

## Sivas Kenti'nde Ağır Metal Kirliliğinin Yerel ve Zamansal Değişimi

Adil ELİK, Mehmet AKÇAY  
Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Bölümü,  
Sivas-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 01.12.1997

### Özet

Sivas Kenti'nin antropojenik ağır metal kirliliği, 1992-1994 yılları yaz sezonunda, kentin karakteristik özelliklerine sahip yedi istasyonda yerel ve zamansal olarak izlenmiştir. *Pinaceae Pinus Sylvertris L. ve Fabaceae Rabinia Pseudoacacia L.* filizlerinin üzerinde biriken ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Fe ve Al) ultrasonik liçing ile çözülmüş ve Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (FAAS) yardımıyla ölçülmüştür. Örnek hazırlama metodu Biyo Toplayıcı-Ultrasonik Liçing Metodu (BT-ULM) olarak adlandırılmıştır.

Kentte ağır metal kirliliğinin 1992'den 1994'e arttığı gözlenmiştir. Çimento fabrikası ve küçük sanayi emisyonları tarafından etkilenen istasyonlar diğer istasyonlardan daha yüksek ağır metal kirliliği göstermiştir. Fe ve Al kirliliği çimento fabrikası emisyonları etkisini yansıtırken, Pb kirliliği ile trafik yoğunluğu arasında bir uyum gözlenmiş ve Cd kirliliği ile endüstriyel emisyonlar arasında da bir paralellik bulunmuştur. Ağır metal kirliliği ve meteorolojik koşullar arasındaki ilişkiler açıklanmaya çalışılmıştır. Analit ve örneğin doğasına bağlı olarak BT-ULMnin kesinliği % Bağıl Standart Sapma (%BSS) cinsinden % 2.8-11.4 (n=13) arasında değişmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Ağır Metal Kirliliği, Ultrasonik Liçing Metodu, Biyo Toplayıcılar, Ağır Metaller, Atomik Absorpsiyon Spektrometresi.

### Spatio-Temporal Change of Heavy Metal Pollution in Sivas City

#### Abstract

The anthropogenic heavy metal pollution of Sivas city was traced at seven stations which had the characteristic properties of the city, spatially and temporally, during the summer seasons, between 1992-1994. The heavy metals (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Fe and Al) accumulated on the sprouts of *Pinaceae Pinus Sylvertris L. and Fabaceae Rabinia Pseudoacacia L.* were dissolved by ultrasonic leaching and were measured by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). The method of sample preparation was called the Bio Collector-Ultrasonic Leaching Method (BC-ULM).

It was observed that the heavy metal pollution in the city increased from 1992 to 1994. The stations affected by cement factory and small industry emissions exhibited heavy metal pollution higher than the others. An agreement was observed between Pb pollution and traffic density and there also was a parallelism between Cd pollution and the industrial emissions while Fe and Al pollution reflected the effect of cement factory emissions Our aim was to explain the relation between the heavy metal pollution and meteorological conditions. The precision of BC-ULM varied between 2.8 and 11.4 % (n=13) as relative standard deviation % (RSD%) depended on the analyte and nature of the sample.

**Key Words:** Heavy Metal Pollution, Ultrasonic Leaching Method, Bio-Collectors, Heavy Metals, Atomic Absorption Spectrometry.

## Giriş

Endüstriyel etkinliklerde, enerji üretiminde, taşımacılıkta ve şehirleşmedeki artışların çevre kirliliği sorunlarını da beraberinde getirdiği bilinmektedir. Bu, olası kirliliğin önceden tahminine yarayan kirlilik izleme modellerinin kullanımını gerektirmektedir. Doğal kaynaklardan ileri gelen hava kirleticileri dispersiyon ve atmosferde oluşan birtakım doğal temizleme (scavenging) işlemleriyle (yağış, oksidasyon, okyanus ve toprak tarafından absorpsiyon) yok edilirler. Oysa, antropojenik kirlilik dar bölgelerde (kentler, sanayi bölgeleri, vb.) yığılması ve sözü edilen doğal temizleme etkenlerinin bu alanda yetersiz kalması nedeniyle sorun yaratır.

Çevresel kirleticiler insan sağlığı, bitkiler ve diğer eşyalar için tehlike oluştururlar (Hodges, 1977; Biggins ve Harrison, 1980). Deniz kirliliğinin deniz ürünlerini azaltmaya neden olduğu açıkça bilinmektedir. Hava kirliliğindeki artma toplu ölümlerle sonuçlanmakta ve asit yağmurları tarihi ve kültürel eserleri, bitki ve sulu yaşamı ve diğer çeşitli materyalleri tahrip etmektedir (Hodges, 1977; Bennet ve ark., 1985; Arslan ve Boyabat, 1990; Kırımhan, 1991).

Demir-çelik, çimento ve gübre gibi fabrikalardan kaynaklanan partiküller çevre kirliliğinde çok önemli unsurlardan biridir. Bu partiküller bitkilerde fotosentezi önlediğinden dolayı verimin azalmasına neden olurlar (Borka, 1980). Kirletici partiküllerin en olumsuz yönü toksik ve kanserojen etkilere sahip ağır metal taşıyıcılığıdır (Lagerwerff and Specth, 1970; Linton ve ark., 1980; Biggins ve Harrison, 1980; Sakai ve ark., 1988).

Pb, Cd ve Ni kirliliğinin, endüstriyel kaynaklardan kaynaklanmasından dolayı, kırsal bölgelere göre kentlerde daha yaygın olduğu bilinmektedir (Onar ve Temizer, 1987; Tong, 1990; Noll ve ark., 1990). Normal olarak Pb ve Cd bitkilerde bulunmazlar. Bitkilerde bu ağır metallerin eser miktarlarda bulunmaları bile bir kirlenme işaretidir (Foy ve ark., 1978). Bazı ağır metaller esasen yol kıyılarındaki ve refüjlerdeki bitkileri etkilemekte ve bu bitkilerin üzerinde ve dokularının içinde birirmektedir (Richard ve VanSoyoc, 1984; Türkan, 1986; Kovacs ve ark., 1982). Bu metallerin etkilerinin yoldan uzaklıkla azaldığı görülmektedir. Trafik yoğunluğu ve rüzgar yönüne bağlı olarak birikme düzeyi de artıp azalabilmektedir (Coello ve ark., 1974; Haktanır ve ark., 1995). Pb, Cd, Ni, Cr gibi ağır metaller insan ve hayvanlar için toksiktir (Lagerwerff ve Specth, 1970; Linton ve ark., 1980). Bu toksik ağır met-

aller endüstriyel aktiviteler ve motorlu taşıt emisyonlarından çevreye atılmaktadır (Biggins ve Harrison, 1980; Miller ve McFee, 1983; Chow, 1970).

Çevresel kirleticilerin birikimi onların depolanmasının farklı mekanizmalara, meteorolojik koşullara ve bir bölgeden diğerine değişen başka faktörlere bağlı olması nedeniyle çok karmaşıktır. Kirletici kaynakların ve onların olası etkilerinin belirlenmesi ileriye dönük tedbirlerin alınması için çok önemlidir.

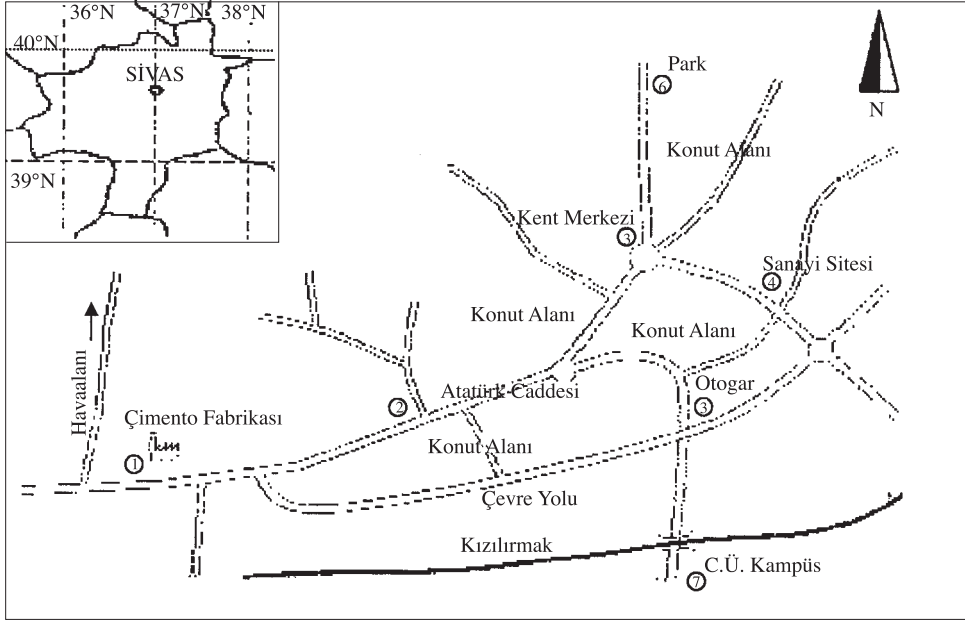
*Pinaceae Pinus Sylvertris L.* (çam) ve *Fabaceae Rabinia Pseudoacacia L.* (akasya) filizleri, partikül kirliliğinin izlenmesi için ekolojik bolluk, hızlı gelişme göstermeleri, büyük yüzey alanına sahip olmaları ve yüksek adsorpsiyon kapasiteleri nedeniyle, biyo toplayıcılar olarak seçilmiştir (Elik ve Akçay, 1997). Benzer bir biyo toplayıcı (*Populus Nigra Subs. Nigra L.*) ağırmetal kirliliği belirlenmesinde başka araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Wagner, 1981; Bereket ve Yücel, 1990). Elde edilen kirletici derişimleri üzerine biyo toplayıcı türünün ve yaprak tipinin etkilerini belirlemek için iki biyo toplayıcı kullanılmıştır.

Çevresel ağır metal kirliliğinin izlenmesinde iki ek problem daha vardır. Bunlar; 1) yerel kirletici yığılmasının belirlenmesi ve 2) kirlenmenin zamansal değişimidir. Geleneksel küllendirme tekniğiyle örnek hazırlamada, toplayıcı bitki materyali tamamen bozundurulur ve bundan dolayı ölçülen metal derişimi örneğin yapısında ve yüzeyinde depolanan toplam metal içeriğini yansıtır. Oysa, uygun bir örnek hazırlama tekniği kirlenmenin beslenme toprağından veya atmosferik depolanmadan (antropojenik) ileri gelip gelmediğini ortaya çıkarabilir. Ultrasonik uyarılı liçingin bu sorunun çözümüne katkı sağlayabileceğini gösteren bulgular vardır. (Griest ve ark, 1991; Grimalt ve ark., 1984, Akçay ve ark., 1989; Elik ve ark., 1991). Biyo toplayıcılar üzerinde biriken antropojenik ağır metaller BT-ULM ile analize hazırlanmıştır. (Elik ve Akçay, 1997).

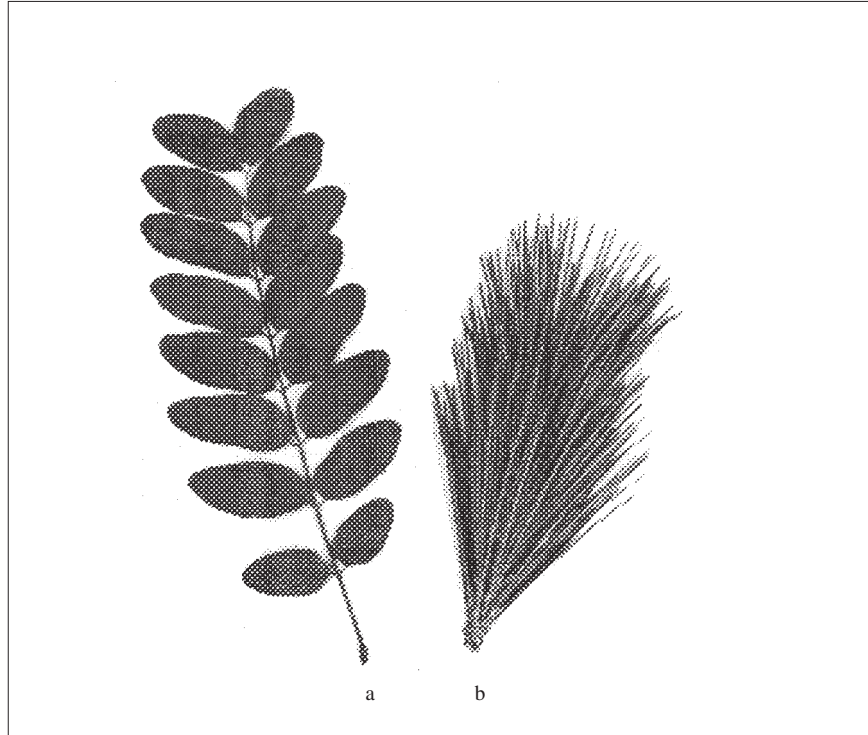
Sivas kentinde çevresel ağır metal kirliliğinin izlenmesi amaçlanmıştır. Farklı özelliklere sahip yedi örnekleme istasyonu bu amaç için seçilmiştir. Bu araştırma yaz sezonlarında (6.-10. aylar) üç yıl (1992-1994) sürmüştür. Sivas kışları soğuk ve kar yağışlı,yazları genellikle kurak geçen karasal iklimle sahiptir. Denizden yüksekliği 1250 m olan Sivas 225.000 nüfuslu bir küçük sanayi ve tarım kentidir.

Kentte ağır metal kirliliğinin izlenmesinin iki nedeni vardır. 1) Ağaç ve bitkiler üzerindeki kirlilik çıplak gözle gözlenebilir hale gelmiştir ve 2) Kentte böyle bir çalışma daha önce gerçekleştirilmemiştir.

Ağır metal kirlenim sonuçlarına göre antropojenik ağır metal kirliliği ve kirlenim kaynaklarına karşı kentte gerekli tedbirlerin alınması mümkün olacaktır.



Şekil 1. Sivas kenti örnekleme istasyonları



Şekil 2. Biyo toplayıcı örnekler: a) Fabaceae Rabinia Pseudoacacia L. filizi, b) Pinaceae Pinus Sylvertris L. filizi.

## Materyal ve Metot

### 1. Örneklem İstasyonları

Kentin tipik özelliklerini yansıtan yedi örneklem istasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir. İstasyon 1 çimento fabrikası emisyonları etkisi altında bir yerdir. İstasyon 2 hafif trafik yoğunluğuna sahip bir yerleşme alanıdır. İstasyon 3 ağır trafik etkisinde ve yoğun nüfusa sahip kent merkezidir. İstasyon 4 endüstriyel üretim ve tamirhane emisyonlarına açıktır. İstasyon 5 de şehirler arası otobüs terminalinin bulunduğu bir yerleşim alanıdır. İstasyon 6 yeşil alan açısından zengin bir konut bölgesidir. İstasyon 7 söz konusu kirletici kaynaklar tarafından en az etkilenen referans istasyon olarak seçilmiştir.

### 2. Biyo Toplayıcı Örnekler

1992, 1993 ve 1994 yılları Ekim ayının ilk iki haftası içerisinde biyo toplayıcı filizleri toplanmış (Şekil 2) ve yaş ağırlıkları aynı gün belirlenmiştir. Her bir örneklem istasyonundan *Fabaceae Rabinia Pseudoacacia L.* ve *Pinaceae Pinus Sylvertris L.*'nin 2-3 m yüksekliklerindeki filizler partiküllerin dökülmemesine gerekli özen gösterilerek  $10 \pm 2$  g'lık bölümler halinde toplanmıştır. Tekrarlanabilirlik testi için iki biyo toplayıcıdan da, istasyon 2'den 5'er, istasyon 3'ten 4'er ve istasyon 4'ten 4'er adet filiz örnekleri alınmıştır.

### 3. Biyo Toplayıcı Örneklerin Ultrasonik Liçing Metodu ile Analize Hazırlanması, BT-ULM

Biyo toplayıcı örneklerin ultrasonik liçing deneyleri NEY 350 marka 50-60 kHz nominal frekanslı bir ultrasonik banyoda gerçekleştirilmiştir. Liçlerin ayrılması 6000 devir/dk'lık makro santrifüjle 10 dk süreli santrifüjlemeyle yapılmıştır. Bu işlemde, katı atıklar sıkı bir çökeltme göstererek liçlerden sorunsuz ayrılmıştır.

#### 3.1. Filiz Örnekleri

$10 \pm 2$  g'lık taze filizler 250 ml'lik beherlere konulmuştur. Üzerine 10 ml %1 HNO<sub>3</sub> eklenerek ultrasonik banyoda 20 dk ultrasonik etkiye uğratıldıktan sonra kalın gözenekli plastik elekten süzümüştür. Filizler temiz bir süzüntü elde edilinceye kadar birkaç kez %1 HNO<sub>3</sub> ile yıkanmış ve süzüntüler birleştirilmiştir. Bu süzüntüler tekrar 10 dk ultrasonik etkiye maruz bırakılarak liçing tamamlanmıştır. Toplam hacim ~25 ml oluncaya dek buharlaştırılıp santrifüjlenmiş, % 2 HNO<sub>3</sub> ile toplam

hacim 50 ml'ye tamamlanmış ve ağız kapaklı plastik örnek kaplarında FAAS analizleri için saklanmıştır.

#### 3.2. Kör Örnekler

Her yıl Haziran ayında, kent atmosferi dışındaki 7 nolu karşılaştırma istasyonundan alınan  $10 \pm 2$  g'lık filiz örnekleri temiz bir süzüntü elde edilinceye kadar birkaç kez damıtık su püskürtülerek yıkanmıştır. Bu örneklere 3.1.'deki işlemler aynen uygulanarak kör (zemin düzey) örnekler hazırlanmıştır.

### 4. Elementlerin Belirlenmesi

Örnek çözeltilerinin ağır metal analizleri Perkin-Elmer Model 2380 Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (FAAS) kullanılarak yapılmıştır. Pb, Cd, Cr, Ni, Cu ve Fe için hava/asetilen, Al için nitrouz oksit/asetilen alevi kullanılmış ve sonuçlar dört ölçümün ortalaması olarak alınmıştır.

Analizde analitik parametreler Pb, Cu, Ni, Cr ve Fe için  $0.5-5.0 \text{ mg l}^{-1}$ , Cd için  $0.1-2.0 \text{ mg l}^{-1}$  ve Al için  $10-100 \text{ mg l}^{-1}$  aralığına ayarlanmıştır. Ağır metal derişiminin dinamik aralığı için gerektiğinde analizden önce örnekler seyreltilmiş veya deriştirilmiştir. Deriştirmelerde çözeltiler teflon beher içerisinde kaynama noktasına yakın sıcaklıklarda buharlaştırılmış ve seyreltmeler ise %1 HNO<sub>3</sub> eklenerek gerçekleştirilmiştir. İstasyon 7 ve 6'da Pb, Cd ve Cr derişimleri limit değerlerde bulunmuştur.

Zemin kirliliği materyale ve toplama metoduna göre değıştirdiğinden bu örneklerin analizi sürekli olarak kör deneme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Körler alan örnekleriyle birlikte eş zamanlı analiz edilmiştir. Örnek sonuçları elde edilen kör değerlerine göre düzeltilmiştir. Çoğu durumda, kör değerler istasyon örneklerindeki metal derişimlerinin çok küçük bir kesrini (<%1) oluşturmuştur.

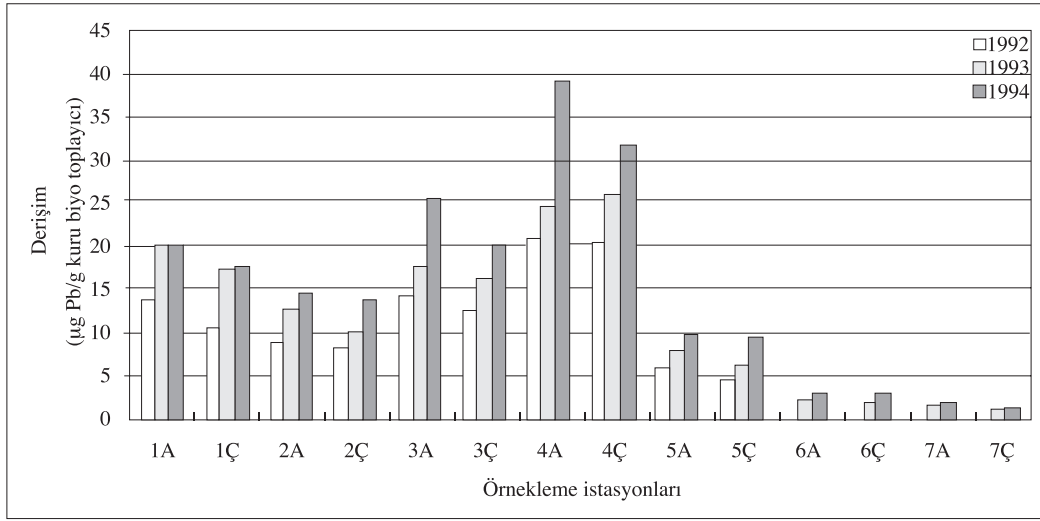
### Sonuçlar ve Tartışma

1992-1994 yılları yaz sezonundaki biyo toplayıcı örneklerin ağır metal (Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Fe ve Al) kirlilikleri Şekil 3-9'da verilmektedir. Biyo toplayıcıların ağır metal derişimleri için Avrupa eşik değerleri  $\mu\text{g}$  metal/g kuru biyo toplayıcı biriminde verildiğinden, karşılaştırma için bu birimin kullanımı tercih edilmiştir. Yaş biyo toplayıcılar üzerinde çalışıldığından  $\mu\text{g}$  metal/g yaş biyo toplayıcı biriminde sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçları kuru toplayıcı biriminde vermek için, istasyon 1, 3, 4 ve 7'den (her bir istasyondan beş örnek) her iki tür için

10±2 g'lık yaş filizler (toplam 40 örnek) toplanmıştır. Biyo toplayıcıların yaş ağırlıkları hemen ölçülmüştür. Bu biyo toplayıcılar oda sıcaklığında kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları ölçülmüş ve bu iki ölçüm arasındaki fark belirlenmiştir. Bu işlemler sonucunda akasya filizinin ortalama kütle kaybı %50±6 ve çam filizinin ortalama kütle kaybı %35±5 olarak bulunmuştur. Bu bulgulara göre derişimler  $\mu\text{g}$  metal/g kuru biyo toplayıcı biriminde hesaplanmıştır.

Şekil 3-9'da bütün istasyonlarda bütün metaller için akasya filizinin çam filizine göre %25±10 daha

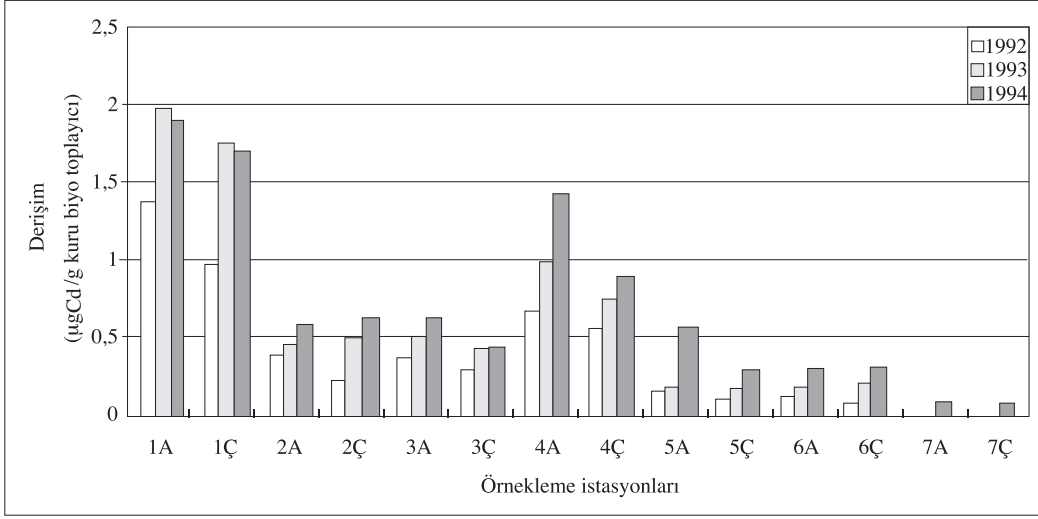
fazla ağır metal kirliliği gösterdiği görülmektedir. Bunun nedenleri: 1) Filizlenmeden sonraki ilk aylarda akasya filizleri gelişimi çam filizinden daha hızlıdır, dolayısıyla akasyanın toplayıcı yüzeyi çamınkinden daha büyük olacaktır. 2) Akasya filizinin yoğunluğu çamınkinden daha az olduğundan gram başına akasya toplayıcı yüzeyi daha büyüktür. 3) Akasya yaprağı yüzeyi bir toplayıcı olarak yapışkan bir yüzeye sahip olduğundan çamınkinden daha etkindir.



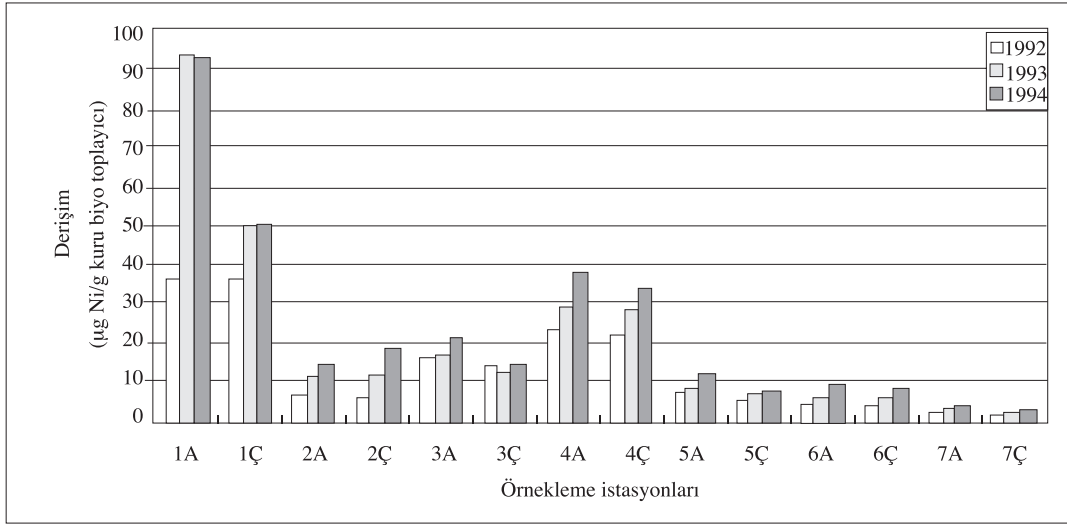
Şekil 3. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Pb kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam

Şekil 3'te, Pb kirliliğinin her iki biyo toplayıcının sonuçlarında yıllara göre 1992'den 1994'e bir artış gösterdiği görülmektedir. Çok ağır trafik etkisinde kalan istasyon 3 ve küçük sanayi (lastik kaplama, akümülatör imalatı, oto boya ve tamirhane) emisyonları ve orta şiddetli trafik yoğunluğunun etkisindeki istasyon 4'te Pb kirliliğinin diğer istasyonlar arasında en yüksek olduğu bulunmuştur. Pb kirliliği Avrupa eşik değeri 8 mg Pb/kg kuru Populus Nigra olarak kabul edilmektedir. (Bereket ve Yücel, 1990). İstasyon 1, 2, 3 ve 4'te Pb kirliliği eşik değerin çok üzerinde bulunmuştur. Özellikle istasyon 3 ve 4'te 1992'den 1994'e Pb kirliliği düzenli bir artış göstermiştir. Akasya örneklerinde Pb kirliliği 1992 yılında istasyon 3'te eşik değerin 1,5 katı ve istasyon 4'te eşik değerin 2,5 katı gözlenirken, 1994 yılında istasyon 3'te eşik değerin 3 katı ve istasyon

4'te 5 katı bulunmuştur. Bu sonuçlara göre kent yıllarla artan aşırı Pb kirliliğine maruz kalmıştır. İstasyon 3 ve 4'ün sonuçları istasyon 3'ün trafik ve istasyon 4'ün endüstriden kaynaklanan aşırı Pb kirliliğine maruz kaldığı gerçeği ile bağdaşmaktadır. Otobüs terminali emisyonları etkisine açık istasyon 5'te de 1994 yılında eşik değeri aşılmıştır. İstasyon 1, 2 ve 5'te trafik kökenli Pb kirliliğinin yıldan yıla artmakta olduğu bulunmuştur. Bu Pb kirliliğinin ana kaynağı oto eksoz emisyonlarıdır (Lagerweff ve Specth, 1970; Biggins ve Harrison, 1990) ve bu kirlilik her geçen yıl trafikteki taşıt sayısı ile doğru orantılıdır. Sivas'ta 1.ay itibariyle yıllara göre trafikte kayıtlı taşıt sayısının; 29254 (1992); 33420 (1993); 37993 (1994); 39331 (1995) adet olduğu rapor edilmiştir.



Şekil 4. Sivasta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Cd kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam

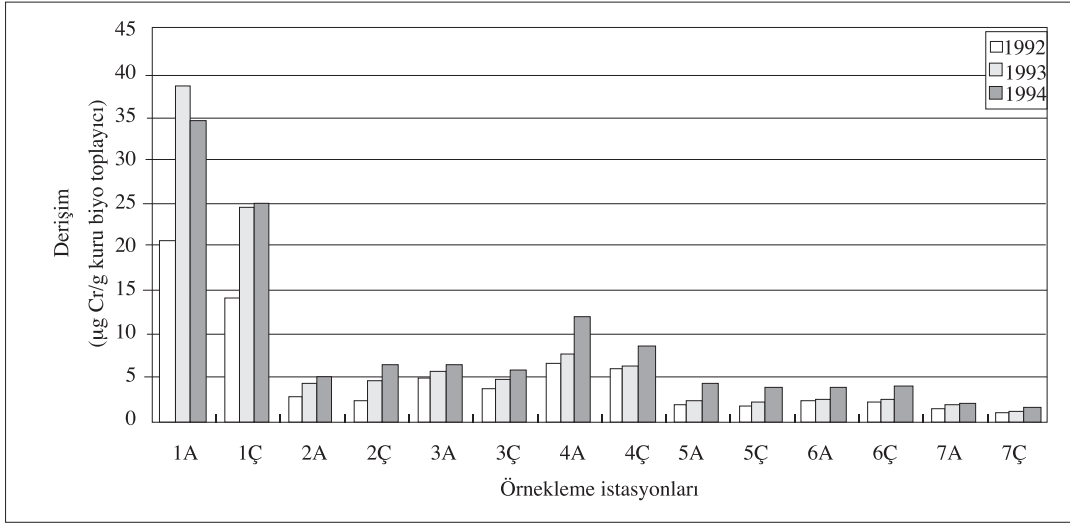


Şekil 5. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Ni kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam

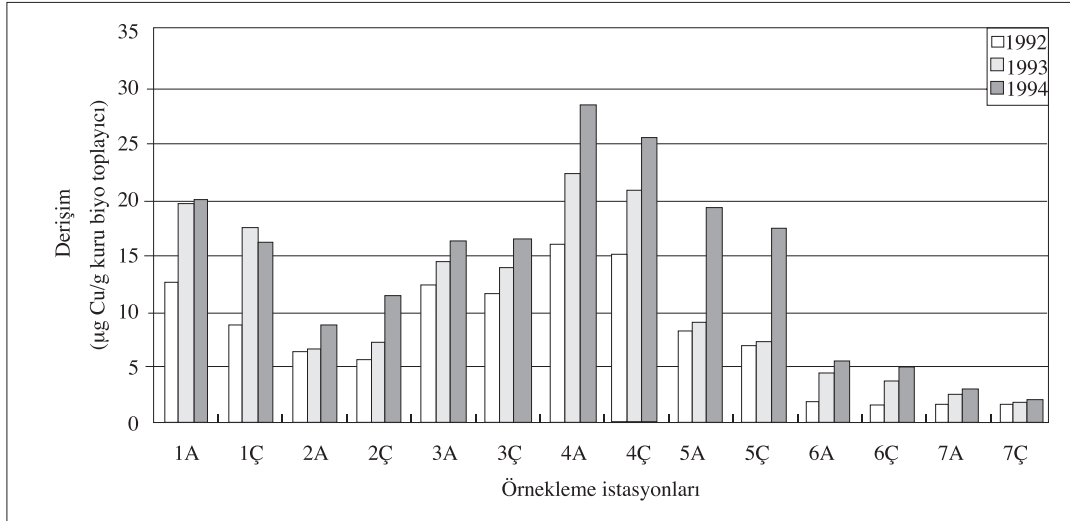
Şekil 4.'ün incelenmesiyle en yüksek Cd kirliliğini istasyon 1 ve 4'ün sergilediği görülmektedir. Her iki tür örnekte de Cd kirliliği 1992'den 1994'e artmıştır. Bununla birlikte 2 mg Cd/kg kuru *Populus Nigra* Avrupa eşik değerini (Bereket ve Yücel, 1990) aşan bir istasyon çıkmamıştır. Diğerlerine göre en yüksek seviyeli Cd kirliliği değerleri istasyon 4'te trafik ve endüstri (taşıt lastik kaplama, oto boyama-tamirhane ve akümülatör) emisyonlarına, istasyon 1'de çimento fabrikası ve anayol emisyonlarına bağlanabilir. Taşıt lastiklerinin aşınması, elektro kaplama endüstrisi ve dizel yakıt atıklarının Cd

kirliliğine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Lagerweff ve Specht, 1970).

Şekil 5 en fazla Ni kirliliğinin istasyon 1 ve 4'te ortaya çıktığını göstermiştir. Kentte Ni kirliliği her iki tür örnekte de 1992'den 1994'e artmıştır. Cd kirlenmesi için yapılan yukarıdaki değerlendirmeler (eşik değer hariç) Ni için de geçerlidir. Özellikle dizel yakıt ve motor yağına katılan Ni (Nriagu, 1979), eksoz emisyonlarıyla atmosfere atılmaktadır. İstasyon 1 ve 4'teki yüksek Ni kirliliği bu istasyonlarda dizel taşıtların etkisinden ileri gelmektedir.



Şekil 6. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Cr kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam



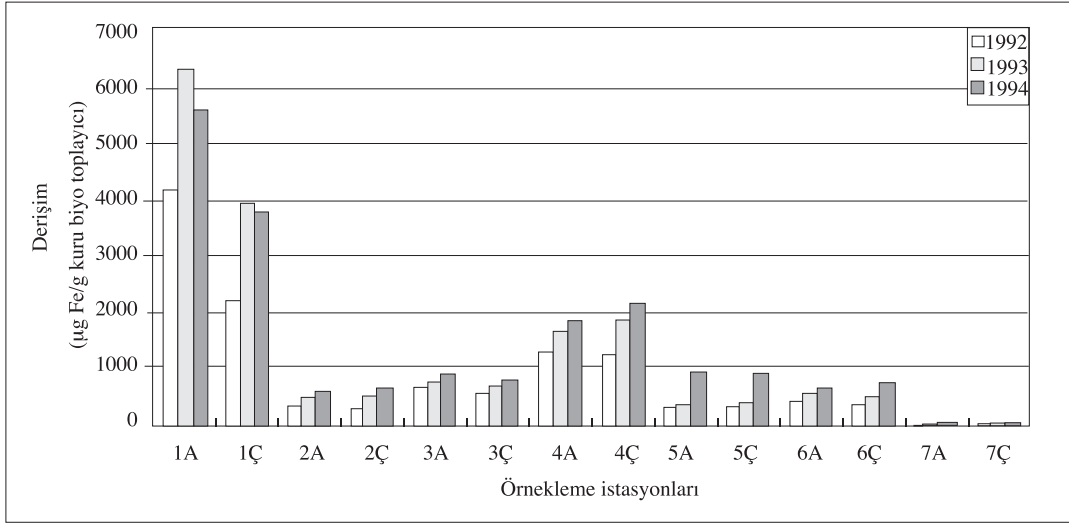
Şekil 7. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Cu kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam

Şekil 6'da istasyon 1'in gösterdiği belirgin Cr kirliliği çimento fabrikası emisyonlarından kaynaklanabilir. Bu konunun kesin açıklanması ayrıntılı bir çalışmayı gerektirmektedir. Fakat bu sorun bu araştırma kapsamı dışında tutulmuştur. 1992-1994 aralığında Cr kirliliği 1994'te çarpıcı bir şekilde azalma gösteren istasyon 1 hariç, tüm istasyonlarda bir artış göstermiştir. İstasyon 1'deki bu azalmayı 1994 yılı Temmuz ayında fabrikaya Jet-Puls ön soğutmalı baca filtresi takılmasının etkisine bağlayabiliriz.

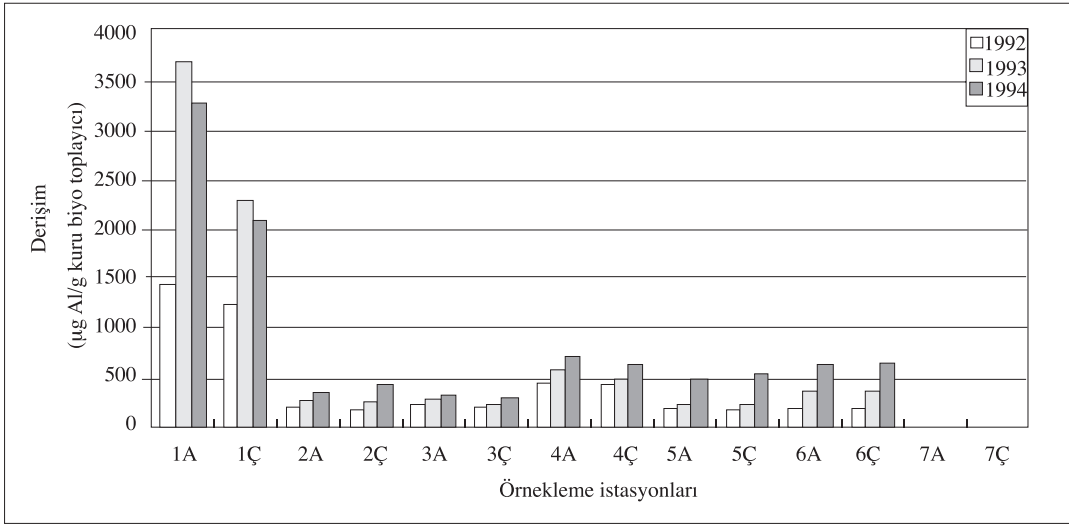
Şekil 7 incelendiğinde en yüksek Cu kirliliğini is-

tasyon 4, 3 ve 1'in gösterdiği görülmektedir. Kentte Cu kirliliği 1992'den 1994'e bir artış göstermiştir. Küçük sanayi ve çimento fabrikası emisyonları ve taşıtların motor alaşımındaki Cu aşınmasından kaynaklanan partiküller ve eksoz gazlarından ortaya çıkan Cu'nun bu Cu kirliliğine katkıda bulunduğu söylenebilir.

Şekil 8 ve 9'a göre, kentte çalışılan ağır metaller arasındaki Fe ve Al istasyon 1'de en yüksek değerlere sahiptir. 1992'den 1994'e biyo toplayıcıların her ikisinden elde edilen Fe ve Al kirliliği istasyon 1 hariç



Şekil 8. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Fe kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam



Şekil 9. Sivas'ta 1992-1994 yılları biyo toplayıcıların Al kirliliği. A: Akasya, Ç: Çam

tüm istasyonlarda düzenli bir artış göstermiştir. İstasyon 1'de 1994 yılında Fe ve Al artışı gözlenmemesinin nedeni de yukarıda bahsedilen filtre olabilir. İstasyon 1'de Fe ve Al kirliliğinin diğer istasyonlardan çok daha fazla olması, çimento fabrikasının baca dışındaki emisyonlarının daha etkili olmasından dolayı olabilir. Çünkü çimentonun temel katkısında  $\sim\% 5 \text{ Al}_2\text{O}_3$  ve  $\sim\%3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$  bulunmaktadır. İstasyon 2, 5 ve 6'da 1994 yılındaki artışlar da bu alanlarda ağır inşaat faaliyetlerinin etkili olduğu düşünülmüştür.

Pb ve Cd dışındaki metaller için biyo toplayıcı ağır metal eşik değerler sağlanamadığı için onlar arasında bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ne yazık ki bu tür verilerin yokluğu yerel kirlilik

değerlendirilmesinde önemli bir eksikliklerdir.

Kent içinde kalan istasyonlar, kent dışındaki istasyonlardan çok yüksek ağır metal derişimi göstermektedir. Bu sonuç ağır metal kirliliğine yıldan yıla artan insani etkinliklerin sebep olduğunu kanıtlar. Bundan dolayı etkin kirletici kaynak olarak gözüken çimento fabrikası, sanayi sitesi ve oto eksoz emisyonlarının kontrol altına alınması gerekmektedir. İstasyon 1'de çimento fabrikasına takılan baca filtresi ağır metal kirliliğini belirgin biçimde azaltmıştır. Ağır metal kirliliği ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişkilerde araştırılmıştır. 1992-93-94 yıllarına ait araştırmalar için kentin meteorolojik parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



**Tablo 1.** Sivas kenti 1992-1994 yılları meteorolojik parametreleri.

Aylar	Yağış miktarı, mm			Ortalama rüzgar hızı, m/s		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994
1	16.7	40.0	48.4	1.2	1.3	1.2
2	56.2	23.1	54.0	1.1	1.7	1.2
3	41.9	32.1	36.9	1.5	1.6	1.3
4	35.5	68.3	23.2	1.6	1.8	1.6
5	34.8	137.3	24.5	1.4	1.4	1.6
6	97.6	27.4	15.2	1.3	1.3	1.9
7	12.8	-	10.1	1.7	1.5	1.6
8	6.2	29.9	0.1	1.4	1.5	1.7
9	16.8	2.2	3.3	1.0	1.3	1.2
10	19.1	1.2	22.5	1.0	0.7	0.7
11	107.8	35.2	59.5	1.3	1.2	1.3
12	60.9	41.3	78.1	1.2	1.0	1.3
YO	43.0	36.6	31.3	1.3	1.3	1.4
YSO	27.1	10.1	8.5	1.3	1.3	1.4

YO: Yıllık ortalama, YSO: Yaz sezonu ortalaması

Tablo 1’de kentin yaz sezonu ve yıllık ortalama yağış miktarının yıllara göre 1992>1993>1994 sıralamasında düştüğü görülmüştür. Yağışın azalması biyo toplayıcılar üzerindeki partiküllerin artmasına yol açar ve dolayısıyla ağır metallerin de biyo toplayıcı üzerinde birikmesine yol açar. Yağışın artışı, kent atmosferi ve biyo toplayıcıları yıkayarak ağır metallerin azalmasına neden olur. Yine Tablo 1’de yaz sezonu ortalama rüzgar hızının yıllara göre 1992=1993<1994 sıralamasında olduğu görülmektedir. Rüzgar hızının etkisi çok karmaşık bir konudur. Taşınan ve hareket eden partiküllerin miktarı rüzgar hızı ile arttığı halde bunların biyo toplayıcılar üzerinde yerleşmesi azalmış olacaktır. Burada ikinci etkinin (partiküllerin çok az yerleşmesi) başat olması beklenebilir.

Böylece 1992’den 1994’e rüzgarın artması ve yağışın hafiflemesinin toplu etkisi ağır metal kirliliğinin artışına neden olmuştur. Ağır metal kirliliğindeki artış, artan nüfus, taşıt sayısı ve endüstriyel etkinliklerin etkileri ile bağdaşmaktadır. Sonuç olarak Sivas kentinin, yaz sezonunda ağır metal kirliliğine maruz kaldığı sonucunu çıkarabiliriz. Özellikle Fe, Al ve Pb kirlilikleri yüksek orandadır. En yoğun kirletici ağır metal kaynakları, çimento

fabrikası, küçük sanayi ve taşıtların emisyonlarıdır.

### Sonuç

Kent’te her iki biyo toplayıcıdan elde edilen ağır metal kirliliği 1992’den 1994’e bir artış göstermiştir. Endüstriyel emisyonlar etkisi altındaki (istasyon 4) ve çimento fabrikası emisyonları etkisi altındaki (istasyon 1) alanlar diğer alanlardan daha yüksek ağır metal kirliliği göstermiştir. Fe, Al ve Cr kirliliğinde çimento fabrikası emisyonlarının etkisinin tamamen baskın olduğu; Ni ve Cd kirliliğinde endüstriyel ve dizel taşıt emisyonlarının; Pb ve Cu kirliliğinde endüstriyel ve ağır trafik emisyonlarının baskın faktörler oluşturduğu söylenebilir. İstasyon 2, 5 ve 6’da 1994 yılı Fe ve Al kirliliğindeki artış bu istasyonlarda yoğun yapılaşma ile ilişkili olabilir. Pb kirliliği ve trafik yoğunluğu, Cd kirliliği ve endüstriyel emisyonlar arasında bir paralellik vardır. İstasyon 5’te 1994 yılı Cu kirliliğinde beklenmedik bir artış gözlenmiştir ve sebepleri bu çalışmada açıklanamamıştır. Beklendiği gibi, referans istasyon olarak seçilen istasyon 7’deki ağır metal kirliliği diğer tüm istasyonlar arasında en düşük olarak bulunmuştur. Akasya filizi yaprakları bir toplayıcı olarak çam filizinden daha etkilidir.

## Kaynaklar

- Akçay, M., Elik, A. and Savaşçı, Ş., "Effect of ultrasonication on extraction rate and on recovery of Strontium from river sediment using flame atomic absorption spectrometry", *Analyst* 114 (9), 1079, 1989.
- Arslan, M. and Boyabat, M., "Elazığ çimento fabrikası çevresinde düşen tozlarla ilgili bir çalışma", *DogaTr. J. of Eng. and Env. Sci.* 14, 324, 1990.
- Bennett, B.G., Kretzschmar, J.G. and Akland, G.G., "Urban air pollution worldwide", *Env. Sci. Tech.* 194, 298, 1985.
- Bereket, G. and Yücel, E., "Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Eskişehir", *Doga-Tr.J.of Chem.* 14, 226, 1990.
- Biggins, P.D.E. and Harrison, R.M., "Chemical specification of leaf compounds in street dusts", *Env. Sci.Tech.*14, 336 ,1980.
- Borka, G., "The effect of cement dust pollution on growth and metabolism of *helianthos annus*", *Env. Pollu. A-22*, 75 ,1980.
- Chow, T.J., "Lead accumulation in roadside soils and grass", *Nature (London)* 225, 295, 1970.
- Coello, W.F., Saleem, Z.A. and Khan, M.A.Q., *Ecological Effects of Lead in Auto-Exhaust*, Academic Press, New York-London, 1974.
- Elik, A., Akçay, M. and Savaşçı, Ş., "Alevli AAS ve manganometrik yöntemlerle belirlenmek üzere sediment ve filizlerden majör, minör ve eser düzeydeki bazı metallerin ultrasonik etki altında çözeltiye alınması", *Doğa-Tr.J. of Chem.* 15, 130, 1991.
- Elik, A. and Akçay, M., "Çevresel örneklerin ultrasonik leaching ile ağır metal analizine hazırlanması", *XI<sup>th</sup> The National Chemistry Congress*, 16-20 June, 279, Van-Turkey. 1997.
- Foy, C.D., Chaney, R.L. and White, M.C., "Physiology of metal toxicity in plants", *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 29,511, 1978.
- Griest, H.W., Yealts, B.L.B and Caton, J.E., *J. Env. Anal. Chem.* 52, 201, 1980.
- Grimalt, J., Morfil, C. and Allages, J., *Int. J.Env. Anal. Chem.* 18, 183, 1984.
- Haktanır, K., Arcaç, S., Erpul, G. and Tan, A., "Yol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin birikimi", *Tr. J. of Eng. and Env. Sci.* 19, 423, 1995.
- Hodges, L., *Environmental Pollution*, Holt-Rinehart and Winston, 2nd Ed., 496, New York. 1977.
- Kırımhan, S., "Erzurumda hava kirliliği ve nokta kaynak araştırması", *Doga Tr.J. of Eng. and Env. Sci.* 15, 122, 1991.
- Kovacs, M., Opanszky, I., Klincsek, P.and Podani, J., "Leaves of city trees as accumulation indicators", *Tasks Veg Sci.* 7, 149, 1982.
- Lagerwerff, J.V. and Speckh, A.W., "Contamination of roadside soil and vegetation with Cd, Ni, Pb and Zn", *Env. Sci. Tech.* 4, 583, 1970.
- Linton, R.W., Natucsh, D.F.S., Solomon, R.L. and Evans, C.A., "Physicochemical characterization of lead in urban dusts. A microanalytical approach to lead tracing", *Env. Sci. Tech.* 14, 158,1980.
- Miller, W.P. and McFee, W.W., "Disribution of Cd, Zn, Cu and Pb in soils of industrial Northwestern Indiana", *J. Env. Qual.* 12, 29, 1983.
- Noll, K.E., Yuen, P.F. and Fang. K.Y.P., "Atmospheric coarse particulate concentrations and dry deposition fluxes for ten metals in two urban environments", *Atm. Env.* 24A.4, 903, 1990.
- Nriagu, J. O., "Global inventory of natural and anthropogenic emission of trace metals to the atmosphere", *Nature* 279, 409, 1979.
- Onar, A.N. and Temizer, A., "Çevre kirliliğine etkisinin bir ölçüsü olarak Cd ve Pb derişimlerinin idrarda tayini", *Doga TU. Eng. and Env. D.* 11.2, 254, 1987.
- Richard, W.H. and Van Scoyoc, S., "Trace element uptake by sagebrush leaves in Washington", *Env. Exp. Bot.* 24, 101, 1984.
- Sakai, H., Sasaki, T.and Saito, K., "Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollutions", *The Sci. of the Total Env.* 77, 163, 1988.
- Skoog, D.A., West, D.M. and Holler, F.J., *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Sixth Ed., Holt-Saunders, 34, U.S.A., 1992.
- Strauss, W. and Mainwaring, J.J., *Air Pollution*, Edward Arnold, 54, New York London, 1984.
- Tong, T.Y.S., "Roadside dusts and soil contamination in Cincinnati, Ohio, U.S.A.", *Env. Management* 14.1, 107, 1990.
- Türkan, İ., "İzmir il merkezi ve çevre yollarında yetişen bitkilerde Pb, Zn ve Cd kirlenmesinin araştırılması", *Doga. TU. Bio. D.* 10-1 , 116, 1986.
- Wagner, G., *International Conference, Heavy Metals in the Environment*, 15-18 September, Amsterdam, 1981.