla stomalardan girerek zarar verebilmektedirler. Ağır metaller hücrelerde plasmanın sertleşmesine, şişme ve büzölmeye neden olmaktadır. Ayrıca bitki bünyesindeki proteinleri çöktürerek solunum intensitesi ve buna bağılı olarak bitkinin oksijen tüketimini azaltırlar (Kasap ve Dilbirliğı 1995).

Ağırlı metallerle bitkilerin bir yandan büyüme olaylarında gerileme söz konusu olurken, öte yandan bitkisel kalite unsurları da olumsuz yönde etkilenmektedir. Ağır metal etkisindeki bitkilerde nişasta sentezinde protein miktarında önemli bazı besin elementlerinin alımında dikkat çekici düşüşler ortaya çıkmaktadır. Hatta kurşunla kirlenen bir toprakta aynı toprağın biyolojik aktivitesi de (mikroorganizma faaliyetleri) kötüleşmektedir (Düzenli ve ark.1992).

3.6. Besin zincirinde ağır metaller

Solunum yolu dışında ağır metaller, insanlara bitki ve hayvan kökenli besinlerin tüketilmesiyle geçerler. Bu nedenle toprak-bitki-hayvan ilişkilerinin anlaşılması önemlidir. Bitkiler kaynak ile diğler organizmalar arasında aracı durumundadırlar. Bitki büyüme ve kalitesi toprak ortamına ve mevcut elementlerin kaynağına geniş ölçüde bağılıdır. Elementler kök, yapraklar veya gövdeden alınabilir. Hayvanların büyümeleri ve davranışları beslendikleri bitkilere, yemlerin niteliğine ve niceliğine büyük bağımlılık gösterir. Ağır metallerin hayvanlara giriş yolları ve kaynaklarına bakıldığında, sığırlar ve koyun gibi bazı hayvanların besinlerinin %2-%14'üne (kuru ağırlık) eşit bir oranda toprak partikülleri yedikleri görülür. Yıllık olarak bu, koyunlar için yaklaşık 45 kg, sığırlar için ise bunun 10 katı toprak demektir. Ayrıca tüketilen yapraksı kısımlar üzerinde otlaklara uygulanmış atık çamur veya gübrede bulunabilir. Çeşitli besin gruplarında iz element derişimi farklı olduğundan ve tüketilen

besinler ülkelere göre değiştiğinden, dünya insanları arasında iz elementlerin besinlerle alımının büyük farklılık gösterdiği düşünölmektedir (Öztürk ve ark. 1992).

Motorlu taşıt kökenli ağır metal kirliliğine gösterilen ilginin asıl nedeni bitki sağlığından çok insan ve hayvan sağlığının bu yolla tehdit ediliyor olmasıdır. Motorlu taşıt trafiğinin yoğun olduğu otoyolların yakınında otlatılan hayvanlarda, Pb ve Cd'dan ileri gelen kronik zehirlenmelerin olabileceği bildirilmektedir. Bu metallere karşı sığır ve koyunların özellikle hassas olduğu ve Pb ile Cd'un daha çok böbrek ve karaciğerde biriktiği açıklanmıştır.

Küçük çocuklarda sinir sistemi kurşuna karşı son derece hassasiyet göstermektedir. Trafiğin ve endüstrinin yoğun olduğu yerlerin yakınında oynayan küçük çocuklar yaklaşık 50-200 mg arası toz ve toprağı ağız yoluyla vücuda almakta ve bu yolla yüksek düzeyde ağır metal birikimi ortaya çıkmaktadır. Çocuklarda ciddi düzeyde ağır metal birikiminin ortaya çıkmaması için yüzey tozlarında Pb'nun 1000 ppm'den, Cd'un ise 100 ppm'den az olması gerekmektedir (Düzenli ve ark. 1992)

Başta kurşun olmak üzere ağır metaller insanlarda uyku bozukluklarına, yorgunluk, baş ağrısı, baş dönmesi, iştahsızlık, hafıza yetersizliği gibi belirtilere yol ačan merkezi sinir sisteminde düzensizliklere neden olmaktadır. Kalp ve damar hastalıklarının ortaya çıkmamasında ve kan oluşum sisteminin bozulmasında da ağır metaller etkili olmaktadır. Ayrıca ağır metaller peptid ve proteinlerin sülfidril gruplarıyla (SH) reaksiyona girerek bu moleküllerin hücredeki biyolojik fonksiyonlarını engellemektedirler.

Kurşunun kanda toksik olmayan sınırları 20-150 mg Pb/gün olup gıda ile alımı günde 100-300 mg'dır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise 400-500 mg Pb/gün sınırlarını vermektedir. Gıda ile günlük alım WHO'nun belirttiği değerlerin hemen altındadır. Çocuklar içinde aynı değerler geçerlidir. Özellikle dikkat edilmesi gereken husus; bu maddenin kuvvetli alımını ve enzim sistemindeki tahrip edici etkisidir. Kurşunlu benzinin kullanıldığı ülkelerde insanların kanında daha çok kurşunun bulunduğu; kurşunsuz benzinin kullanıldığı ülkelerde ise kandaki kurşun oranının gittikçe azalma gösterdiği saptanmıştır (Öztürk ve ark.1992).

Gıda ile alınan günlük kadmiyum oranı 30 mg'dır. Bu değer WHO'nun verdiği sınır değerinden %50 daha düşüktür (70 mg Cd/gün). Kadmiyumun önemini arttıran faktör yarı ömrünün 10 yıl gibi uzun bir süre olmasıdır. Kadmiyum en fazla renal korteks'te birikmektedir ve burada 30 yıl kalabilmektedir. Böbrekteki birikimin geri dönüşümü çok zordur. Özellikle 50-60 yaş arasındaki insanlarda birikimin böbreklerde daha fazla olduğu gözle çarpılmaktadır. Bunun nedeni henüz tam olarak bilinmemektedir. Yaşlanan böbrek hücrelerinin rolü olduğu düşünülmektedir. Yetişkin bir insan vücudunun dayanabileceği sınır 20-30 mg Cd olduğu halde, sigara içenlerde bu oran aşılmaktadır. Nitekim günde 20 sigara içen bireylerde Cd miktarı 30 mg Cd/gün'e ulaşır (Öztürk ve ark.1992).

3.7. Çalışmada İncelenen Metallerin Özellikleri

3.7.1. Bakır (Cu)

Bakır, bitki ve hayvan yaşamı için gereklidir ve litosferdeki seviyeleri 70 ppm'dir. Toplam bakırın 2-100 ppm'ini toprak içerir, bunun çok küçük bir yüzdesi bitkiler tarafından asimile edilebilir. Bakır miktarı çok değişkendir ve bitkilerde 0,2- 100 ppm arasında bulunur (Trambe 1996).

Taşıtların motor alaşımları içindeki Cu aşınma sırasında eksoz gazları ve diğer partiküller ile birlikte dışarı atılmaktadır. Ancak bakır topraklara tarımsal işlemler, atık çamurları, atmosferik depolanma gibi değişik antropojenik yollardan girebilmektedir (Haktanır ve ark. 1994).

3.7.1.1. Bitkilerde bakır

Bitkilerin bakır gereksinimleri çok azdır. Bitkiler bakırı kökleriyle Cu^{+2} iyonları halinde alırlar ve yapraklarına Cu^{+2} çözeltisi püskürtüldüğü takdirde Cu^{+2} iyonlarını absorbe ederek yararlanabilme özelliği gösterirler. Bakır eksikliği bitkilerde hastalığa yol açtığı gibi fazlası da zehir etkisi göstermektedir.

Bitkilerin bakır alımları her şeyden önce topraktaki yarayışlı Cu^{+2} iyonlarına bağılıdır. Toprak çözeltilisindeki bazı ağır metal katyonları özellikle Fe^{+2} , Fe^{+3} iyonları Cu^{+2} iyonlarının alımını güçleştirse de pratikte önemli değildir. Kökler diğer organlara göre çoğu zaman daha fazla bakır kapsamaktadır.

Bitkilerin bakır içerikleri türlerine, organlarına ve üzerinde yetiştikleri toprakların yarayışlı Cu^{+2} iyonları miktarıyla, toprak özelliklerine göre değişmektedir (Ünal ve Boskaya 1981).

3.7.1.2. Toprakta bakır

Kültür topraklarının bakır içerikleri genellikle % 0,0002-0,01 yani 2-100 ppm arasında değişmektedir. Toprakta bakır, bakır bileşikleri ve Cu^{+2} iyonları halinde bulunabilir.

Toprak çözeltilisindeki Cu^{+2} derişimi 1 ppm'den az ve çoğu zaman 0,08 ppm kadardır. Toprakların bakır içerikleri üst katmanlardan alt katmanlara doğru azalma eğilimi gösterir. Kültür topraklarının yarayışlı bakır miktarları üzerine çeşitli faktörler etki yapmaktadır. Bunların en önemlileri toprak reaksiyonu, organik madde ve kil miktarı, toprak çözeltilisindeki Cu^{+2} iyonlarını çöktürebilecek anyonların aşırı miktarları ve daha önce yetiştirilen bitki çeşididir. Toprak reaksiyonu asitten nötral ve bazikliğe doğru değiştikçe (pH yükseldikçe), yarayışlı Cu^{+2} miktarları azalmaktadır.

Organik topraklara yeterli bakırlı gübre verilmesiyle ürün miktarı artmakta ve ürün kalitesi de iyileşmektedir. Aşırı derecede yıkanmış asidik topraklarda, karbonatlı ya da kuvvetli bir kireçlenmeyle pH'ları yükseltilmiş topraklarda ve organik topraklarda yetişen bitkilerde bakır eksikliği belirtileri yaygın olarak görülmektedir.

Bitkilerin bakır eksikliğini gidermede genellikle suda çok çözünen bakır tuzları, özellikle $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ kullanılmaktadır (Ünal ve Boskaya 1981).

3.7.2. Çinko (Zn)

Çinko kayalarda, doğal silikatlarda ve oksit, sülfid, karbonat veya fosfat gibi bir çok maden cevherinde bulunur. Litosferin Zn içeriği yaklaşık 800 ppm'dir. Toprakların eser içeriği 10- 300 ppm arasında değişir, bunun yaklaşık onda biri bitkilerde mevcuttur. Birkaç ppm Zn bitkilerin büyümesi için gereklidir. Zn eksikliği genellikle zararlıdır, fakat çinko bakımından zengin topraklarda yetiştirilen bitkilerde ise toksik etkilerden söz edilebilir (Trambe 1996).

3.7.2.1. Bitkilerde inko

Bitkiler çinkoyu kökleri ve pskrtldğu taktirde yaprakları aracılığıyla Zn^{+2} iyonları halinde alırlar. Toprak çözeltisindeki bağımsız Zn^{+2} ve toprak kompleksine bağlı Zn^{+2} iyonları yarayışlı çinkoyu oluşturur. Bitkilerin Zn gereksiminleri oldukça azdır. Çinkonun bitki organizmaları üzerine olan etkileri bugün için tam olarak bilinmemektedir. Fakat inkonun bitki gelişiminde olumlu etki yapan bazı enzimler ve bitkisel metabolizmada yürüyen bazı reaksiyonlar için mutlaka gerekli olduğu bilinmektedir. Çinko eksikliği belirtileri gösteren bitkilerde, inorganik fosfor ve suda çözünebilir azotlu bileşik miktarlarının arttığı araştırmalar sonucu saptanmıştır. Çinko kök gelişmesi ve bitkilerin su alımları üzerinde de olumlu etki yapmaktadır.

Kültür bitkilerinin çinko alımları ve içerikleri birbirinden oldukça farklı olduğu gibi çeşitli organların çinko içerikleri de farklılık göstermektedir. Kültür bitkilerinin çoğunun çinko içeriği 10-30 ppm/kuru madde arasında değişmektedir (nal ve Boskaya 1981).

3.7.2.2. Toprakta inko

Kültür topraklarının çinko içerikleri primersilikatlar, biotit, augit, hornblende, kil mineralleri, kolloidal oksitler ve organik maddeye bağlı olarak genellikle % 0,001- 0,03 (10- 300 ppm) arasında değişmektedir.

Çinko yarayışlılığı ile toprakların fosfor kapsamları arasında da ters yönlü bir ilişki vardır. Fosforca zengin topraklarda yetiştirilen kültür bitkilerinde çinko eksikliği belirtilerinin görülmesi bunun açık bir delilidir. Fosfat anyonları (H_2PO_4 , HPO_4^{-2}), Zn^{+2} katyonlarının bitkiler tarafından alınımına olumsuz etki yapmaktadır. Fosforca zengin topraklarda $H_2PO_4^-$ iyonlarının Zn^{+2} katyonlarıyla reaksiyona girerek bitkilerin az yararlandıkları $Zn_3(PO_4)_2$ bileşiğinin oluşması fosfat iyonlarının taşınmalarını engellemesiyle açıklanabilmektedir. Diğer bitki besin maddelerinin bir kısmı çinko alınımını engellediği gibi Zn^{+2} 'nin aşırısı da Cu^{+2} ve Fe^{+2} alınımını engellemektedir. Bazen toprak mikroflorası da aslında az olan yarayışlı çinkonun büyük kısmını kendi sentezlerinde kullandıklarından kültür bitkilerinin çinko sıkıntısı çekmelerine neden olmaktadır (Ünal ve Boskaya 1981).

3.7.3. Demir (Fe)

3.7.3.1. Bitkilerde demir

Kültür topraklarında yüksek oranlarda demir bileşiği bulunmasına karşın bitkilerin topraktan çok az demir almaları ve çok az demir kapsamları nedeniyle demir mikro besin maddesi olarak kabul edilmektedir. Bitkiler demiri topraktan Fe^{+3} , Fe^{+2} iyonları ve Fe çelatlar halinde almaktadır. Gövde ve yaprakları da aynı iyonlardan yararlanabilmektedir. Bitkilerin demir kapsamları türlerine, yaşlarına, organlarına, yetiştikleri toprakların yarayışlı demir miktarına göre, kuru ağırlıklarının birkaç ppm ile 500- 600 ppm arasında değişmektedir (Ünal ve Boskaya 1981).

3.7.3.2. Toprakta demir

Topraktaki demirin yarayışlılığını çeşitli faktörler etkilemektedir. Bu faktörlerin en önemlileri toprak reaksiyonu, toprak çözeltisindeki Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonlarını çöktürebilecek anyonların (HCO_3^- , CO_3^{-2} , HPO_4^{-2}) fazla miktarlarda bulunması ve Cu^{+2} , Mn^{+2} , Mo^{+2} , Zn^{+2} gibi ağır metal katyonlarının az bulunmasıdır. Topraktaki demir bileşiklerinin asidik ortamlarda çözünürlüklerinin

artması bazik ortamda azalması toprak pH'sının yarayışlı demir üzerine önemli ölçüde etki yapmasına neden olur.

Kireçli topraklarda bitkiler demirden yeterince yararlanamadığından çoğu zaman demir klorozu hastalığı görülmektedir. Toprak çözeltisindeki HCO_3^- iyonları da demir alımını engellemektedir. Özellikle fazla miktarlarda HCO_3^- iyonları ihtiva eden sulama sularıyla sulanan topraklarda yetiştirilen bitkiler demir sıkıntısı çekmektedir. Fosforlu gübreler de, demir alımı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Toprak çözeltisindeki derişimler aslında çok az olan Co^{+2} , Mn^{+2} , Ni^{+2} , Zn^{+2} gibi katyonların biraz aşırısı da Fe^{+3} ve Fe^{+2} alımını engellemektedir. Engellemenin nedeni büyük bir olasılıkla bu katyonların çelatlar yapmalarındır (Ünal ve Boskaya 1981).

3.7.4. Kadmiyum (Cd)

Atom ağırlığı 112,40 g/mol, yoğunluğu $8,64 \text{ g/cm}^3$, kaynama noktası $767,3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Çeşitli tiplerde kayaların, toprakların ve suların yanı sıra kömür ve petrolün yapısında bulunur. Bu doğal kaynaklar içinde çinko, kurşun ve bakır cevherleri kadmiyumun başlıca kaynağını oluşturur.

Kadmiyum tuzları birçok formda olabilir. Çevredeki değişkenliği ve ekosistem üzerine etkileri doğadaki tuzların boyut büyüklüğüne bağlıdır.

Kadmiyum nispeten yüksek buhar basıncına sahiptir. Havada kadmiyum oksit formuna hızlıca oksitlenir. Karbondioksit, su buharı, sülfür dioksit, sülfür trioksit ya da hidrojen klorid gibi reaktif gazlar ya da buharın varlığında sırasıyla kadmiyum karbonat, hidroksit, sülfid, sülfat ya da klorid oluşturabilirler. Bu tuzlar birikimleriyle birlikte şekillenebilir ve çevreye yayılırlar. Sülfid, karbonat ya da oksit gibi bazı kadmiyum tuzları pratikte suda çözünmezler. Bununla birlikte bunlar doğada oksijen ve asit etkisiyle suda çözünen tuzlara dönüşebilirler (Güley ve Vural 1976).

Doğada diğer elementlere göre daha nadir olarak bulunur. Litosfer yaklaşık 0,18 ppm, topraklar genellikle 1 ppm'den az olmak üzere Cd içerir (Trambe 1996).

3.7.4.1. Endüstriyel kullanım

Kadmiyum başlıca beş kategoride endüstriyel kullanıma sahiptir. Koruyucu çelik levha yapımında, PVC stabilizasyonunda, plastik ve camların içinde pigment olarak, nikel kadmiyum bataryalarında elektrot malzemeleri olarak ve çeşitli alaşımların bileşiminde kadmiyum kullanılır. Alaşım ve lehim imalatında düşük sıcaklıkta eriyen alaşımların yaygın bir bileşenidir. Kadmiyum bileşikleri boyalar, emaye, seramik sırları, kauçuk, cam, tekstil, baskı mürekkebi ve plastik gibi ürünleri renklendirmede kullanılır. Nikel- kadmiyum bataryalarının yapımında kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Otomobil lastiklerinin içeriğinde 20- 40 ppm Cd bulunmaktadır. Fosfat kayaları 170 ppm'e kadar kadmiyum içeriğine sahip olabilirler. Süper fosfat gübrelerinde kadmiyum içeriği 2- 50 ppm'dir.

Kadmiyum, fosil yakıtlar içindeki eser elementlerden biridir. Çevreye bu tür yakıtların kullanımı sırasında yayılır. Kömürdeki içeriği 0,25- 5 ppm arasında değişirken kömür külü 150 ppm'e kadar kadmiyum içerebilir (EHC-135 1992).

3.7.4.2. İnsanlar üzerine etkisi

Endüstride, kadmiyumlu minerallerden, kadmiyum içeren plastik, metal atıklarından çevreye yayılan kadmiyum hava, su ve toprağı kirletmektedir. Toprak ve suda biriken kadmiyum ise sudaki organizmalara geçmekte, buradan besin zinciriyle hayvan ve insanlara ulaşmaktadır. Kadmiyum başlıca besin ve tütünle insan organizmasına girmektedir. Genel olarak besinlerdeki Cd miktarı 0,1µ g/g'dan (yaş ağırlık üzerinden) azdır. Besinlerde, kadmiyum en çok kabuklu su hayvanlarında karaciğer ve böbreklerde birikir. Bu besinlerdeki kadmiyum miktarı 10µg/g'ın üstüne çıkabilir.

Besinlerle, sigara ve hava ile günde yaklaşık 18-200 µg Cd⁺² alındığı hesaplanmıştır. Ancak bu miktar çeşitli coğrafi ve çevre koşullarına göre değişir. Örneğin İngiltere'de (1979'da) kişi başına günlük Cd⁺² alımının 15-30 µg; Kanada'da (1969'da) ise bu değer 80µg olduğu tahmin edilmiştir. Normal havada bulunan kadmiyum 0,001µg/m³ civarında olduğu için hava yolu ile

alımının pek önemi yoktur. Bir paket sigaranın içilmesiyle 2-4 µg kadmiyumun solunum yolu ile alındığı sanılmaktadır.

Bugün FAO/ WHO (Gıda- Tarım Dünya Sağlık Örgütü) tarafından Cd için tolere edilebilen değer 400- 500 µg olarak bilinmektedir. Türkiye iş yeri havasında izin verilen en yüksek değerler kadmiyum ve çözünebilen bileşiklerinin tozları için 0,2 mg/m³, CdO için 0,41 mg/m³, kadmiyum arsenat için 1 mg/m³'tür.

Büyük hayvanlarda özel bir proteine bağlanan kadmiyumun çoğu böbrek ve ciğerlerde birikir. Cd, fazla miktarlarda bünyeye alınırsa, vitamin D ve kalsiyumun metabolizmasını bozar ve böbreklere zarar verebilir. Böbrek bozulması ve iskelet kireçlenmesi yüksek kadmiyum maruziyetinin ciddi kronik etkileridir. İnsan toksikolojisine bağlı olarak, böbreklerdeki 100- 200 µg /g Cd derişimi muhtemelen memeliler için bir risk gösterir. Cd 10 yıllık bir yarı ömür ile son derece yavaş olarak vücuttan atılır (Vural 1984).

3.7.5. Krom (Cr)

Krom mavimsi gri renkli, havada kolayca kararmayan sert bir metaldir. Doğada hiçbir zaman saf halde bulunmaz, krom metali kromit (FeCr₂O₄) cevherinden ya da kromitle karışık bir demir cevherinden elde edilir. Krom cevheri bulunan başlıca ülkeler Güney Afrika, Malavi, Zambia, SSCB, ABD ve Türkiye'dir. Cevher önce katışıksız krom okside dönüştürülür; sonra bu oksit, alüminyum ya da bir silisyumla karıştırılarak bir fırında ısıtılır. Termit yöntemi denilen bu işlemin sonucunda, erimiş halde krom açığa çıkar. Krom, elektroliz yöntemiyle de elde edilebilir (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

3.7.5.1. Endüstriyel kullanım

Krom başlıca; kromla kaplama (kromaj), krom çeliğinin yapımı ve kaynakçılıkta, dericilikte, fotoğrafçılıkta kromatların yapımında; dikromatlar boya endüstrisinde ve pil sıvılarında kullanılır. Krom trioksit (kromik asit) tıpta sınırlı olarak haricen kostik (yakıcı) ve sodyum radyokromat intravenöz yolla eritrositlerin ömrünü tayin etmek için kullanılır.

Krom bileşikleri genellikle koyu kırmızı, yeşil ya da sarı renklidir ve bu özellikleri nedeniyle boya üretiminde kullanılır. Krom oksit, yeşil renkli bir krom ve oksijen bileşimidir ve piyasada "krom yeşili" olarak bilinir. Eğer krom ve oksijen çeşitli yollarla karıştırılırlarsa değişik renklerde kurşun kromat bileşikleri elde edilir, bunlar krom kırmızısı, krom oranji ve krom sarısıdır. En önemli bileşikler sodyum ve potasyum kromatlarıdır ve $KCr(SO_4)12H_2O$ gibi potasyum ve amonyum krom alümleri ve dikromatlarıdır. Dikromatlar, oksitleyici maddeler olarak kullanıldığı gibi, deri tabaklamada da kullanılır (Vural 1984).

3.7.5.2. Metabolizmaya olan etkileri

Kromun endüstriyel bir iz element olduğu düşünülmektedir. Çevrede bolca bulunmasına rağmen insan vücudunda küçük miktarlarda bulunur ve maruz kalmayla miktarı değişir. Bu elementin organizmadaki miktarının ölçümü güçtür. İnorganik formuyla çok az miktarda absorblanabilir. Fakat organik kompleks hâlinde daha fazla absorblanır. Kanda transferine bağlı olarak taşınır (Güley ve Vural 1976).

3.7.6. Kurşun (Pb)

Kurşun mavimsi-gri renkte ağır bir metaldir. Doğada başlıca kurşun sülfür (PbS) veya galen ve sıklıkla da gümüş, bakır, çinko, antimon ve demir metalleriyle birleşmiş halde bulunur. Erime noktası 327 °C, kaynama noktası 1744°C'dir. İnorganik kurşun tozlarının bir kısmı (asetat, nitrat tuzları gibi) suda çözüldüğü halde, bir kısmı (kurşun sülfat) çözünmez. Organik kurşun bileşiklerinden alkil kurşun bileşikleri (tetra etil kurşun:TEK gibi) lipofil özellikte olup toksikolojik yönden önem taşırlar.

Günümüzde ise kurşun ve bileşikler başlıca boya, akümülatör, seramik, porselen, vulkanize kauçuk endüstrisinde; metal alaşımları (matbaa dizgisi, lehim, bronz gibi), kurşun borular yapımında; vuruntuyu önlemek için benzin katkı maddesi (alkil kurşun bileşikler); insektisit (kurşun arsenat: $PbAsO_4$ gibi);

plastifiyan; çocuk oyuncakları yapımında kullanılır. Kurşunla çalışan bu iş yerleri aynı zamanda kurşuna maruz kalma kaynaklarıdır.

Katı ve sıvı yakıtlar, cinslerine bağlı olarak, havaya kurşun verebilir. Ancak eksoz gazları yanında bu ikinci derecede kalır (Vural 1984).

3.7.6.1. Atmosferik kurşun kirliliği

İkinci dereceden hava kirliliği sınıfına giren ağır metallere birisi olan kurşunun, atmosferde sebep olduğu kirlilik üzerine araştırma yapılmasının iki önemli sebebi vardır.

Birincisi; kurşunun solunum yoluyla alındığında doğrudan kana geçebilmesi ve böylece direk olarak insanların kurşundan zehirlenmesine sebep olmasıdır. İkincisi atmosferdeki kurşunun ıslak ve kuru çökeltme ile çevremize yayılması ve çevre kirliliğini meydana getirmesidir.

Günümüzde farklı kaynaklardan kurşun yayılmaktadır. Çizelge 3.13'de ABD'de kurşun kaynakları hakkında yapılan araştırmanın sonuçları verilmiştir. Bu araştırmaya göre kurşun kirliliğinin kaynakları arasında birinci sırayı motorlu taşıtlar, ikinci sırayı ise kurşun endüstrisi almaktadır (Ceylan ve ark. 1995).

Çizelge 3.13. ABD'de atmosfere yayılan kurşun miktarları

	İşlem	Yayılan Kurşun (ton)
1	Benzinin yanmasından	127,800
2	Kömürün yanmasından	228
3	Motor yağlarının yanmasından	100
4	Katı artıkların yanmasından	1,170
5	Artık motor yağlarından	5,000
6	Kurşun alkil üretiminden	1,000
7	Akümülatör üretiminden	82
8	Mineral öğütülmesinden	493
9	Kurşun minerallerinin 1.ergitmesinden	400
10	Bakır minerallerinin 1.ergitmesinden	1,314
11	Çinko minerallerinin 1.ergitmesinden	112
12	Kurşun minerallerinin 2.ergitmesinden	750
13	Pirinç ve tunç üretiminden	47
14	Gridemir üretiminden	1,080
15	Demir ve çelik üretiminden	605
16	Kurşunoksit üretiminden	100
17	Baskı metali hazırlanmasında	435
18	Çimento üretiminden	312
19	Diğer faktörler	351
	T O P L A M	141,380

a) Taşıt motorlarından çevreye katılan kurşun

Motorlu taşıt araçlarında yakılan 1 lt yakıt, kendi hacminin 1000 katından fazla eksoz gazı oluşturmaktadır. Eksozdan çıkan gazlar CO₂, su buharı gibi kısmen zararsız bileşenlerle CO, HC, azot oksitler, kükürt dioksit ve kurşun gibi zararlıları içerir. Aracın 1 km hareketi sırasında eksoz gazlarında 15,9-34,9 gr CO; 1,5- 2,3 gr hidrokarbon; 2,0- 3,3 gr azotoksit ve 0,01 gr kurşun atmosfere verilmektedir (Şekerci 1989).

Yakın çevrede en önemli kurşun kaynağı, benzine katılan tetra etil kurşun (TEK) veya tetra metil kurşun (TMK) olur. Belirli zamanlarda ateşlemenin olabilmesi için benzine % 0,02- 0,06 hacim kurşun tetraetil katılmaktadır. Motorun çalışması ve yanma sonucu söz konusu kurşunun % 50- 70'i eksoz

gazları ile havaya atılmaktadır. 10 lt benzin ile 100 km giden bir araç 2- 3 gr kurşunu havaya iletmış olur. Bu da saatte 2000 araçlık bir trafikte 40- 60 gr/km/h kurşunun havaya aktarılması demektir. Çoğu zaman trafik yoğunluğu bu değerlerin üzerine çıkmaktadır (Şekerci 1989). Genel olarak benzine katılan kurşun miktarı 130 mg/L (ABD'de) ile 400 mg/L (İsviçre'de) arasında değişmektedir. Türkiye'de süper benzine 550 mg/L, normal benzine 340 mg/L kurşun katılmaktadır. Benzine katılan bu bileşikler yanma sonucu egzoz gazları ile havaya çeşitli kurşun bileşikleri (kurşun halojenür, kurşun oksit, kurşun oksikarbonat gibi) şeklinde yayılır. Trafik yoğun olduğu şehir havasında bu nedenle kurşun miktarı 1-10 μ g/m³ ve hatta daha yüksek düzeyde olabilir (Vural 1984).

Benzinin yanması sonucunda parçalanan organik kurşun bileşikleri kurşun oksit, klorür, sülfat fosfat şekillerine dönüşmüş egzoz gazlarıyla birlikte çevreye yayıldığı için yoğun trafik akışına sahip olan şehir caddeleri ve oto yolları çevresindeki bitkiler kurşunlu atıklarla kirlenir. Trafik akışının sürekli yoğunlaşmasına bağlı olarak zamanla tehlikeli düzeylere ulaşan bu kurşun birikimi insan ve hayvanlarda yaygın nitelikli kronik kurşun zehirlenmesi riski yaratır (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

b) Fosil yakıtların yanması ile çevreye katılan kurşun

Kömür ve petrol iki önemli fosil kökenli yakıttır. Eğer kömür kurşun içeriyorsa yanma sırasında kurşun küle geçer ve küledeki kurşun derişimi 200 mg/kg değerine ulaşabilir. ABD kömürlerinde kurşun miktarı ortalama 35-44 mg/kg, İngiltere kömürlerinde ise 17 mg/kg'dır. Evlerde sobalarda kömürün yakılması sırasında, baca gazı hızı düşük olduğundan, kül çoğunlukla sobanın ızgarasında kalır. Oysa termik santrallerde külün büyük bir kısmı uçarak bacadan atmosfere atılır. Ancak kontrol cihazları ile bacadan uçan külün atmosfere dağılması engellenebilir. Buna rağmen termik santrallerde bacadan uçan kül toplandığında tanecik çapı farklı büyüklüklerde olan kurşun derişimi 1-100 mg/kg olarak bulunmuştur.

Ham petrolde 0,001- 0,2 mg/kg kurşun bulunabilir ve en üst limit 2 mg/kg'a ulaşabilir. Ham petrolün fraksiyonlu destilasyonu sonucu kurşun ağır

fuel-oil'de kaldığından, fuel-oil'in yakılması sonucu kurşun atmosfere yayılır. Örneğin İngiltere'de fueloil'in yanması sonucu atmosfere yaklaşık yılda 15 ton kurşun yayıldığı tahmin edilmektedir (Ceylan ve ark. 1995).

3.7.6.2. Kurşun derişimleri

Endüstride, havada kurşun için TLV (Threshold Limit Value) $0,2 \text{ mg/m}^3$; normal hava kirliliği standardı ise $5 \mu\text{g/m}^3$ 'tür. Besinlerde en fazla 7 mg/m^3 (ppm), sitrus meyvaları için ise en çok 1 ppm'e müsaade edilmektedir. Besinlerle günde organizmaya 300 mg kadar kurşun girebilir. (Güley ve Vural 1976).

Tetraetil kurşun ve terametil kurşunun havadaki MAK değeri 0,075 ppm'dir. Bir damla TEK akut zehirlenme oluşturabilir. MLD ise 100 mg/ 70 kg insandır.

Çeşitli besin maddeleri değişen miktarda kurşun içerir. Bitkisel kaynaklı besinlerde yetiştiği toprağa bağlı olarak kurşun miktarı ortalama 0-2,5 mg/kg; balık ve deniz ürünlerinde 0,2-2,5 mg/kg; et ve yumurtada 0-3,7 mg/kg arasında değişmektedir (Vural 1984).

Litosfer yaklaşık 16 ppm, topraklar 2-200 ppm kadar kurşun içerirler. Topraklarda bulunan kurşun içeriğinin yaklaşık 1 ppm'i bitkiler tarafından asimile edilir (Trambe 1996).

3.7.6.3. Kurşun döngüsü

Devamlı kurşuna maruz kalma ile "kurşun absorpsiyonu" meydana gelir. Absorpsiyon her zaman zehirlenmeye yol açmayabilir. Ancak belirli bir miktardan sonra kurşun absorpsiyonu bir çok organ ve sistemleri etkilemektedir. Bu etkilerden zarar gören başlıca organlar ise hematopoetik sistem, merkezi sinir sistemi, perifer sinirler ve böbreklerdir (Vural 1984).

Endüstriyel etkinliklere bağlı olarak insan ve hayvanların yaşam çevresine giren kurşun artıkları öncelikle hava kirliliği halinde kendini gösterir. Atmosferde çözülmeyen presipitatlara dönüşen kurşun partikülleri ve bileşikleri zamanla dünya su sistemlerine ve karasal kesimlere dönerek sedimentlerde ve bitkisel

yapılarda birikir. Gerçekten de, son yarım yüz yıllık süreçte dünya su sistemlerinin kurşun değerlerinde ortalama 10 katına ulaşan artışlar saptanmıştır. Şöyle ki; yeraltı sularının doğal kurşun yoğunluğu 1-10 mg/L, 1000 m'den aşağı derinliklerden alınan okyanus sularının kurşun değerleri 0,02-0,04 mg/L düzeyleri arasında kalırken, Akdeniz ve Pasifik Okyanusunun yüzey sularında bu değerlerin 0,35 mg/L'ye yükseldiği saptanmıştır. Endüstriyel atıkların döküldüğü yerel su kesimleri ile iç ve kıyı sularına yansıyan kurşun kirliliklerinin daha da yüksek boyutlara ulaşması kaçınılmaz görülmektedir (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

3.7.7. Nikel (Ni)

Nikel (Ni), doğada arsenik nikel (NiAs), nikel galeni (NiS), arsenikli nikel galeni (NiAsS) ve ayrıca demir ve bakır içeren minerallerle birlikte bulunur (Vural 1984).

Nikel, her yerde bulunabilen bir eser elementtir ve toprakta, havada ve biyosferde bulunur. Yer kabuğunun nikel içeriği yaklaşık % 0,008'dir (Fergusson 1990).

Yakın çevrede nikel, fosil kaynaklı yakıtların yanması ile havada bulunabilir. Suda normalde bulunmaz. Bazı besin maddelerinde besin teknolojisi nedeniyle (jelatin ve kabartma tozu gibi); sebzelerde ve hububat da doğal olarak nikel bulunmaktadır. Sigara dumanının da önemli derecede nikel karbonil içerdiği belirlenmiştir (Vural 1984).

3.7.7.1. Kaynakları

Çizelge 3.14'de nikel'in atmosferik kaynakları, Çizelge 3.15'de antropojenik kaynakları verilmiştir (EHC-108 1991).

Çizelge 3.14. Atmosferdeki doğal kaynaklardan gelen Ni'in global emisyonları. Emisyon hızı (10⁶ kg/yıl)

Kaynaklar	Nriagu (1980)	Schmidt&Andren	Barrie (1981)
Toprak tozları	20	4,8	7,5-37,5
Volkanlar	3,8	2,5	10-60
Bitki örtüsü	1,6	0,82	1,5-20
Orman yangınları	- ^a	0,19	0,3-15
Meteorik toz	-	0,18	-
Deniz tuzu	-	-	27
Deniz aerosolleri	-	0,009	-
Toplam	26 ^b	8,5	46-160

a veri elde edilememiş

b diğerleri için toplam içerik 0,6

Çizelge 3.15. Atmosferden antropojenik kaynaklardan gelen nikelin global emisyonları^a

Kaynaklar	Emisyon Oranı
Yağın yanmasından kalan	17
Yakıt yağının yanması	9,7
Nikel madenciliği ve artımı	7,2
Evsel insineratörler	5,1
Çelik üretimi	1,2
Benzin ve dizel yakıtın yanması	0,9
Nikel alaşım üretimi	0,7
Kömürün yanması	0,66
Dökme demir üretimi	0,3
Atık çamur insineratörü	0,048
Cu-Ni alaşım üretimi	0,04
Toplam	42,85

^a Schmidt&Andren (1980)'den uyarlanmıştır.

3.7.7.2. Endüstriyel Kullanım

Endüstride başlıca nikel maruz kalma; nikel kaplama (elektrolizle nikelaj), nikel sülfat, nikel tozunun öğütülmesi sırasında ve nikel karbonil [Ni(CO)₄] nedeniyle. Ayrıca nikel elektronik, madeni para, pil ve besin endüstrisinde (katalizör olarak) ve paslanmaz çelik üretiminde kullanılır (Vural 1984).

Nikelin büyük bir kısmı paslanmaz çelik üretiminde ve diğer nikel alaşımları yüksek korozyon ve sıcaklığa olan dirençlerine yönelik kullanılır. Nikel alaşımları ve nikel levhalar taşıtlarda, makine, silah, el aletleri, elektrik teçhizatı, ev cihazları ve madeni para üretiminde kullanılır. Atmosfer içindeki nikel emisyonlarının başlıca kaynakları ısı ya da güç üretimi için kömürün ve yağın yanması, atık ve pis su arıtılmasında oluşan tortunun yanıp kül olması, nikel madenciliği, paslanmaz çelik üretimi ve çimento imalatı gibi muhtelif kaynaklardır. Kullanılan mineralin doğal bileşimi olan nikel çimento üretimi esnasında ve asbest madenciliğinden yayılabilir. Çimento üretiminde nikel kilin, kireç taşının, şistlerin, kullanılan hammaddenin ya da kilin yüksek sıcaklıkta okside forma geçmesi süreçlerinden yayılabilir. Atmosferik nikelin ana kaynağı eser miktarda nikel içeren fosil yakıtların tüketimidir. Tüketim kaynakları güç üretimi ya da ısınma için kömür veya yağ yakımını içermektedir. Hava kirliliğinde baskın nikel bileşikleri nikel sülfat, nikel oksit, nikel sülfidler ve metalik nikel olarak görülmektedir. Nikel alaşımlarının üretim safhasında eritme ve fırınlama aşamaları nikel emisyonları açısından önemlidir. Çünkü, bu proseslerde tozlar meydana gelmektedir (EHC-108, 1991).

Nikel karbonil, çok toksik bir gaz olup, nikel mineralinden nikelin ayrılması, organik reaksiyonlarda nikelin katalizör olarak kullanılması, elektrolizle kaplama ve aktif nikel ile karbonmonoksitin etkileşmesi sırasında oluşur (Vural 1984).

3.7.7.3. Metabolizmaya olan etkileri

Çevreye hem doğal kaynaklardan hem de antropojenik kaynaklardan yayılan nikel, kimyasal ve fiziksel süreçler vasıtasıyla çevreye yayılmakta ve canlı organizmalar tarafından biyolojik olarak taşınmaktadır. Düşük derişimlerde elementel nikel toksik değildir ve yaşam için gereklidir (Vural 1984).

3.7.7.4. Nikel derişimleri

Coğrafi dağılıma bağlı olarak değişmekle beraber vücudun nikel yükü 10 mg'dan azdır. Havada MAK değeri 0.001 ppm'dir (Vural 1984).

Litosferin nikel içeriği yaklaşık 100 ppm'dir, bu değer bazik kayalarda 5000 ppm'e kadar çıkabilir. Topraklar ortalama 5- 500 ppm Ni içeriğine sahiptir, fakat genellikle bunun %1'inden daha azı bitkiler tarafından asimile edilebilir (Trambe 1996).

4. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Henden ve ark. (1993) tarafından *Ballota acetabulosa* (L.) Bentham, İzmir'in Aliğa İlçesi Yeni Foça yolu yakınında kurulu bir demir çelik fabrikasının çevresinde metal kirlenmesinin monitörü olarak araştırılmıştır. Pb, Zn, Cd, Cr, Fe, ve Mn derişimleri fabrikaya 250-2500 m uzaklıktaki mesafelerden alınan yıkanmış ve yıkanmamış yapraklarda belirlenmiştir. Yıkanmamış ve kurutulmamış yapraklarda Pb 100-856 mg/g; Cd 1,50-15,3 mg/g; Zn 94-1700 mg/g; Fe 1000-3950 mg/g ve Mn 75-1300 mg/g arasında bulunmuştur. Yıkama ile farklı uzaklıklardan alınan örneklerde metallerin yapraklardan ortalama olarak % 30- 60 arasında uzaklaştığı saptanmıştır. *Ballota acetabulosa*'nın yaprak yüzeyinin metalleri biriktirme yeteneği nedeniyle, endüstriyel bölgelerde kirlenmenin izlenmesinde değerli olabileceği kanısına varılmıştır.

Bandırma ve Erdek'te yayılış gösteren *Pinus pinea*, *Olea europaea subsp. Oleaster*, *Ferula communis*, *Laurus nobilis*, *Cupressus sempervirens*, *Styrax officinalis*, *Quercus cocciera*, *Pistacia lentiscus* ve *Sorghum halopense* bitkilerinin, çevredeki gübre fabrikalarının havayı kirletmeleri sonucu, nasıl etkilendiklerini Oflas ve arkadaşları (1993) araştırmıştır. Bu çalışmada her iki bölgedeki toprak özellikleri belirlenmiş; örnek bitkiler ve topraklardaki N, P, K makro elementleri yanı sıra Pb, Fe, Mn, Cu, Zn ve Cd mikro element ve ağır metal içerikleri de belirlenmiştir.

Türkan ve Henden (1991) tarafından yapılan araştırmanın amacı İzmir şehir merkezindeki farklı alanların ağır metal kirlilik seviyelerinin belirlenmesidir. Çalışmada şehir ortamlarındaki ağır metal seviyelerinin (Pb, Cd, Ni, Co, Zn, Cu) monitorlamasında çam ağaçlarının (*pinus spp*) kabuklarından yararlanılmıştır.

Zabunoğlu ve arkadaşları (1988) Samsun'da kurulu bulunan Türkiye Gübre Sanayi A.Ş.'ne ait gübre fabrikaları ile Karadeniz Bakır İşletmeleri bakır izabe fabrikası baca emisyonlarının çevredeki tarımsal alanlarda yaptığı etkiyi belirlemek amacıyla iki yıl süren bir araştırma yapmışlardır. Bu süre içerisinde çevre çiftçisinin şikayetlerinin yoğun olduğu dönemlerde bütün arazi taranmış, gözlemler yapılmış, bitki ve toprak örnekleri alınmıştır. Arazide yapılan gözlemler sonucunda bölgede tarımı yoğun olarak yapılan ve en değerli ürün olan

tütünde, özellikle fabrikalara yakın kesimlerde ve hakim rüzgar yönünde (güneydoğu) hasarlar belirlenmiştir. Hasarların tipik SO₂ zararı olduğu ve yanık etkisinin Haziran-Temmuz döneminde çok yüksek bulunduğu anlaşılmıştır. Zararlanmanın kimyasal yolla belirlenmesi amacıyla, araziden toplanan anormal ve normal görümlü bitki örneklerinde S ve diğer kirleticilerden F, Fe, Cu, Mn ve Zn analizleri yapılmıştır. Özellikle fabrikalara yakın kesimlerden alınan bitki örneklerinin alınan kirletici etmenleri yüksek oranda kapsadıkları ve belirlenen değerlerin literatürde verilen normal düzeylerin çok üzerinde olduğu bulunmuştur.

Nerium oleander L., Seaward ve Mashhour (1991) tarafından Suudi Arabistan'ın endüstriyel şehri olan Yanbu'daki metal kirliliğinin biomonitorlanmasında kullanılmıştır. Şehir ve endüstriyel alanlarda geniş bir yayılım gösteren türünden alınarak yıkanmış ve yıkanmamış örnekleri için Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Co, Li ve Mn derişimleri hesaplanmıştır.

Yanbu'dan ve diğer ülkelerden toplanan *Nerium oleander* L. örneklerinin otomobil emisyonlarının monitorlanmasında kullanılarak yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı ülkelerden toplanan yıkanmamış *Nerium oleander* yapraklarının metal derişimleri (ppm)

	Pb	Cu	Zn	Cd	Li
Yanbu	12,0 ± 17,4	5,0 ± 2,9	11,9 ± 5,04	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,2
Roma, İtalya	18,4 ± 3,5	7,0 ± 0,5	27,0 ± 10,5	0,4 ± 0,11	*
İzmir, Türkiye	7,2 ± 0,6	5,9 ± 2,97	11,5 ± 3,4	1,3 ± 0,63	*
Alexandria, Mısır	23,4 ± 9,4	8,2 ± 5,7	12,9 ± 9,2	5,3 ± 4,4	1,03 ± 0,4

* bulunamamış.

Kalıcı kirlenmenin etkisinin toprakta belirlenmesi amacıyla da, emisyon kaynaklarından üç ayrı yöndeki toprak profilleri çeşitli uzaklıklarda incelenmiştir. Yapılan analizler, fabrikalardan 3- 6 km uzaklıklarda toprak yüzeyinde aşırı oranda Fe ve Cu bulunduğunu göstermiştir. Yine bu uzaklıkta toprakta bor birikimi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca hakim rüzgar yönünde toprak pH'sında yüzeyde düşme görülmüştür.

Öte yandan, topraktaki biyolojik hayat üzerine olan etkinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizler, genel olarak toprak mikroflorasının yapılan emisyonundan henüz etkilenmediğini göstermiştir.

Aksoy ve Dixon (1999) tarafından yapılan çalışmada İngiltere, Bradford şehrindeki ağır metaller için bir biomonitor olarak *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic kullanılmıştır. Bradford ve çevresinde 42 bölge araştırılmış, bitki ve toprak örneklerinde Pb, Cd, Zn ve Cu derişimleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen değerlerin dağılımı ile literatürden alınan toksik veya kirlenmiş sayılan alanlardaki ağır metal derişimlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Denev sonuçları ve literatürden alınan ağır metal derişimleri ($\mu\text{g.g}^{-1}$ kuru ağırlık)

Elementler	Topraklar	Bitkiler	Bulunan sonuçlar		
	Toksik sayılan topraklarda derişimler	Kirlenmiş bitkilerdeki derişimler	Topraklar	<i>C.bursa-pastoris</i>	<i>P.annua</i>
Pb	100-400	30-300	69-942	8-57	6-56
Cd	3-8	0,03-3,8	1,02-3,15	0,45-1,07	0,27-0,84
Zn	70-400	100-400	173-576	53-200	50-151
Cu	60-125	20-100	35-173	9-26	9-26

Monni ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan araştırma için; Güneybatı Finlandiya'da Harjevalta'daki Cu-Ni maden eritme tesislerinden 0,5-8 km uzaklıklarda *E. Nigrum*'un yaprak ve saplarından örnekler alınmıştır. Araştırılan bütün parametrelerin ağır metal emisyonları tarafından zarar gördüğü açıkça görülmüştür.

E. Nigrum'un metal tolerans mekanizması tam olarak bilinmemektedir, fakat bitkinin daha yaşlı saplarında (gövde) Cu ve Ni derişimlerinin birikimi bitkinin hayatta kalmasını sağlayabilir. Böylece, *E. Nigrum*'un büyüyen kısımları, daha genç kısımlarındaki Cu ve Ni akümülyasyonunu sınırlayabilir.

Maden eritme tesisinden 0,5 km uzaklıktaki organik tabakanın pH'ı 3,5 ve 8 km'deki pH'ı 3,6 olarak belirlenmiştir. 0,5 km uzaklıkta kirlenmiş bir bölgede organik topraktaki toplam Cu ve Ni derişimleri sırasıyla 5800 ve 460 mg/kg kuru ağırlığın üzerinde bulunmuştur. Organik tabakadaki diğer ağır metallerin (Fe, Zn, Cd, Pb, Cr) derişimleri tesisin yakınlarında artmaktadır. 8 km uzaklıktaki

derişimler önemsizdir (Cu için 150 mg/ kg ve Ni için 40 mg/kg kuru ağırlıktır). Diğer ağır metallerin derişimleri 8 km'deki değerlerden daha dūşüktür.

Kutbay ve Kılınç (1991)'ın yaptıkları çalışmada Samsun'da trafiğin yoğun olarak bulunduğu yolların yakınlarda yetişen bazı bitki türlerinde Pb ve Zn derişimleri belirlenmiştir.

Bitkilerdeki Pb ve Zn içeriklerini trafik yoğunluğuna bağlı olarak çok sayıda faktör etkilemektedir. Kurşun seviyeleri baharda hemen hemen sabit kalmakta fakat kış aylarında daha yüksek kurşun seviyeleri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara göre bitkilerde ağır metal seviyeleri vejetatif ve generatif büyüme evrelerinde farklılık göstermektedir.

Kutbay ve Kılınç (1991) en yüksek Pb derişimlerini tüylü ve dikenli yapraklara sahip *Centauria iberica*, *Plantago lanceolata* ve *Solanum nigrum*'da bulmuşlardır. Yine benzer şekilde, en yüksek Zn derişimlerini *Inula graveolens* ve *Plantago lanceolata* gibi bitkilerde bulmuşlardır.

Kutbay ve Kılınç'ın Samsun şehir merkezinden aldıkları örnekler üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre en yüksek Pb derişimi *Centauria iberica*'da 69,9 ppm olarak ve en düşük Pb derişimi 29,9 ppm olarak *Robinia pseudo-acacia*'da bulunmuştur. En yüksek Zn derişimi *Malva neglecta*'da 129,9 ppm olarak ve en düşük Zn derişimi 10,5 ppm olarak *Corylus maxima*'da bulunmuştur. Samsun-Bafra yolundan alınan örneklerde en yüksek Pb derişimi 46,6 ppm ve en düşük Pb derişimi 29,9 ppm' olarak belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük Zn derişimleri 83,3 ve 12,0 ppm olarak belirlenmiştir.

Mashhour ve Seaward (1991) tarafından yapılan bir başka araştırma için toz örnekleri 1986 ve 1987'nin yaz aylarında şehir ve endüstriyel komplekslerin dışındaki bir kontrol bölgesinden de olmak üzere 13 bölgeden toplanmıştır. Nawah yerleşim bölgesindeki toz örneklerinde Pb, Cu, Zn ve Cd ortalama derişimleri sırasıyla 1788.5, 36.98, 111.69 ve 0.64 ppm olarak bulunmuştur. Kontrol bölgesinden alınan tozdaki aritmetik ortalama seviyeler Pb 4.84, Cu 4.92, Zn 29.76 ve Cd 0.84 ppm'dir.

Suudi Arabistan, Yanbu ve dünyanın çeşitli bölgelerindeki ortalama kurşun seviyeleri izelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı bölgelerindeki ortalama kurşun seviyeleri

Bölgeler	Ortalama Pb Derişimleri (ppm)
Urbana, U.S.A.	3600
Christchurch, Yeni Zelanda	2790
Birmingham, U.K.	1630
Hong Kong	1627
Manchester, U.K.	970
Arnhem, Netherlands	761
Alexandria, Mısır	884
Jeddah, Suudi Arabistan	925
Nawah, Yanbu, Suudi Arabistan	1788

Jeddah'da anayoldan uzaklığın artması ile toz örneklerindeki Pb derişimlerinin üssel olarak azaldığı görülmüştür. Pb derişimindeki % 65,5 ve %90 düşüşler çizgisel kaynağın 4-10 m içerisinde oluşmakta, endüstriyel kompleksler dışındaki alanlarda Pb derişimleri 4- 5 ppm'e düşmektedir.

Gündoğdu (1994) tarafından Ankara'da yapılan çalışmalardan elde edilen veriler, ısınmada kullanılan katı yakıtların, en az benzinde kullanılan kurşun tetraetil kadar önemli bir kirlilik kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır.

Munzuroğlu ve Baltepe tarafından yapılan araştırmada buğday (*Triticum aestivum* L.)'ı tohum çimlenmesi, çimlenme sonrası aşamada kök ve koleoptil gelişimi, primer yaprak büyümesi gibi büyüme ve gelişmeyle ilgili fenomenleri üzerinde egzoz gazının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; egzoz gazı uygulaması çimlenmeyi etkilememiş, ancak çimlenme sonrası aşamada kök, koleoptil ve primer yaprak büyümesi üzerinde önemli derecelerde inhibisyona neden olmuştur. Kök ve koleoptil büyümesi üzerindeki engelleyici etkinin reverzibl nitelikte olduğu da gözlenmiştir. Ayrıca bu uygulamanın primer yapraklarda hızlı bir pigment ve protein azalışına yol açtığı, başlıca ve miktar sırasına göre çinko, kurşun ve kadmiyum birikimine neden olduğu görülmüştür.

Trafik yoğunluğu ile ilgili olarak karayolları boyunca yetişen bitkilerdeki Pb, Zn ve Cd'un kirlilik seviyeleri Türkan (1986) tarafından incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda; Pb, Zn ve Cd seviyelerinde trafik yoğunluğunun artması ile bir artış ve karayollarından olan uzaklığın artması ile de bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca en yüksek değerler tüylü yapraklı bitkilerde gözlenmiştir.

Yücel (1996) tarafından Kütahya İli'ndeki trafikten kaynaklanan ağır metal (Pb, Cd ve Zn) kirliliğini belirlemek için *Populus usbekistanica* Kom. Subsp. *Usbekistanica* cv. "Afghanica" analiz edilmiştir. Kimyasal analizler sonucu Pb, Cd ve Zn seviyelerinin dağılım aralığı sırasıyla 0- 32 mg/kg, 0722- 4.148 mg/kg ve 34.0- 572,8 mg/kg kuru madde olarak belirlenmiştir.

Bitkilerdeki Pb ve Zn içeriklerini trafik yoğunluğuna bağlı olarak çok sayıda faktör etkilemektedir. Kurşun seviyeleri baharda hemen hemen sabit kalmakta fakat kış aylarında daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Yapılan çalışmalara göre bitkilerde ağır metal seviyeleri vejetatif ve generatif büyüme evrelerinde farklılık göstermektedir.

Karademir ve Toker (1995)'in yaptıkları çalışmada Ankara'nın bazı kavşaklarında yetişen çim ve bitkilerde egzoz gazlarından kaynaklanan kurşun birikimi 6 ay süresince incelenmiştir. Bu bitkilerden alınan yaprak ve kök numuneleri ekstrakte edilmiş ve AAS (Atomik Absorpsiyon Spektrometre) ile kurşun miktarları ölçülmüştür. Bulunan değerler kurşun kirlenmesinin Ankara'da devamlı arttığını göstermiştir.

Bereket ve Yücel (1990), *Populus nigra subsp, nigra L.* yaprak örnekleri kullanarak trafik kökenli Pb, Cd ve Zn gibi ağır metalleri izlemek için biyolojik bir yöntem denemişlerdir. Cd ve Zn seviyelerinin tavsiye edilen maksimum seviyeyi aşmadığı ve trafik yoğunluğu ile Cd ve Zn seviyeleri arasında tam anlamıyla bir uyum olmadığı, ancak Pb seviyeleri ile trafik yoğunlukları arasında doğrusal bir orantı olduğu bulunmuştur. Maksimum Pb seviyesinin ise tavsiye edilen maksimum seviyenin üç katı olduğu görülmüştür.

İstanbul-Ankara anayolundaki yaprak örnekleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarından; yaprak örneklerinin Zn içeriğinin yoldan mesafe ile bağımsız olduğu fakat Pb içeriğinin yoldan mesafe ile doğrusal ilişki içinde olduğu bulunmuştur.

Yücel ve Öztürk (1993) tarafından Eskişehir'in kent içi ve yakın çevresinde park, bahçe, yol kenarı ve yakın rekreasyon alanlarında yetişen bitkiler üzerinde kirliliğin etkileri araştırılmış, yapılan çalışmalar sonunda bitkilerde, özellikle ağaç ve çalılarda gözle görülebilir hasarlar saptanmıştır. *Pinus silvestris L.* ve *Pinus nigra L.* yapraklarında sararma ve kuruma, erken yaprak dökümü ve

yaprak azlığı, tepe tacında deformasyonlar ve ağaçlarda sürekli kurumalar belirlenmiştir. *Cedrus spp.*'nin önce yapı olarak zayıfladığı, bazı fertlerde yan dallarda yumrular halinde patolojik oluşumlar geliştiği, bazı fertlerde ise tepe sürgünlerinin kuruduğu, ya da ağacın tamamen kuruduğu belirlenmiştir. *Picea orientalis L.* ve *Abies bormülleriana* Mattf'ta yaprak azlığı ve yan dallarda düzensiz kurumalar sonucu form bozuklukları gözlenirken; *Chamaecyparis lavsoniana* (A. Murr) Parl.'da önce yer yer pul yaprakların, daha sonra 3- 5 m boyundaki ağaçların tamamen kuruduğu gözlenmiştir. *Picea abies L.*'de önce aşırı yaprak dökülmesi ve ardından ağacın tepe sürgünlerinde ve yan dallarında belirgin kurumalar saptanmıştır. *Juniperus ssp.*'de sürgün uçlarındaki yapraklarda sararma, özellikle tepe ve tepeye yakın yan dallarda yaprak dökülmesi ve kurumalar görülmüştür. Yapraklı ağaçlardan; *Platanus orientalis L.*, *Aesculus hypocastanum L.* ve *Acer pseudoplatanus L.*'da yaprak ucunda ve kenarlarında kıvrılmalar, kurumalar ve erken yaprak dökümü saptanmıştır.

Lao ve Wong (1982) yaptıkları araştırmada yol kenarındaki toz ve toprak örneklerini Hong Kong'daki 14 farklı bölgeden toplamışlar ve toplanan örneklerdeki Pb ve diğer metallerin yıllık ortalamalarının trafik yoğunluğu ile önemli bir korelasyona sahip olduğunu bulmuşlardır. Bulunan değerlerin bazıları kirlenmemiş toprakta bulunan 15 ppm ortalama kurşun derişimi ile karşılaştırıldığında tehlike işareti vermektedir.

Baroda şehrinin Lalbag bölgesindeki işlek bir yol boyunca yetişen ağaçlar ve topraklar üzerindeki motorlu taşıtların egzoz gazlarından gelen kurşunun birikimi Agrawal, Patel ve Merh (1981) tarafından incelenmiştir.

Majdi ve Persson (1989) yaptıkları çalışmada ince kökler ve mycorrhiza üzerinde trafikten kaynaklanan Pb ve Cd kirleticilerinin etkilerini ve onların topraktaki birikimini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında tuz, fosfor, kalsiyum ve pH'ında etkilerini incelemişlerdir. Yola açık bölgelerden alınan ağaçların ince köklerindeki Pb ve Cd derişimleri ormandakilerden daha yüksek bulunmuştur.

Yeni Zelanda'da Auckland kentinin otoyolunun değişik kesimlerinde yapılan bir araştırmada, otoyolun refüj kesiminde 0-1 cm yüzey toprağındaki Cd, Pb ve Zn düzeyleri trafiğin yoğunluğundaki artışa bağlı olarak çarpıcı bir yükseliş

göstermektedir. Çizelge 4.4'de trafik yoğunluğuna bağlı olarak Cd, Pb ve Zn derişimlerdeki değişimler gösterilmiştir (Ward ve ark. 1977).

Çizelge 4.4. Trafik yoğunluğuna bağlı olarak Cd, Pb ve Zn' derişimlerdeki değişimler

Trafik yoğunluğu (araç/ 24 saat)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
10000-19000	0,3	780	130
20000-39000	0,4	1.250	180
40000-50000	0,7	1.650	250
50000-yukarı	2,2	2.200	480
Trafikten uzaktaki topraklar	0,2	14	64

24 saatte yaklaşık 10000-19000 aracın geçtiği yolda, topraktaki Cd değeri 0,3 ppm, Pb değeri 780 ppm ve Zn değeri 130 ppm iken, bu değerler 24 saatte 50000 aracın geçtiği yolda Cd için 2,2 ppm'e, Pb için 2200 ppm'e ve Zn için 480 ppm'e ulaşmaktadır. Oto yoldan uzakta bulunan ve benzer toprak özelliklerine sahip olan yerden alınan toprak örnekleri ile 50000'den fazla aracın geçtiği yerden alınan toprak örnekleri karşılaştırıldığında, söz konusu artışlar yaklaşık olarak Cd için 10 kat, Pb için 160 kat ve Zn için 8 kat olmaktadır. Söz konusu ağır metal miktarları toprak derinliğine bağlı olarak da önemli bir düşüş göstermektedir. Örneğin toprağın 0,5 cm'sinde Pb değeri yaklaşık 4000 ppm iken bu değer toprağın 10 cm'sinde 500 ppm'e kadar düşmektedir.

Chow (1970)'in Birleşik Amerika'da Beltswill yakınlarında 24000 aracın geçtiği bir otoyolda yaptığı çalışmada, ağır metal kirliliğinin yalnızca toprak derinliğine bağlı olarak değil, otoyoldan uzaklığa bağlı olarak da önemli bir değişim gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Garber (1974) tarafından yapılan çalışmada, motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevredeki ağır metal kirliliğinin bir otoyol çevresindeki sebze ve meyve ağaçları gibi bir çok kültür bitkisinde ortaya çıktığı sonucuna varılmaktadır. Örneğin bir otoyola 5 metre mesafede kayısı ve armut ağaçlarındaki Pb değerleri kayısı kabuğunda 7,5 ppm, armut kabuğunda 3,9 ppm iken, bu değerler otoyola 15 ve 80 metre mesafelerde kayısı için 6,9 ppm ve 5,8 ppm'e ve armut için 2,0 ppm ve 1,1 ppm'e düşmektedir.

Bir çok araştırma sonucuna göre, ekosistemlerde, motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal birikimi otoyoldan yaklaşık 100 metrelik mesafe içinde etkili olmaktadır. Bu uzaklık dışındaki alanda, ağır metallerin toprakta olsun bitkide olsun miktarı pek değişmemektedir. Örneğin Almanya'da otoyollarının yalnızca 50 metrelik sağ ve sol kesimlerinde ortaya çıkan kurşun kirliliği ~750000 hektar alanı etkilemektedir. Söz konusu alanın ise ~420000 hektarı tarımsal amaçla kullanılmakta ve böylece yalnızca kültür bitkileri değil aynı zamanda dolaylı olarak hayvan ve insan sağlığı da anılan kirlilikten etkilenmektedir.

Haktanır ve arkadaşları (1994), Ankara çevresinde ve otoyollar boyunca yer alan topraklarda yaptıkları incelemeler sonucunda egzoz gazı ile ilişkili olan ağır metallerin (Pb, Cd ve Cu) derişimlerini belirlemişlerdir. Yol kenarlarında bulunan topraklarda üst 0-5 cm'lik toprakta yüksek düzeyde Pb artışı bulunmuştur. Pb, Cd ve Cu metallerinin derişimleri yol kenarlarından olan mesafe ile azalmakta ve 40 metreden sonra 500 metreye doğru doğal değerler düzeyine düşmektedir.

Yaramaz ve Tunçer (1983), İzmir merkez ve çevre yolları kenarında yaşayan toprak solucanlarında (*Lumbricus terrestris*) trafik kökenli olan kurşun ve kadmiyum kirlenmesinin düzeylerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre *L. terrestris*' ve toprakta yağıştan sonra bu iki toksik metalin birikimlerinin daha da artmakta olduğu saptanmıştır.

Yatın ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada Ankara atmosferinde dört ay süre ile toplanan aerosol örneklerinde 40 dolayında eser element ve iyon analizleri yapılmış ve element ve iyon derişimlerinde gözlenen mevsimsel ve günlük derişimleri belirleyen faktörler incelenmiştir. Element derişimlerinde görülen mevsimsel derişimlerin büyük ölçüde emisyonlardaki derişimlere bağlı olduğu, günlük derişimlerin ise tamamen meteorolojik koşullar tarafından belirlendiği anlaşılmıştır. Derişimlerdeki episodik derişimleri etkileyen en önemli meteorolojik parametrelerin karışım yüksekliği ve rüzgar hızı olduğu, rüzgar yönünün ise, genelde rüzgar hızı az olduğundan önemli bir parametre olmadığı görülmüştür. 1975 yılından beri yapılan ölçümler karşılaştırıldığında, Ankara'da ısınma amacıyla doğalgaz kullanılmaya başlanması ve yerleşimin hızla

yayılmasıyla antropojenik ve toprak kökenli element derişimlerinin düşmeye başladığı gözlenmiştir.

Moreno-Grau ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan çalışmalar TSP (toplam askıda partikül madde) ve atmosferik ağır metallerin yerel derişim seviyelerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Burada, TSP ve ağır metal atmosferik seviyelerinin bir değerlendirmesi 1990'dan 1998'e kadar olan veri kaynaklarına dayanılarak sunulmuştur.

En yüksek TSP seviyeleri kış ve sonbaharda, en yüksek Pb derişimleri ise kış mevsiminde belirlenmiştir. Her bir örnekleme noktası için Pb/Cd ortalama oranları yerel doğal emisyonlar için rapor edilmiş Pb/Cd oranı ile karşılaştırıldığı zaman endüstriyel alanlar için direk antropojenik bir katkı söz konusu olduğu ortaya çıkmıştır.

Balkan ve Önal (1993)'ın yaptıkları çalışmada inceleme ortamında artan Pb derişimlerinin *Helianthus annuus*'un gelişmesi üzerine olan etkisi incelenmiştir. Bu araştırmada *Helianthus*'un değişik organlarındaki Pb'un dağılımını saptamak da amaçlanmıştır. *Helianthus annuus* fideleri kum kültürlerinde yetiştirilmiş ve aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1,5- 10- 20- 40- 80- 100- 250- 500 ve 1000 ppm Pb uygulanarak yapılan çimlenme deneyinde kontrole göre belirgin bir fark bulunamamıştır. Buna karşın çimlenmeden sonra kurşunun toksik etkileri köklerde ve kotiledonlarda belirgin olduğu görülmüştür.
- Kurşun miktarı arttıkça Pb'nun alımı ve birikimi bütün bitki kısımlarında artmaktadır. Bitki organları arasında en fazla Pb köklerde bulunmuştur.
- Aynı miktarda Pb uygulanmasında, köklerdeki Pb değerleri 11 günün sonunda 35'den 160 ppm'e, gövdelerde 3,4'den 15 ppm'e, yapraklarda ise 0,6'dan 9,7 ppm'e ve 30 günün sonunda ise köklerde 155'den 455 ppm'e; gövdelerde 36'dan 196 ppm'e; yapraklarda ise 4,2'den 65,4 ppm'e kadar yükselmiştir.
- Bütün bitkinin ve tek organların biyomas üretimi yetiştirme ortamındaki farklı Pb miktarlarıyla ilişkili olarak etkilenmiştir. 500 ppm'den itibaren yaprak yüzeyi ve yaprakların kuru ağırlığı 76 günlük bitkilerde kontrol bitkilerine göre % 50 oranında azalmıştır.

- *Helianthus annuus* bitkisinin yapraklarında ilk Pb uygulamasından sonra 10 gün içinde 100 ppm'den itibaren yaprak klorozu ve yaprak nekrozu olarak olumsuz semptomlar belirmeye başlamıştır. Bu semptomlar vejetasyon periyodu süresince daha belirgin olmuştur.

Bayçu ve Önal (1993) 7 hafta süreyle kum kültürlerinde ve iklim odası koşullarında yetiştirilen *A.altissima* bitkisinin organlarındaki Cd derişimini saptamış ve Cd'un toksik etkilerini incelemiştir.

0,1- 0,25- 1,25- 2,5- 5- 10- 20- 30- 40 ve 50 ppm gibi farklı Cd derişimlerinde yetiştirilen bitkilerde farklı birikim ve toksik semptomlar saptanmıştır.

0,1 ppm Cd içeren ortamda yetişen bitkilerin köklerinde 14,6; gövdelerinde 2,06; yapraklarında ise 1,5 ppm Cd; 50 ppm'de yetişen bitkilerin köklerinde 1000, gövdelerinde 95,5; yapraklarında ise 67,9 ppm Cd birikmiştir.

Köklerde biriken kadmiyumu 100 olarak kabul edersek, bunun ancak % 7,8- 17,8'i gövdelerde, % 6,5- 10,3'ü ise yapraklarda toplanmıştır.

Yetiştirme ortamında Cd derişimi arttıkça bitki organlarında biriken Cd'un mutlak değeri artmakta, ancak bu ağır metalin transfer faktörü düşmektedir. 10- 50 ppm Cd derişimlerinde yetişen bitkilerin taze ve kuru ağırlığı, gövde büyümesi ve klorofil miktarı olumsuz yönde etkilenmiştir. Aynı derişimlerde kloroz ve köklerde sararma ile kısıalma izlenmiştir. 0,1- 5 ppm Cd uygulamasında ise bu semptomlar belirgin değildir. *A.altissima* bitkisinin 50 ppm gibi toksik bir Cd derişiminde hafif olumsuz semptomlar dışında yaşamını sürdürüyor olması, bu bitkinin otoyol ve endüstriyel alanlar çevresindeki ağır metaller kirliliğinde filtre görevi yapabileceğini düşündürmüştür.

Carmen Hura ve arkadaşları (1998) tarafından yapılan çalışmanın amacı, Doğu Romanya Bölgesinden alınan bazı gıda maddelerindeki kanser riski ile bazı kimyasal kirleticilerin derişimini incelemektir.

Besinlerdeki kimyasal kirleticilerin belirlenmesi; hem kirliliğin önlenmesi, kontrolü ve azaltılması hem de meslek hastalıkları, yasal hükümler ve epidemiyolojik çalışmalar için çevresel monitorlama da önemlidir.

Günlük besinlerdeki metallerin ortalama derişimleri bölgeden bölgeye değişmektedir. Çizelge 4.5'de günlük öğünlerdeki besinlerden gelen metallerin ortalama derişimleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Günlük öğünlerdeki besinlerden alınan metallerin ortalama derişimleri

Bölgeler	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cd
Bakü	2,9	4,2	0	0,4	0,8	0
Galati	13,6	4,9	5,5	1,7	0	0
Suceava	5,8	3,2	1,3	0,8	1,8	0,6
Vaslui	245,5	48,7	0	3,7	0	0
Vrancea	8,6	24,4	1,4	3,1	2,4	0,8

Besinlerdeki ortalama Zn derişimi 4,2 mg/kg (Bakü) ve 48,7 mg/kg (Vaslui) arasında, ortalama Cu derişimi 1,3 mg/kg (Suceava) ve 5,5 mg/kg (Galati) arasında değişmektedir.

Elde edilen analiz sonuçları besinlerde değişen derişimlerde ağır metallerin bulunduğunu göstermiştir, fakat bunlar kabul edilebilir sınır değerlerdir (Carmen Hura, Leanca ve Rusu, 1998).

Pichtel, Kuroiwa ve Sawyerr (2000) tarafından yapılan çalışmanın amacı; incelenen bölgedeki, i) Pb, Cd ve Ba derişimlerini tayin etmek, ii) topraktaki Pb, Cd ve Ba'un çeşitli kimyasal kesirlerini tayin etmek ve iii) bu metallerin bitkiler tarafından alımını değerlendirmektir.

Toprak örnekleri ve bitki dokuları kurşunlu batarya toplama alanı ve superfund (süper birikim) alanı gibi oldukça kirlenmiş iki bölgeden toplanmış ve metal içerikleri analiz edilmiştir.

Pb ve Cd ile oldukça kirlenmiş iki Orta ABD bölgesinde metal çeşitleri ve derişimlerinin ve bitki populasyonları tarafından metal alımının belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır.

Farklı bölgelerde incelenen topraklarda ortalama Pb derişimi için 55480-29400 mg/kg ve ortalama Cd derişimi için 8,5-3,9 mg/kg değerleri bulunmuştur. Bölgelerdeki bitkilerce (*Agrostemma githago*, *Plantago ruglii*, *Alliaria officinalis* filizleri) Pb alımı 1800 mg/kg değerlerinde bulunmuştur. Cd alımı *Taraxacum officinale*'de 15,4 mg/kg değerinde maksimum olarak

bulunmuştur. Bitkiler üzerindeki çalışmaların çoğunda köklerdeki Pb ve Cd içeriği bitki filizlerindeki kadar değildir.

Čeburnis ve Steinnes (2000), Lithuania'daki 48 bölgede yosunlar, Avrupa ladini ve ardıdaki 7 elementin (As, Cd, Cs, Mn, Pb, V, Zn) derişimlerini belirlemiştir. Conifer needles aynı bölgelerden toplanan yosunlardan birkaç kez daha küçük derişimler göstermiştir.

Missouri, Oklahoma ve Kansas bölümlerini içeren üç maden bölgesi 1950'lere kadar aşırı derecede Pb ve Zn madencilik faaliyetlerinin yapıldığı bölgelerdir. Abdel-Saheb ve arkadaşlarının (1994) yaptığı çalışma da bu bölgelerdeki toprakların ağır metal kirliliği karakterize edilmeye çalışılmıştır.

Maden ve eritme tesislerinin atıkları yüksek miktarda Cd, Cu, Pb ve Zn gibi ağır metalleri içermektedir. EPA (1987) maden atıklarının dereleri ve yeraltı suyunu kirletebileceğini ve yaban hayatına, balıkçılık ve madencilik faaliyetlerinden etkilenen alanlardaki tarıma zararlı olabileceğini bulmuştur.

Toplam metal derişimleri 8 mg/kg Cd, 100-400 mg/kg Pb ve 70-400 mg/kg Zn değerlerini aşarsa metal fototoksitesinden dolayı topraklar verimsizleşebilir (Abdel-Saheb ve arkadaşları, 1994).

Saur ve Juste (1994) tarafından yapılan çalışmada, Güneybatı Fransa'nın Atlantik tarafındaki kaba kumlardan oluşan üç tipik podzolik toprak horizonlarında, yaklaşık 1 metre derinliğinde eser elementlerin toplam içerikleri belirlenmiştir. Deneysel bölge endüstrilerden, şehirden ve tarımsal aktivitelerden uzak olduğu için, uzun süreli taşınımın, metalik aerosollerin birikimine neden olduğu sonucuna varılmıştır.

5. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Bilecik İlinin en büyük ilçesi olan Bozüyük, doğusunda İnönü, kuzeyinde Söğüt, batısında Pazaryeri ve İnegöl, güneyinde ise Domaniç ilçeleri ile çevrelenmiştir. İlçenin rakımı 743 m'dir. İlçenin 1997 sayımına göre toplam nüfusu 55705 olup, nüfusun 41633'ü ilçe merkezinde, 14072'si köylerde yaşamaktadır.

İlçe merkezi Boztepe ve Kızıltepenin güney eteklerinde kurulmuştur. Eskişehir-İstanbul yolu üzerinde çizgisel bir yerleşim gözlenmektedir. Yol boyunca 3-4 km kadar uzanan kent, yolun iki tarafına yayılmaktadır. Yolun kuzeyi yumuşak bir eğimle içlere gittikçe yükselmektedir. Güney bölümler ise düzlüktür. Kent, yolun 700 m kadar güneyindeki DSİ kanalına kadar yayılmaktadır. Doğu-Batı yönünde bir koridor gibi uzanan kent yer yer kanallarla bölünmektedir. Bozüyük karayolu bakımından bir kavşak noktası durumundadır. İstanbul-Eskişehir-Ankara, Ankara-Bursa ve Kütahya-İstanbul karayolları ile İstanbul-Eskişehir demiryolu ilçe merkezinden geçmektedir.

İlçe toprakları genelde engebelidir. Orta kesiminde kuzeybatı-güneydoğu istikametinde Bozüyük Ovası yer almaktadır. Bu ova Kızıltepe ve Boztepe'nin güney eteklerindeki neojen çanağının yanında uzanmaktadır. Yaklaşık 60 km²'lik bir alanı kaplayan Bozüyük Ovası, kuzeybatıda daralarak Karasu Vadisi'ne doğru yayılmaktadır. Ova güneyde genişleyerek, bir yandan İnönü Kandilli düzlüğüne, diğer yandan Karaağaç ve Kandilli köylerinin kuzeyindeki sırtlara kadar uzanmaktadır. Sakarya Nehrini besleyen küçük çay ve dereler ilçe topraklarını sulamaktadır. Bunlardan biri olan Sarısu üzerinde Dodurga Barajı yer almaktadır.

Bozüyük dolayındaki yükseltiler genellikle ilçenin batı ve güneybatısında yer almaktadır. İlçenin güneybatısında yüksekliği 1906 m'ye ulaşan Kala Dağı Bilecik İli'nin en yüksek kabartısını oluşturmaktadır. Batıdaki Yırce Dağı'nın en yüksek noktası ise 1790 m ile Üçtepeler'dir. Bozüyük'ün kuzeyinde 900 m yüksekliğindeki Kızıltepe, güney ve güneybatısında ise Osmaniye (1210 m) ve Kızılcaviran (1250 m) tepeleri yer almaktadır.

Bozüyük İlçesi 84730 hektar yüzölçümüne sahiptir. İlçede 47155 hektar yüzölçümü ve % 55,6 oran ile en fazla yayılımı orman-funda arazileri

göstermektedir. Bunu 24817 hektar yüzölçümü ve % 29,2'lik oranı ile tarım arazileri izlemektedir. Daha sonra sırası ile meralar 9825 hektar, hali araziler 1385 hektar, tarım dışı kullanılan araziler 1257 hektar, su yüzeyleri 291 hektar yer kaplamaktadır. Bozüyük ilçesinde bulunan tarım arazilerinin 22008 hektarında kuru tarım, 2809 hektarında sulu tarım yapılmaktadır. İlçede bulunan orman ve fundalıklar IV, VI. ve VII. sınıflardaki orta-dik, çok dik ve sarp eğime, sığ ve çok sığ toprak derinliğine sahip araziler içersinde yer almaktadır. Orman ve fundalıkların 36690 hektarı orman, 10465 hektarı fundalıktır. İlçede tarım dışı kullanılan arazilerin 985 hektarı az yoğun yerleşim yeri, 141 hektarı sanayi alanı, 131 hektarı askeri alan olarak kullanılmaktadır. Bozüyük ilçesindeki hali arazinin tamamı çıplak kaya ve molozlardan oluşmaktadır. Bozüyük'te toprak gruplarının dağılımı Çizelge 5.1' de, arazi kullanım şekillerinin dağılımı da Çizelge 5.2' de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Bozüyük'te toprak gruplarının dağılımı

Toprak grubu	Alan (Hektar)
Alüvyal topraklar	3086
Kahverengi orman toprakları	41538
Kireçsiz kahverengi orman toprakları	35104
Kahverengi toprakları	2762
Kireçsiz kahverengi toprakları	564
Çıplak kaya ve molozlar	1385
Su yüzeyi	291
Toplam	84730

Çizelge 5.2. Arazi kullanım şekillerinin dağılımı

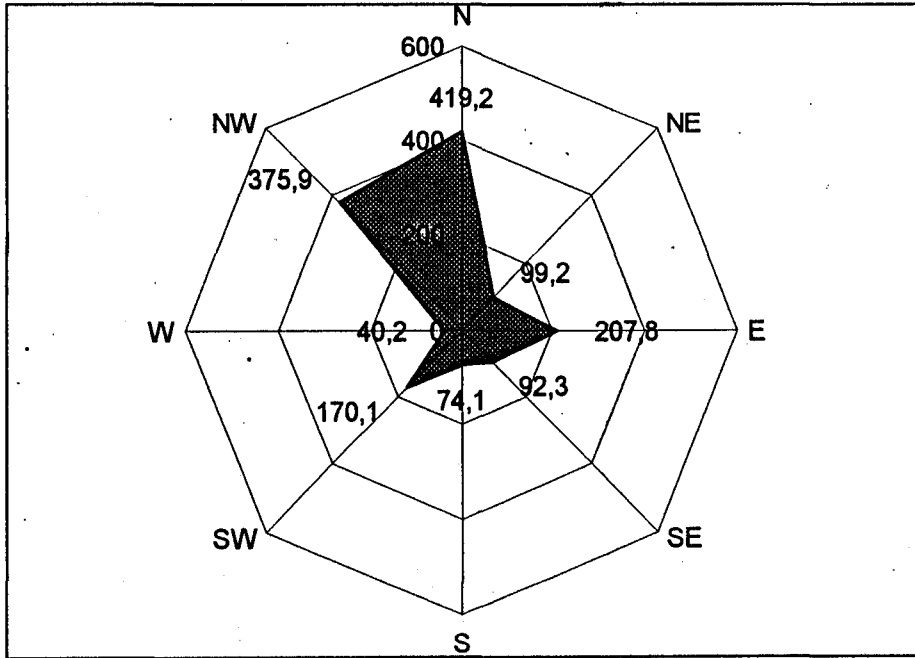
Kullanma şekli	Alan (Hektar)
Kuru tarım nadaslı	21908
Kuru tarım nadassız	100
Sulu tarım	1935
Yetersiz sulu tarım	874
Mera	9825
Orman	36690
Funda	10465
Yerleşim yeri	1257
Diğer araziler	1385
Su yüzeyi	291
Toplam	84730

İklim geçit tipi özelliği göstermektedir. Marmara ile İç Anadolu iklimi karışık haldedir. Daha çok İç Anadolu'nun yayla iklimi hüküm sürmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir. Isı $-12,3^{\circ}\text{C}$ ile 37°C arasında değişmektedir. Senelik yağış miktarı metrekareye 430 mm'dir. İlçede hakim rüzgar yönü kuy-kuzeybatıdır. Bozüyük'e ait hava kirlenici parametreler, sıcaklık ve nem aylık ortalamaları Çizelge 5.3'de verilmektedir. 2000 yılı ocak ayı ile 2001 yılı nisan ayları arasındaki verilerden elde edilen ve ilçedeki hakim rüzgar yönlerini gösteren rüzgar gülü de Şekil 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.3. Hava kirlenici parametreler, sıcaklık ve nem aylık ortalamaları

Aylar	2000 Yılı				2001 Yılı			
	SO ₂ (mg/m ³)	Partikül Madde (mg/m ³)	ııcaklık (°C)	Nisbi Nem (%)	SO ₂ (mg/m ³)	Partikül Madde (mg/m ³)	Sıcaklık (°C)	Nisbi Nem (%)
Ocak	201	46	-6	80	100	35	3	75
Şubat	164	45	-2	77	93	37	3	65
Mart	111	37	3	69	71	31	11	55
Nisan	58	22	14	76	26	17	11	66
Mayıs	29	13	14	71				
Haziran	20	11	18	72				
Temmuz	12	12	23	60				
Ağustos	36	14	20	72				
Eylül	28	13	16	68				
Ekim	42	21	11	77				
Kasım	81	42	8	66				
Aralık	105	43	3	82				

İlçe ekonomisi tarım ve sanayiye dayanmaktadır. Başlıca tarım ürünleri; tahıl, şeker pancarı, ayçiçeği, mısır, patates ve şerbetçi otudur. Büyük ve küçük baş hayvancılığın yapıldığı Bozüyük'te buna dayalı olarak peynir üretilmektedir. İlçede arıcılıkta yapılmakta ve yaklaşık 15 ton bal üretilmektedir. Orman bakımından zengin olmasına rağmen ormancılık fazla gelişmemiştir. İlçedeki orman arazisi Bozüyük, Muratdere ve Dodurga isimleri altında üç ayrı orman bölgesine ayrılmıştır. Ormanlarda sarıçam, karaçam, göknar, meşe, ardıç, titrekkavak, kayın, dişbudak, akçaağaç, gürgen ve porsuk ağaçları bulunmaktadır. Çeşitli av hayvanlarının yaşadığı bu ormanlarda avcılık da yapılmaktadır.



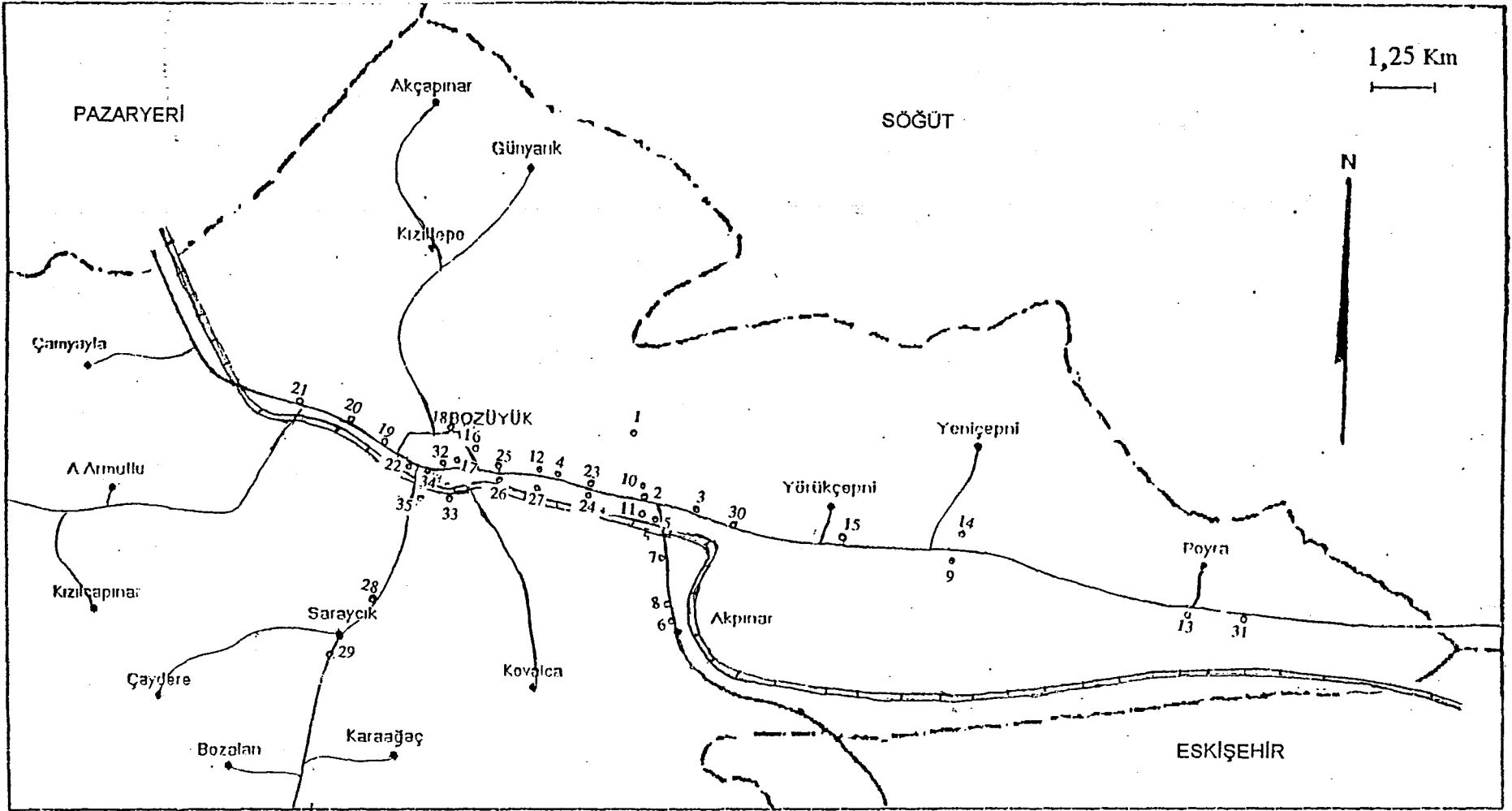
Şekil 5.1. Bozüyük için 2000 Ocak ayı ile 2001 Nisan ayı arasındaki verilerden elde edilen rüzgar gülü

1970'lerin sonuna doğru ilçeye önemli sanayi yatırımları yapılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda bu gün ilçede sanayi çok gelişmiştir. Sanayi kuruluşları Bozüyük-Eskişehir yolunun iki tarafında, yerleşimin bittiği yerden itibaren bir kaç kilometre boyunca sıralanmaktadır. Başlıca sanayi kuruluşları şofben ve radyatör üreten demir döküm fabrikası, kağıt fabrikası, sıhhi tesisat, bisküvi, sünger, iplik, halı, kablo, kiremit, ampul, seramik fabrikaları ve kil tesisleridir. Bunlar;

Çitosan Bozüyük Seramik San. Tic. A.Ş.

Toprak Demirdöküm Müessesesi
Bozteks İplik San. ve Tic. A.Ş.
Eczacıbaşı (ESAN) Endüstriyel Ham. San. Tic. A.Ş.
Eczacıbaşı Yapı Ger. San. Tic. A.Ş.-Artema Armatür
Eczacıbaşı Yapı Ger. San. Tic. A.Ş.-Vitru Seramik Grubu
Eczacıbaşı Yapı Ger. San. Tic. A.Ş.-Firit Tesisleri San.
Eczacıbaşı (EKS) Karo Seramik Sanayi A.Ş.
Türk Demirdöküm San. A.Ş.
Sontaş Mermer San. A.Ş.
Toprak Kağıt San. A.Ş.
AK-AL Tekstil Sanayi Tic. A.Ş.
Toprak Enerji San. A.Ş.
Demirer Kablo San. Tic. A.Ş.
Toprak Seniteri ve İzolatör San. Tic. A.Ş.
Toprak Seramik San. A.Ş.
Eti Gıda San. Tic. A.Ş.
Haliser Halıfleks Halı ve Yer Döşemeleri San. Tic. A.Ş.
Tikveşli Süt Ürünleri ve Gıda San. A.Ş.
Ak Enerji Elektrik Üretimi Oto Pro. Grubu A.Ş.
İdaş İstanbul Döşeme San. A.Ş.
Köylüoğlu Makina Kimya San. A.Ş.
Ramtaş Kereste San. A.Ş.
(ABS) Alçı Blok San. A.Ş.
Bozüyük Kimya San. A.Ş.
Elbir Teneke San. A.Ş.
Bozvit Vitrikiye Seramik San. A.Ş.
Seren Seramik San.A.Ş.

Kasım 2000-Nisan 2001 tarihleri arasında 35 lokaliteden (Bkz. Çizelge 5.4 ve Şekil 5.2) alınan 58 bitki ve 32 toprak örneğinde ağır metal (Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb ve Zn) analizleri yapılmıştır. Örnek alınan noktaların lokalite özellikleri Çizelge 5.4'de ve örnek alınan noktalar ise Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. Çalışma alanının haritası

Çizelge 5.4. Çalışma alanındaki lokalitelerin özellikleri

Lokalite	
No	Lokalite Özellikleri
1	Düzdağ Köyü yolu 1. km, 760 m, 3.11.2000
2	Bozüyük –Eskişehir karayolu 4. km, 755m, 3.11.2000
3	Bozüyük –Eskişehir karayolu 5. km, 755m, 3.11.2000
4	Bozüyük, SSK Hastanesi, 754m, 3.11.2000, 28.4.2001
5	Bozüyük –Eskişehir karayolu, Kütahya yol ayrımı, 755m, 3.11.2000
6	Bozüyük’ün güneydoğusu, İnönü Şehitliği, 770m, 3.11.2000
7	Bozüyük-İnönü karayolu 1. km, 770m, 3.11.2000
8	Bozüyük-İnönü karayolu 2. km, 772m; 3.11.2000, 28.4.2001
9	Bozüyük –Eskişehir karayolu 10. km, 840m, 3.11.2000
10	Bozüyük –Eskişehir karayolu 4. km, karayolunun 200m kuzeyi, 776m, 22.11.2000
11	Bozüyük –Eskişehir karayolu 4. km, karayolunun 200m güneyi, 775m, 22.11.2000
12	Bozüyük –Eskişehir karayolu 2. km, 769m, 22.11.2000
13	Poyra Köyü girişi, karayolu çevresi, 939m., 17.1.2001
14	Metris Tepe yolu 500.m, 840m, 17.1.2001
15	Bozüyük –Eskişehir karayolu 8. km, 811m, 17.1.2001
16	Bozüyük yerleşim alanı doğusu, 757 m, 17.1.2001
17	Bozüyük Anadolu Ser. ve Tek. End. Meslek Lisesi bahçesi, 791m, 17.1.2001
18	Bozüyük yerleşim alanı kuzeyi, 810 m, 17.1.2001
19	Bozüyük yerleşim alanı batısı, 731m, 17.1.2001
20	Bozüyük-Bursa yolu 1.km, 717m, 17.1.2001
21	Bozüyük-Bursa yolu 2.km, 717m, 17.1.2001
22	Bozüyük yerleşim alanı güneyi, 759 m, 17.1.2001
23	Bozüyük –Eskişehir karayolu 3. km, karayolunun 10m kuzeyi, 766m, 6.2.2001
24	Bozüyük –Eskişehir karayolu 3. km, karayolunun 10m güneyi, 766m, 6.2.2001
25	Bozüyük –Eskişehir karayolu 1. km, karayolunun 10m kuzeyi, 754m, 6.2.2001
26	Bozüyük –Eskişehir karayolu 1. km, karayolunun 10m güneyi, 755m, 6.2.2001
27	Bozüyük –Eskişehir karayolu 2. km, karayolunun 100m güneyi, 756m, 6.2.2001
28	Bozüyük-Saraycık Yolu 5.km, 813m, 22.3.2001
29	Saraycık Köyü’nün 200m güneyi, 827 m, 22.3.2001
30	Bozüyük-Eskişehir yolu 6.km, 870m, 22.3.2001
31	Bozüyük-Eskişehir yolu 16.km, 871m, 22.3.2001
32	Bozüyük Meslek Yüksek Okulu kuzeyi, 756m, 28.4.2001
33	Bozüyük Meslek Yüksek Okulu 500m güneyi, 749m, 28.4.2001
34	Bozüyük Tren Garı kuzeyi, 754m, 28.4.2001
35	Bozüyük Tren Garı güneyi, 754m, 28.4.2001

6. MATERYAL VE METOT

Bitki ve toprak örnekleri, Bozüyük civarında 6 arazi çalışması yapılarak elde edilmiştir. Arazilerden toplanan bitki ve toprak örnekleri laboratuvara ağır metal tayini yapılmak üzere getirilmiştir.

6.1. Araç ve Gereçler

- 100 ml'lik şilifli erlen,
- Geri soğutucu,
- Beher,
- Hot plate,
- 5 ml ve 25 ml'lik pipet,
- 50 ml'lik balon joje,
- Kaynama taşı,
- Kaba (siyah bantlı) filtre kağıdı,
- Hassas terazi .

6.2. Kimyasal Maddeler

- Nitrik asit (HNO_3),
- Perklorik asit (HClO_4),
- Hidroklorikasit (HCl).

6.3. Yöntem

6.3.1. Bitkilerde Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn analizleri

Araziden toplanan bitki örnekleri kağıt zarflar içerisine konularak laboratuvara getirilmiş ve ikiye ayrılarak yarısı distile su ile yıkanmış, yıkanmayan kısım ise direk kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra bitki örnekleri etüve konarak 105°C 'de 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvde nemi giderilen

numuneler öğütülerek 500 µm'lik eleklerden elenmiştir. Bu numunelerden 1'er gram alınmış ve şilifli erlenlerin içine konularak üzerlerine 3 ml perklorik asit (HClO₄) ve 15 ml nitrik asit (HNO₃) eklenerek geri akışlı sistemde 3-24 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sırasında hazırlanan çözeltiden metal çıkışı olmaması için geri soğutucuların üzerleri de küçük beherlerle kapatılmıştır. Numuneler en az 3 saat olmak üzere renkleri açılıncaya kadar ekstraksiyon işlemine devam edilmiştir. Organik yıkımları (digestion işlemi) biten örnekler soğutulduktan sonra kaba filtre kağıdından süzülerek, hacimleri 0,1 N'lik HCl ile 50 ml'ye tamamlanmıştır.

6.3.2. Topraklarda Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn analizleri

Araziden alınan toprak örnekleri etüve konarak 105⁰C'de 2 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvde tamamen nemi giderilen numuneler öğütülerek 2 mm'lik eleklerden geçirilmiştir. Bu numunelerden 1'er gram tartılmış ve şilifli erlenler içine konularak üzerlerine 4 ml perklorik asit (HClO₄) ve 16 ml nitrik asit (HNO₃) ilave edilerek geri akışlı sistemde 3-24 saat ekstrakte edilmiştir. Organik yıkımları biten örnekler soğutulduktan sonra kaba filtre kağıdından süzülerek, hacimleri 0,1 N'lik HCl ile 50 ml'ye tamamlanmıştır.

6.4. Hesaplamalar

Tüm ağır metal analizlerinde Varian Spectra A 250 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılmıştır (ASTM, 1985). Analiz edilecek ağır metaller için farklı derişimlerdeki standart çözeltiler hazırlanmış ve her metal için standart çözeltilerin absorbanları AAS'de okunmuştur. Elde edilen standart çalışma eğrisi yardımıyla bitki ve toprak numunelerindeki ağır metal derişimleri hesaplanmıştır.

7. BULGULAR

Bilecik İli'ne bağlı Bozüyük İlçesi'nde yapılan çalışmada meyve ağaçlarından *Cydonia oblonga* Miller. (Ayva), *Malus silvestris* Miller. (Elma), *Quercus infectoria* L. (Erik), kültür bitkilerinden *Rosa centifolia* L. (Gül), geniş yapraklı ağaçlardan *Quercus infectoria* Oliver. (Meşe), *Populus tremula* L. (Kavak), *Salix alba* L. (Söğüt), *Salix babylonica* L. (Salkım söğüt), *Platanus orientalis* L. (Çınar), Gymnospermlerden *Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe (Karaçam) ve *Thuja orientalis* L. (Mazı) ağaçlarının yapraklarında ve bölgede geniş tarımı yapılan *Triticum sativum* L. (Buğday) bitkisinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn) analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1'de verilmektedir. Ayrıca bitki örneklerinin alındığı lokalitelerden toprak örnekleri de alınarak ağır metal tayinleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları da Çizelge 7.2'de verilmektedir. Çizelge 7.1 ve 7.2 verilerinden yararlanılarak bitki türleri ve lokalitelere karşı derişim grafikleri Şekil 7.1- 7.7'de, lokalitelere karşı topraklarda bulunan ağır metal derişimlerinin grafikleri de Şekil 7.8- 7.14'de verilmektedir.

Örnekler daha çok yerleşimin yoğun olarak bulunduğu ilçe merkezinden ve sanayiinin yoğun olarak bulunduğu Bozüyük- Eskişehir karayolu çevresinden alınmıştır.

Çizelge 7.1. Yaprakların ağır metal derişimleri, ppm

Lokalite No	Bitki Adı	Zn		Cu		Fe		Pb		Cr		Ni		Cd	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	<i>Malus sylvestris</i>	2,53	1,76	0,89	0,78	16,00	16,00	3,12	3,12	104,00	97,20	8,15	6,99	0,097	0,097
	<i>Cydonia oblonga</i>	2,09	2,06	1,00	0,78	15,10	8,10	2,75	1,63	17,40	17,40	11,6	5,82	0,049	0,049
	<i>Quercus infectoria</i>	2,11	1,62	1,11	0,67	20,20	10,62	2,38	1,63	6,94	6,94	9,32	6,99	0,049	< 0,02
	<i>Prunus x domestica</i>	2,79	1,17	0,78	0,67	8,60	8,60	20,20	2,38	6,94	6,94	9,32	5,82	0,049	0,049
2	<i>Populus tremula</i>	25,8	12,00	1,11	0,67	11,64	11,64	8,61	2,75	31,30	31,30	9,32	8,15	0,049	0,049
3	<i>Salix babylonica</i>	3,32	2,13	0,89	0,89	16,26	16,26	2,75	2,75	6,94	6,94	12,80	9,32	0,049	0,049
4	<i>Salix babylonica</i>	11,60	10,90	1,33	1,22	21,52	21,52	2,75	2,75	6,94	6,94	10,50	10,50	0,049	0,049
	<i>Salix babylonica</i>	13,30	12,10	8,63	3,82	28,56	17,19	10,40	6,94	< 0,06	< 0,06	23,60	19,70	0,35	0,23
5	<i>Populus tremula</i>	7,54	5,44	0,55	0,55	6,61	6,61	3,49	3,49	3,47	3,47	8,15	8,15	0,049	0,049
6	<i>Quercus infectoria</i>	1,81	1,58	0,67	0,67	9,87	9,87	6,61	2,38	3,47	3,47	6,99	6,99	0,097	0,049
7	<i>Quercus infectoria</i>	2,53	2,32	1,22	1,11	41,08	41,08	9,87	2,75	10,40	10,40	9,32	9,32	0,049	0,049
8	<i>Quercus infectoria</i>	2,91	2,84	1,33	1,00	18,88	17,31	2,75	2,38	6,94	3,47	9,32	6,99	0,097	0,097
9	<i>Populus tremula</i>	10,10	5,49	0,89	0,78	35,01	19,67	2,38	2,38	34,70	3,47	9,32	9,32	0,049	0,049
10	<i>Populus tremula</i>	30,30	27,9	2,19	1,97	37,50	37,50	< 0,1	< 0,1	89,50	< 0,06	3,40	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Salix babylonica</i>	7,61	5,30	3,71	2,19	171,00	169,00	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 0,02
11	<i>Populus tremula</i>	10,70	10,50	2,40	2,40	65,00	64,40	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	3,40	< 0,1	< 0,02	< 0,02
12	<i>Triticum sativum</i>	26,00	25,70	1,75	1,75	37,20	16,90	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	3,40	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Populus tremula</i>	28,40	28,40	3,28	1,53	34,90	33,30	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	3,40	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Quercus infectoria</i>	16,10	15,50	2,40	1,53	271,00	52,80	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Triticum sativum</i>	8,44	6,64	7,11	5,59	82,21	26,36	5,21	5,21	< 0,06	< 0,06	15,80	7,92	0,35	0,35
13	<i>Pinus nigra</i>	12,60	5,63	0,88	0,88	30,40	20,10	9,11	3,03	45,10	45,10	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
14	<i>Populus tremula</i>	13,50	12,20	1,31	1,31	118,00	48,10	6,07	3,03	45,10	45,10	6,80	6,80	< 0,02	< 0,02
15	<i>Triticum sativum</i>	15,30	6,81	3,28	3,28	576,00	573,00	7,59	3,03	260,00	219,00	50,00	24,00	< 0,02	< 0,02

Çizelge 7.1. (Devam) Yaprakların ağır metal derişimleri, ppm

Lokalite No	Bitki Adı	Zn		Cu		Fe		Pb		Cr		Ni		Cd	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
16	<i>Salix alba</i>	9,77	4,78	2,84	2,19	147,00	81,40	4,55	3,03	45,10	45,10	6,80	6,80	< 0,02	< 0,02
	<i>Thuja oréntalis</i>	21,4	12,9	8,91	2,40	477,00	68,80	4,55	3,03	89,50	< 0,06	17,00	3,40	< 0,02	< 0,02
	<i>Rosa centifolia</i>	15,00	9,49	12,6	12,6	248,00	62,60	4,55	1,52	45,10	45,10	10,00	3,40	< 0,02	< 0,02
	<i>Pinus nigra</i>	13,70	9,02	4,15	2,84	255,00	50,80	3,03	3,03	89,50	89,50	6,8	3,40	< 0,02	< 0,02
17	<i>Pinus nigra</i>	14,90	8,35	7,62	5,88	87,10	48,80	3,03	1,52	< 0,06	< 0,06	10,00	6,80	< 0,02	< 0,02
18	<i>Salix alba</i>	6,94	6,81	3,06	1,53	113,00	52,80	4,55	1,52	45,10	< 0,06	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Pinus nigra</i>	4,26	4,00	4,80	0,88	65,40	27,50	1,52	1,52	< 0,06	< 0,06	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 0,02
	<i>Thuja orientalis</i>	4,45	3,42	1,75	0,88	62,60	42,20	1,52	1,52	< 0,06	< 0,06	6,80	6,80	< 0,02	< 0,02
19	<i>Pinus nigra</i>	24,90	9,43	4,58	1,53	382,00	103,00	3,03	< 0,1	45,10	< 0,06	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
20	<i>Quercus infectoria</i>	5,04	4,97	2,40	1,31	96,40	72,00	3,03	1,52	45,10	45,10	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
	<i>Pinus nigra</i>	6,15	5,82	1,75	0,88	46,50	45,80	1,52	< 0,1	< 0,06	< 0,06	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
21	<i>Populus tremula</i>	12,50	11,30	4,15	1,53	129,00	54,80	1,52	1,52	45,10	45,10	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
22	<i>Rosa centifolia</i>	5,76	4,45	3,06	0,88	104,00	37,90	1,52	1,52	45,10	< 0,06	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
	<i>Platanus orientalis</i>	10,60	5,49	9,99	9,99	178,00	87,80	3,03	1,52	45,10	< 0,06	10,00	10,00	0,09	< 0,02
	<i>Pinus nigra</i>	4,78	4,58	3,06	1,09	68,10	40,50	1,52	1,52	45,10	45,10	3,40	3,40	0,09	< 0,02
	<i>Triticum sativum</i>	63,40	62,90	3,93	1,97	160,00	88,20	1,52	< 0,1	45,10	45,10	6,80	6,80	0,09	< 0,02
	<i>Salix alba</i>	10,40	10,10	3,06	2,19	104,00	67,10	< 0,1	< 0,1	< 0,06	< 0,06	3,40	3,40	< 0,02	< 0,02
23	<i>Pinus nigra</i>	7,28	6,57	4,33	3,82	82,21	40,97	6,94	5,21	< 0,06	< 0,06	15,80	15,80	0,35	0,23
24	<i>Populus tremula</i>	23,00	15,5	10,90	10,70	267,90	112,90	8,68	6,94	< 0,06	< 0,06	31,40	23,60	0,35	0,23
25	<i>Populus tremula</i>	17,20	11,70	14,20	6,86	285,50	113,40	10,4	8,68	< 0,06	< 0,06	43,10	31,40	0,46	0,46
26	<i>Populus tremula</i>	48,20	45,70	10,70	10,10	213,10	109,00	8,68	8,68	41,50	< 0,06	46,90	27,50	0,46	0,46
27	<i>Populus tremula</i>	21,60	17,50	11,90	9,64	190,30	73,32	8,68	6,94	< 0,06	< 0,06	43,10	31,40	0,35	0,35

Çizelge 7.1. (Devam) Yaprakların ağır metal derişimleri, ppm

Lokalite No	Bitki Adı	Zn		Cu		Fe		Pb		Cr		Ni		Cd	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
28	<i>Quercus infectoria</i>	11,40	3,87	11,70	2,29	97,41	62,70	6,94	6,94	< 0,06	< 0,06	15,80	11,90	0,35	0,35
	<i>Triticum sativum</i>	9,61	7,00	7,11	3,31	366,80	92,62	6,94	5,21	< 0,06	41,50	62,30	23,60	0,46	0,46
	<i>Pinus nigra</i>	68,4	17,50	4,58	3,06	25,04	28,56	5,21	1,74	< 0,06	< 0,06	11,90	7,92	0,35	0,35
	<i>Thuja orientalis</i>	7,50	6,07	5,09	4,58	73,30	50,41	8,68	3,47	< 0,06	< 0,06	11,90	11,90	0,46	0,35
29	<i>Salix alba</i>	90,20	31,70	5,34	5,34	21,55	17,19	6,94	5,21	< 0,06	< 0,06	35,30	31,40	0,58	0,58
	<i>Thuja orientalis</i>	30,60	5,00	5,85	2,04	73,32	43,66	6,94	6,94	< 0,06	< 0,06	15,80	15,80	0,46	0,46
	<i>Quercus infectoria</i>	8,22	5,50	6,86	3,82	105,60	84,09	8,68	8,68	< 0,06	< 0,06	23,60	23,60	0,46	0,46
30	<i>Triticum sativum</i>	14,60	11,40	5,85	4,83	662,60	451,70	5,21	3,47	41,50	< 0,06	23,60	3,96	0,46	0,46
31	<i>Triticum sativum</i>	8,08	7,50	8,38	7,37	591,20	563,00	3,47	3,47	41,50	< 0,06	3,96	3,96	0,46	0,35
32	<i>Cydonia oblonga</i>	5,14	7,00	3,06	2,29	32,97	27,68	6,94	3,47	< 0,06	< 0,06	7,92	3,96	0,35	0,23
33	<i>Malus sylvestris</i>	5,57	4,86	7,37	3,31	30,32	30,32	6,94	3,47	< 0,06	< 0,06	11,90	11,90	0,23	0,23
34	<i>Prunus x domestica</i>	9,09	8,08	3,56	2,80	71,00	61,78	8,68	6,94	< 0,06	< 0,06	15,80	15,80	0,35	0,35
35	<i>Populus tremula</i>	12,80	11,40	2,55	2,29	17,19	12,86	5,21	3,47	< 0,06	< 0,06	15,80	15,80	0,46	0,46

a: yıkanmamış örnekler

b: yıkanmış örnekler

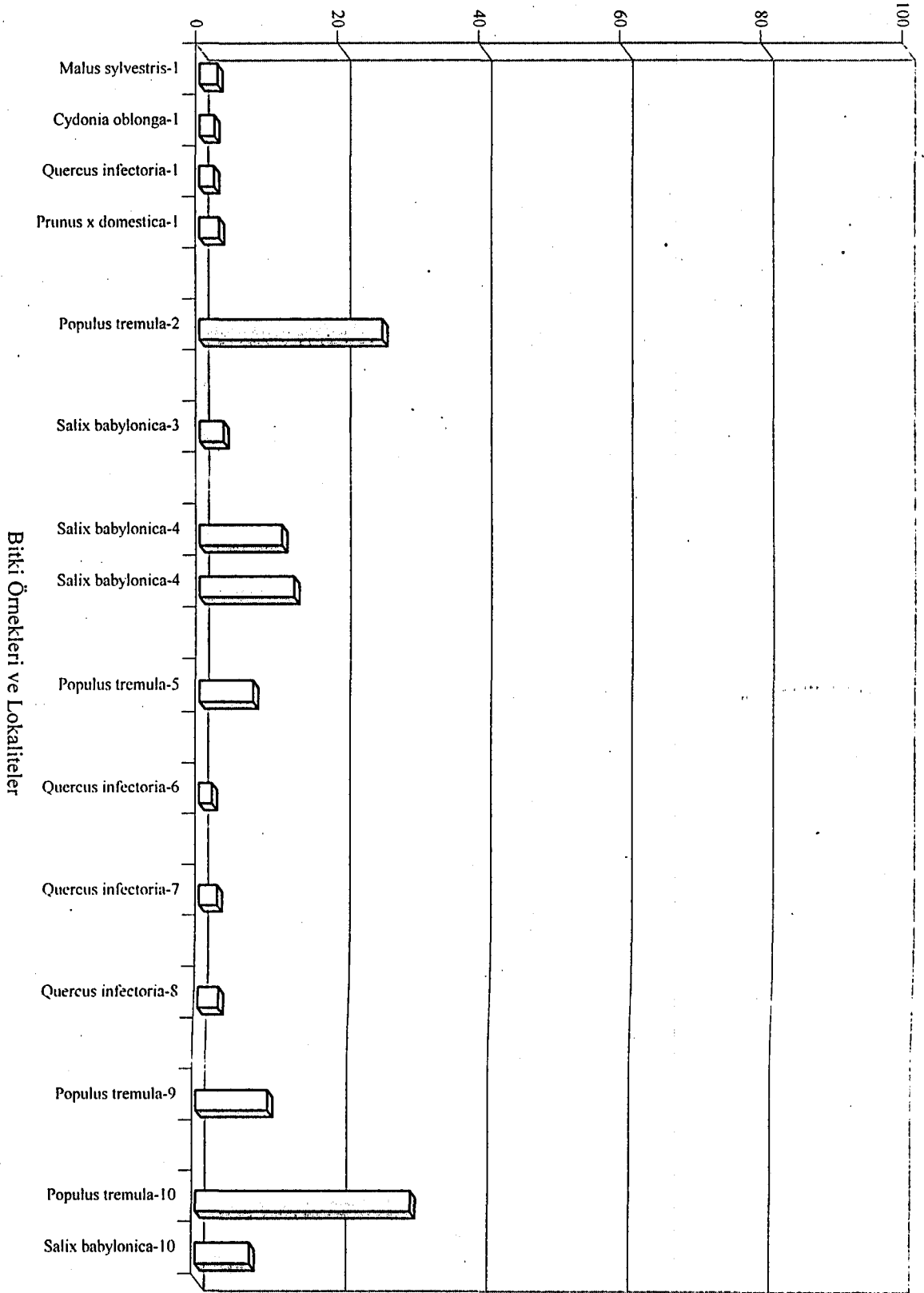
Çizelge 7.2. Toprak örneklerindeki ağır metal derişimleri, ppm

Lokalite							
No	Zn	Cu	Fe	Pb	Cr	Ni	Cd
1	0,15*	0,24*	1,46*	0,82*	0,42*	3,77*	< 0,02*
	0,16**	0,28**	3,86**	0,64**	1,25**	5,02**	< 0,02**
2	0,65	1,17	1,64	2,74	0,42	1,68	< 0,02
3	1,38	1,56	1,58	2,00	0,83	1,68	< 0,02
4	1,65*	0,28*	3,02*	1,09*	0,83*	1,4*	< 0,02*
	10,7**	6,86**	802,3**	12,2**	515**	426**	0,46**
5	0,50	1,07	8,40	8,85	0,42	6,27	< 0,02
6	0,30	0,68	8,91	2,19	0,83	12,1	< 0,02
7	0,22	0,82	5,94	2,10	0,83	20,7	< 0,02
8	0,26	0,68	2,34	1,78	0,83	1,40	< 0,02
9	1,31	1,97	2,36	2,51	0,83	1,26	< 0,02
12	9,49*	6,97*	573*	3,03*	219*	3,4*	< 0,02*
	10,6**	12,9**	808,6**	8,68**	284**	107**	0,46**
13	10,10	9,13	587,00	3,03	422,00	10,00	< 0,02
14	19,20	11,70	637,00	3,03	500,00	14,00	< 0,02
15	10,80	6,97	609,00	3,03	260,00	6,80	< 0,02
16	19,20	16,40	593,00	4,55	613,00	6,80	< 0,02
18	20,20	8,91	81,40	4,55	864,00	10,00	0,090
19	47,50	9,13	614,00	1,52	687,00	14,00	0,090
20	9,09	4,15	597,00	3,03	260,00	6,80	0,090
21	109,00	21,70	601,00	3,03	650,00	3,40	0,090
22	11,60	7,40	551,00	1,52	342,00	3,40	< 0,02
24	15,10	10,10	852,90	10,40	164,00	122,00	0,460
25	10,10	7,11	802,30	17,40	123,00	130,00	0,690
27	25,10	7,87	815,70	13,90	477,00	506,00	0,580
28	28,50	15,20	834,70	10,40	774,00	426,00	0,580
29	10,30	7,11	824,10	8,68	737,00	376,00	0,460
30	32,40	10,40	852,90	8,68	204,00	96,30	0,690
31	9,31	8,13	819,70	10,40	204,00	151,00	0,460
33	12,40	9,14	796,60	10,40	323,00	229,00	0,460
34	13,80	13,20	815,70	12,20	627,00	389,00	0,580
35	8,08	4,83	852,90	12,20	284,00	194,00	0,580

* 2000 yılında aynı istasyondan alınan örnekler

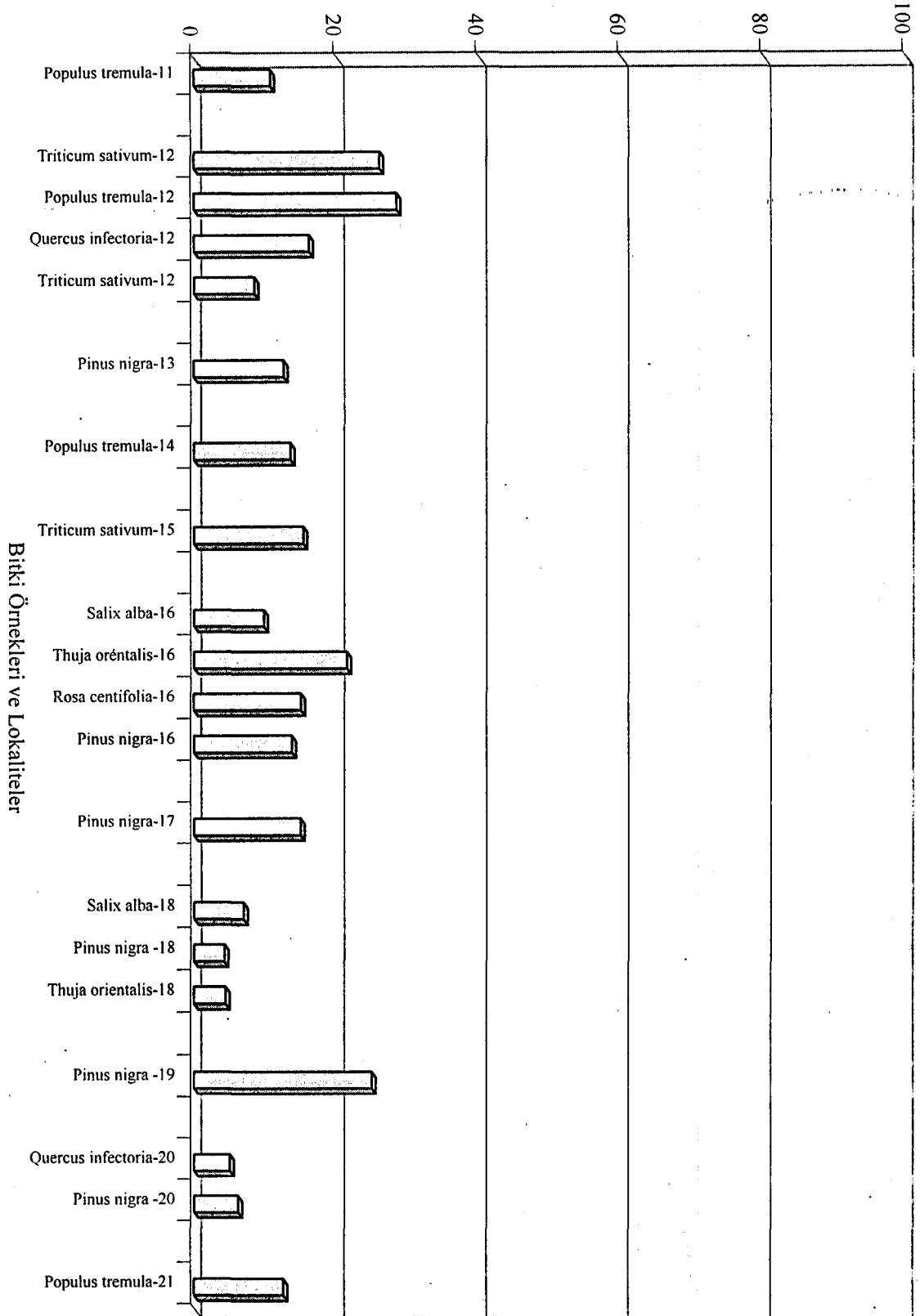
**2001 yılında aynı istasyondan alınan örnek

Çinko Derişimleri, ppm



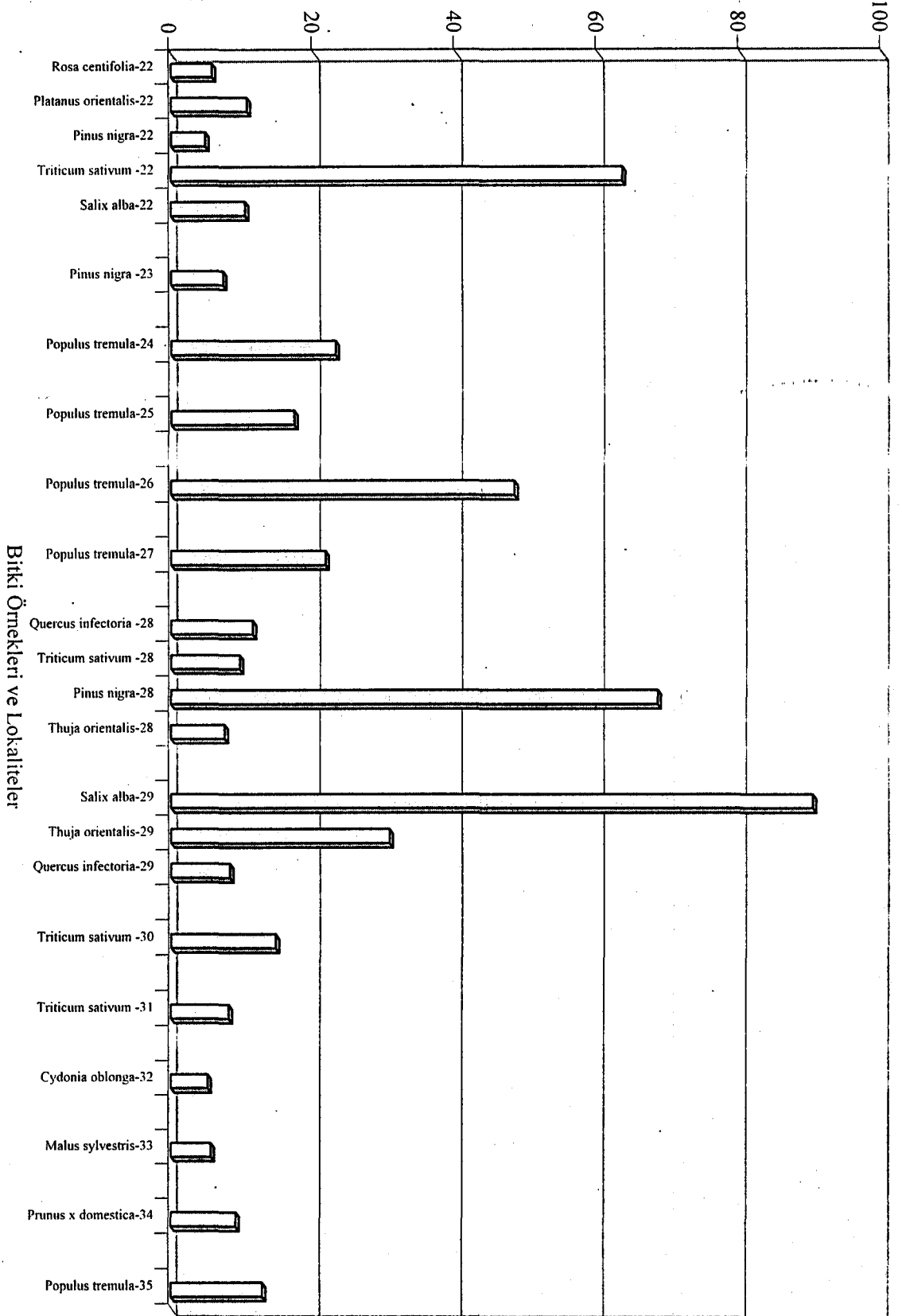
Şekil 7.1. Bitki türleri ve lokalitelere karşı çinko derişimleri

Çinko Derişimleri, ppm

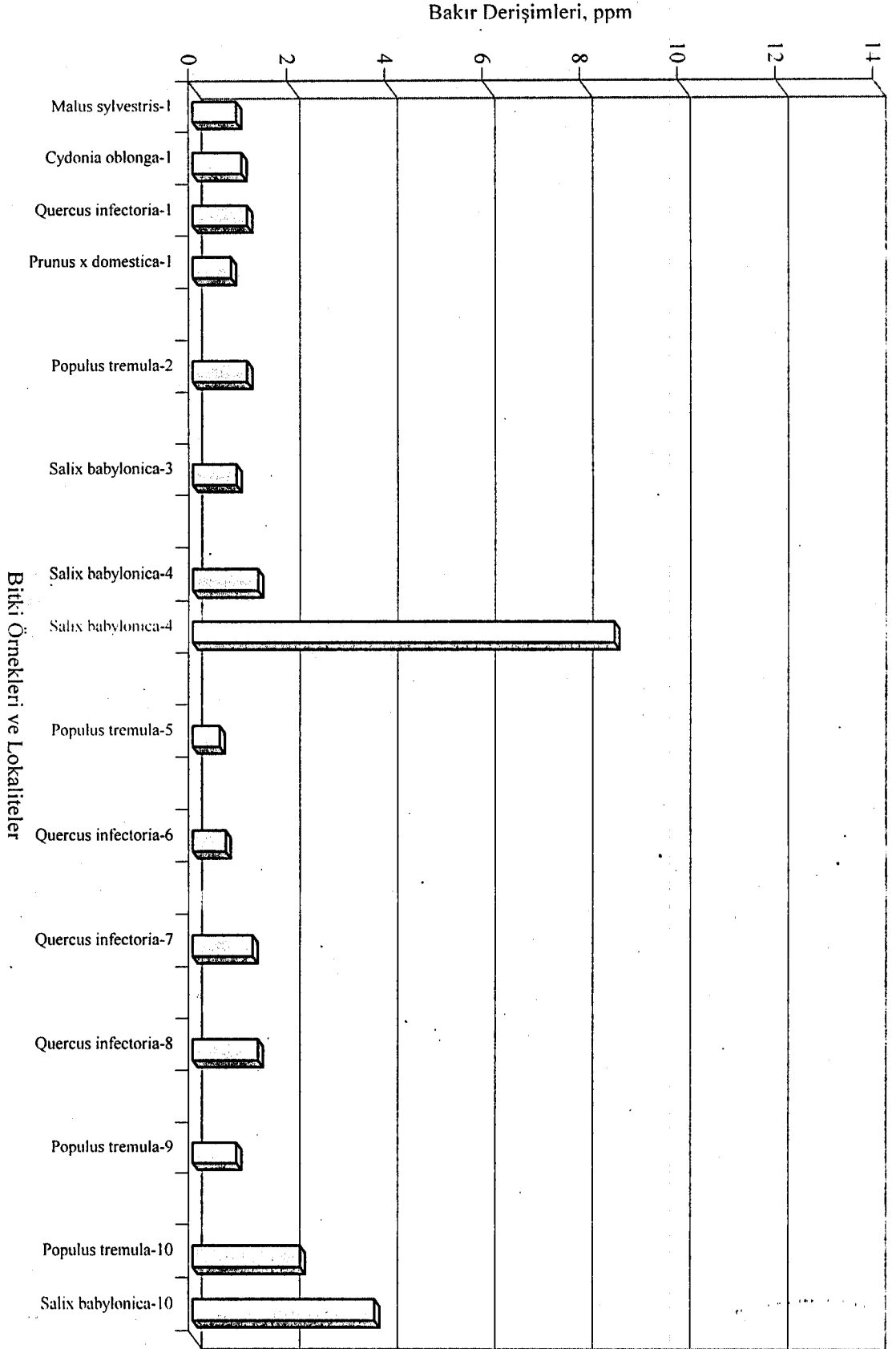


Şekil 7.1.(Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı çinko derişimleri

Çinko Derişimleri, ppm

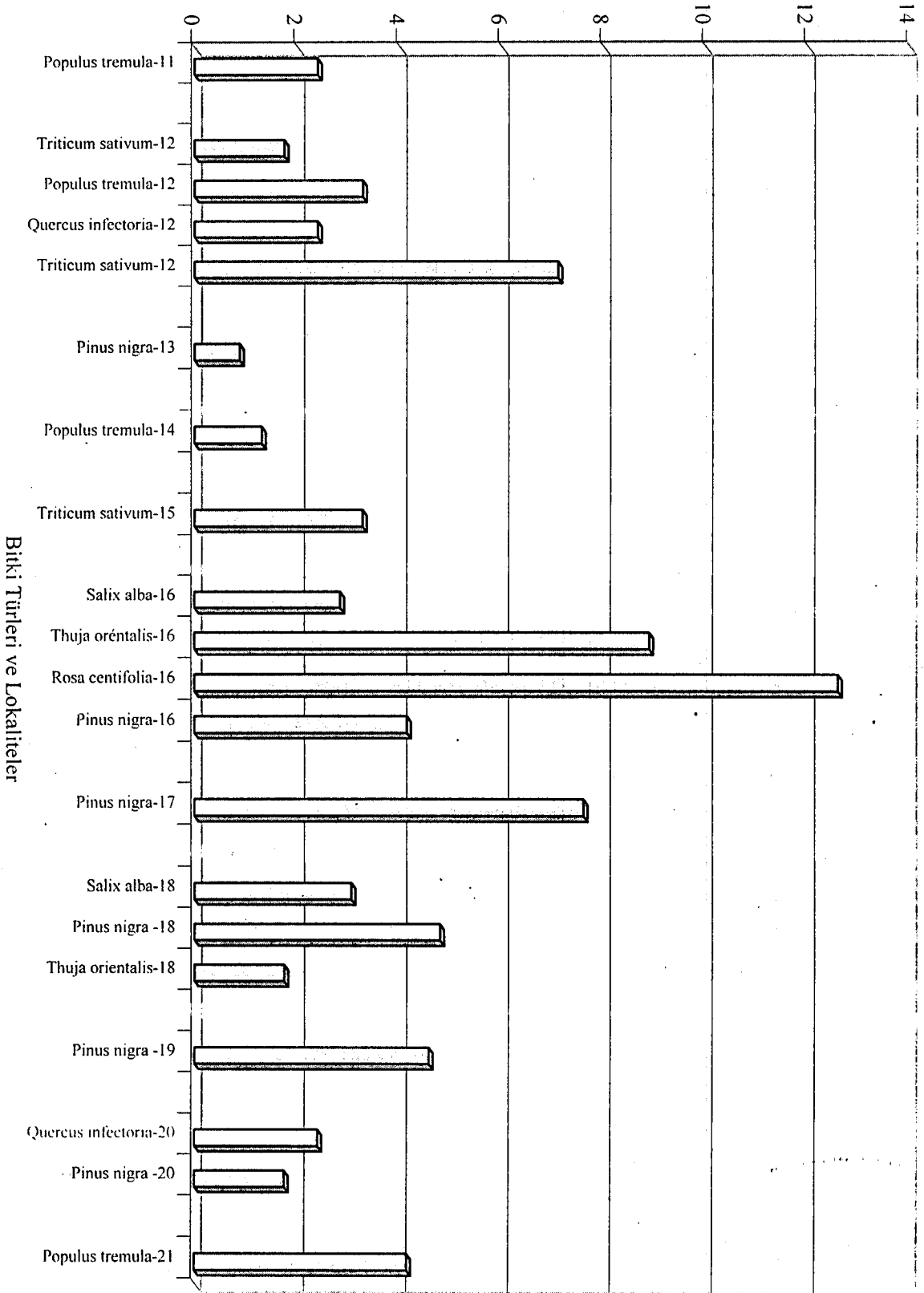


Şekil 7.1. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı çinko derişimleri

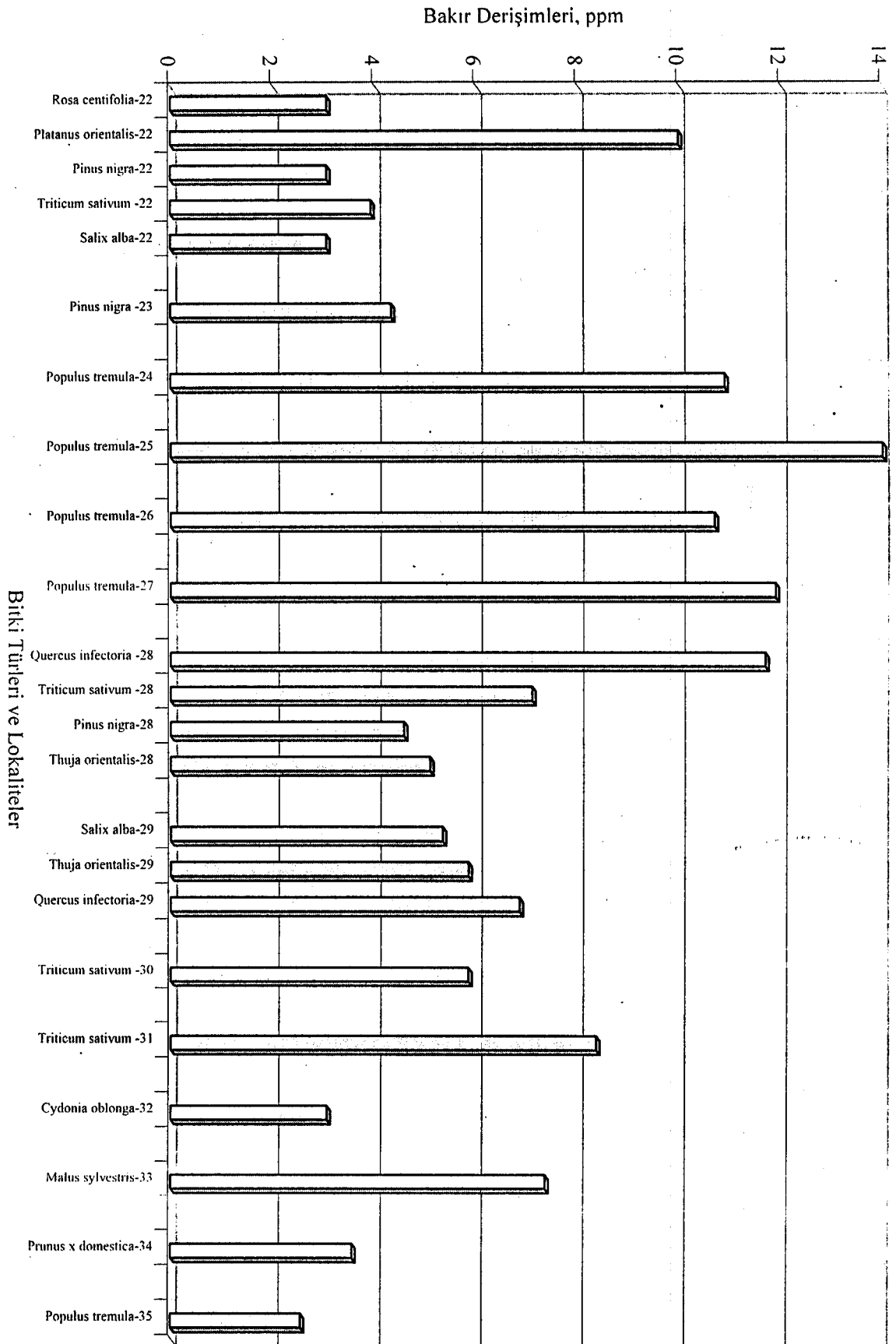


Şekil 7.2. Bitki türleri ve lokalitelere karşı bakır derişimleri

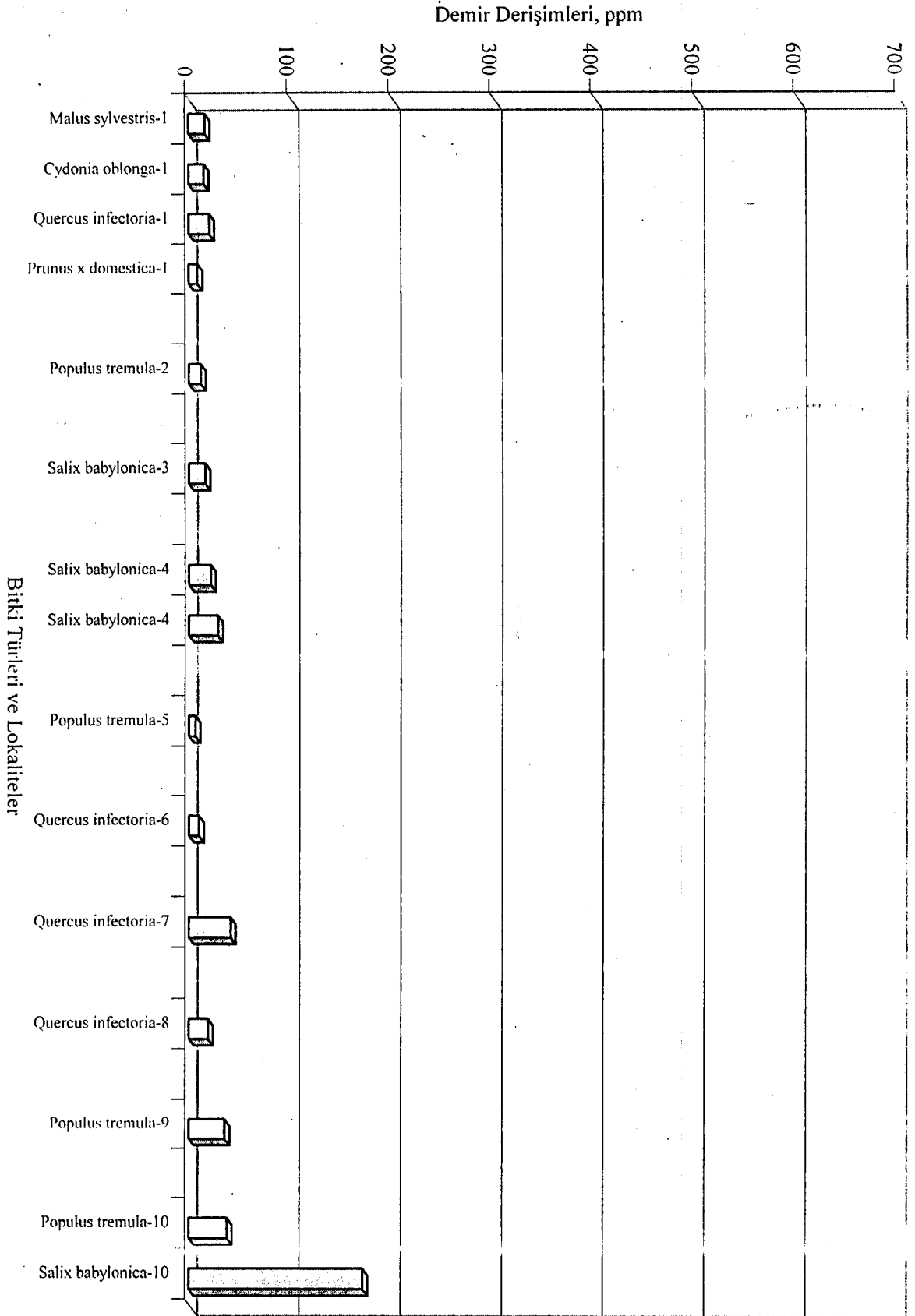
Bakır Derişimleri, ppm



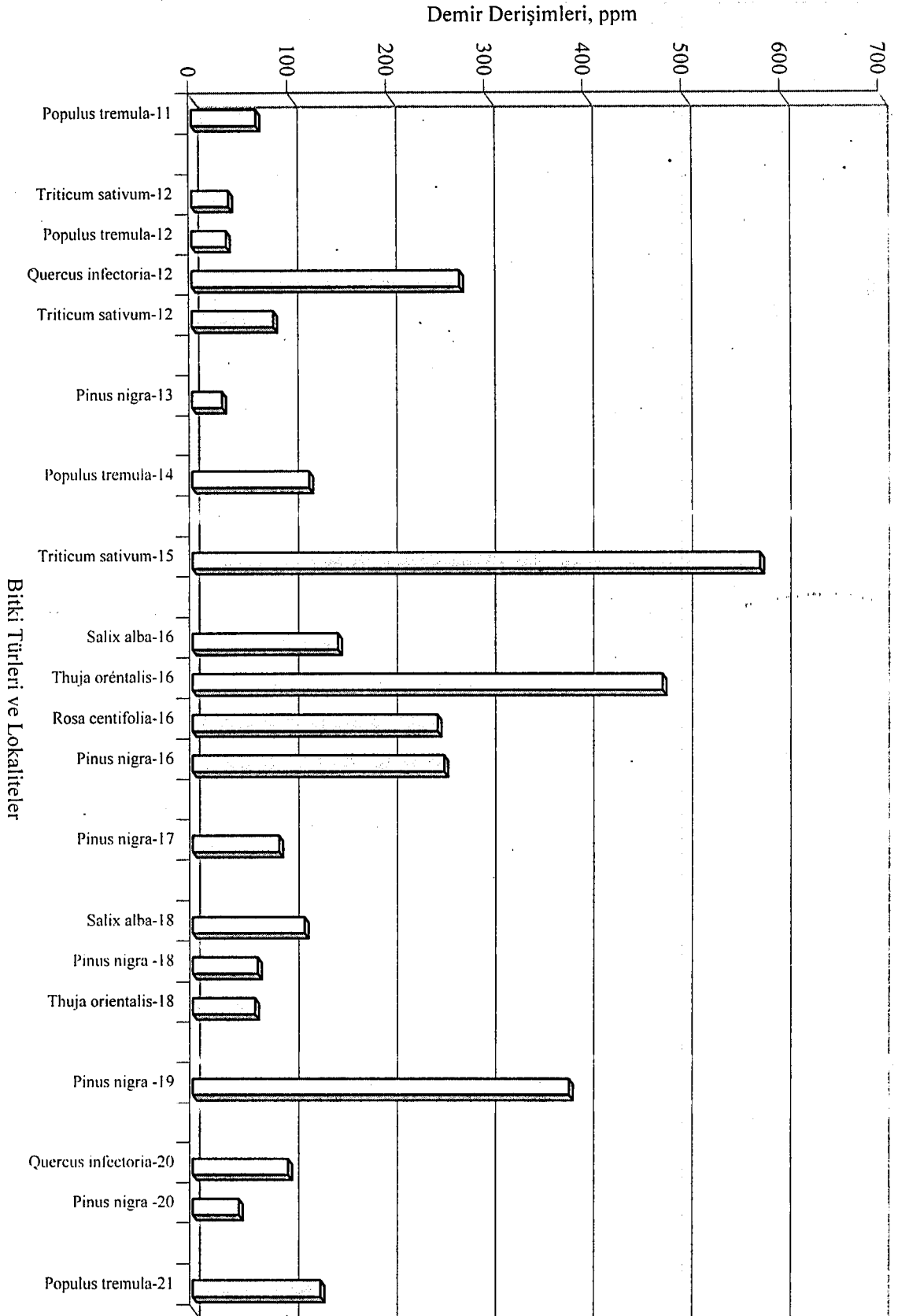
Şekil 7.2. Bitki türleri ve lokalizelere karşı bakır derişimleri



Şekil 7.2. (Devam) Bitki türleri ve lokalizelere karşı bakır derişimleri

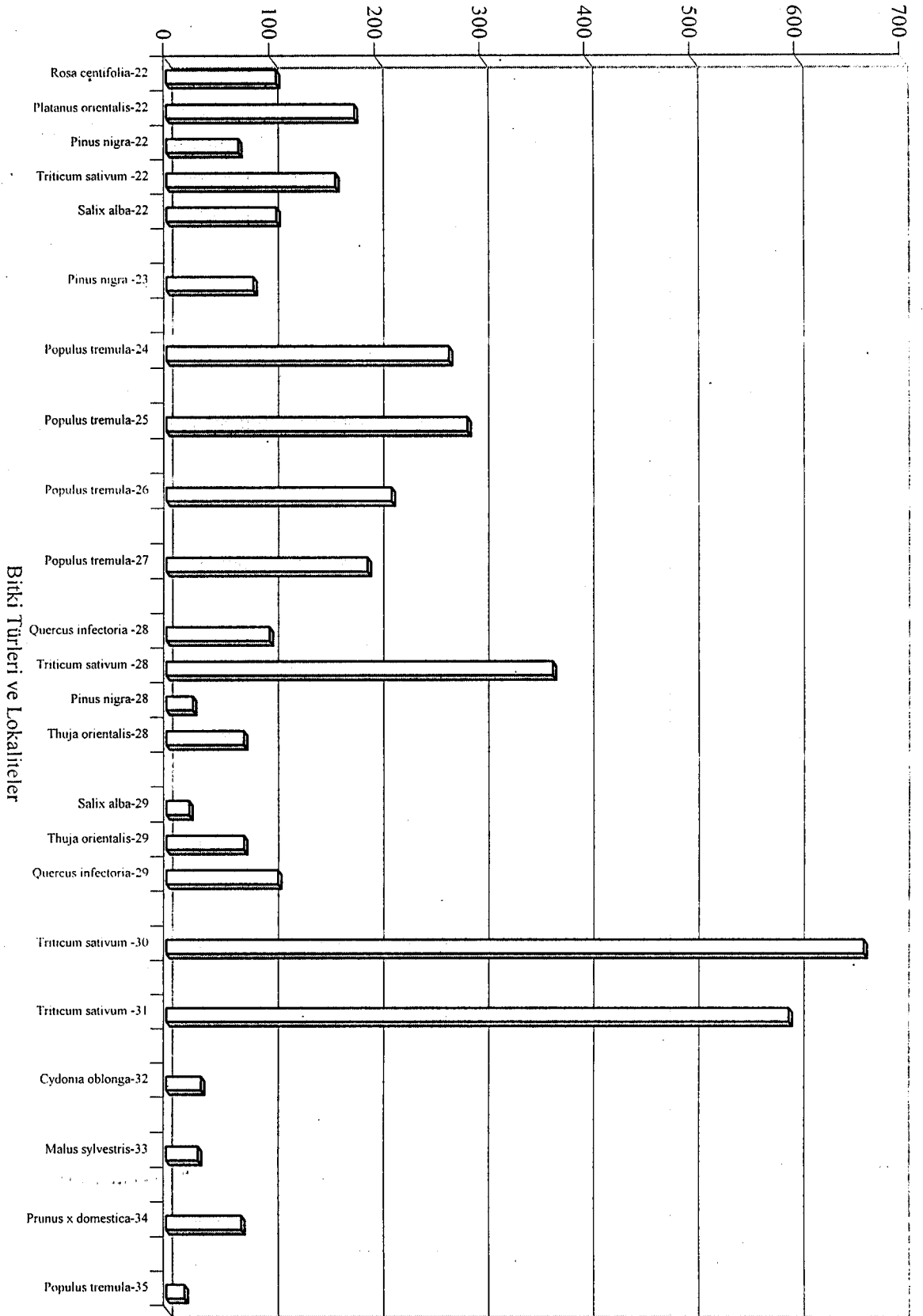


Şekil 7.3. Bitki türleri ve lokalitelere karşı demir derişimleri

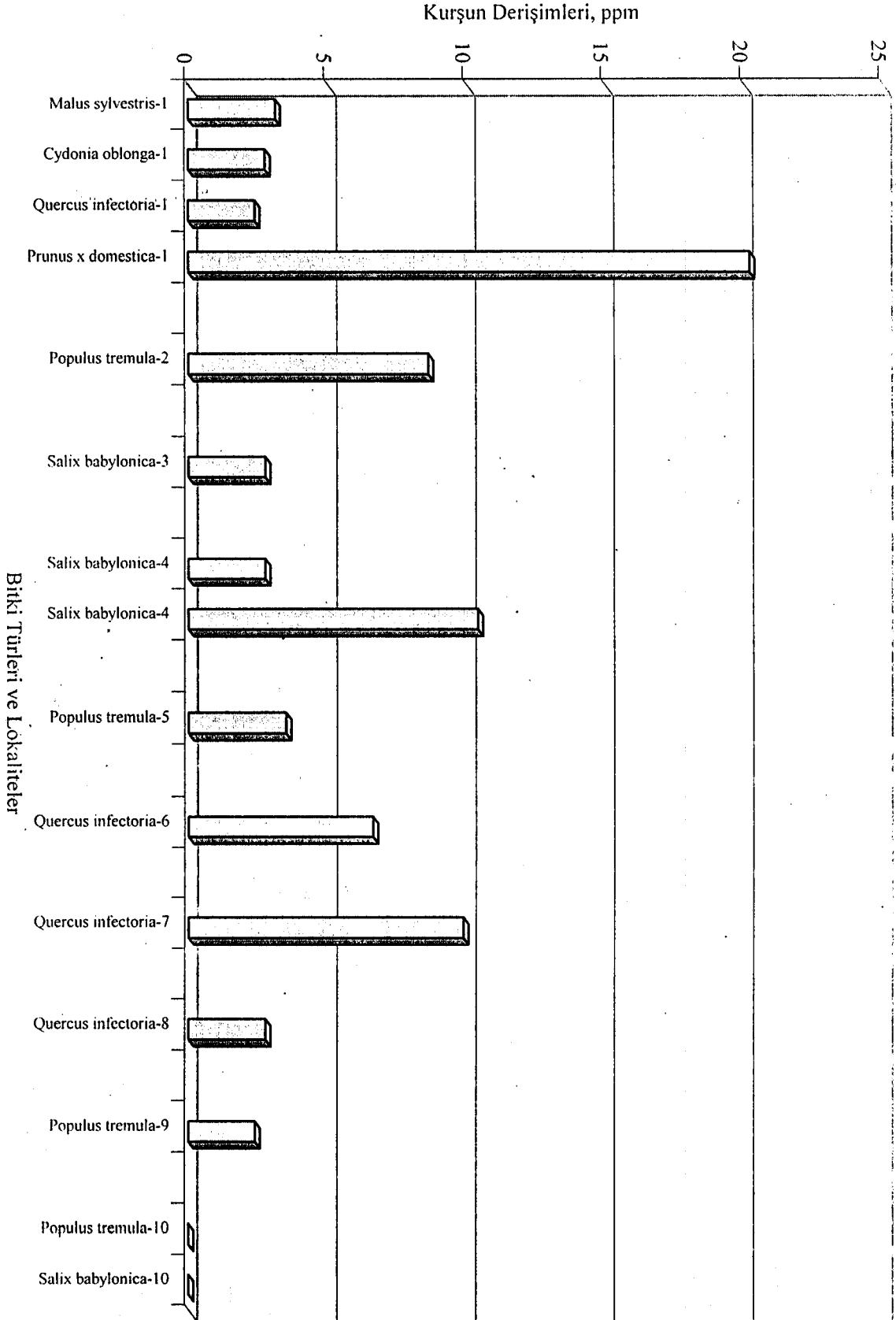


Şekil 7.3. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı demir derişimleri

Demir Derişimleri, ppm

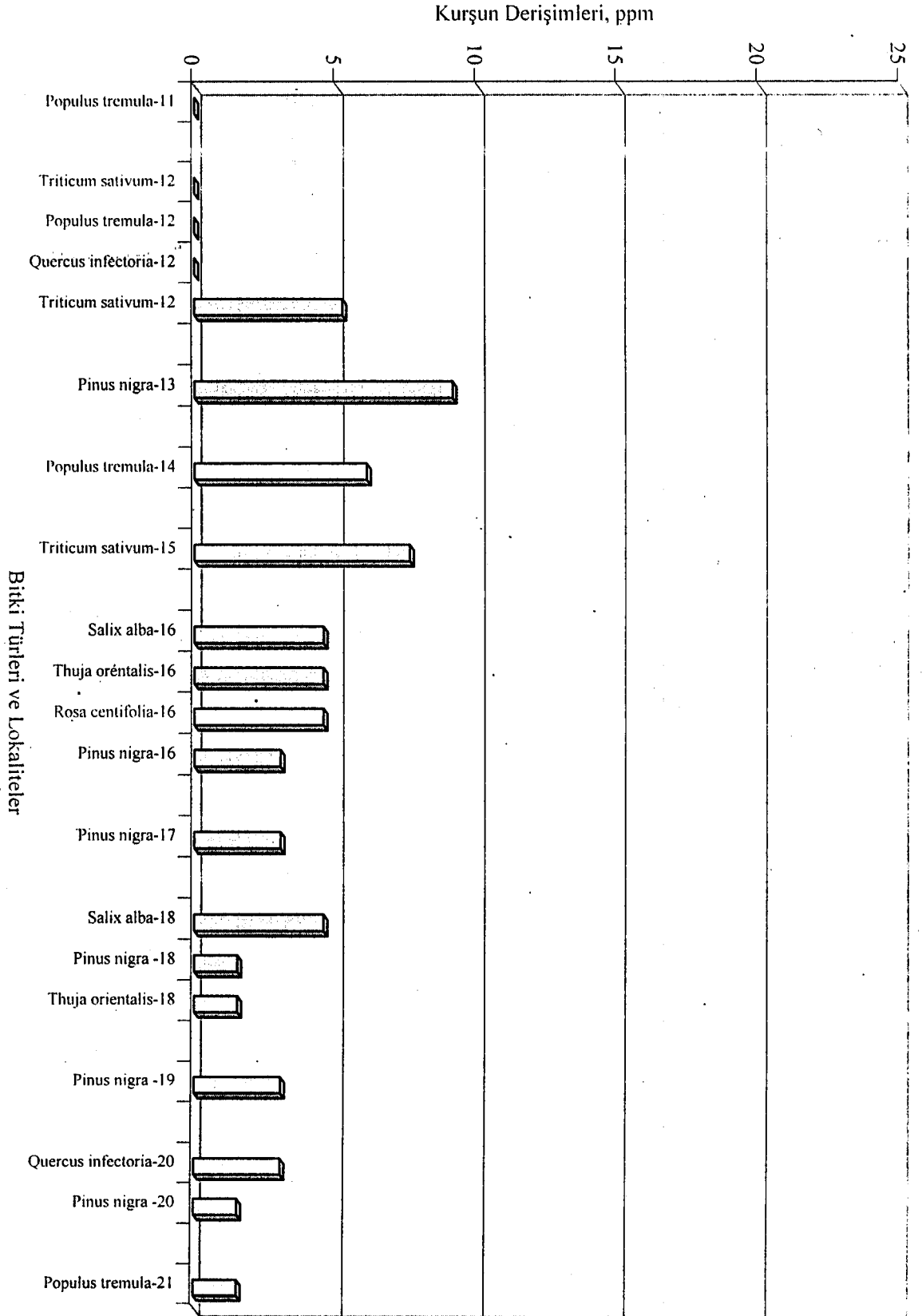


Şekil 7.3. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı demir derişimleri

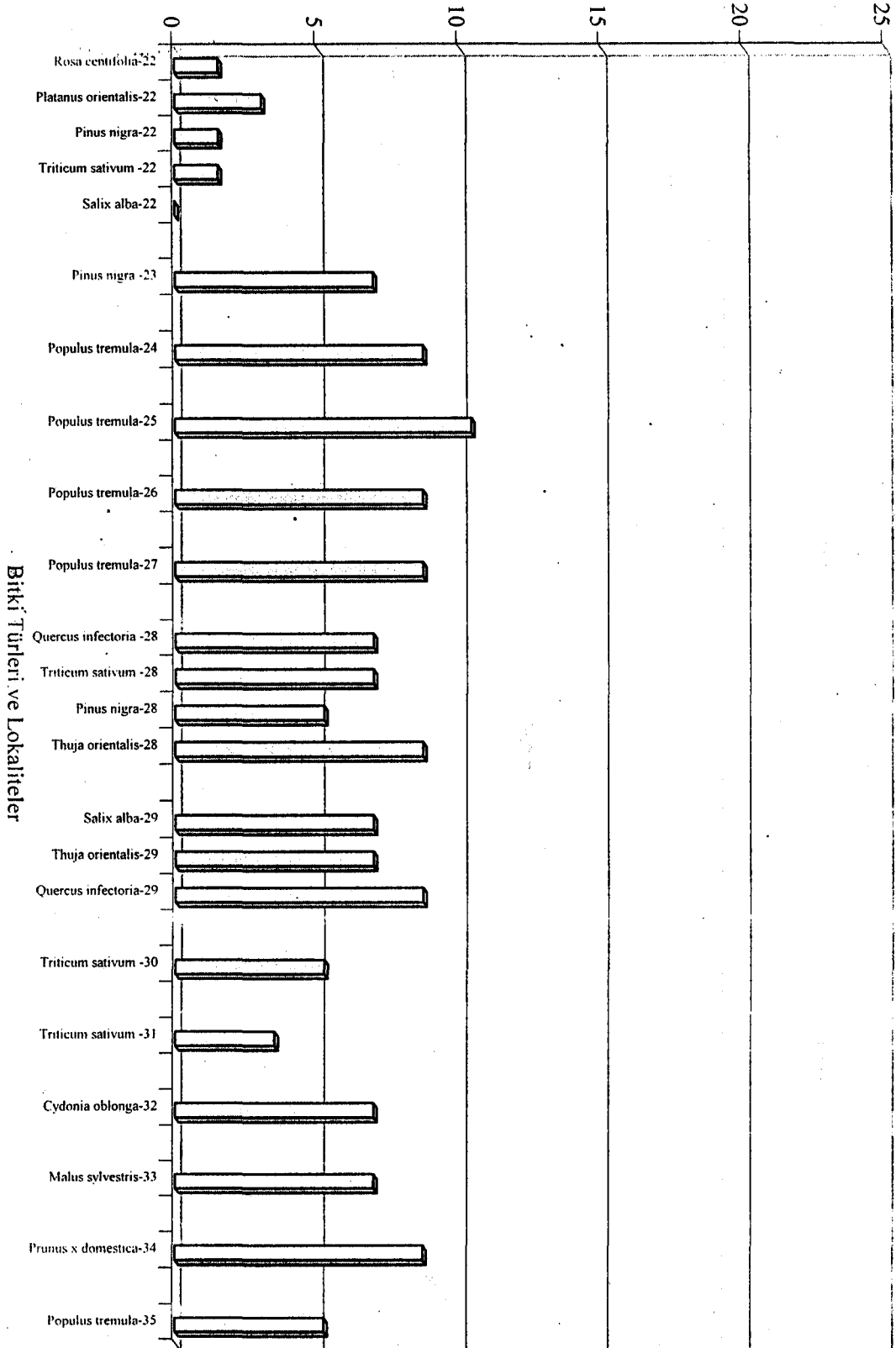


Şekil 7.4. Bitki türleri ve lokalitelere karşı kurşun derişimleri

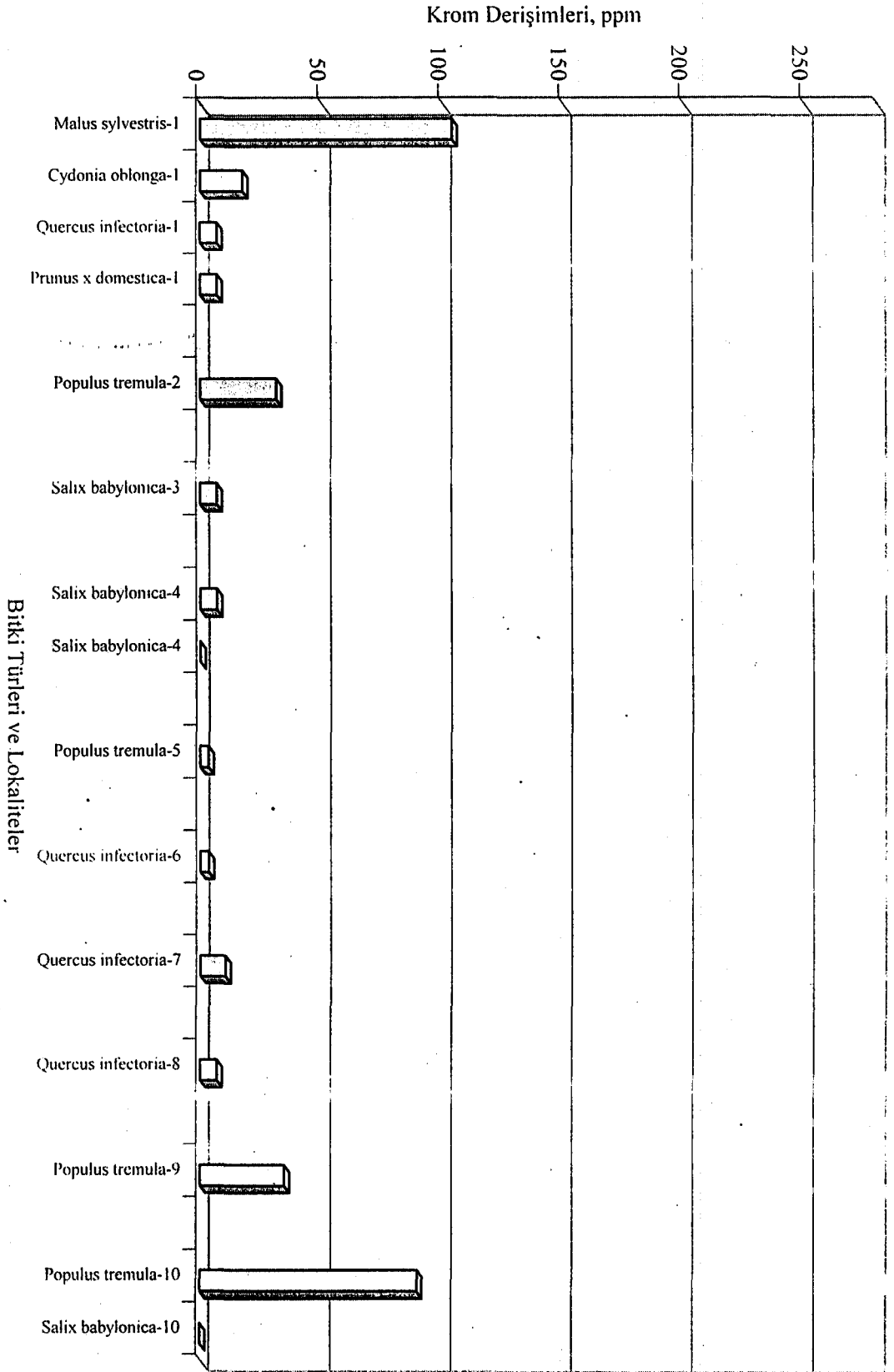
Şekil 7.4. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı kurşun derişimleri



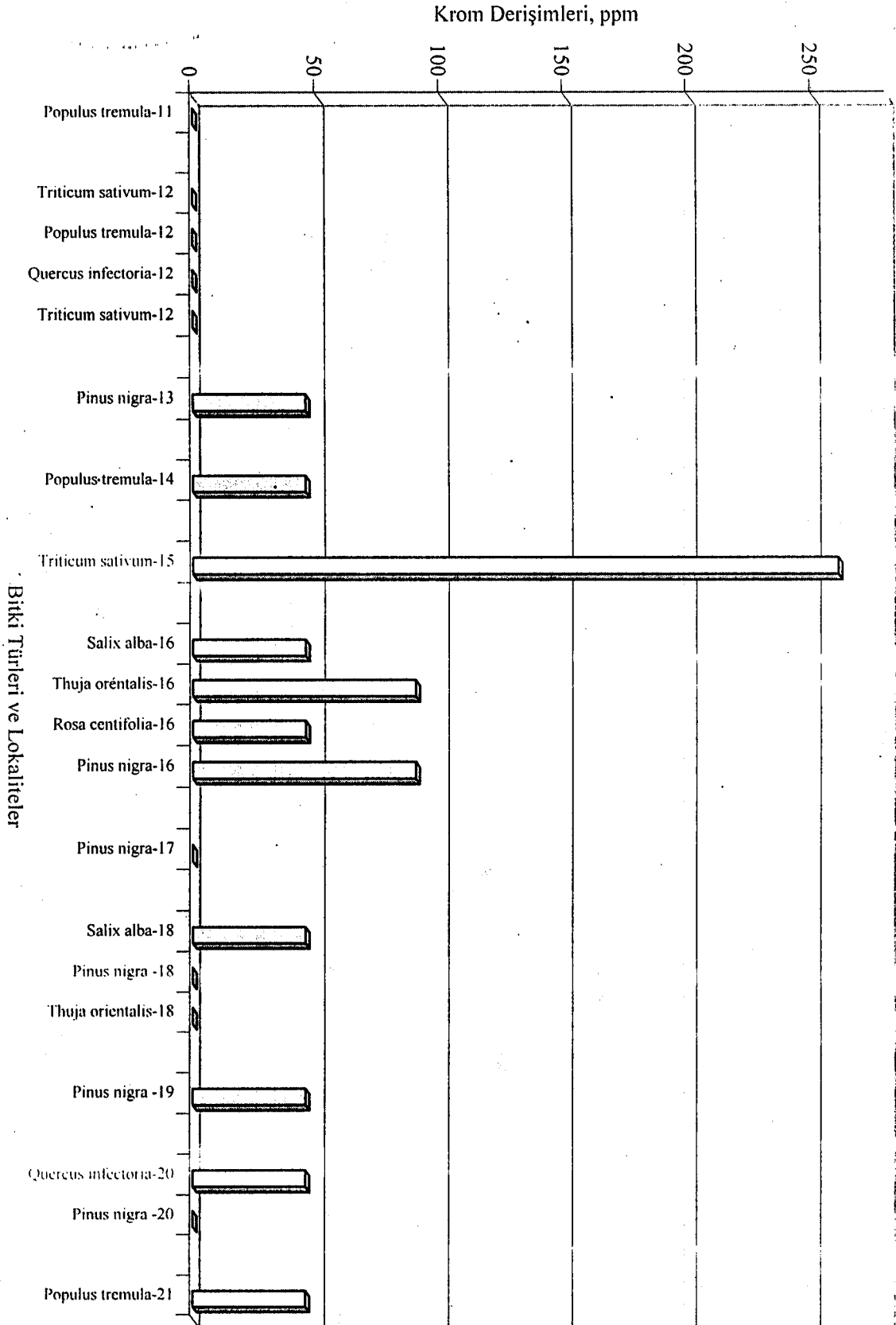
Kurşun Derişimleri, ppm



Şekil 7.4. (Devam) Bitki türleri ve lokalizelere karşı kurşun derişimleri

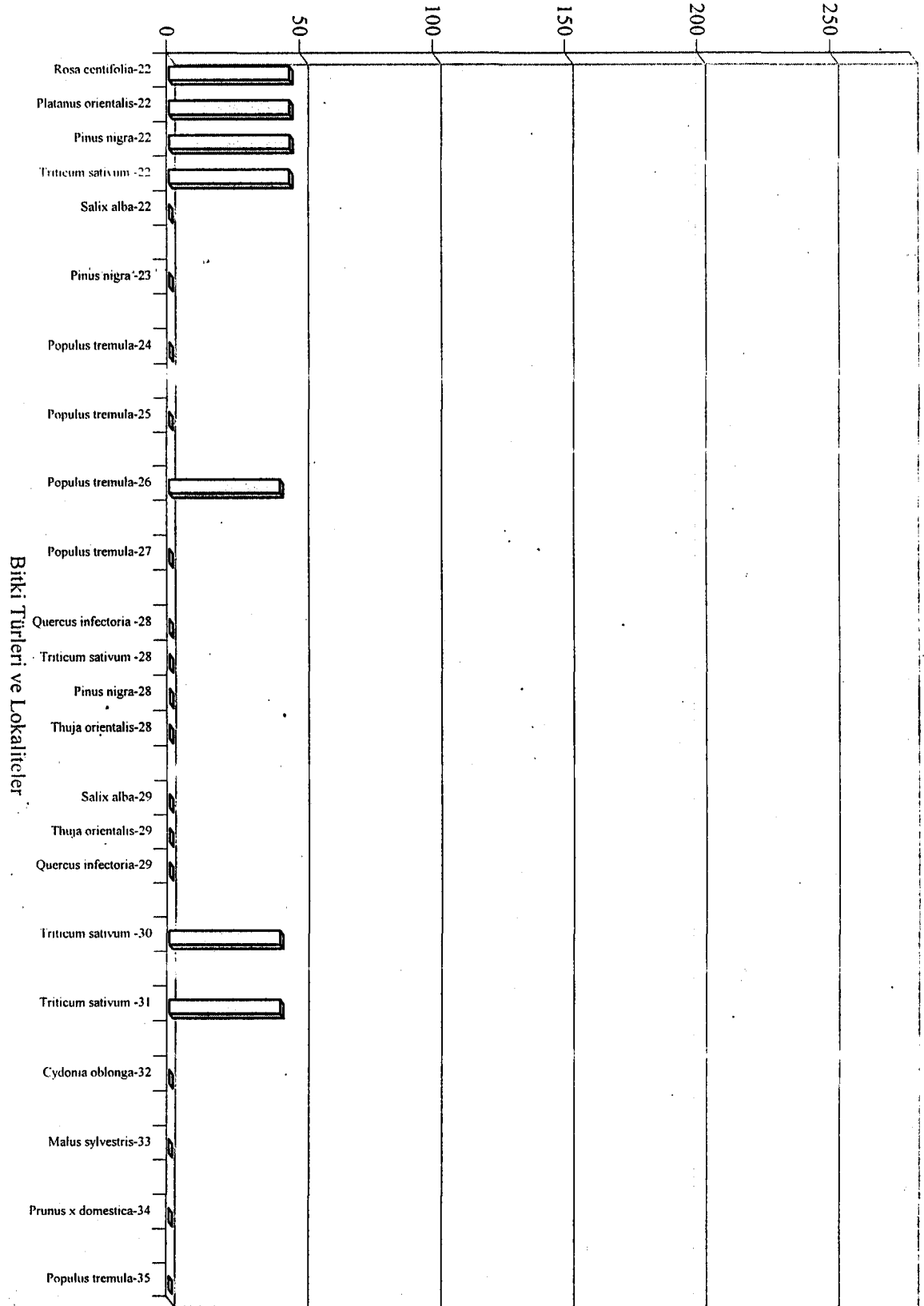


Şekil 7.5. Birki türleri ve lokalizelere karşı krom derişimleri

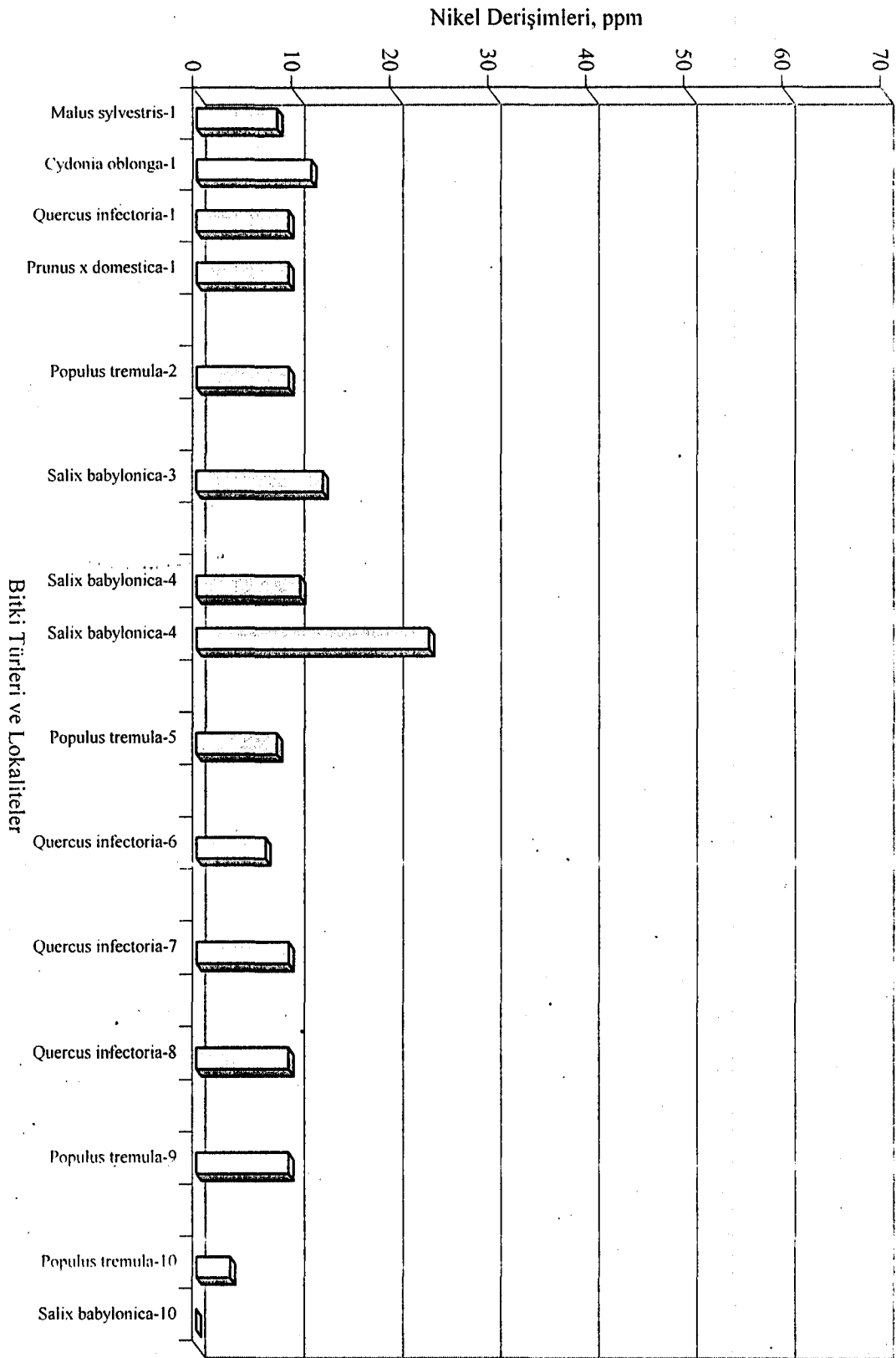


Şekil 7.5. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı krom derişimleri

Krom Derişimleri, ppm

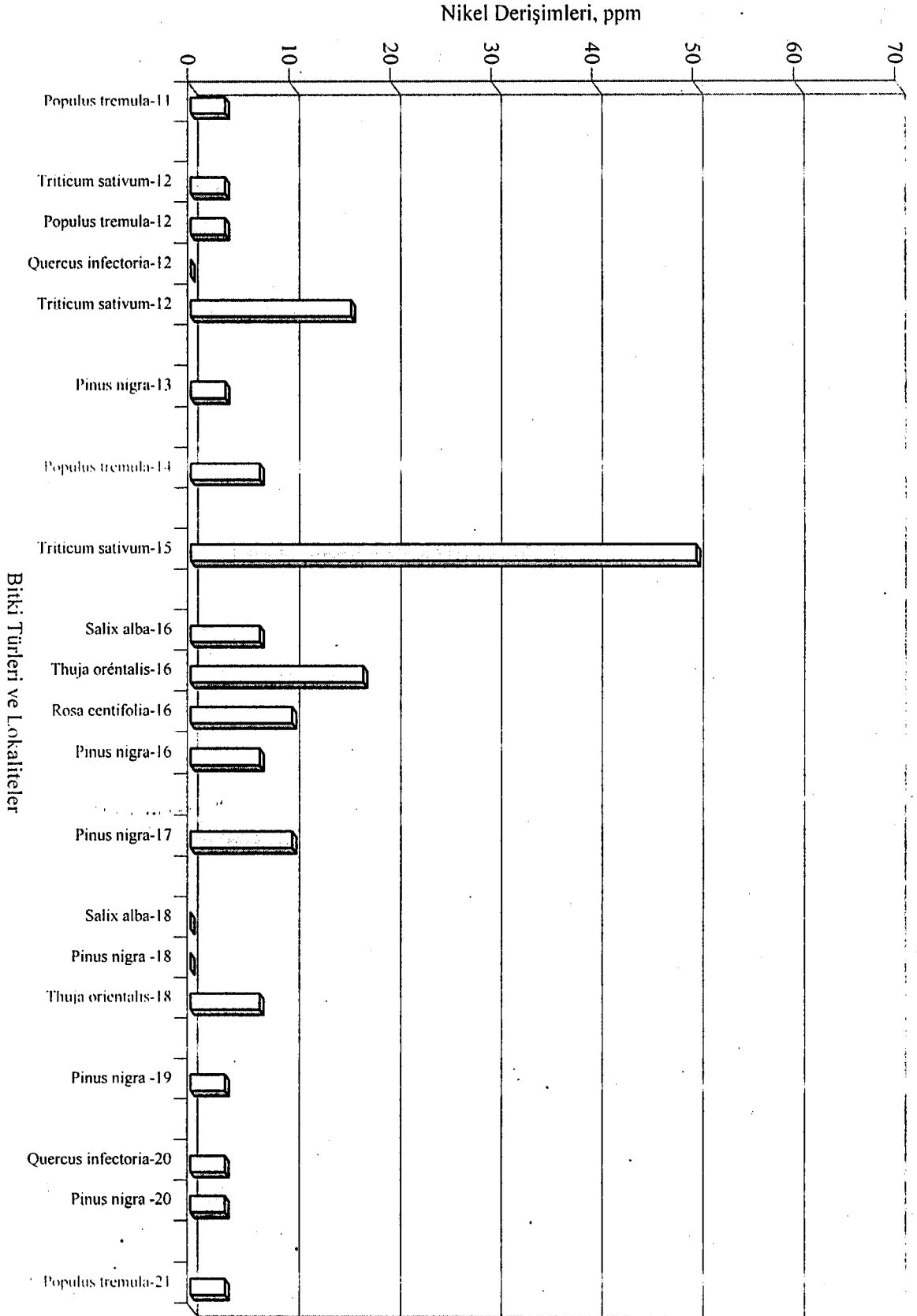


Şekil 7.5. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı krom derişimleri

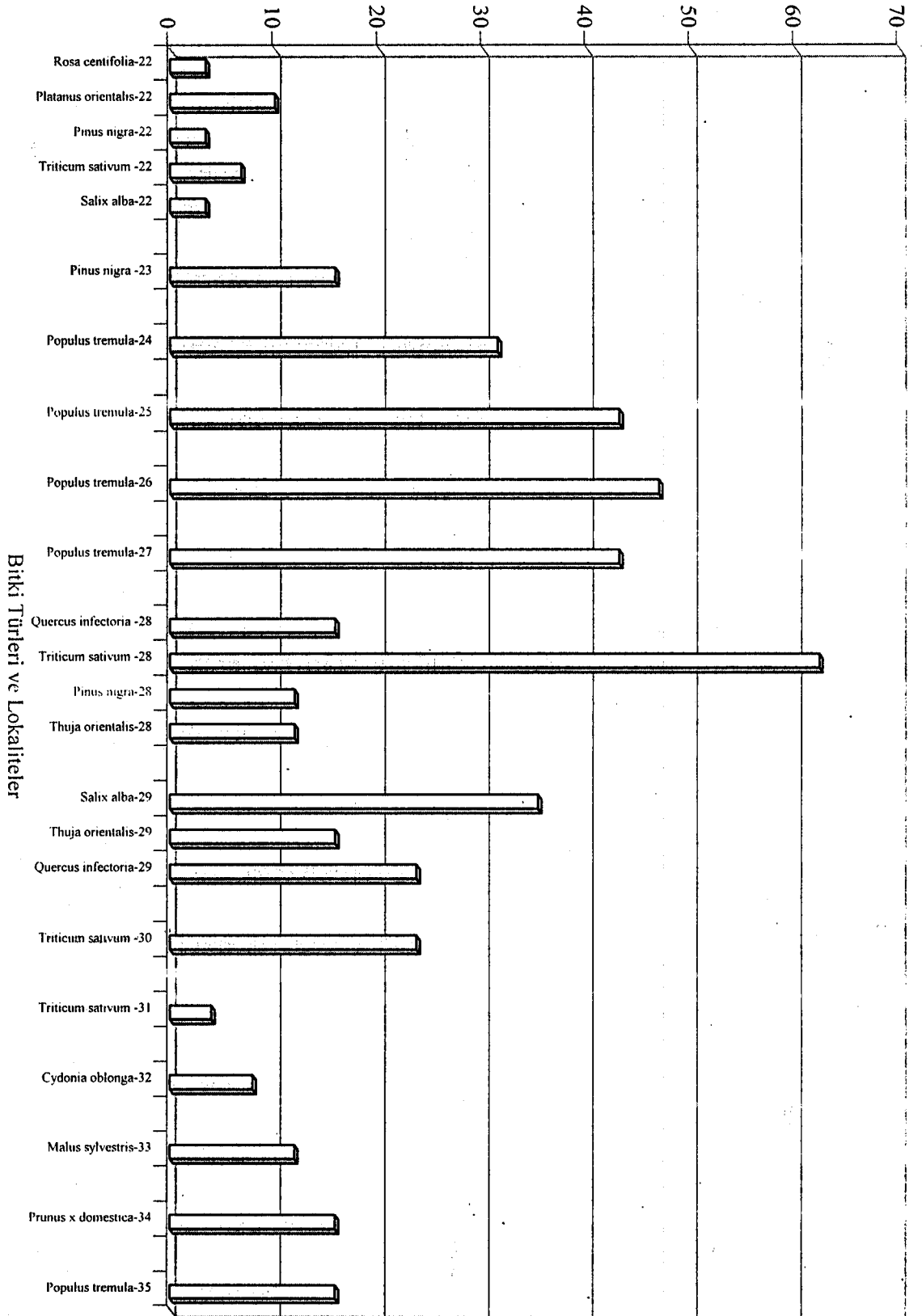


Şekil 7.6. Birki türleri ve lokalitelere karşı nikel derişimleri

Şekil 7.6. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı nikel derişimleri

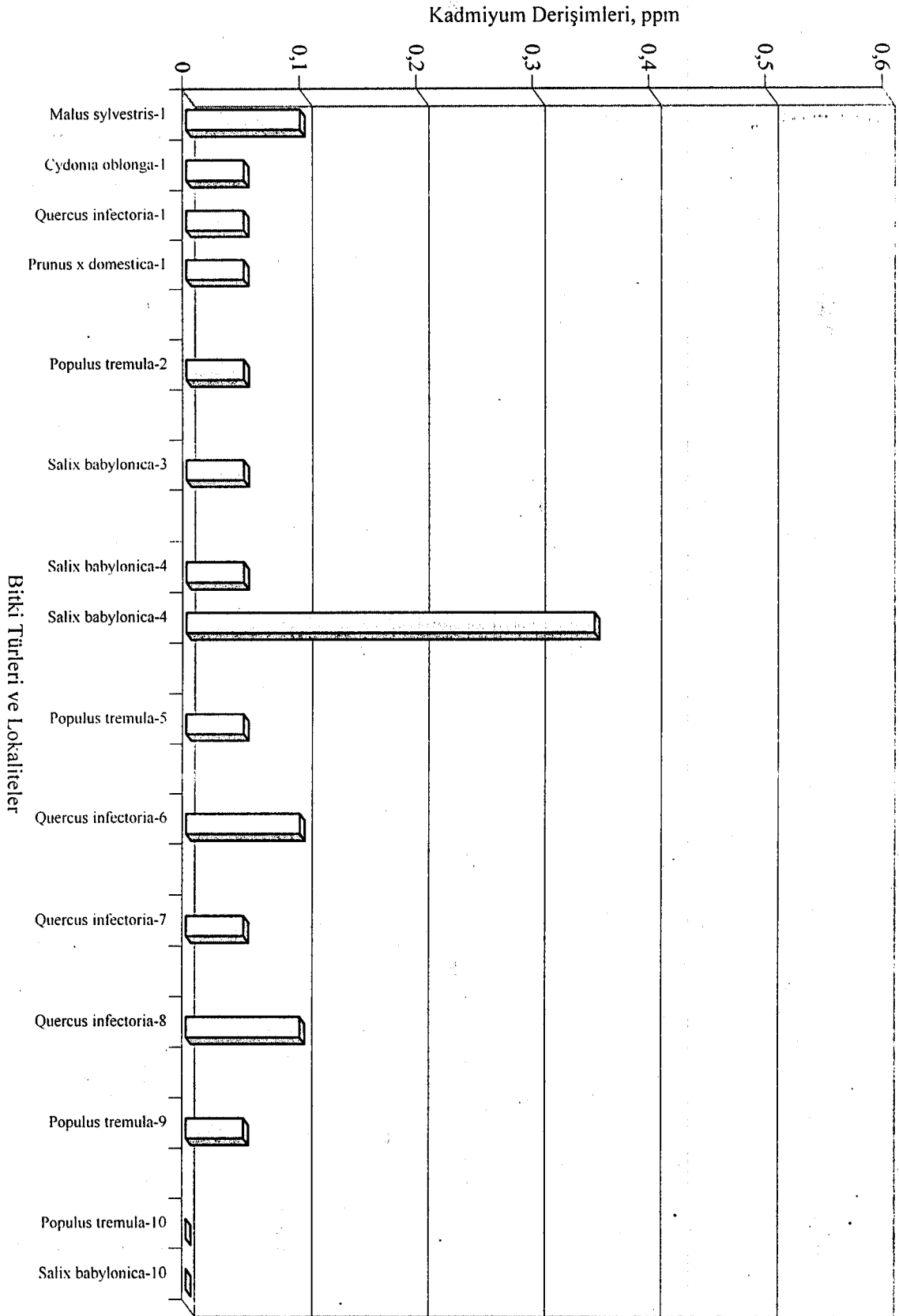


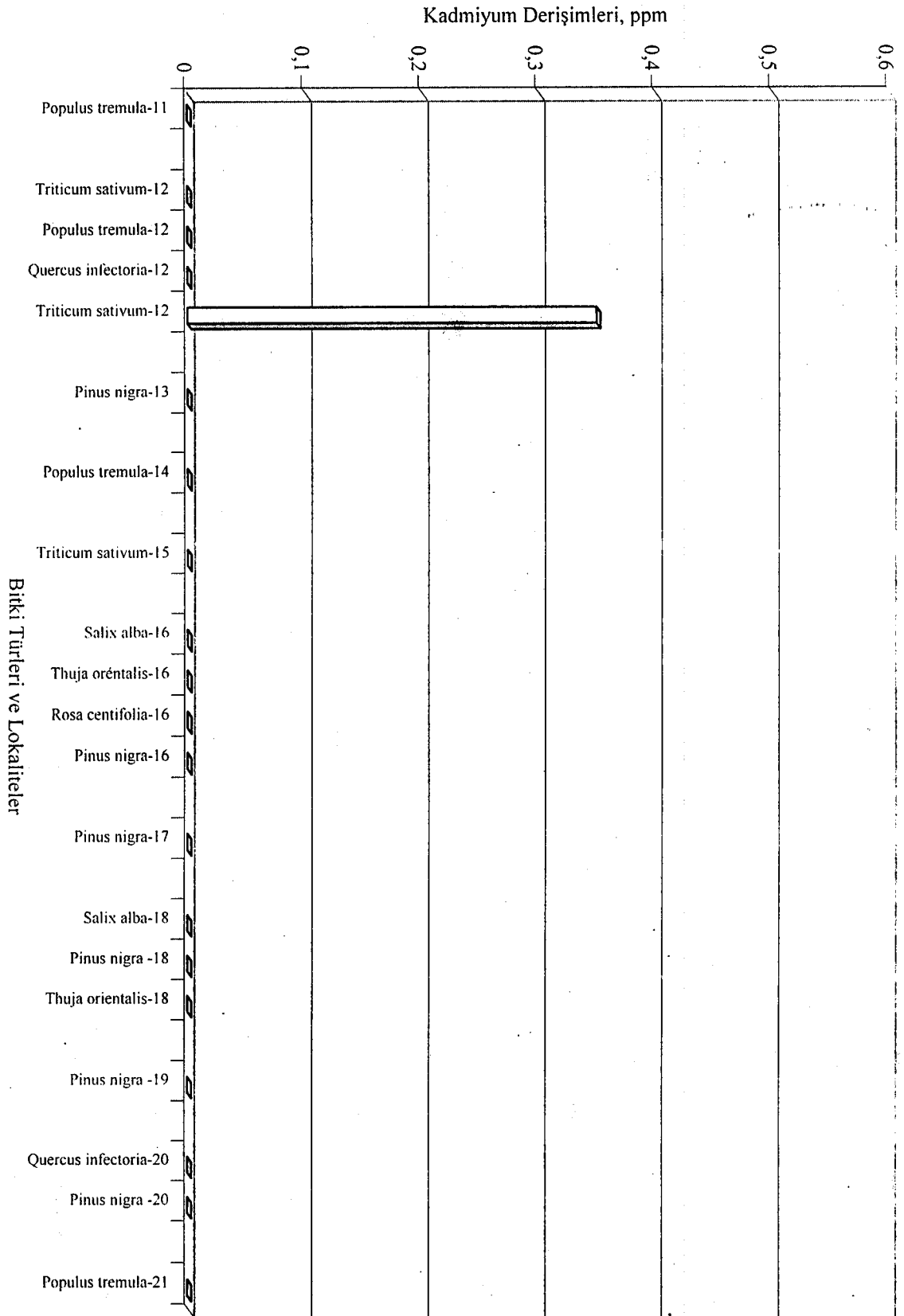
Nikel Derişimleri, ppm



Sekil 7.6. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı nikel derişimleri

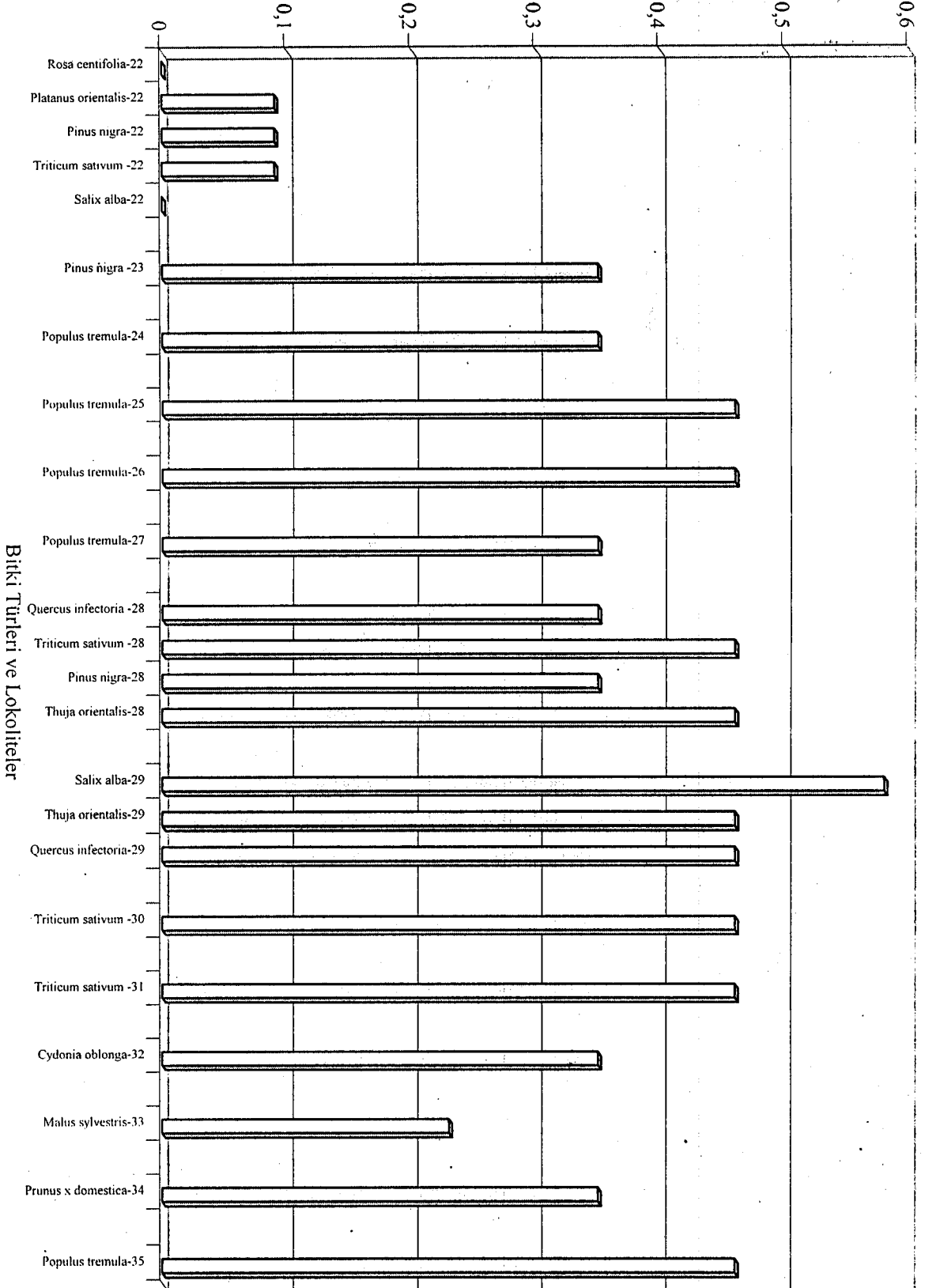
Şekil 7.7. Bitki türleri ve lokalitelere karşı kadmiyum derişimleri



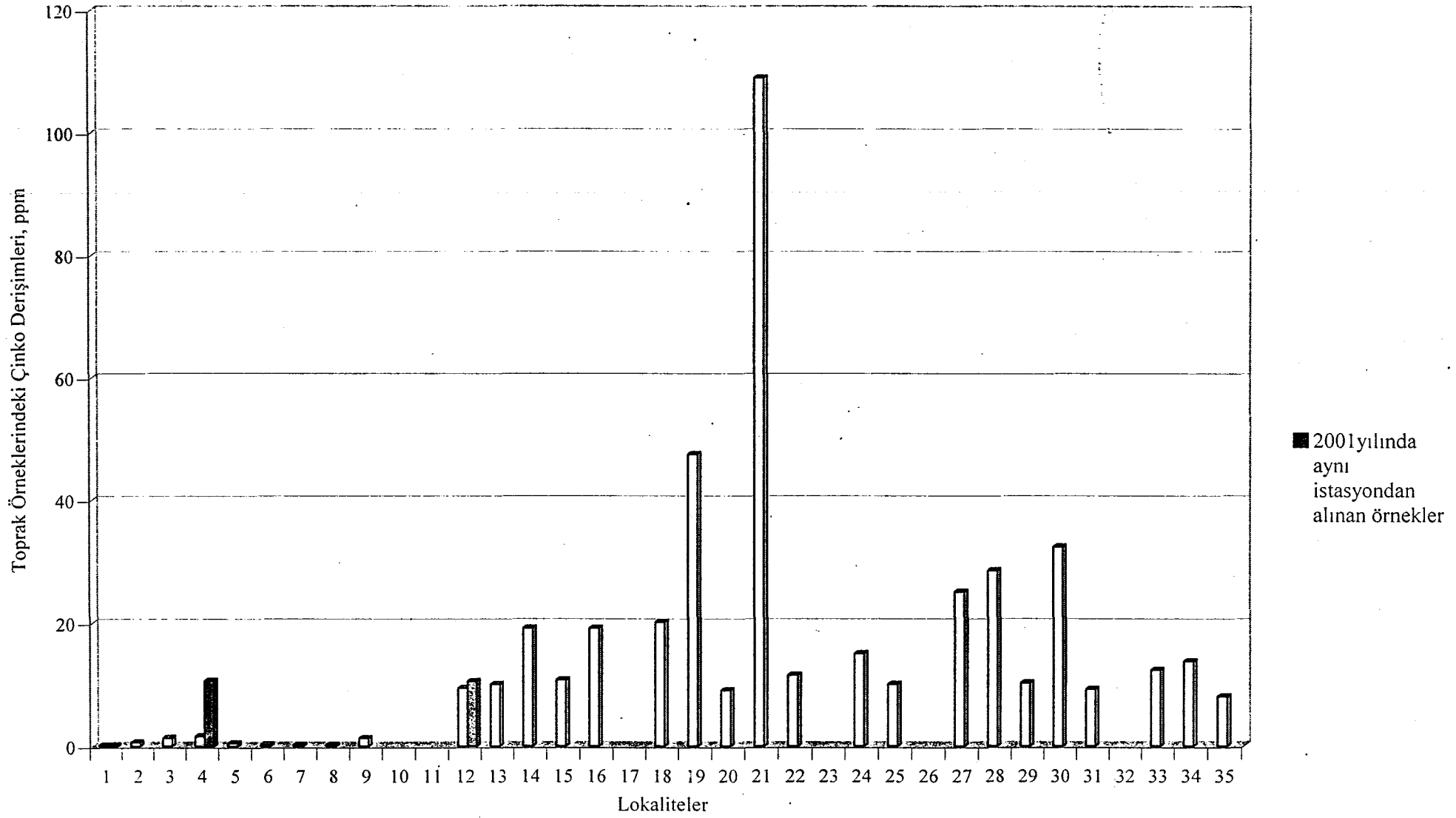


Şekil 7.7. (Devam) Bitki türleri ve lokalitelere karşı kadmiyum derişimleri

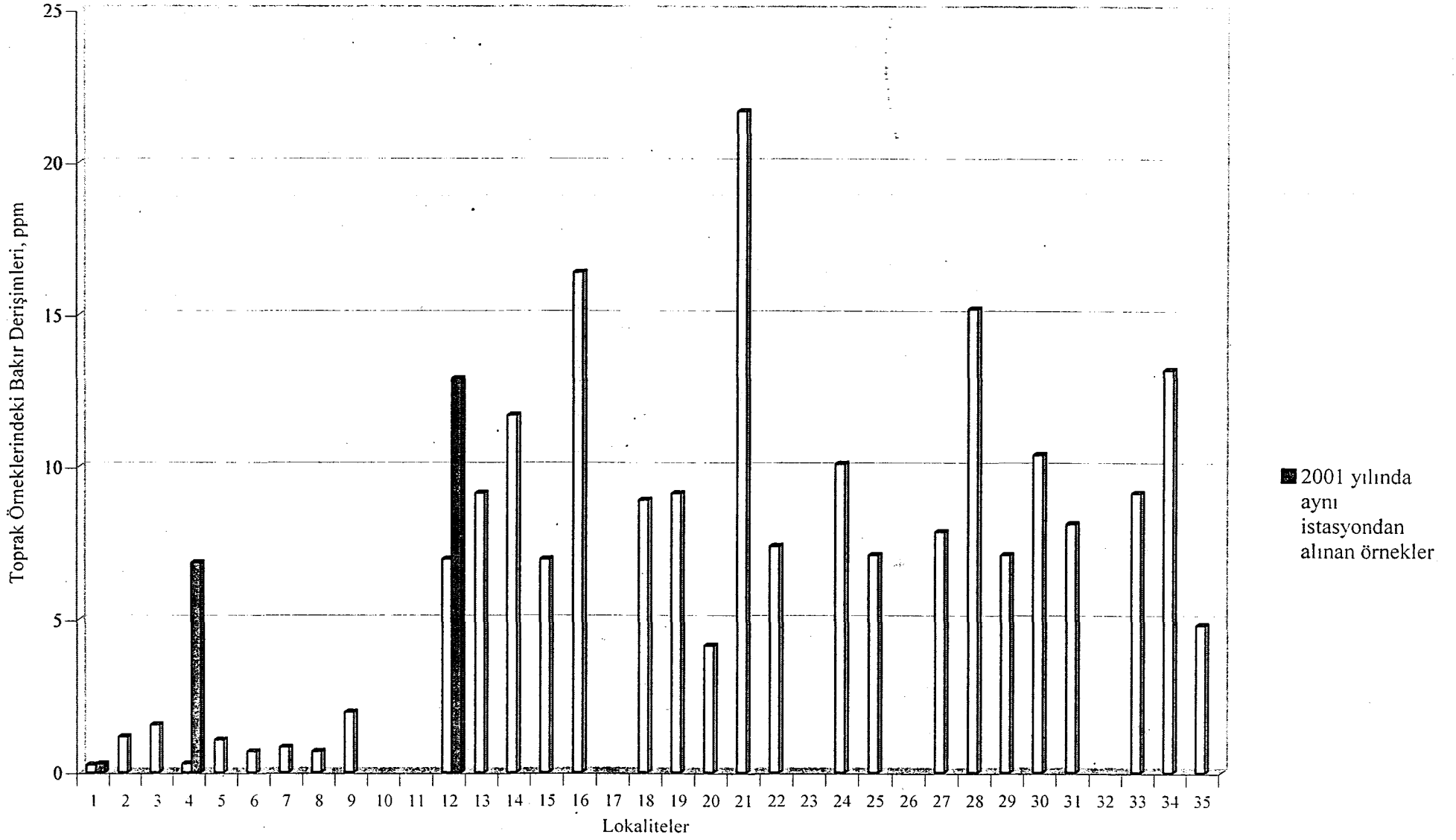
Kadmiyum Derişimleri, ppm



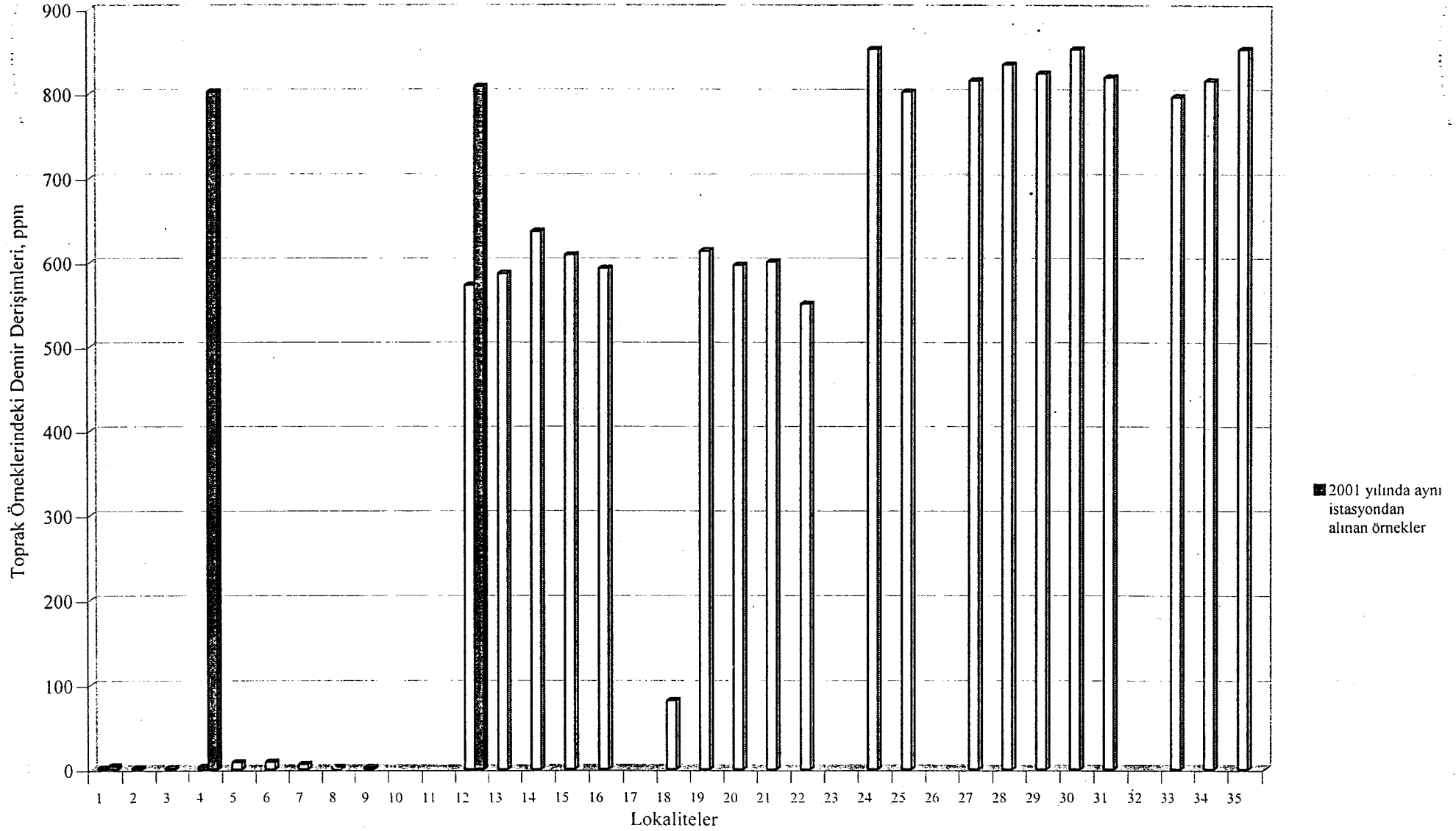
Şekil 7.8. (Devam) Bitki türleri ve lokallitelere karşı kadmiyum derişimleri



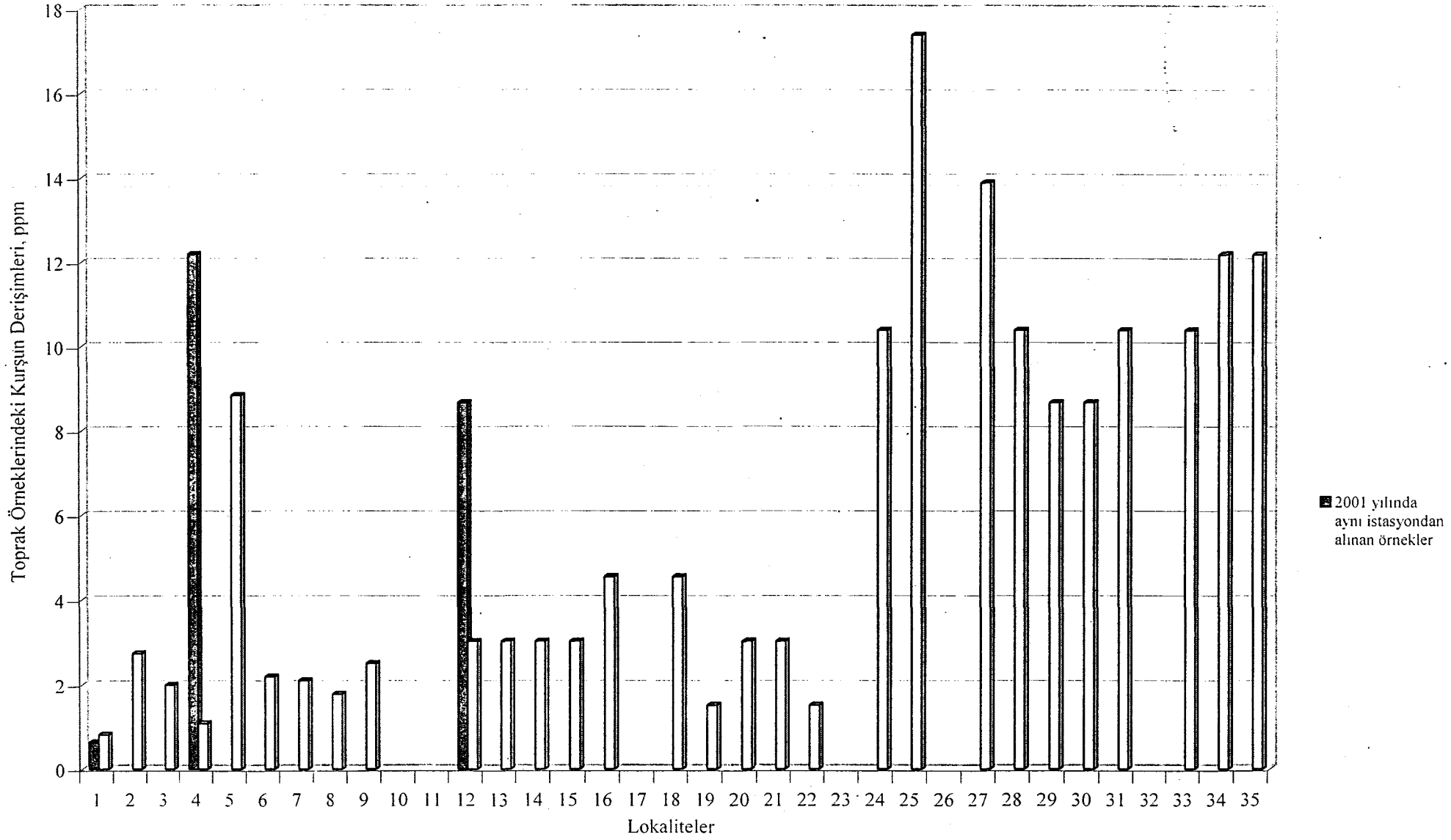
Şekil 7.8. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan çinko derişimleri



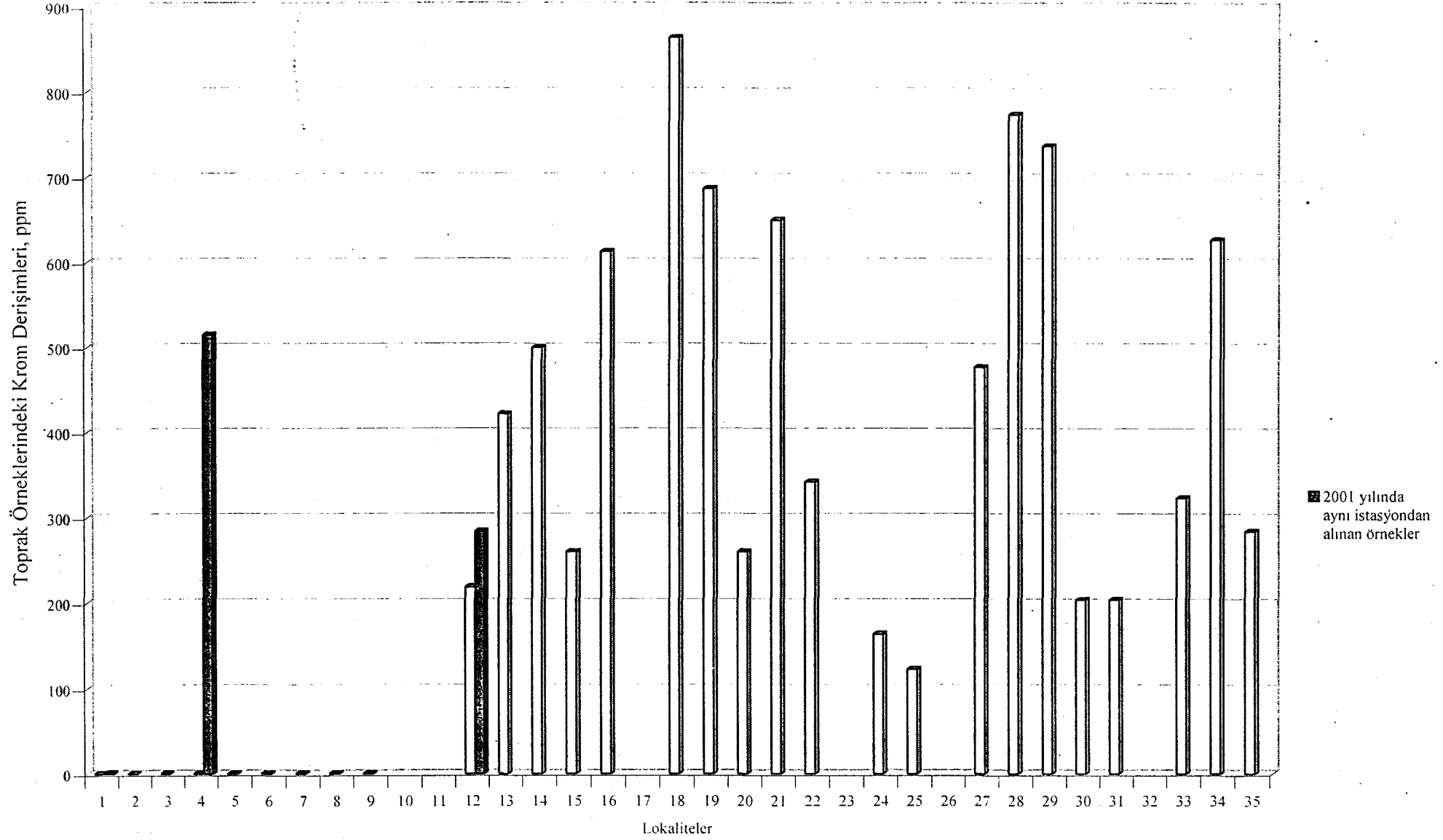
Şekil 7.9. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan bakır derişimleri



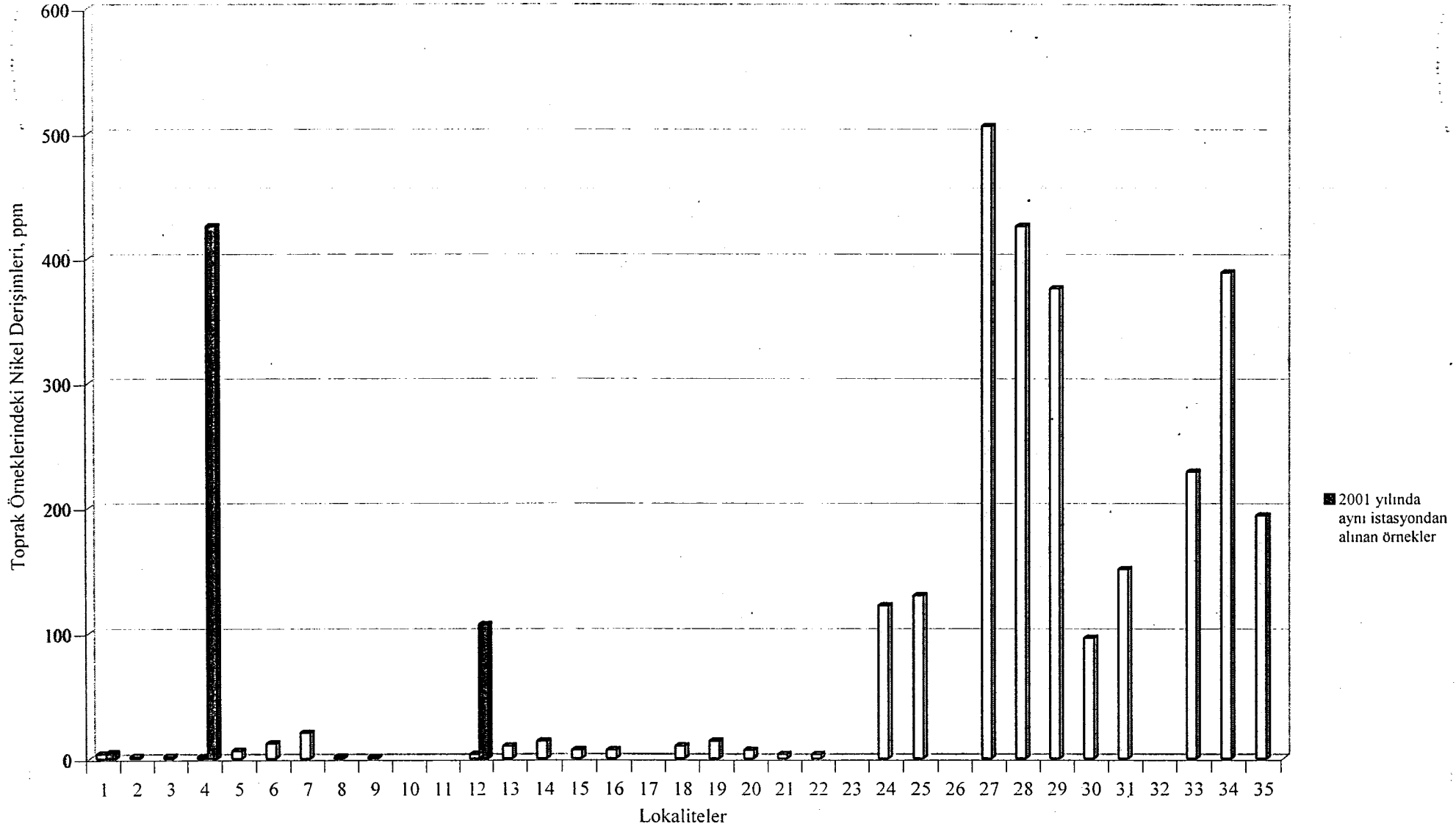
Şekil 7.10. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan demir derişimleri



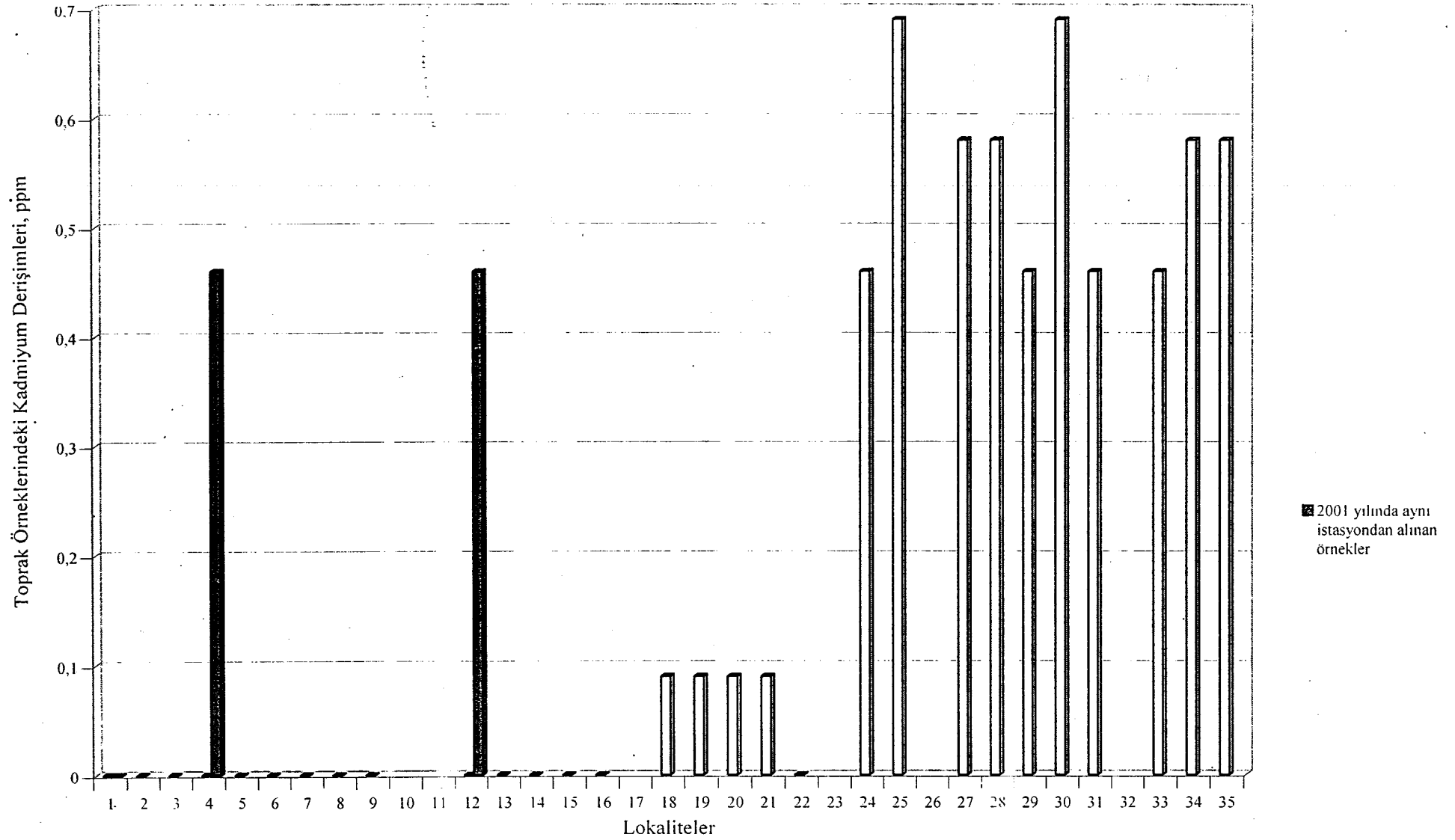
Şekil 7.11. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan kurşun derişimleri



Şekil 7.12. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan krom derişimleri



Şekil 7.13. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan nikel derişimleri



Şekil 7.14. Lokalitelere karşı topraklarda bulunan kadmiyum derişimleri

Çinko derişimleri 1,81- 63,40 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup en yüksek Zn değer (90,20 ppm) 29. istasyondan alınan *Salix alba*'da belirlenmiştir. 28. İstasyondan alınan *Pinus nigra* (68,4 ppm) ikinci sırada yer almaktadır.

Çinko topraklarda 0,15 ile 109 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Zn değeri 21. istasyondan alınan toprakta saptanmıştır.

Cu derişimleri için en yüksek değerler 25. istasyondan alınan *Populus tremula* ağacından (14,20 ppm) ve 16. istasyondan alınan *Rosa centifolia* (12,60 ppm)'dan elde edilmiştir. Cu derişimleri en yüksek değerler dışında 0,55-11,90 ppm değerleri arasında değişim göstermektedir.

Bakır topraklarda 0,24-21,70 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Cu değeri 21. istasyondan alınan toprakta saptanmıştır.

Fe derişimleri için 30. istasyondan alınan *Triticum sativum* 662,60 ppm değeriyle en yüksek derişim olarak belirlenmiştir. 31. istasyonlardan alınan *Triticum sativum* örneğinde 591,20 ppm değeri belirlenmiştir.

Demir topraklarda 1,46 ile 852,90 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Fe değeri 30. istasyondan alınan toprak örneklerinde saptanmıştır.

En yüksek Pb derişimi (20,20 ppm) 1. İstasyondan alınan *Prunus x domestica*'da belirlenmiştir.

Kurşun topraklarda 0,64 ile 17,40 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Pb değeri 25. istasyondan alınan toprak örneklerinde saptanmıştır.

Cr için 15. istasyondan alınan *Triticum sativum* 'da en yüksek değer olan 260 ppm değerine ulaşılmıştır. Diğer istasyonlardan elde edilen sonuçlar ise 0,06-104 ppm değeri arasındadır.

Krom topraklarda 0,42 ile 864,00 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Cr değeri 18. istasyondan alınan toprak örneklerinde saptanmıştır.

Nikel için en yüksek derişim 28. istasyondan alınan *Triticum sativum*'da (62,30 ppm) belirlenmiştir. 15 istasyondan alınan *Triticum sativum*'da 50 ppm değeri ölçülmüş ve diğer istasyondan alınan bitki örneklerinden belirlenen derişimler 0,1-46,90 ppm değeri arasındadır.

Nikel topraklarda 1,26 ile 506 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Ni değeri 27. istasyondan alınan toprakta saptanmıştır.

Cd için 0,58 ppm değeriyle 29. istasyondan alınan *Salix alba*'da en yüksek derişimler elde edilmiştir.

Kadmiyum topraklarda 0,02 ile 0,690 ppm sınırları arasında değişim göstermekte olup bu değerler içinde en yüksek Cd değeri 30. istasyondan alınan toprak örneklerinde saptanmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çinko; Topraklarda 10-300 ppm aralığında çinko bulunmaktadır. Bitkiler de ise bunun onda biri kadar bulunmaktadır (Trambe 1996). Kültür bitkilerinin Zn içeriği ise 10-30 ppm aralığındadır (Ünal ve Boskaya 1981). Topraklarda Pb'nun toksik sayılan değeri 70-400 ppm olarak ve kirlenmiş bitkilerdeki derişimleri de 100-400 µg/g olarak belirtilmiştir (Aksoy ve Dixon 1999).

Farklı istasyonlardan alınan *Populus tremula* ağacına göre bir kıyaslama yapılacak olursa en yüksek Zn derişimi (30,30 ppm) 10. istasyondan alınan örnekte belirlenmiştir. Bu istasyonda endüstri alanlarının bulunduğu bölgemizde yer almaktadır.

29. istasyondan elde edilen veriler Aksoy ve Dixon (1999)'un belirttiği kirlenmiş bitkilerdeki derişimlere yakındır. Bu da o bölgedeki gerek endüstri ve gerekse trafik yoğunluğundan kaynaklanan bir çinko kirliliğinin olduğunu göstermektedir.

Bakır; 125-140 ppm derişimlerinde bakır, bitkilerde hücre membran yapısını bozmaktadır (Baumbach 1996). Tolunay (1995)'a göre bakırın toprakta bulunuş değerleri 5-20 mg/kg ve kabul edilebilir değer ise 50 mg/kg'dır. Kirlenmemiş topraklardaki Cu derişimleri ise Trambe (1996)'ya göre 2-100 ppm değerleri arasındadır. Bitkilerde ise bu değer 0,2-100 ppm arasındadır. Deney sonuçlarından elde edilen verilerde derişimler bitkiler için verilen normal dağılım içine girmektedir. Aksoy ve Dixon (1999) toksik sayılan topraklar için Cu derişimini 60-125 µg/g arasında ve kirlenmiş bitkilerde ise bu değeri 20-100 µg/g olarak vermiştir.

Çalışmamızda elde edilen değerler, incelenen toprak örneklerindeki Cu sınır değerleri olan 4 ila 100 µg/g düzeyine yakın (Haktanır ve ark. 1994) olması nedeniyle, normal dağılım içinde yer aldığı söylenebilir.

Demir; Ünal ve Boskaya (1981)'ya göre bitkilerde demir derişimleri 500-600 ppm aralığındadır. Demir için 30 istasyondan elde edilen en yüksek değer literatür verilerine göre yüksek bulunmasına rağmen, genel dağılım itibariyle sonuçlar normal dağılım içinde kalmaktadır.

Kurşun; Baumbach (1996)'a göre 125-140 ppm Pb derişimlerinde bitkilerde hücre membran yapısı bozulmaktadır. Ayrıca Fergusson (1990)'a göre topraklar için Pb derişimleri 2-300 µg/g arasında değişmektedir. Ortalama değer ise 19 µg/g'dır. Çalışmamızda elde edilen değerler topraklar için ortalama değerlerin altında kalmaktadır.

Krom; Baumbach (1996)'ın belirttiğine göre 5-10 ppm Cr derişimi bitkiler için zararlıdır. Tolunay (1995)'a göre de 10-50 mg/kg değerlerinde toprakta bulunabilir ve kabul edilebilir sınır değerler ise 100 mg/kg'dır. Örneğin; 15. istasyondan alınan *Triticum sativum* (260 ppm), 1. İstasyondan alınan *Malus sylvestris* (104,00 ppm), 10. istasyondan alınan *Populus tremula* (89,50 ppm), 16. istasyondan alınan *Thuja orientalis* (89,50 ppm) ve *Pinus nigra* (89,50 ppm) örneklerinden elde edilen değerler bitkiler için zararlı olacak seviyelerin oldukça üzerinde çıkmıştır.

Nikel; Baumbach (1996)'ın belirttiğine göre 25-40 ppm Ni derişimi bitkiler için zararlıdır. Tolunay (1995)'a göre de 10-50 mg/kg değerlerinde toprakta bulunabilir ve kabul edilebilir sınır değerler ise 50 mg/kg'dır. Diğer bir kaynağa göre ise topraklardaki Ni derişimleri 5- 500 ppm arasında bulunabilir ve bitkiler için bu değerin % 1 kabul edilebilir (Trambe 1996). Analiz sonucunda elde edilen değerler bitkiler için zararlı olacak seviyelerdedir. Toprakta ise en yüksek değer haricinde sınır değerler aşılmamaktadır.

Kadmiyum; 2-10 ppm değerleri arasında bulunan Cd derişimi bitkiler için zararlı etkilere sahiptir (Baumbach 1996). Aksoy ve Dixon (1999) toksik sayılan topraklarda Cd derişimleri 3-8 µg/g ve kirlenmiş bitkilerde 0,03-3,8 µg/g arasında olduğunu belirtmişlerdir. Fergusson (1990)'a göre topraklardaki oran 0,01-2 µg/g arasında ve yaklaşık ortalama değer 0,35 µg/g olarak verilmiştir. Örneğin 25. 26 ve 35. istasyonlardan alınan *Populus tremula*, 28, 30 ve 31. istasyonlardan alınan *Triticum sativum* ve 28. ve 29. istasyonlardan alınan *Thuja orientalis*, 29. istasyondan alınan *Quercus infectoria* örneklerinde yapılan analiz sonucuna göre elde edilen 0,46 ppm Cd derişimi kirlenmiş bitkilerde bulunması gereken seviyelere dahil olmaktadır. Topraklar için ise sonuçlar ortalama değerin üzerindedir.

KAYNAKLAR

ABDEL-SAHAB I., SCHWAB A.P. BANKS, M.K. ve HETRICK B.A., *Chemical characterization of heavy metal contaminated soil in Southeast Kansas*, Water, Air and Soil Pollution, **78**; 73-82 (1994).

AGRAWAL Y.K., PATEL M.P. ve MERH S.S., *Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to highway (Lalbag, Baroda City)*, Research Report, Gordon and Breach Science Publishers, Inc. (1981).

AKSOY A., HALE W.H.G. ve DIXON J.M., *Capsella bursa-pastoris (L.) Medic as a biomonitor of heavy metals*, The Science of the Total Environment, **226**, 177-186 (1999)

Annual Book of ASTM Standarts, 740-747 (1985).

BALKAN S. ve ÖNAL, M., *Helianthus annuus L. (Edirne- 87) 'un Farklı Organlarında Kurşun Birikimi ve Kurşunun Bitki Gelişimine Etkisi*, I.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara (1993).

BAYÇU G. ve ÖNAL M., *Ailanthus altissima'da Kadmiyum Birikimi ve Kadmiyumun Bitki Gelişimine Etkisi*, I.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara (1993).

BEREKET G. ve YÜCEL E., *Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Eskişehir*, Doğa- Tr.J. of Chemistry, **14**, 266-271 (1990).

Bozüyük Ticaret ve Sanayi Odası Dergisi, Sayı 1 (1998).

Bozüyük Dergisi, Sayı 6 (2001).

CARMEN HURA M., LEANCA L. ve RUSU B.A., *Impact of the chemical pollution of food on the public health*, The Kriton Curi International Symposium on Environmental Management in The Mediterranean region Proceedings, V 2, Boğaziçi Üniv., 95-99 (1998).

ČEBURNIS D. ve STEINNES E., *Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation, role of the canopy*, Atmospheric Environment, **34**, 4265-4271 (2000).

CEYLAN Z., BOYABAT N. ve TOSUNOĞLU V., *Erzurum Atmosferinde Kurşun Kirliliği ve Diğer Kirlenici Parametrelerle Arasındaki İstatistiksel İlişki*, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu, ODTÜ Çevre Müh. Bölümü (1995).

CHOW T.J., *Lead Accumulation in roadside soil and grass*, Nature **225**; 295-296 (1970).

DURMAZ A., *Türkiye'nin Enerji Altyapısı ve Hava Kirliliği*, Uluslar arası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, Ankara (1987).

Düzenli A., Aldağ D. ve Taşkın E., *Şehre ve Şehirlerarası karayollarına yakın alanlarda yetişen bitkilerde ağır metal kontaminasyonu*, 395-401 (1992).

FERGUSSON J., *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, Reader in Chemistry, University of Canterbury, New Zeland, Pergamon Press, 1st edition (1990).

GÜLEY M. ve VURAL N., *Toksikoloji* (1976).

GÜNDOĞDU N., *Atmosferik Kurşun Kirliliği: Yerküre ve Ankara*, Hacettepe Üniversitesi Çevre Bilimleri, 1; 37-45 (1994).

GÜNTER B., *Air Quality Control*, pp 128-130, 191 (1996).

HAKTANIR K., ARCAK S., ERPUL G. ve TAN A., *Yol Kenarındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metallerin Birikimi*, Engineering and Environmental Sciences, 423- 431 (1994).

HENDEN E., TÜRKAN İ., ÇELİK Ü. ve KIVILCIM Ş., *Ağır Metal Kirlenmesinin Bir Monitörü Olarak Ballota acetabulosa (L.) Bentham*, I. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara (1993).

IPCS, *Environmental Healt Criteria 108, Nickel* (1991).

IPCS, *Environmental Healt Criteria 135, Cadmium-Environmental Aspects* (1992).

KANTARCI D., *Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerine Doğrudan Ve Dolaylı Etkileri*, İTÜ, II.Hava Kirlenmesi, Modellenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, 234-251 (1995).

KARADEMİR M. ve TOKER M.C., *Ankara'nın Bazı Kavşaklarında Yetişen Çim ve Bitkilerde Egzos Gazlarından Gelen Kurşun Birikimi*, II.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara, Türkiye (1995).

KASAP Y. ve DİLBİRLİĞİ M., *Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerine Etkisi*, İTÜ, II.Hava Kirlenmesi, Modellenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, syf. 280-281, 283-284, 287, 290-291 (1995).

KIŞLALIOĞLU M. ve BERKES F., *Ekoliji ve Çevre Bilimleri*, 163-171 (1994).

KUTBAY H.G., KILINÇ M., *Heavy metal pollution in plants growing along motor roads*, Urban Ecology, 62-66 (1991).

LAO W.M.ve WONG H.M., *An ecological survey of lead contents in roadside-dusts and soils in Hong Kong*, Environmental Research, **28**; 39-54 (1982).

MAJDI H. ve PERSSON H., *Effects of road-traffic pollutants (lead and cadmium) on tree fine-roots along*, Plant and Soil, **119**; 1-5 (1989).

MASHHOUR A.M. ve SEAWARD M.R.D. *Heavy metal burden of Yanbu industrial city, Saudi Arabia*, Urban Ecology, 88-97 (1991).

MASON C.F., *Biology of Fresh Water Pollution*, Harlow, 265-267 p. (1996).

MONNI S., UHLIG C., HANSEN E. ve MAGEL E., *Ecophysiological responses of Empetrum nigrum to heavy metal pollution*, Environmental Pollution **112**; 121-129 (2001).

MORENO-GRAU S., PEREZ-TORNELL A., BAYO J., MORENO J., ANGOSTO J.M. ve MORENO-CLAVEL J., *Particulate matter and heavy metals in the atmospheric aerosol from Cartagena, Spain*, Atmospheric Environment, **34**; 5161-5167 (2000).

MUNZUROĞLU Ö. ve BALTEPE Ş., *Trafik Araçlarından Kaynaklanan Hava Kirlenmesinin Buğday (Triticum aestivum L.) Bitkisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, F.Ü.Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi **5(2)**; 93-104 (1993).

OFLAS S., YÜREKLİ K. ve PİRDAL M., *Erdek ve Bandırma Çevre Vejetasyonunda Mineral Alümina Hava Kirliliğinin Etkisi*, I.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara (1993).

ÖZTÜRK M., TÜRKAN İ., *Ağır Metaller- Canlılar İçin Bir Yük Mü?*, II. Uluslararası Ekoloji ve Çevre Sorunları Sempozyumu (1992).

ÖZTÜRK M.A. ve SEÇMEN Ö., *Plant Ecology*, Ege University, Bornova, İzmir, Turkey, pp. 207- 216 (1992).

PICHTEL J., KUROIWA K. ve SAWYERR H.T., "Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites", Environmental Pollution **110**; 171-178 (2000).

SAUR E. ve JUSTE C., *Enrichment of trace elements from long-range aerosol transport in sandy podzolic soils of Southwest France*, Water, Air and Soil Pollution, **73**; 235-246 (1994).

SEAWARD M.R.D. AND MASHHOUR A.M., *Oleander (Nerium Oleander L.) as a monitor of heavy metal pollution*, Urban Ecology, 48-61 (1991).

ŞEKERCİ N., *Motorlarda yanma olayının teorik incelenmesi ve motorlu taşıtların neden olduğu çevre kirliliği*, Anadolu Üniversitesi, Yük.Lis.Tez (1989).

TOLUNAY D., *Toprak Kirlenmesi ve Yanlış Arazi Kullanımının Yarattığı Sorunlar ile Çözüm Önerileri*, İst. Üniv. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 42, Sayı- 2 (1992).

TRAMBE F., *Detection and Determination of Trace Elements*, M. Pinta, 154, 157, 166, 169, 193 (1996).

TÜRKAN İ. ve HENDEN E., *Monitoring of heavy metals using bark samples of pine (pinus spp)*, Urban Ecology, 67-74 (1991).

TÜRKAN İ., *İzmir İl Merkezi ve Çevre yolları Kenarında yetişen Bitkilerde Kurşun, Çinko ve Kadmiyum Kirlenmesinin Araştırılması*, Turkish Journal of Biology, vol. 10 (1), pp. 116- 120 (1986).

ÜNAL H. ve BOSKAYA H., *Toprak Kimyası*, Ank. Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, syf: 251- 253, 257- 261 (1981).

VURAL N., *Toksikoloji*, Ankara (1984).

WARD N.I., R.R. BROOKS ve ROBERTS, *Heavy metal pollution from automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand*, Environ. Sci. Technology 11; 918-920 (1977).

WARREN L., TESSIER A., ve HARE L., *Modelling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: The relative contribution of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations*, Limnology and Oceanography, 43: (7); 1442-1445p. (1998).

WILD A., *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, page 780-811 (1998).

YARAMAZ Ö., TUNÇER S., *Trafiğin Yoğun Olduğu İzmir ve Çevre Yolları Kenarında Yaşayan Toprak Solucanı (Lumbricus terrestris) ve Ortamlarındaki Kurşun ve Kadmiyum Kirlenmesinin Araştırılması*, Doğa Bilim Dergisi, B, 7, 3; 225-259 (1983).

YATIN M. ve DERİNÖZ C., *Ankara'da Aerosollerin Eser Element Kompozisyonu: I. Ölçülen Konsantrasyonlardaki Değişimleri Belirleyen Faktörler*, Çevre Bilimleri, 3; 1-20 (1996).

Yeni Rehber Ansiklopedisi, Cilt 4, Sayı 16-20, 174-183, İstanbul (1993).

Yurt Ansiklopedisi, Cilt 2, Sayı 2, 1241-1280, İstanbul (1982).

YÜCEL E. ve ÖZTÜRK M., *Kentsel alanlarda Kirliliğin Bitkiler Üzerindeki Etkileri ve Eskişehir Örneği*, I.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara, (1993).

YÜCEL E., *Investigation on Pb, Cd and Zn Pollution from Traffic Using Asian Populus (Populus usbekistanica Kom. Subsp. Usbekistanica cv. "Afghanica" in Kütahya City (Turkey)*, Turkish, Journal of Botany, vol. 20, no 2, pp.113- 116 (1996).

ZABUNOĞLU S., HAKTANIR K., KARAÇAL İ. ve OSKAY K., *Samsun Azot Sanayi ve Karadeniz Bakır İşletmeleri Baca Emisyonlarının Çevredeki Tarım Alanlarına ve Bitkisel Ürüne Etkilerinin Araştırılması*, DOĞA TU J. Eng. and Environ. Vol.13, no 2, pp. 139-161 (1988).