

T.C  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ  
ENSTİTÜSÜ

23842

**AILANTHUS ALTISSIMA 'DA KADMIYUM,  
KURŞUN BİRİKİMİ VE KADMIYUMUN  
BİTKİ GELİŞMESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyoloji Anabilim Dalı, Ekoloji Programı

Gülriz BAYÇU

Danışman : Prof. Dr. Muazzez ÖNAL

Şubat - 1992

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmam süresince bana değerli fikirleriyle destek olan ve yol gösteren sayın Hocam Prof. Dr. Muazzez ÖNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca doğadaki çalışmalarımda bana yardım eden ve şu anda aramızdan ebediyen ayrılmış bulunan sayın Reşat BULUT'a teşekkürü bir vefa borcu sayıyorum.

TÜBİTAK Enstrümental Analiz bölümünde atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçümleri yapmama izin veren sayın Prof. Dr. Özer BEKAROĞLU ve ölçümlerin yapılmasında bana yardımcı olan Uzm. Selçuk TÜRÜ'ye; fotoğraf çekimlerinde Alaaddin ŞENTÜRK ve grafik çizimlerinde Celal DAR'a titiz çalışmalarından dolayı teşekkür ederim.

Araş. Gör. Gülriz BAYÇU

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                               | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ÖZET</b> .....                                                                                                             | 1            |
| <b>SUMMARY</b> .....                                                                                                          | 2            |
| <b>I. GİRİŞ</b> .....                                                                                                         | 3            |
| I.1. Kadmiyum ve Kurşunun Genel Özellikleri .....                                                                             | 3            |
| I.2. Kadmiyum ve Kurşunun Tarihçesi.....                                                                                      | 4            |
| I.3. Kadmiyum ve Kurşunun Emisyon Kaynakları.....                                                                             | 5            |
| I.4. Kadmiyum ve Kurşunun Toprakta Bulunuş Şekilleri                                                                          | 8            |
| I.5. Kadmiyum ve Kurşunun Bitkiler Tarafından<br>Topraktan Alınışı ve Birikimi .....                                          | 10           |
| I.6. Kadmiyum ve Kurşunun Bitkilerdeki Toksik Etkileri.                                                                       | 12           |
| I.7. Bitkilerin Ağır Metallere Karşı Geliştirdikleri<br>Tolerans Mekanizmaları.....                                           | 14           |
| <b>II. ARAŞTIRMANIN AMACI</b> .....                                                                                           | 16           |
| <b>III. MATERYAL ve METOD</b> .....                                                                                           | 17           |
| III.1. Bitki Materyali ve Özellikleri .....                                                                                   | 17           |
| III.2. Otoyol Kenarlarından Materyal Toplanması.....                                                                          | 18           |
| III.3. Doğadan Alınan Örneklerin Deneye Hazırlanması.                                                                         | 19           |
| III.4. <i>Ailanthus altissima</i> Bitkisinin Yetiştirilmesi .....                                                             | 22           |
| III.4.1. Tohumların Çimlenmesi.....                                                                                           | 22           |
| III.4.2. Bitkilerin Yetiştirilmesi.....                                                                                       | 23           |
| III.4.3. İklim Odasında Yetiştirilen<br><i>Ailanthus altissima</i> 'nın Hasat Edilmesi ....                                   | 27           |
| III.5. Kadmiyum ve Kurşun Tayin Yöntemi .....                                                                                 | 27           |
| III.5.1. Yaş Yakma Metodu (Wet - digestion) .....                                                                             | 27           |
| III.5.2. AAS ve Çalışma Şekli.....                                                                                            | 28           |
| III.5.3. AAS ile Analitik Ölçüm .....                                                                                         | 29           |
| III.5.4. Grafit Küvetli Sistemin Çalışma Şekli .....                                                                          | 29           |
| III.6. Farklı Kadmiyum Konsantrasyonlarında<br>Yetiştirilen <i>Ailanthus altissima</i> Yapraklarında<br>Klorofil Tayini ..... | 31           |

|                                                                                                                                       | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>IV. BULGULAR .....</b>                                                                                                             | <b>32</b>           |
| IV.1. Doğal Koşullarda Yetişen <i>A. altissima</i> Bitkisi ile Aynı Bölgedeki Topraklarda Belirlenen Cd ve Pb Konsantrasyonları ..... | 32                  |
| IV.2. Farklı Cd Konsantrasyonlarında Yetiştirilen <i>A. altissima</i> 'nın Organlarında Cd Birikimi .....                             | 41                  |
| IV.3. Farklı Cd Konsantrasyonlarını <i>A. altissima</i> 'nın Taze ve Kuru Ağırlığına ve Su Miktarına Etkisi .....                     | 41                  |
| IV.4. Farklı Cd Konsantrasyonlarının <i>Allanthus altissima</i> 'nın Gövde Uzunluğuna Etkisi .....                                    | 56                  |
| IV.5. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Total Klorofil Miktarına Etkisi .....                                                            | 56                  |
| IV.6. Farklı Cd Konsantrasyonlarının <i>Allanthus altissima</i> 'nın Morfolojik Görünümüne Etkisi .....                               | 56                  |
| <b>V. TARTIŞMA .....</b>                                                                                                              | <b>80</b>           |
| V.1. Otoyol Kenarları ve Endüstri Bölgeleri Çevresinde Cd ve Pb Kirliliği .....                                                       | 80                  |
| V.2. Doğal Koşullarda Yetişen <i>A. altissima</i> Bitkisi ile Aynı Bölgedeki Topraklarda Belirlenen Cd ve Pb Konsantrasyonları .....  | 81                  |
| V.3. Otoyol kenarlarındaki Cd ve Pb'un Bitkilerin Türüne Göre Birikimi .....                                                          | 86                  |
| V.4. Farklı Cd Konsantrasyonlarında ve Farklı Özelliklere Sahip Ortamlarda Yetiştirilen Bitkilerde Cd Birikimi .....                  | 87                  |
| V.5. Farklı Cd Konsantrasyonlarında Yetiştirilen <i>A. altissima</i> Bitkisinde Cd Birikimi .....                                     | 90                  |
| V.6. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Taze, Kuru Ağırlığa ve Su Miktarına Etkisi .....                                                  | 91                  |
| V.7. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Büyümeye Etkisi..                                                                                 | 94                  |
| V.8. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Klorofil Miktarına Etkisi .....                                                                   | 96                  |
| V.9. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Bitkilerin Morfolojik Görünümlerine Etkisi .....                                                  | 97                  |
| <b>VI. LİTERATÜR .....</b>                                                                                                            | <b>103</b>          |

## ÖZET

Bu araştırmanın ilk bölümünde, otoyol kenarlarında yetişen *Allanthus altissima* (kokarağaç) yaprakları ile aynı bölgedeki toprak örneklerinde **Cd** ve **Pb** konsantrasyonları belirlendi.

10 araştırma bölgesinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, yaprak ve toprak örneklerindeki **Cd** ve **Pb** konsantrasyonları otoyol ve endüstriyel alanlara yaklaştıkça artış göstermektedir. Yapraklarda ölçülen **Cd**, topraktaki **Cd** miktarından, topraktaki **Pb** ise yapraklardaki **Pb** miktarından daha fazla belirlenmiştir.

Araştırmanın 2. bölümünde, 7 hafta süreyle kum kültürlerinde ve iklim odası şartlarında yetiştirilen *A. altissima* bitkisinin organlarındaki **Cd** konsantrasyonu saptanmış ve toksik etkileri incelenmiştir. 0.1, 0.25, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm gibi farklı **Cd** konsantrasyonlara tabi tutulan bitkiler, farklı birikim düzeyleri ve toksik semptomlar göstermiştir.

Ortamdaki **Cd**'un büyük bölümünün köklerde ve sırasıyla gövde ve yapraklarda biriktiği belirlenmiştir. Ortamın yükselen **Cd** konsantrasyonu ile organlarda biriken **Cd** artmış, ancak bu ağır metalin transfer faktörü azalmıştır.

Bitkilerin taze ve kuru ağırlığı, gövde büyümesi ve klorofil miktarı özellikle 10 - 50 ppm **Cd** konsantrasyonlarında olumsuz etkilenmiştir. Aynı konsantrasyonlarda yapraklarda kloroz ve köklerde sararma ile kısılma göze çarpmıştır. 0.1 - 5 ppm **Cd** uygulamasında ise bu semptomlar belirgin değildir.

*A. altissima* bitkisinin 50 ppm gibi toksik bir **Cd** konsantrasyonunda hafif belirtiler dışında yaşamını sürdürüyor olması, bu bitkinin otoyol ve endüstriyel alanlar çevresindeki ağır metal kirliliğinde bir filtre görevi yapabileceğini düşündürmektedir.

## SUMMARY

In the first part of this investigation, concentrations of **Cd** and **Pb** were determined in the soil samples and in the leaves of the *Allanthus altissima* (Tree of Heaven) growing along the highways.

According to the results of the 10 research area, **Cd** and **Pb** concentrations in both leaves and soil samples increase with a decrease in the distance from the highways and industrial areas.

In the second part of our research, the concentrations and the toxic effects of **Cd** were determined in the organs of *A.altissima* grown in sand culture for 7 weeks under climate room conditions.

The plants subjected to the various treatments of **Cd** as 0.1, 0.25, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, and 50 ppm, showed different accumulation levels and variety of toxicity symptoms.

Most of the **Cd** accumulated in the roots, then in the stems and leaves, respectively. While the accumulation of **Cd** increased, the transfer factor decreased with the increasing concentrations of **Cd** in the medium.

Fresh and dry weights of the plant organs, growth and chlorophyll content of the leaves are affected negatively between 10 - 50 ppm **Cd** concentrations. Plants showed chlorotic leaves and also yellowish, shortened roots at the same concentrations. These symptoms were not obvious in the treatment of 0.1- 5 ppm **Cd**.

*A.altissima* plant, which was alive inspite of 50 ppm **Cd** concentration, except some slight symptoms, made us to think that this plant can be used as a heavy metal filter around the highways and industrial areas.

## I. GİRİŞ

Ağır metaller, 19. yy'da endüstrileşmenin başlamasıyla, hava, su ve toprak kirlenmesinin ana kaynakları durumuna gelmişlerdir. Ağır metallerin etkileri yalnız lokal olarak sınırlı olmayıp, emisyon kaynağından uzaklaştıkça da kendini göstermektedir. Bu elementlerin bazıları bitkilerin madde üretimine mikroelement olarak katıldıkları halde **Kadmiyum** ve **Kurşun** sadece toksik etkileri ile tanınmaktadır (KAHLE ve BRECKLE 1986; KAHLE 1988).

$Cd^{2+}$  ve  $Pb^{2+}$ , endüstrileşmenin artması ile özellikle son 30 yıldan bu yana önemli birer çevre kirleticisi olarak araştırma konusu olmuşlardır. Emisyon kaynaklarından çıkarak atmosfere yayılan bu kirleticiler, daha sonra su ve toprağa geçmekte, özellikle de yoğun trafik içeren otoyol çevreleri ile fabrikaların ve diğer endüstriyel komplekslerin bulunduğu bölgelerde sürekli artış göstermektedir. (LAGERWERFF 1967; LAGERWERFF ve SPECHT 1970; LAGERWERFF 1972; GANJE ve PAGE 1962 ; GIDDINGS ve MONROE 1972, HUANG ve ark. 1974, SMITH 1976; GEORGII ve ark. 1982; NÜRNBERG ve ark. 1982, 1983; ZIEGLER 1989).

### I.1. Kadmiyum ve Kurşunun Genel Özellikleri

**Kadmiyumun** metal formu beyaz, parlak ve oldukça yumuşaktır. Atom ağırlığı 112.40, erime noktası 320.9 °C, kaynaması noktası ise 767°C'dir. Kaynama noktasının düşük olması nedeniyle kolayca uçabilir. Cd'un metal buharı hava ile temas ettiğinde derhal çok ince ve kolloidal yapılı CdO'e dönüşür. Saf kadmiyum mineralleri (CdS, CdCO<sub>3</sub>, CdO, CdSe) doğada çok seyrek olarak ve genelde ZnS, ZnCO<sub>3</sub> gibi bileşiklerin içinde %0.1 - 5 oranına kadar bulunurlar (ULLMANN 1975; SCHEFFER ve ark. 1984).

Mavimsi gri renkte, yumuşak ve esnek bir ağır metal olan kurşunun atom ağırlığı 207.2, erime noktası 327.4°C, kaynama noktası ise 1740°C'dir. Kadmiyumun aksine kolayca buharlaşmaz, ancak Pb ve Zn karışımı yüksek sıcaklıkta distile edildiği zaman, uçan Zn buharları önemli miktarda Pb buharını da beraberinde götürür. Kurşun, saf halde iken tırnakla çizilebilir. Arsenik, bakır ve çinko gibi elementler az miktarlarda da olsa kurşunun sertliğini arttıırırlar. Pb doğada 130 mineralde bulunur ve en sık bulunuş şekli ise PbS bileşığıdır (BEKİL 1976; KAHLE 1988).

## **1.2. Kadmiyum ve Kurşunun Tarihçesi ve Kullanım Alanları**

Kadmiyum, maden cevherlerinden doğrudan doğruya üretilemeyen ağır metallerdendir. 1817'de Almanya'da çinko eldesi sırasında baca tozlarında bulunmuştur. İsmi Cadmia furnacum (furnace zinc)'dan gelir. İlk olarak pirinç metalürjistleri tarafından çinko cevherlerinin işlenmesinde kullanılmıştır. Saf kadmiyumun %95'i çinkoda cevherlerinden elde edilir ve 1 ton çinko'da ortalama 3 kg Cd bulunduğı ileri sürülmektedir (NAZLI 1978; KAHLE 1988).

Kurşun, insanlar tarafından maden cevheri olarak kullanılan ilk metaldir. M.Ö. 3. yüzyılda, duvar, figür ve yiyecek kaplarının yapımında kullanılmıştır. Eski Roma'lılar su boruları ve banyo küvetlerinin kaplanmasında çok miktarda kurşun kullanmışlardır. Ayrıca, Ortaçağ'dan beri, çatıları örtmede, sūs eşyalarında, silah ve matbaacılık gibi alanlarda da kurşundan faydalanılmaktadır (KAHLE 1988).

Her iki ağır metalinde kullanım alanları gün geçtikçe artmış ve belirli endüstri kollarına yayılmıştır. Kadmiyum'un düşük erime noktası ve başka metallerle karışabilme özelliğı kullanım alanını genişletmiştir. Cd Paslanmaya karşı dayanıklılık sağlaması amacıyla diğer metallerin yüzeyini kaplamada; CdS ve ZnS



bileşimi sonucu renk veren madde olarak seramik yapımında yüksek sıcaklığa dayanıklı sentetik maddelerin boyanmasında; PVC eldesinde, Ni ve Cd bataryalarında, güneş kolektörlerinde ve CdS'ün yarı iletkenlik özelliği nedeniyle fotoğrafçılıkta kullanılmaktadır (KAHLE 1988). **Pb** ise, 19. yy'dan itibaren dünya çapında kullanılan bir ağır metal haline gelmiştir. Dünya'nın gereksinimi olan kurşunun yarıdan fazlası maden ocaklarındaki cevherlerden elde edilir. 1980 verilerine göre dünya'daki kurşun üretimi 5.3 milyon ton'dur. Bunun %40'ı kurşun bataryalarının yapımında, ortalama %10'u ise 1923'ten beri kurşun alkil olarak benzinde kullanılmaktadır. **Pb**, ısıyı ve elektriği çok iyi iletmesi nedeniyle kimyasal cihazların yapımında; galvaniz tekniğinde; paslanmaya asitlere ve birçok kimyasal maddeye dayanıklılığı, gaz ve sıvılara karşı geçirgen olmaması nedeniyle çeşitli kapları ve kabloları kaplamada, akümülatör ve boya sanayiinde; dayanıklı yapı malzemesi üretiminde kullanım alanları bulunmaktadır (KAHLE 1988).

### **1.3. Kadmiyum ve Kurşunun Emisyon Kaynakları**

Son yıllarda endüstrileşmenin yarattığı kirlilik sonucu, çevredeki ağır metal konsantrasyonları doğal sınırların çok üstüne çıkmıştır. Özellikle madencilik, motorlu taşıt trafiği ve endüstrinin çeşitli kollarındaki kullanımları nedeniyle **Cd** ve **Pb** birikimi ekosistemlerde sorun yaratacak boyutlara ulaşmıştır.

**Cd** bileşiklerinin %90'ı antropojenik olarak atmosfere dağılmaktadır ve bu miktarın yılda ortalama 8000 ton olduğu tahmin edilmektedir (STOEPLER, 1984). Antropojenik olarak atmosfere giren **Pb** miktarı ise yılda 450.000 ton olarak belirlenmiştir. Ayrıca volkanik aktiviteler sonucu da yılda tahminen 25.000 ton kurşunun

bu miktara eklendiği kaydedilmiştir (KAHLE 1988). Atmosfere dağılan Pb'un en büyük bölümünü motorlu araçlardan çıkan kirlleticiler oluşturur. Trafiğin yoğun olduğu bir otoyolda, 1 km. boyunca yılda 30 - 100 kg. kurşunun çevreye yayıldığı varsayılmaktadır (DAVIES 1977; HORAK 1979, DAINES ve ark. 1980; FALAHI - ARDAKANI 1984; EWERS ve SCHLIPKÖTER 1984).

Cd'un atmosfere yayılmasında önemli rol oynayan emisyon kaynaklarını şöyle sıralayabiliriz:

- Pb ve Zn rafinerileri (yan ürün olarak),
- Petrokimya ve çelik endüstrileri,
- Gübre, insektisit ve antiparazitik ürün endüstrileri,
- Plastik renklendirme ve fotoğrafçılık işlemleri,
- Seramik yapımı,
- Cu, Pb, Ag, Al gibi alaşımların üretimi,
- Kömür, petrol gibi fosil yakıtların yanması,
- Motorlu araç ve uçak endüstrileri,
- Metal kaplama sanayiileri (korozyonu önlemek amacıyla),
- Motorlu taşıtlar (Cd, motorlu taşıtların akümülatör ve karbüratörlerinde alaşım olarak bulunur ve yanma ürünü halinde dışarıya atılır. Ayrıca motor yağının yanması ve lastiklerin aşınması sonucu atmosfere yayılmaktadır) (LAGERWERFF ve SPECHT 1970; LUND 1971; İNEL ve ark. 1977; BERKET ve YÜCEL 1990).

Pb'un atmosfere yayılmasındaki en önemli emisyon kaynakları ise şunlardır:

- Eski kurşunların eritilmesi veya cevher hazırlama sırasında çıkan buharlar,
- Sentetik maddelerin yumuşatılma işlemleri,
- Patlayıcı madde üretimi,

- Fotoğrafçılık işlemleri ve seramik sırrı yapımı,
- Boya sanayi,
- Petrol rafinerileri ve petrokimya endüstrileri,
- Pirinç, kurşun alkil, kurşun oksit üretimi,
- Eski maden ocakları,
- Fosil yakıtlarının yanması,
- Motorlu araçların egzozları (GIDDINGS 1972; FISBEIN 1973; HEPPLER 1973; LEEPER 1978; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; KAHLE 1988).

Fosil yakıtlarının yanması sonucu PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub> gibi kurşun mineralleri çevreye yayılmaktadır. Ancak kurşunun çevreye dağılımında en önemli emisyon kaynağı yine motorlu araçlardır. Araştırmalar metal endüstrileri ve maden ocaklarının yanı sıra otoyol kenarlarında da çok miktarda kurşunun biriktiğini göstermiştir (KLOKE ve RIEBARTCH 1964; İNEL ve SEBÜKTEKİN 1977; KARATAGLIS ve ALEXIADIS 1982; MARCHNER 1983; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989; BEREKET ve YÜCEL 1990).

Benzinin oktan sayısını yükseltmek amacıyla katılan kurşun tetraetil (Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>) ya da kurşun tetrametil (Pb(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>) gibi organik bileşikler, ince Pb partikülleri, PbBrCl.2PbO, PbBrCl, Pb(OH)Br gibi suda çözünemeyen halojen tuzları motorlu taşıtların egzozlarından toz halinde çıkarak atmosfere dağılırlar. Çapları çok küçük, sedimentasyon oranları da düşük olduğundan atmosferde uzun mesafelere taşınabilirler. Endüstri bölgelerinden çıkan kurşun partikülleri ise büyük çaplı olduklarından çıkış bölgeleri yakınında birikirler. Atmosferdeki kurşunun %98.2'sinin benzinin yanması sonucunda meydana geldiği ileri sürülmektedir (SEBÜKTEKİN ve İNEL 1976; EWERS ve SCHLIPKÖTER 1984; YALÇIN ve ark. 1989).

Belirtilen kaynaklardan atmosfere yayılan **Cd** ve **Pb** rüzgarın yönüne göre 40 - 65 km. uzaklığa kadar taşınmaktadır. Otoyol veya fabrika gibi emisyon kaynaklarının bulunduğu bölgelerden uzaklaştıkça bu ağır metal konsantrasyonlarının düştüğü araştırmalar sonucu kanıtlanmıştır (CARTWRIGHT ve ark. 1976; INEL ve SEBÜKTEKİN 1977; MARSCHNER 1983).

#### **1.4. Kadmiyum ve Kurşunun Toprakta Bulunuş Şekilleri**

Her iki ağır metalde ana kayanın yapısına bağlı olarak doğada bulunabilir. Kirlenmemiş topraktaki **Cd** miktarı ortalama 0.15 - 0.18 ppm, **Pb** miktarı ise 10 - 16 ppm arasında değişmektedir (SEBÜKTEKİN ve INEL 1976; PAGE ve ark. 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; KAHLE 1988).

**Cd**, toprak solüsyonunun pH değerine göre çözünmüş veya kolloidal yüzeyleri yapışmış olarak bulunur. Toprak mineralleri ile birleşerek ve diğer bileşiklerle çökelti oluşturarak,  $\text{CdCl}$ ,  $\text{CdCl}_3$ ,  $\text{CdCl}_4$ ,  $\text{CdOH}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_4$ ,  $\text{CdCO}_3$ ,  $\text{CdHCO}_3$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$  gibi bileşikler ve organik kelatlar meydana getirmektedir (NRIAGU 1980; LEPP 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; ALLOWAY ve ark. 1985).

**Pb** ise toprak solüsyonundaki çözünürlüğü **Cd**'a göre güç olan bir ağır metaldir. Kolloidal yapılara sıkıca bağlı olarak veya diğer bileşiklerle çözelti oluşturarak  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{PbSO}_4$ ,  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbCrO}_4$ ,  $\text{PbI}_2$ ,  $\text{PbBr}_2$  gibi çözünmesi zor olan bileşikler ya da  $\text{PbOH}$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Pb}_4(\text{OH})_4$  gibi bileşikler halinde bulunur (NRIAGU 1978; LEPP 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984).

Doğada yapılan araştırmalara göre, emisyon kaynaklarından çıkan ağır metaller toprağın organik maddelerce zengin humus horizonlarında, ayrıca yağışlarla toprakların yıkanması sonucunda da taban suyunda birirmektedir. Ağır metallerin topraktaki konsantrasyonu emisyon kaynağından uzaklaştıkça azalmakta ve

özellikle 0 - 5 cm. toprak derinliğini kapsayan yüzeysel bir toprak kirliliği oluşturmaktadır (LERCHE ve BRECKLE 1974; SEEKAMP 1977; JACKSON ve WATSON 1977; DAVIES ve ark. 1978; LÅG ve STEINNES 1978b; MANKOVSKA 1979; WARD ve ark 1980; MILBERGE ve ark. 1980; MAYER ve HEINRICHS 1981; LAMERSDORF 1986; KAHLE 1988; WITTIG ve NEITE 1989).

Topraklarda birden fazla ağır metal aynı anda bulunabilir. Bunların bitkilere olan etkileri, toprağın pH değeri, sıcaklığı, organik madde içeriği, oksidasyon - redüksiyon potansiyeli, mineral yapısı, yağışlar, bitkilerin türü ve yaşı ile diğer ekolojik faktörlere bağlı olarak değişmektedir (HEILENZ 1970; FOROUGHİ ve VENTER 1978; KAHLE 1988). Ağır metallerin çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve bitkilerde biriken ağır metallerin besin zinciri ile hayvan ve insanlara geçerek toksik etkilerini sürdürdükleri belirtilmektedir (ERNST 1974; NRIAGU 1978, 1980; ANDERSON 1977; NÜRNBERG ve ark. 1982; GIDDINGS ve MONROE 1982; KAHLE 1988).

Organik ve anorganik asitlerin birikmesi sonucu pH'sı düşen (pH: 4,5 - 5.5) toprakta ağır metallerin çözünürlüğü ve hareket yeteneği artarak bitki tarafından alımı kolaylaşır, sonuçta da bitki üzerinde gösterecekleri toksik etki artar (KAHLE 1988). Cd ve Pb bileşiklerinin çözünmeleri de pH'ya bağlıdır. Substratın pH'sı düştükçe bu çözünme artar. Topraklarda Cd, pH<5-6 , Pb ise pH<4-5 değerlerinde çözeltiye geçer ve bitki tarafından alınması artar (SCHEFFER ve SCHACHTSCHABEL 1984).

Toprağın asitleşmesindeki en önemli etkenlerden biri asit yağmurlarıdır. Özellikle Kuzey ve Orta Avrupa ülkelerini tehdit altında tutan asit yağmurları ağır metallerin bitkiler tarafından alımını kolaylaştırmaktadır. Bu koşullar altında en fazla zarar

gören bitki örtüsü ormanlar olduğundan, son yıllarda bu ülkelerde ağır metallerin orman ağaçlarına olan toksik etkileri ile ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır (LÅG ve STEINNES 1978b; GINGAS ve ark. 1983; HAGEMeyer ve ark. 1986; WITTIG ve NEITE 1989; SINGH ve NAYYAR 1989).

#### **1.5. Kadmiyum ve Kurşunun Bitkiler Tarafından Alınışı ve Birikimi**

**Cd ve Pb**'un bitkiler tarafından alınması iki yolla olmaktadır:

- 1 - Kökler aracılığı ile topraktan,
- 2 - Yapraklarla atmosferden (QUIEROLO ve ark. 1989; YALÇIN ve ark. 1989).

Genel olarak ağır metaller kök tarafından hem pasif hem de aktif yolla alınırlar. Pasif alımda iyonlar dış ortamdan kök endodermisine difüzyonla girer, aktif alımda ise metabolik enerjiye gerek duyar ve bir kimyasal gradiente karşı katyon değiş-tokuşu, kelatörler ya da metaloorganik komplekslerle iletim borularına taşınarak bitkide birikime yol açarlar (CUTLER ve RAINS 1974; Van De GEIJN ve PETIT 1978; LEPP 1981). Bitkideki ağır metal birikimi, bitkinin yapısına ve organlarının farklılığına bağlı olarak değişir. Yaprak yüzeyindeki birikim, tüylü, geniş ve pinnat yapılı olanlarda, düzgün yüzeyli olanlara göre çok daha fazladır. Bu tip yapraklarda yüksek miktarda **Cd** ve **Pb** aerosolü tutulmaktadır (YALÇIN ve ark. 1989). Ancak rüzgâr, sis ve yağmur yaprak yüzeyinde toplanan atmosferik ağır metal tortularının bir ölçüde giderilmesini sağlar. Kurşunun büyük bir bölümü yağışlarla yıkanıp, metabolik olaylardan uzaklaşırken (ARVIK ve ZIMDAHL 1974a), kadmiyumun sadece bir kısmı yağışlarla giderilebilir ve bir kısımda yaprakların içine girer (LAGERWERFF 1971, HAGHIRI 1973, LERCHE ve BRECKLE 1974).

Yapraktan kadmiyum girişi, pasif kütiküler penetrasyonu takiben iyonların hücre çeperlerinden, hücrenin vakuol, kloroplast, nukleus gibi organellerine taşınması ile olur. Gerek Cd, gerekse Pb'un büyük bölümü ise hücre çeperlerine bağlanır ve toksik etki gösteremez (MARTEN ve HAMMOND 1966; ERNST ve JOOSSE - van DAMME 1983; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984).

Yapılan araştırmalar sonucunda her iki ağır metalinde en fazla köklerde biriktiği, gövde ve yapraklardaki birikimin ise çok daha düşük olduğu belirlenmiştir (LEPP 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984). Bu ağır metallerin gövde ve yapraklarda köklere göre daha az birikmesi ,endodermisin bir bariyer sistemi olarak işlem gördüğünü düşündürmektedir. (LANE ve ark. 1978; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; KAZIMIR ve BRENNAN 1986, HAGEMEYER ve ark. 1986; KAHLE 1988; HAGEMEYER ve WASEL 1989a; QUIEROLO ve ark. 1989). Ayrıca, yetişme ortamındaki Cd ve Pb miktarı arttıkça bitkilerdeki konsantrasyonunda arttığı belirlenmiştir (KARAMANOS ve ark. 1986; LEPP 1981; STRICKLAND ve ark. 1979; GINGAS ve ark. 1983; KAHLE 1988; RAY ve ark. 1988; RAY ve ark. 1989).

Kadmiyum, hayvanlarda bulunan metallotionein benzeri ve fitokelatin adı verilen Cd - bağlayan peptidlerle (CdBP) bileşiklerin sülfhidril (SH) gruplarına ya da proteinlerin fosfat gruplarına bağlanarak hem protoplazmada hem de hücre çeperlerinde birikebilmektedir. Kadmiyumun,iletim demetlerinin çeperleri ile endodermisi perisiklden ayrılan bölgede , hücre içine girdiğinde, nukleus,kloroplastta,özellikle vakuol içindeki organik asitlerle bileşik oluşturarak; Cd granülleri şeklinde ise sitoplazmada biriktiği belirtilmektedir (MILLER ve ark. 1973; BITTELL ve ark. 1974; RAUSER 1978; KROTZ ve ark. 1979; ERNST 1980; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; KHAN ve ark. 1984; LANGE - VÖGELI ve WAGNER 1990).

**Kurşun** ise hücrede, yine organellerde ve özellikle vakuolde, pektik maddelere bağlanarak hücre çeperi fraksiyonlarında, kök hücre çeperlerinde Pb pirofosfat gibi inaktif formda veya Pb çökeltileri ve kristalleri halinde birirmektedir (HAMMETT 1928; MALONE ve ark. 1974; LANE ve ark. 1978; TANDLER ve SOLARI 1979; LEPP 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984).

#### **1.6. Kadmiyum ve Kurşunun Bitkilerdeki Toksik Etkileri**

Cd'un toksik etkilerini şöyle sıralayabiliriz:

- 1- Yapraklarda, özellikle damarlar arasında kloroz yaprak kenarlarında kıvrılma, uçlarda nekroz ve kuruma,
- 2 - Yaprak damarlarının ve petiollerin kahverengi ya da kırmızı renge dönüşmesi, yaşlı yaprakların solması,
- 3 - Mitozun inhibe oluşu ve gövde büyümesinin engellenmesi,
- 4 - Köklerde kısılma ve kahverengileşme,
- 5 - Klorofil pigmentlerinin oluşumunun ve fotosentezin inhibe olması,
- 6 - Solunum ve transpirasyonun inhibe olması, su metabolizmasının bozulması,
- 7 - Fotofosforilasyon, karbonhidrat yapımı, elektron transfer reaksiyonları, ATPaz ve diğer enzim aktivitelerinin bozulması,
- 8 - Hücre çeperi esnekliğinin bozulması, geçirgenliğin olumsuz etkilenmesi,
- 9 - Stomaların kapanması ve CO<sub>2</sub> fiksasyonunun inhibe olması.

(PAGE ve ark. 1972; VALLEE ve ULMER 1972; MILLER ve ark. 1973; HUANG ve BAZZAZ 1973; BITTEL ve ark. 1974; BAZZAZ ve ark. 1974; CARLSON ve ark. 1975; CUNNINGHAM ve ark. 1975; CEDENO - MOLDANO ve ASCENIO 1976; LUCERO 1976; LAMOREAUX ve CHANEY 1977; KECK 1978; BAZSYNSKI 1980;



LEPP 1981; FUHRER 1982; KHAN ve KHAN 1983; MARSCHNER 1983; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; STOBART ve ark. 1985; KAZIMIR ve BRENNAN 1986; GREGER ve ÖGREN 1988; KAHLE 1988; GREGER 1989; POSCHENRIEDER ve ark. 1989; HIRT ve ark. 1989; RÜESSEGER 1990).

Pb'un toksik etkileri ise şunlardır:

- 1 - Yaşlı yapraklarda solma,
- 2 - Yaprak damarları arasında kloroz ve yaprak uçlarında nekroz,
- 3 - Mitozun inhibe olması ile gövde ve kök büyümesinin engellenmesi,
- 4 - Kloroplastlarda ATP sentezinin bozulması, fotosentezin inhibe olması,
- 5 - Solunum, CO<sub>2</sub> fiksasyonu ve su metabolizmasının bozulması,
- 6 - Stomaların kapanması, hücre çeperlerinin esnekliğinin azalması,
- 7 - Elektron transfer reaksiyonlarının, enzim aktivitelerinin olumsuz etkilenmesi,
- 8 - Mitokondri, nukleus ve nükleik asit yapısının bozulması,
- 9 - Elektrolit dengesinin olumsuz yönde etkilenmesi

(ROLFE 1973; DAVIS ve BARNES 1973; HUANG ve BAZZAZ 1974; CARLSON ve ark. 1975; HÖLL ve HAMPP 1975; BAZZAZ ve ark. 1975; MUKHERJI ve MAITRA 1977; LANE ve ark. 1978; DAVIES 1980; LEPP 1981; KOEPPE 1981; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; KAHLE 1988; FROSSARD ve ark 1989).

Bitkiler, türlerine, yaşlarına, bulundukları ortama ve bu ağır metallerin farklı konsantrasyonlarına göre değişik belirtiler gösterirler. Bir kısmında toksik etkiler görünürken, bir kısmında ise bu etkileri azaltacak mekanizmalar gelişmiştir.

#### **1.7. Bitkilerin Ağır Metallere Karşı Geliştirdikleri Tolerans Mekanizmaları**

Bazı bitkiler, tür ve yaşlarından başka diğer yapısal özelliklerine de bağlı olarak ağır metallerin toksik etkilerine karşı tolerans gösterirler. Ağır metallerin köklerle alımı indirgenmiş, ya da yüksek oranda biriktirildiği halde fizyolojik olarak zararsız hale getirilmiş olabilir (KAHLE 1988). Genel olarak tolerans, toksik iyonun alımının önlenmesi, veya etkisinin en aza indirgenmesini sağlayacak şekilde, kelat oluşumu, gutasyon ile dışarı atma ya da sadece toksik konsantrasyonlara ulaşıldığı zaman fonksiyona giren bir metabolik sistem işlevi ile sağlanabilir (FITTER ve HAY 1983).

Yapılan araştırmalarda, bitkilerde Cd ile kompleks oluşturmak için (  $\gamma$  - glu - cys)n gly yapısında ve fitokelatın olarak da adlandırılan Cd-bağlayan peptidler (CdBP) bulunduğu kanıtlanmıştır. CdBP'lerin, Cd ile kelat oluşturması sonucunda Cd detoksifikasyonu sağlandığı ve böylece bitkinin tolerans gösterebildiği belirlenmiştir. Bu yapıların oluşumu ile diğer özelliklerinin saptanabilmesi için ise, ağır metallere toleransı yüksek olan bitkilerle çalışmak gerektiği vurgulanmıştır (CUTLER ve RAINS 1974; ANTONOVICS 1977; CASTERLINE ve ark. 1980; CASTERLINE ve BARNETT 1982; GRILL ve ark 1987; GRILL ve ark.1989; KROTZ ve ark. 1989; LANGE - VÖGELI ve WAGNER 1990).

Ağır metallere karşı dayanıklı olan bu bitki grubu metalofitlerdir. Ağır metallerce zengin topraklara yayılan metalofitler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır (TURNER 1970; ERNST ve WEINHERT 1972).

Bu bitkiler davranışlarına göre 3 sınıfta incelenmektedir:

1 - Akümülatör (accumulator) olarak isimlendirilenler, belirli ağır metalleri topraktaki konsantrasyonlarına göre daha yüksek oranda biriktirirler.

2 - İndikatör (indicator) olanlar, yetiştirme ortamındaki ağır metal konsantrasyonu ile orantılı olarak bu ağır metalleri biriktirirler.

3 - Eksklüder (excluder) olarak adlandırılanlar ise ağır metalleri daha çok köklerinde biriktirmektedirler (BAKER 1981; FARAGO 1981).

Bu tür bitkiler ağır metallerin toksik etkilerini en aza indirebilir ve yaşamlarını sürdürmeye devam edebilirler.

## II. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu çalışmada, otoyol kenarlarında doğal olarak yetişen *Allanthus altissima* yapraklarında Cd ve Pb birikimi ile aynı bitkinin tohumlarından yetiştirilen fidelerde, farklı konsantrasyonlardaki Cd uygulaması sonucunda beliren değişiklikler ve organlardaki Cd birikimi incelenmiştir. Kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin birikim ve etkilerini incelemekteki amaç, günümüzün önemli bir sorunu haline gelen çevre kirliliği probleminin üzerine biraz daha eğilerek belli bölgelerde bu ağır metal kirlenmesinin ne düzeyde olduğunu belirleyebilmektir.. Araştırmada, *Allanthus altissima* (Kokarağaç) gibi oldukça ilginç bir ağacın deney materyali olarak kullanılması tamamen yapılan gözlemlere dayanmaktadır. Diğer bitki türlerinin yaşayamadığı ya da sağlıklı bir biçimde yaşamlarını sürdürmeye çalıştığı otoyol kenarları ile diğer kirli bölgelerde bile bu bitkinin yetismeye devam etmesi ve bunun yanında sağlıklı görünmesi, *Allanthus altissima* 'nın seçilmesinde büyük rol oynamıştır. Bu düşünceden yola çıkarak, aynı bitkiyi iklim odası koşullarında ve farklı Cd konsantrasyonları uygulayarak yetiştirip, *A. altissima* 'nın bu ağır metale karşı gösterebileceği semptomları inceleyebilmek ve motorlu araç ya da diğer emisyon kaynaklarından oluşan kirlenmeye karşı bir önlem olarak kullanılıp kullanılmayacağını saptamak istedik.

### III. MATERYAL VE METOD

#### III.1. Bitki Materyali ve Özellikleri

Bu araştırmada, *Allanthus altissima* (Miller) (kokarağaç) deney bitkisi olarak seçilmiştir. *A. altissima*'nın genel özellikleri şunlardır:

*Simaroubaceae* familyasına ait, anavatanı Çin olan, termofilik bir neofittir. Avrupa'ya 1740 yılında getirilmiştir, günümüzde Akdeniz'den Orta Avrupa'nın kuzeyine kadar yayılım göstermektedir. Nem ve besin açısından zengin bahçe ve parklarda yetiştiği gibi, insanlar tarafından bitki örtüsünün bozulduğu yerlerde çoğalarak, duvar ve bina kenarlarındaki kurak ve besince fakir topraklarda, moloz yığınlarında, erozyon olan bölgelerde, otoyol kenarlarında, damlarda, demiryolları çevresinde ve kentlerin iç bölgelerinde yetişebilir. Özellikle demiryolu kenarlarında *Acer platanoides* ve *Robinia pseudacacia* ile birlikte görülür. Bu bitkinin diğer bir özelliği de hava ve toprak kirliliği olan yerlerde kirliliğe karşı dayanıklılığı nedeniyle yetişmesidir (SUKOPP 1963; DAVIS 1967; POLUNIN ve EVERARD 1976; HU 1979; KOWARIK 1983; KOWARIK ve BÖCKER 1984; KOWARIK 1990; SACHSE ve ark. 1990; KOWARIK 1991).

*A. altissima*, 20 - 25 metreye kadar uzayan, kışın (Ekim - Kasım) yapraklarını döken taç bölgesi geniş bir ağaçtır (Foto 1). 15 - 41 adet oval - mızraksı yaprakçıktan oluşan tek tûysû yapraklara sahiptir. Yaprakçıklar genelde dip tarafa doğru 2 - 4 diş yapar. Bu dişlerin altında büyük yağ bezeleri bulunur. Yaprakların üst yüzü canlı yeşil, alt yüzü ise açık gri - yeşildir. Gövdenin açık renkli, düzgün bir kabuğu vardır. Mayıs - Haziran aylarında

yeşilimsi beyaz - sarı çiçekler oluşturlar. Çiçekler, 5 parçalı kaliks ve korolla ile, 5'i kısa 10 stamenden meydana gelmiş ve salkımlar halinde toplanmışlardır. Tohumlar, olgunlaştıkları zaman kanatlı merikarplara ayrılarak rüzgârla çevreye yayılırlar (LUCAS ve SYNGE 1980; KAYACIK 1975, 1987).

Yapraklarının %11,9'u ellagitannin ve gallotanninden oluşmuş tanen, geri kalan kısmı ise kuersetin, reçine ve C vitamini içermektedir. Gövde kabuğunda ise, olein, stearin, palmitin gibi yağlar, karbonhidrat, tanen ve ailanton adlı acı madde bulunmaktadır (WEHMER 1931; BAYTOP 1963, 1977; HEGNAVER 1973; ISHIBASHI ve ark. 1987).



Foto 1 : *Ailanthus altissima*'nın genel görünümü

### III.2. Otoyol Kenarlarından Materyal Toplanması

İstanbul'un Avrupa yakasında, Edirnekapi - Atatürk Hava- limanı kavşağı (Çobançeşme) arasında kalan ve saatte ortalama 2400 taşıt\* yoğunluğuna sahip 20 km'lik otoyol kenarın- dan, *A. altissima* yaprakları ve aynı ağaçların izdüşümündeki,



0 - 5 cm derinlikten de toprak örnekleri alındı. Örneklerimizi aldığımız tarihten (Kasım 1990 başı) 1 hafta önce yağmur yağmış ve bu bölge kuzeydoğu ile güneybatıdan esen rüzgarlara maruz kalmıştır \*\*. Örneklerin alındığı bölgeler numaralanmış olarak **Tablo 1** ve **şekil 1**'de ayrıca, 3 numaralı bölge ise **Foto 2**'de görülmektedir.



**Foto 2:** Örneklerin alındığı 3'nolu bölge

### **III. 3. Doğadan Alınan Örneklerin Deneye Hazırlanması**

Bölgelere göre numaralı plastik torbalarda laboratuara getirilen yaprak örnekleri iki kısımda incelendi. Bir bölümü basınçlı distile su ile yıkanarak 15 dakika deiyonize suda bırakıldı ve 3 kez deiyonize su ile çalkalandı. Diğer bölüm ise yıkanmadan saklandı. Yıkanan ve yıkanmayan yapraklar numaralanmış ağız

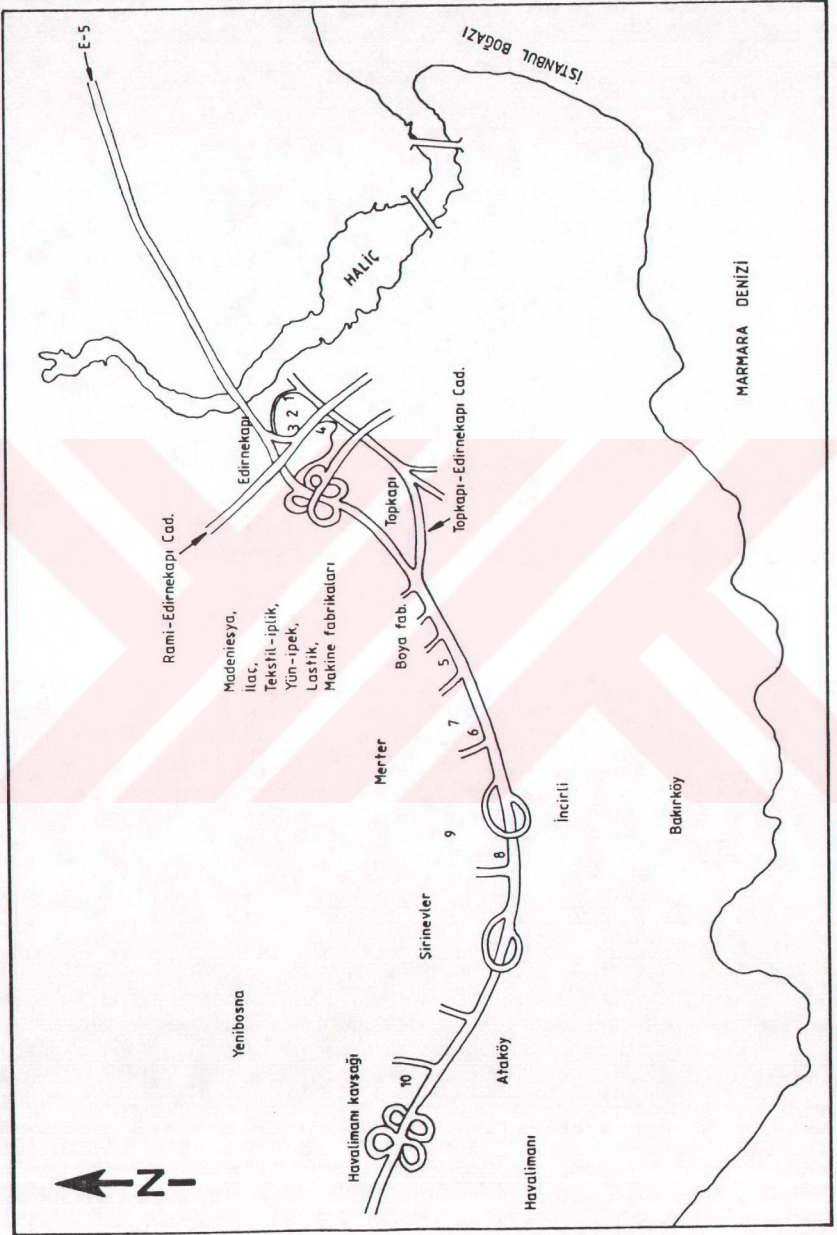
\* Karayollarından alınan bilgi.

\*\* Meteorolojiden alınan bilgi.

**Tablo 1 : Numaralanmış olarak örneklerin alındığı bölgeler ve özellikleri**

| NO: | BÖLGE:                                                                                                                                                                          |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Edirnekapi mezarlığı, oto yola 60 m., tali yola 3 m uzaklıkta. E-5'in güneyinde, Rami - Edirnekapi caddesinin kuzeydoğusunda.                                                   |
| 2   | Edirnekapi mezarlığı, Rami - Edirnekapi caddesi ve tali yola 30 m uzaklıkta, yön aynı.                                                                                          |
| 3   | Edirnekapi mezarlığı, Rami - Edirnekapi caddesine 3m, tali yola 60 m uzaklıkta, yön aynı.                                                                                       |
| 4   | Topkapı - Edirnekapi Caddesine dönen kavşağa gelmeden önceki şehitlik önü. Rami - Edirnekapi Caddesine 1 m. uzaklıkta ve güneybatısında, E-5'in güneyinde.                      |
| 5   | Topkapı'dan E-5'e çıkıldığında, Topkapı - Zeytinburnu - Cevizlibağ kavşağına saptmadan, iki sapak arası. E - 5'e 10 m. uzaklıkta ve kuzeyinde, endüstri bölgesine yakın         |
| 6   | Merter'e gelmeden önce İstanbul Emniyet Md. Bölge tamirhanesi kavşağına saptmadan, nakliyeciler site durağı yanı. E - 5'e 1m. uzaklıkta ve kuzeyinde, endüstri bölgesine yakın. |
| 7   | 6 numaradaki bölgenin aynı. E - 5'e 20 m. uzaklıkta ve kuzeyinde, endüstri bölgesine yakın.                                                                                     |
| 8   | Şirinevlere gelmeden önce, Sosyal Hizmetlere bağlı Çocuk yuvası girişi yanı. E - 5'e 30 m. uzaklıkta ve kuzeyinde, endüstri bölgesine yakın.                                    |
| 9   | 8 numaradaki Çocuk Yuvasının bahçesi. E - 5'e 350 m. uzaklıkta ve kuzeyinde.                                                                                                    |
| 10  | Şirinevler'deki BP benzin istasyonundan sonra gelen Havaalanı (Çobançeşme) kavşağına girmeden, E - 5 'e 5 m.uzaklığında.                                                        |





Şekil 1 : Örneklerin alındığı bölgeler

açık kağıt torbalara konarak 3 gün süre ile 80°C'lik etüvde (Heraeus), 1 gün ise 105°C'de, ağırlık sabit kalana kadar kurutuldu. Kuruyan yapraklar öğütücüde öğütüldükten sonra ölçümleri yapılana kadar etüvde saklandı. Toprak örnekleri ise kurutulduktan sonra 30 mm'lik elekten geçirilerek yabancı maddelerden arındırıldı ve ölçümlere kadar yine etüvde saklandı.

#### III.4. *Ailanthus altissima* Bitkisinin Yetiştirilmesi

##### III.4.1. Tohumların Çimlenmesi:

*A.altissima* tohumları, %10'luk sodyum hipoklorit içinde 25 dakika bırakılarak dezenfekte edildikten sonra 3-4 defa distile suyla yıkandı.Tohumlar, içinde ıslatılmış filtre kağıdı olan 15 cm çapındaki petrilere yerleştirilerek 25°C'lik etüvde çimlenmeye bırakıldı. Tohumlar 2 - 4 gün içinde çimlendiler (Foto 3).

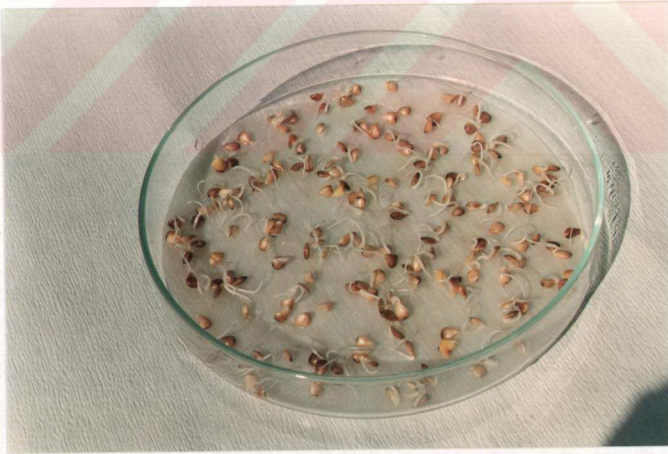


Foto 3 : Çimlenen *Ailanthus altissima* tohumları (4 günlük)

Bitkiler kum kültürlerinde yetiştirildi. Bu nedenle, tohumlar çimlendikten sonra, içinde yıkanmış kumun bulunduğu büyük plastik saksılara nakledildi ve iklim odasına alındı (Foto 4).



**Foto 4 :** İklim odasında yetiştirilen *Allanthus altissima* fideleri  
(10 günlük)

#### **III.4.2. Bitkilerin Yetiştirilmesi**

Bitkiler iklim odasında ve kum kültürlerinde yetiştirilmiştir. İklim odasının yetiştirme koşulları:

**Işık periyodu:** 14 saat gündüz, 10 saat gece

**Işık şiddeti :** 7000 lux.

**Sıcaklık :**  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  gündüz,  $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$  gece,

**Nem :** %55

Bu koşullarda yetişen bitkiler, 4 gün distile su, 8 gün yarı yarıya sulandırılmış besi çözeltisi ve 10 gün de tam konsantrasyondaki besi çözeltisi ile gün aşırı sulandı. Kullanılan Bussler besi çözeltisinin bileşimi (BUCHHOLZ 1962) **Tablo 2'de**, anyon ve katyonların mM miktarı ise **Tablo 3'de** gösterilmiştir. Bitkinin demir ihtiyaçını karşılamak amacıyla besi çözeltisine Fe - EDTA karışımı eklenmiştir. Bunun için 0.93 gr Titriplex III (Na'lu) 80 ml. kaynar distile suda eritilip soğutuldu ve daha sonra buna 0.70 gr  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ilave edildilerek iyice karıştırıldı ve demirin oksitlenerek kompleks oluşturması için bir gece ağzı açık olarak bırakıldı. Hazırlanan solüsyon 100 ml'ye tamamlandıktan sonra 1 litre besi çözeltisine 1 ml ilave edilerek kullanıldı.

22 günlük bitkiler 10 cm boya ulaştıktan sonra şaşırtıldı. şaşırtma işlemi için, 10 x 7 x 8.5 cm. boyutlarındaki koyu renkli plastik saksılar 500 gr yıkanmış kumla doldurulup, her saksıda birer bitki olmak üzere düzenlendi. Bitkilerin Cd şokuna girmesini önlemek amacıyla Cd uygulamasından önce 15 gün tam besi çözeltisi ile sulama yapıldı. Bu süre sonunda  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 'dan 1000 ppm'lik bir stok solüsyon hazırlandı. Bunun için 2.3 gr  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  deiyonize suda eritilerek 1 lt'ye tamamlandı. Böylece 1 litrede 1 gram Cd içeren bir çözelti hazırlanmış oldu.

Bu stok solüsyondan sırasıyla 0.1, 0.25, 1.25, 2.5, 5, 10, 20 ,30,40, 50 ppm Cd içeren besizeltileri hazırlandı. Kontrolle birlikte 11 farklı konsantrasyon serisini kapsayan 110 saksı, hasat gününe kadar 53 gün süre ile gün aşırı 50 cc olmak üzere sulandı. Kullanılan zeltilerin pH değerleri **Tablo 4'de** ve çözeltideki Cd ile toplam  $\text{SO}_4$  değerleri ise **Tablo 5'de** gösterilmiştir.

**Tablo 2 : Besi çözeltisinin bileşimi**

| <b>Kimyasal maddeler</b>                                                           | <b>mg/l</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O                              | 1181        |
| KNO <sub>3</sub>                                                                   | 506         |
| MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O                                               | 246         |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                                                    | 136         |
| MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O                                                | 2.0         |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                                     | 2.0         |
| CuSO <sub>4</sub>                                                                  | 0.1         |
| ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O                                               | 0.1         |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O | 0.1         |

**Tablo 3 : Besi çözeltisindeki anyon ve katyonların konsantrasyonu**

| <b>Anyon ve Katyonlar</b> | <b>mM/l</b> |
|---------------------------|-------------|
| NO <sub>3</sub>           | 15          |
| K                         | 6           |
| Ca                        | 5           |
| Mg                        | 1           |
| SO <sub>4</sub>           | 1.037       |
| PO <sub>4</sub>           | 1           |
| BO <sub>3</sub>           | 0.032       |
| Fe                        | 0.025       |
| Mn                        | 0.012       |
| Mo                        | 0.00008     |
| Cu                        | 0.0006      |
| NH <sub>4</sub>           | 0.0005      |

**Tablo 4 : Deney boyunca kullanılan distile suyun ve  
çözeltilerin pH değerleri**

| <b>Distile Su ve Çözeltiler</b> | <b>pH</b> |
|---------------------------------|-----------|
| DİSTİLE SU                      | 5.10      |
| BUSSLER                         | 4.71      |
| 0.1 ppm Cd                      | 4.76      |
| 0.25 ppm Cd                     | 4.68      |
| 1.25 ppm Cd                     | 4.67      |
| 2.5 ppm Cd                      | 4.71      |
| 5 ppm Cd                        | 4.72      |
| 10 ppm Cd                       | 4.75      |
| 20 ppm Cd                       | 4.71      |
| 30 ppm Cd                       | 4.73      |
| 40 ppm Cd                       | 4.60      |
| 50 ppm Cd                       | 4.65      |

**Tablo 5 : CdSO<sub>4</sub> çözeltilerindeki Cd ve SO<sub>4</sub> konsantrasyonları ile  
CdSO<sub>4</sub> eklenen besi çözeltisindeki toplam SO<sub>4</sub>  
konsantrasyonu**

| <b>Cd kons.(ppm)</b> | <b>Cd(<math>\mu</math>M/lt)</b> | <b>SO<sub>4</sub>(<math>\mu</math>M/lt)</b> | <b>Toplam SO<sub>4</sub> (<math>\mu</math>M/lt)</b> |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0.1                  | 0.9                             | 0.3                                         | 37.3                                                |
| 0.25                 | 2.2                             | 0.8                                         | 37.8                                                |
| 1.25                 | 11.1                            | 4.3                                         | 41.3                                                |
| 2.5                  | 22.2                            | 8.6                                         | 45.6                                                |
| 5                    | 44.4                            | 17.3                                        | 54.3                                                |
| 10                   | 88.9                            | 34.7                                        | 71.7                                                |
| 20                   | 178.0                           | 69.4                                        | 106.4                                               |
| 30                   | 267.0                           | 104.1                                       | 141.1                                               |
| 40                   | 355.8                           | 138.8                                       | 175.8                                               |
| 50                   | 444.8                           | 173.5                                       | 210.5                                               |



#### **III.4.3. İklim Odasında Yetiştirilen *Ailanthus altissima* 'nın hasat edilmesi**

Bitkiler çimlendikten 90 gün sonra kumdan dikkatlice çıkarıldı ve kökler zedelenmeden distile su ile yıkanıp kurutuldu. Ardından gövde uzunlukları ölçüldü. Hemen sonra kök, gövde ve yapraklar ayrı ayrı tartıldı. Bitki organlarının taze ağırlıkları saptandıktan sonra 80°C'lik etüvde 3 gün, 105°C'lik etüvde ise 1 gün süre ile kurutuldu ve kuru ağırlıkları ölçüldü. Kuru bitki organları, öğütücüde toz haline getirildikten sonra Cd ölçümlerine kadar etüvde saklandı.

#### **III.5. Kadmiyum ve Kurşun'un Tayin Yöntemi**

Göttingen Üniversitesinde ağır metaller için uygulanan yöntemlere dayanarak, yaş yakma metodu uygulandı ve AAS (Atomik absorpsiyon spektrofotometresi) ölçümleri ile Cd ve Pb tayinleri yapıldı.

##### **III.5.1. Yaş Yakma Metodu (Wet - digestion)**

Uygulamaya başlamadan önce kullanılacak cam eşyalar %2'lik nitrik asitle çalkalandı ve distile su ile yıkandı. Kurutulmuş materyalden 200 mg tartıldı ve 5 ml %65'lik HNO<sub>3</sub> (Merck) ilavesi ile 50 cc'lik beherlere (Jena glas) konularak 105°C'lik ısıtıcı (hot -plate) üzerinde buharlaşmaya bırakıldı. Cd , 300°C'de uçtuğu için sıcaklık fazla yükseltilmedi. Beherlerdeki HNO<sub>3</sub> tükenip, materyal kurumadan önce belli aralıklarla 5 defa olmak üzere bir 1 ml HNO<sub>3</sub> eklendi. Bu işlem 5 saat kadar sürdü. Nitrik asitin tümü buharlaştıktan sonra, örneklerdeki organik maddeler (özellikle azot oksitler) oksidasyon sonucu kaybolmuş ve deney materyali mineralize olarak geriye sadece ölçümler için gerekli anorganik maddeler kalmıştır.



Yaş yakma metodu işleminden sonra bitki örnekleri açık sarı, topraklar ise bej renkteki solüsyonlara dönüştüler. Bu solüsyonlar balon jojelerde distile su ile 25 ml'ye tamamlandılar (WU, SUN - HO ile kişisel söyleşi üzerine, 1991). Daha sonra, çözünmemiş silikat parçacıklarından arındırılmak için külsüz filtre kağıdı (Whatman 42, 9 cm) ile süzüldüler. Süzülme sonucunda berrak ve tortusuz solüsyonlar elde edildi. Balon jojeler AAS ile ölçülene kadar 5°C'lik buzdolabında saklandı.

### III.5.2. AAS ve Çalışma Şekli

Deney materyallerindeki Cd ve Pb miktarları Atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Hitachi 180 - 80 Polarized Zeeman AAS) ile TÜBİTAK Enstrümental Analiz bölümünde ölçüldü.

AAS ile ölçüm, ölçülecek elementlere has katod lambalarından gelen ışığın bu elementlerin atomları tarafından absorpsiyon veya emisyon prensibine dayanmaktadır. Katı veya sıvı materyal, elektrik enerjisi ve termik enerjinin iletilmesi ile serbest atom ve iyonlar üretir. Bunlar elektromanyetik ışıkları absorbe etme ve yansıtma özelliğine sahiptirler. Zeeman ise, ışık kaynağını ayıran bir mıknatıs sistemidir. Alev sisteminin tam altında bulunur ve ölçüm anındaki interferansları ortadan kaldırarak hata oranını azaltır. Mg, K gibi elementlerin atomları ışığı yansıtıp artmasına neden olduklarından AAS'de emisyon değerleri görülür. Cd ve Pb gibi elementlerin atomları ise özel katod lambalarından gelen ışığı absorplar ve sonuçta da ışığı azaltırlar. Azalan ışık miktarı AAS'de absorbans değeri olarak belirlenir. Bu absorbansın karşılığı olan

konsantrasyon değeri de, daha önce standart solüsyonlarda belirlenen konsantrasyon değerlerine göre bilgisayar sisteminde otomatik olarak hesaplanır (SLAVIN 1968; FERNANDEZ ve MANNING 1971; EDIGER 1973; KAHN 1973; PAUS 1973; RATTONETTI 1974; TÜRÜ ile kişisel söyleşi 1991).

### III.5.3. AAS ile Analitik Ölçüm

Tayinler, alevli (flame) ve grafit küvetli (graphite furnace) ölçüm tekniği ile yapıldı. Her biri için standart solüsyonlar (Titrisol Merck) hazırlanarak absorpsiyon değerleri kaydedildi.

Doğadan alınan örneklerdeki Pb tayinleri için alevli, Cd tayinleri için ise grafit küvetli ölçüm yapıldı. İklim odasında yetiştirilen bitki materyalindeki Cd için ise yine alevli ölçüm uygulandı. AAS'de, alevli sistem ppm düzeyinde, grafit küvetli sistem ise ppb düzeyinde ölçüm yapmaktadır. Sonuçlar, bilgisayar biriminin ekranından (Hitachi 180 - 0205 Data Processing Unit) konsantrasyon olarak alınmıştır.

### III.5.4. Grafit Küvetli Sistemin Çalışma Şekli

Grafit küvete konulan sıvı halindeki materyal kademeli olarak kurutulur. Buna göre örnekler, 40 - 120°C'de 20 sn, 120 - 300°C'de 20 sn, 300°C'de kıl halinde iken 30 sn kurutuldu. Cd, 300°C'nin üzerinde uçucu olduğundan atomizasyon için gerekli 1500°C'de sadece 7 sn tutuldu. Küvetin içinde madde kalmasını önlemek amacıyla temizleme işlemi ise 1800°C'de ve 3 sn. içinde yapıldı. Atomizasyon sırasında küvet 2 ölçüm arasındaki sürede argon gazı ile soğutuldu ve deforme olması önlendi. Sonuçta Cd elementinin konsantrasyon değerleri ppb olarak elde edildi. AAS ile Cd ve Pb ölçüm parametreleri Tablo 6, grafit atomizasyon programı ise Tablo 7'de belirtilmiştir.

**Tablo 6 : Atomik absorpsiyon spektrofotometresinin alevli ölçüm parametreleri**

| A.A.S parametreleri | Kadmiyum                                  | Kurşun                           |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| Işık kaynağı        | Hitachi HLA -4S Cd<br>Katod lamba         | Hitachi HLA - 4Pb<br>Katod lamba |
| Lamba akımı         | 7.5 mA                                    | 7.5 mA                           |
| Dalga boyu          | 228.8 nm                                  | 283.3 nm                         |
| Perde açıklığı      | 1.3 nm                                    | 1.3 nm                           |
| Oksijen kaynağı     | Hava                                      | Hava                             |
| Alev yapısı         | Standart tip                              | Standart tip                     |
| Yakıt               | Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | Asetilen                         |

**Tablo 7 : Atomik absorpsiyon spektrofotometresinin grafit atomizasyon programı**

| Evre                   | Sıcaklık (°C) | Zaman (sn) |
|------------------------|---------------|------------|
| 1 - Kurutma            | 40 - 120      | 20         |
| 2 - Kurutma            | 120 - 300     | 20         |
| 3 - Kül haline getirme | 300 - 300     | 30         |
| 4 - Atomizasyon        | 1500 - 1500   | 7          |
| 5 - Temizleme          | 1800 - 1800   | 3          |

### **III.6. Farklı Kadmiyum Konsantrasyonlarında Yetiştirilen *Allanthur Altissima* Yapraklarında Klorofil Tayini**

Kontrol ve farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen *A.altissima* 'nın taze yapraklarından 100 mg tartıldı. Soğuk por-selen havanda, kademeli olarak verilen 4 ml %80'lik aseton (Merck) ile ezildi. Nötralizasyonu sağlamak amacıyla bıçak ucu ile CaCO<sub>3</sub> eklendi. Elde edilen ekstre sentrifüj tûpüne konuldu ve havanda kalan ekstre 2 ml aseton ile çalkalanarak buna ilave edildi (ARNON 1949). Tûpler daha önce soğutulmuş sentrifüjde (Janetzki K24) 15 dakika süreyle 3000 rpm'de homojenize edildi. Elde edilen süpernatantların hacmi ölçüldü ve daha sonra 1cc süpernatant 3 cc aseton ile sulandırılarak 645 ve 663 nm dalga boyundaki spektrofotometrede (Shimadzu UV - Visible Recording Spectrophoto-meter UV - 160) klorofil ölçümlerine hazırlandı. Ölçülen absorbans değerleri aşağıdaki formülde yerine konularak bir litredeki total klorofil miktarı bulundu.

$$\text{Total Klorofil} : 20.2 \times D_{645} + 8.02 \times D_{663}$$

## IV. BULGULAR

### IV.1. Doğal Koşullarda Yetişen *Allanthis altissima* Bitkisi ile Aynı Bölgedeki Topraklarda Belirlenen Cd ve Pb Konsantrasyonları

Motorlu araçların egzozlarından ve endüstri bölgelerindeki emisyon kaynaklarından çıkarak atmosfere yayılan ağır metal tozları daha sonra bitki yapraklarının ve toprakların yüzeyinde birikir (LAGERWERFF 1967 , 1970; GANJE ve PAGE 1972; GIDDINGS ve MONROE 1972; HUANG ve ark. 1974; SEEKAMP 1977; JACKSON ve WATSON 1977; DAVIES 1978; LERCHE ve BRECKLE 1979; WARD 1980; NÜRNBERG ve ark. 1982, 1983; WITTIG ve NEITE 1989; ZIEGLER 1989). Yapraklardaki tozların bir kısmı yağışlarla temizlenir ve toprağa ulaşır. Kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde yağmur ve kar suyu dikkati çekecek oranda ağır metal içermektedir (HAGEMEYER ve ark. 1986; KAHLE 1988; YALÇIN ve ark. 1989)

Deney materyalini topladığımız günlerde yağış olmadığı için, yapraklarda biriken **Cd** ve **Pb** miktarını saptamak amacıyla yapraklar iki kısımda incelenmiştir. Değişik bölgelerden toplanan yaprakların yarısı metod kısmında da belirtildiği gibi deiyonize su ile yıkanmış, diğer yarısı ise doğadan toplandığı şekilde deneye alınmıştır. Yapraklarda ve ayrıca aynı bölgelerden alınan toprak örneklerinde ölçülen **Cd** ve **Pb** değerleri **Tablo 8,9** ve **Şekil 2,3,4,5**'te görülmektedir.

**Tablo 8: Doğada çeşitli bölgelerden toplanan *Ailanthus altissima* yaprakları ve aynı bitkilerin  
İzdüşümündeki toprak örneklerinde (0 - 5 cm) Cd konsantrasyonu (ppm/KM)**

| Örneklerin alındığı bölge<br>numaraları | Yıkanmamış Yaprak | Yıkanmış Yaprak | Toprak      |
|-----------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| 1                                       | 0.60 ± 0.01       | 0.54 ± 0.02     | 0.19 ± 0.03 |
| 2                                       | 0.85 ± 0.03       | 0.71 ± 0.01     | 0.44 ± 0.04 |
| 3                                       | 0.98 ± 0.02       | 0.69 ± 0.00     | 0.51 ± 0.02 |
| 4                                       | 0.87 ± 0.01       | 0.60 ± 0.03     | 0.47 ± 0.06 |
| 5                                       | 1.14 ± 0.01       | 0.74 ± 0.05     | 0.62 ± 0.07 |
| 6                                       | 1.20 ± 0.05       | 0.70 ± 0.02     | 0.48 ± 0.03 |
| 7                                       | 1.13 ± 0.03       | 0.78 ± 0.00     | 0.41 ± 0.01 |
| 8                                       | 1.20 ± 0.09       | 1.01 ± 0.05     | 0.72 ± 0.02 |
| 9                                       | 0.66 ± 0.07       | 0.60 ± 0.02     | 0.55 ± 0.03 |
| 10                                      | 0.50 ± 0.02       | 0.27 ± 0.01     | 0.16 ± 0.00 |

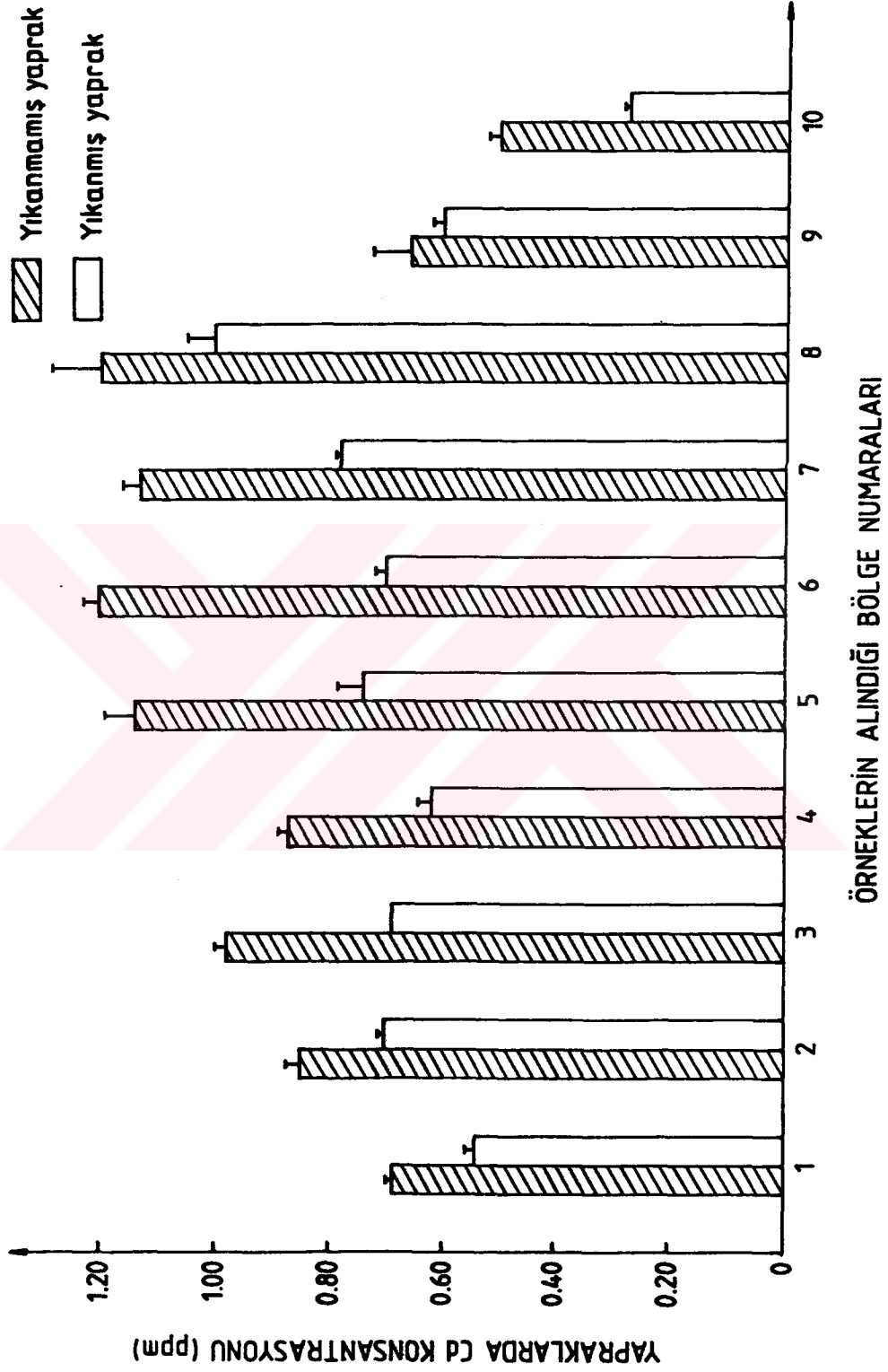
KM = Kuru madde

**Tablo 9: Doğada çeşitli bölgelerden toplanan *Allanthus altissima* yaprakları ve aynı bitkilerin izdüşümündeki toprak örneklerinde (0 - 5 cm) Pb konsantrasyonu (ppm/KM)**

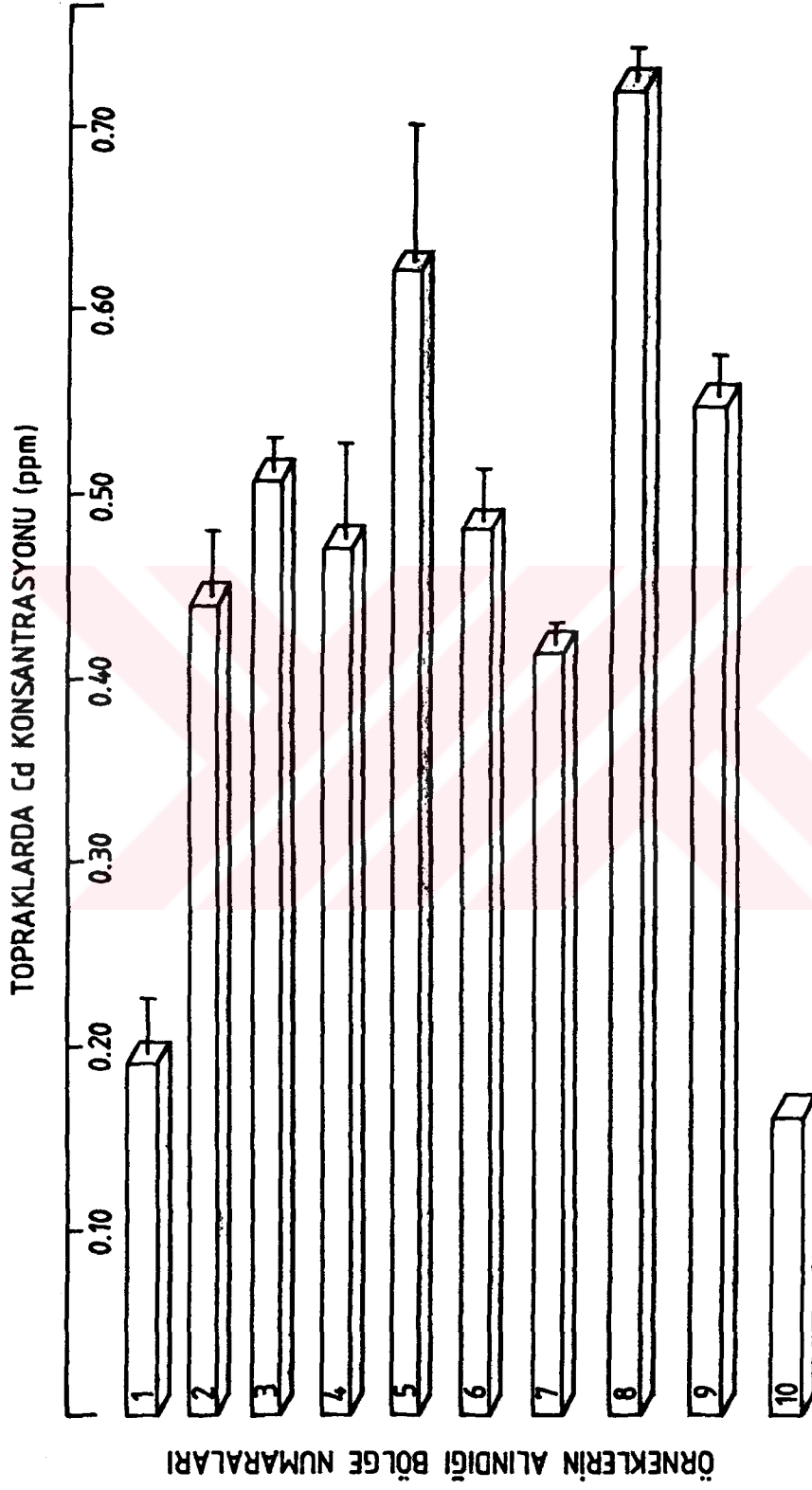
| Örneklerin alındığı bölge numaraları | Yıkanmamış Yaprak | Yıkanmış Yaprak | Toprak        |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| 1                                    | 30.69 ± 0.01      | 19.44 ± 0.66    | 100.20 ± 1.25 |
| 2                                    | 36.44 ± 0.86      | 22.69 ± 0.86    | 125.35 ± 1.13 |
| 3                                    | 30.06 ± 1.44      | 24.56 ± 0.56    | 135.44 ± 1.25 |
| 4                                    | 63.88 ± 1.63      | 37.88 ± 1.75    | 370.25 ± 2.28 |
| 5                                    | 32.25 ± 1.75      | 26.00 ± 1.38    | 223.94 ± 2.06 |
| 6                                    | 66.69 ± 1.66      | 41.88 ± 1.50    | 445.00 ± 3.25 |
| 7                                    | 37.44 ± 1.31      | 19.57 ± 0.02    | 171.06 ± 1.56 |
| 8                                    | 31.56 ± 0.86      | 15.88 ± 0.75    | 105.37 ± 1.69 |
| 9                                    | 16.06 ± 0.19      | 12.94 ± 0.19    | 73.50 ± 1.13  |
| 10                                   | 27.25 ± 0.88      | 19.13 ± 0.25    | 93.80 ± 1.38  |

KM = Kuru madde

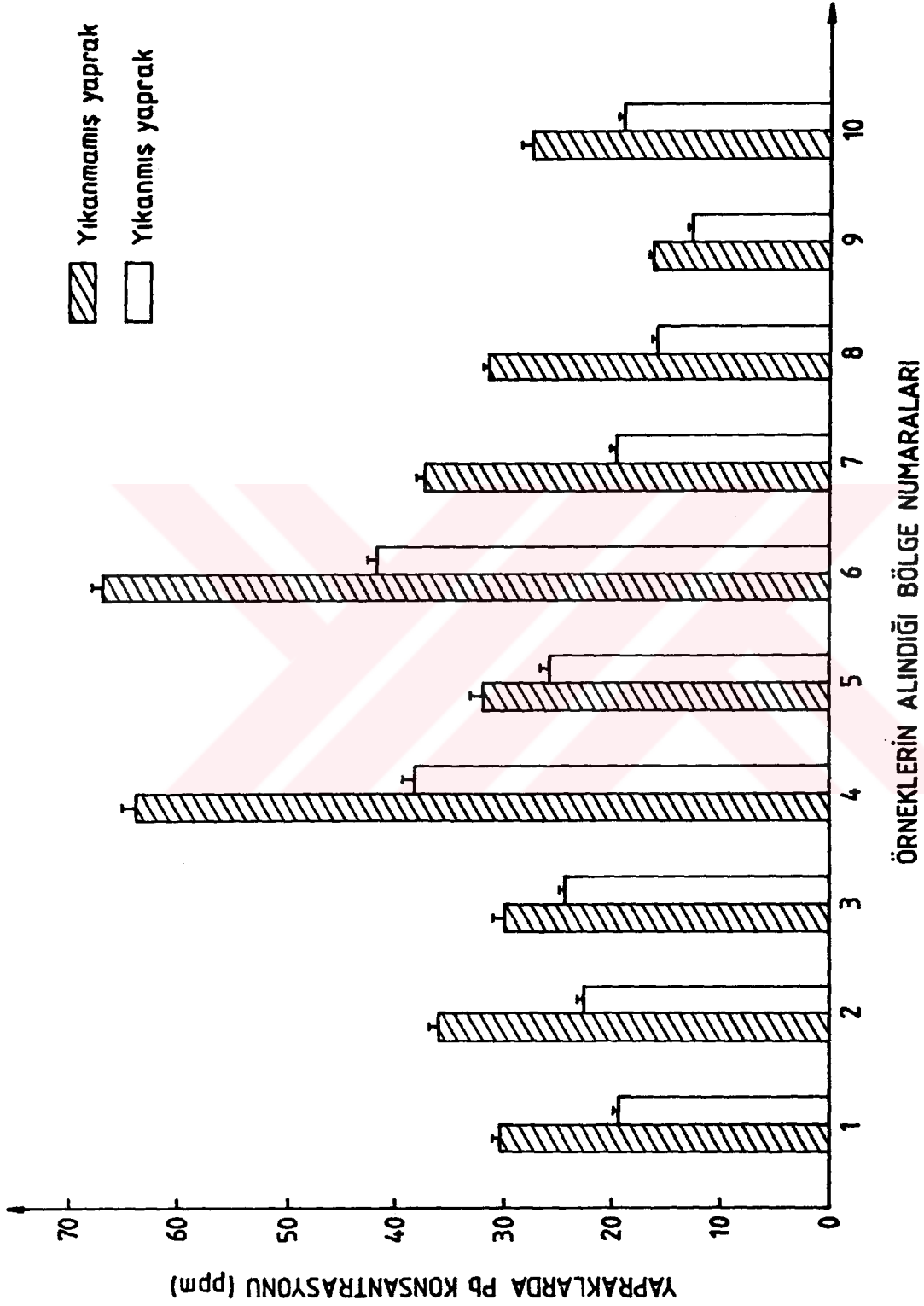




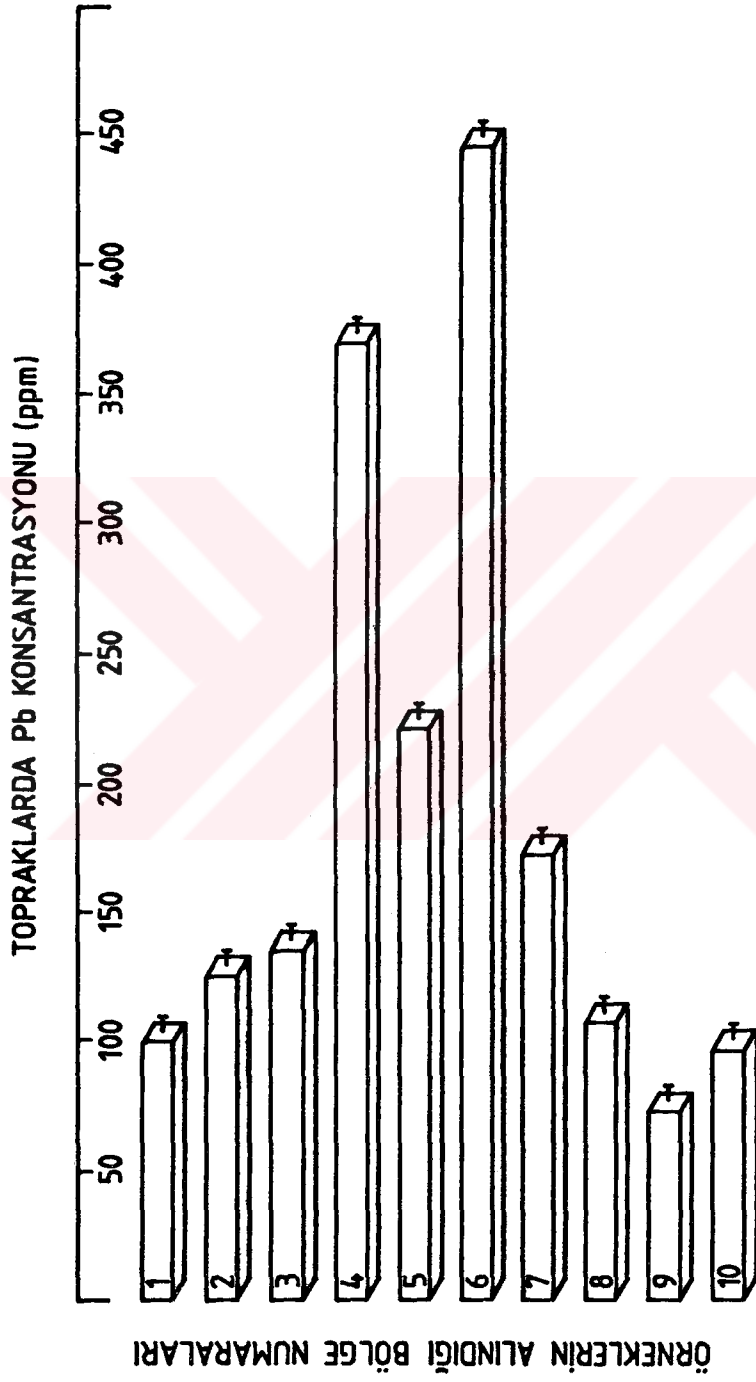
Şekil 2 : Doğada çeşitli bölgelerden alınan *Allanthus altissima* yaprak örneklerinde Cd konsantrasyonu (ppm / KM)



Şekil 3 : Doğada çeşitli bölgelerden alınan ve *Allanthus altissima* bitkilerinin izdüşümünde bulunan toprak örneklerinde (0 - 5 cm) Cd konsantrasyonu (ppm / KM)



Şekil 4 : Doğada çeşitli bölgelerden alınan *Allanthus altissima* yaprak örneklerinde Pb konsantrasyonu (ppm / KM)



Şekil 5 : Doğada çeşitli bölgelerden alınan ve *Allanthus altissima* bitkisinin izdüşümünde bulunan toprak örneklerinde (0 - 5 cm) Pb konsantrasyonu (ppm / KM)

Bu değerlere göre, yoğun trafiğe sahip otoyola ve çevredeki fabrikalara yakın bölgelerde (5, 6, 7, 8 numaralı bölgeler), gerek yaprak ve gerekse toprak yüzeylerinde biriken **Cd** ve **Pb** oranları diğer bölgelere göre daha fazladır. Yaprakların deiyonize su ile yıkanması sonucunda yaprak yüzeyine elektrostatik kuvvetlerle tutunan ağır metallerin bir kısmı giderilebilmekte (KAHLE 1988), diğer kısmı ise yüzeyde kalmaktadır. Temizleme işlemine hafif asit solüsyonları veya %2'lik deterjanla yapmak mümkün olduğu halde, bitki örnekleri için sakıncaları gözönünde bulundurularak bu yöntem kullanılmamıştır (KAHLE 1988).

Ağır hareket eden ve znmesi zor bir ağır metal olan **Pb** kolay zneabilen **Cd** ile karşılaştırıldığında topraktan daha zor alınır. Yağışlarla olduğu gibi deiyonize su ile yıkama işleminde de yaprak yüzeylerindeki kurşun, kadmiyumdan daha çok yıkanabilmektedir. Kadmiyum, kurşuna göre daha hafif moleküllü olduğu için yapraklara tutunabilir, kurşun ise su ile birlikte akıp gider.

Elde edilen bilgilere göre **Cd** yapraklarda topraklara oranla daha fazla birirmektedir (**Tablo 8**) (LAGERWERFF 1971; HAGHIRI 1973; LERCHE ve BRECKLE 1974; ARVIK ve ZIMDAHL 1974a). 5 numaralı bölgede yıkanmamış yapraklarda 1.14 ppm **Cd**, yıkanmış yapraklarda ise 0.74 ppm **Cd**; 8 numaralı bölgede ise yıkanmamış yapraklarda 1.20 ppm **Cd**, yıkanmışlarda 1.01 ppm **Cd** llmştr. Bu bölgelerle ilgili toprak **Cd** değerleri ise sırasıyla 0.62 ppm ve 0.72 ppm'dir.

**Pb** lmlerinde ise (**Tablo 9**) topraklarda biriken kurşun miktarı yapraklara göre daha fazladır. Örneğin, 5 numaralı bölgede yıkanmamış yapraklarda biriken kurşun miktarı 32.25 ppm, yıkanmış yapraklarda 26 ppm; 6 numaralı bölgede ise yıkanmamış yapraklardaki **Pb** 66.69 ppm, yıkanmış yapraklarda 41.88 ppm'dir. Aynı bölgelere ait toprak **Pb** değerleri ise sırasıyla 223.94 ppm ve 445 ppm olarak ölçülmüştür.

Otoyola ve endüstri bölgesine yakın olan alanlarda elde ettiğimiz sayısal sonuçlara göre gerek Cd, gerekse Pb'un konsantrasyonları, bu bölgelere yaklaştıkça yaprak ve topraklarda artış göstermiştir. Buna göre örnek verdiğimizde:

5 no'lu bölge (Otoyola 10 m) = 1.14 ppm Cd (y)

0.62 ppm Cd (t)

7 no'lu bölge (Otoyola 20 m) = 1.13 ppm Cd (y)

0.41 ppm Cd (t)

1 no'lu bölge (Otoyola 60 m) = 0.69 ppm Cd (y)

0.19 ppm Cd (t)

4 no'lu bölge (Otoyola 1 m) = 63.88 ppm Pb (y)

370.25 ppm Pb (t)

7 no'lu bölge (Otoyola 20 m) = 37.44 ppm Pb (y)

171.06 ppm Pb (t)

1 no'lu bölge (Otoyola 60 m) = 30.60 ppm Pb (y)

100.20 ppm Pb (t)

Bu bulgular bize yağışlar sonucunda kadmiyumun yapraklardan güçlükle uzaklaştırıldığını, buna karşı kurşunun kolayca yıkanarak toprak yüzeyinde biriktiğini ve aynı zamanda otoyol ile diğer emisyon kaynaklarına yaklaştıkça her iki ağır metalinde konsantrasyonlarının arttığı sonucunu düşündürmektedir (WARD ve ark. 1980; HAGEMeyer ve ark. 1986; KAHLE 1988).

y = Yaprak

t = Toprak

#### **IV.2. Farklı Cd Konsantrasyonlarında Yetiştirilen**

##### ***Allanthus altissima*'nın Organlarında Cd Birikimi**

Kum kültürlerinde iklim odası koşullarında yetiştirilen *A. altissima*'nın yaprak, gövde ve köklerinde Cd konsantrasyonu yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu arttıkça artış göstermiştir (Tablo 10, Şekil 6, 7, 8). Tüm bitki organlarındaki kadmiyumun ortalama %80'i köklerde birikmekte, %20'si ise gövde ve yapraklara iletilmektedir. Köklerde biriken kadmiyumu 100 kabul edersek, 0.1 ppm Cd konsantrasyonunda yetiştirilen bitkilerin yapraklarında köklerin %10.2'si, gövdelerinde ise %17.8'i birikmektedir. 50 ppm Cd konsantrasyonunda yetiştirilen bitki yapraklarında ise köklerin %6.8'i, gövdelerde ise %9.56'sı birikmektedir (Tablo 11).

Yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu arttıkça bitki organlarındaki kadmiyumun mutlak değeri artmakta, fakat transfer faktörü düşmektedir (KAHLE 1988) (Tablo 12). Transfer faktörü, bitki organlarındaki Cd miktarının ortamdaki Cd konsantrasyonuna oranıdır. Tablo 12'deki değerlerden de görüleceği gibi yetiştirme ortamının konsantrasyonu arttıkça köklerle kadmiyumun alınımı yani transfer faktörü düşüş göstermiştir.

#### **IV.3. Farklı Cd Konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'nın**

##### **Taze ve Kuru Ağırlığına ve Su Miktarına Etkisi**

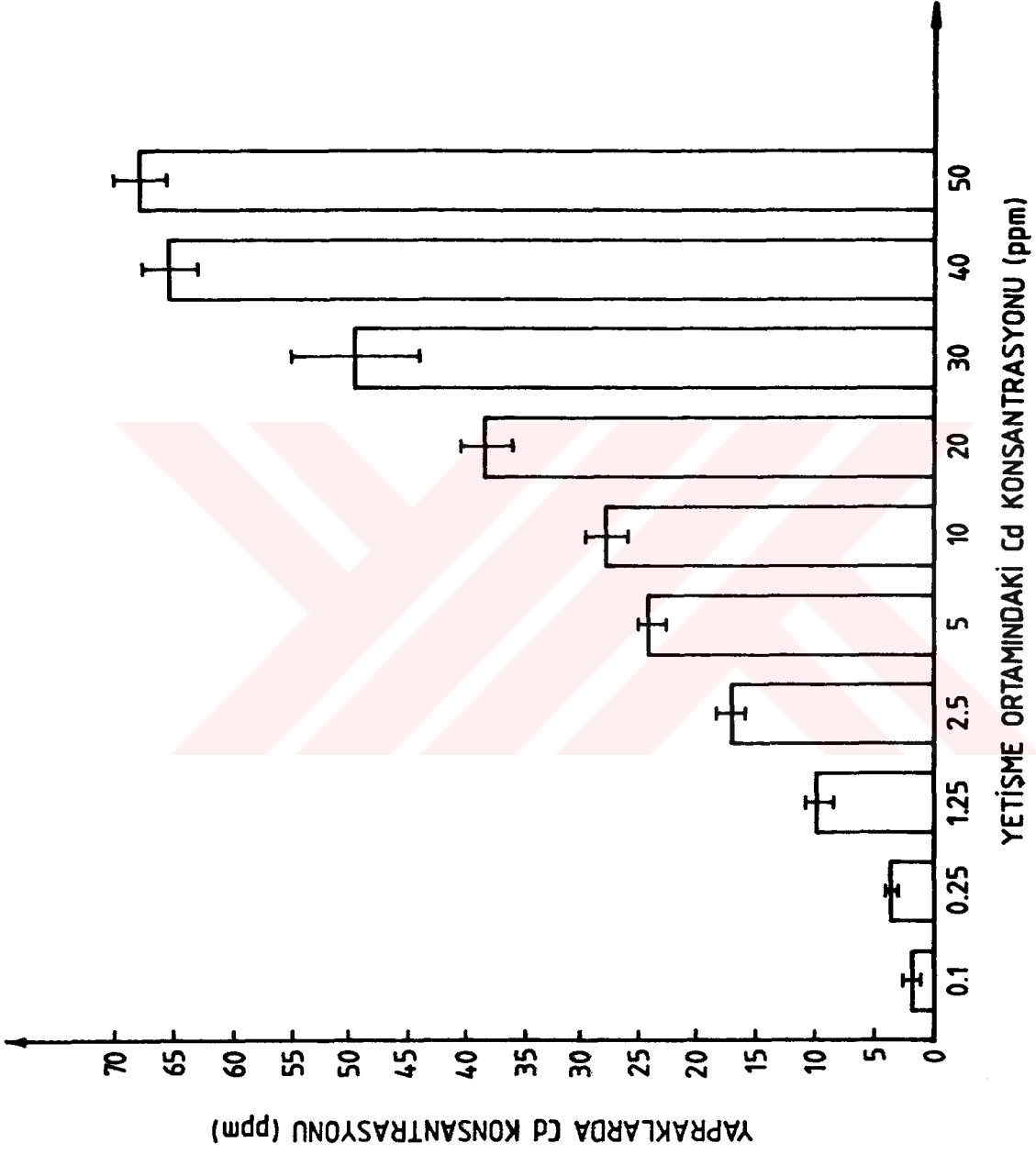
Yetiştirme ortamındaki kadmiyum konsantrasyonu arttıkça, yaprak, gövde ve köklerin taze ve kuru ağırlıklarında azalma kaydedildi (Tablo 13, 14, Şekil 9, 10, 11). Taze ağırlıktaki düşüş, ortamın 5 ppm Cd konsantrasyonuna kadar anlamlı değildir. 5 ppm'den sonra gerek yapraklarda gerekse gövde ve köklerde



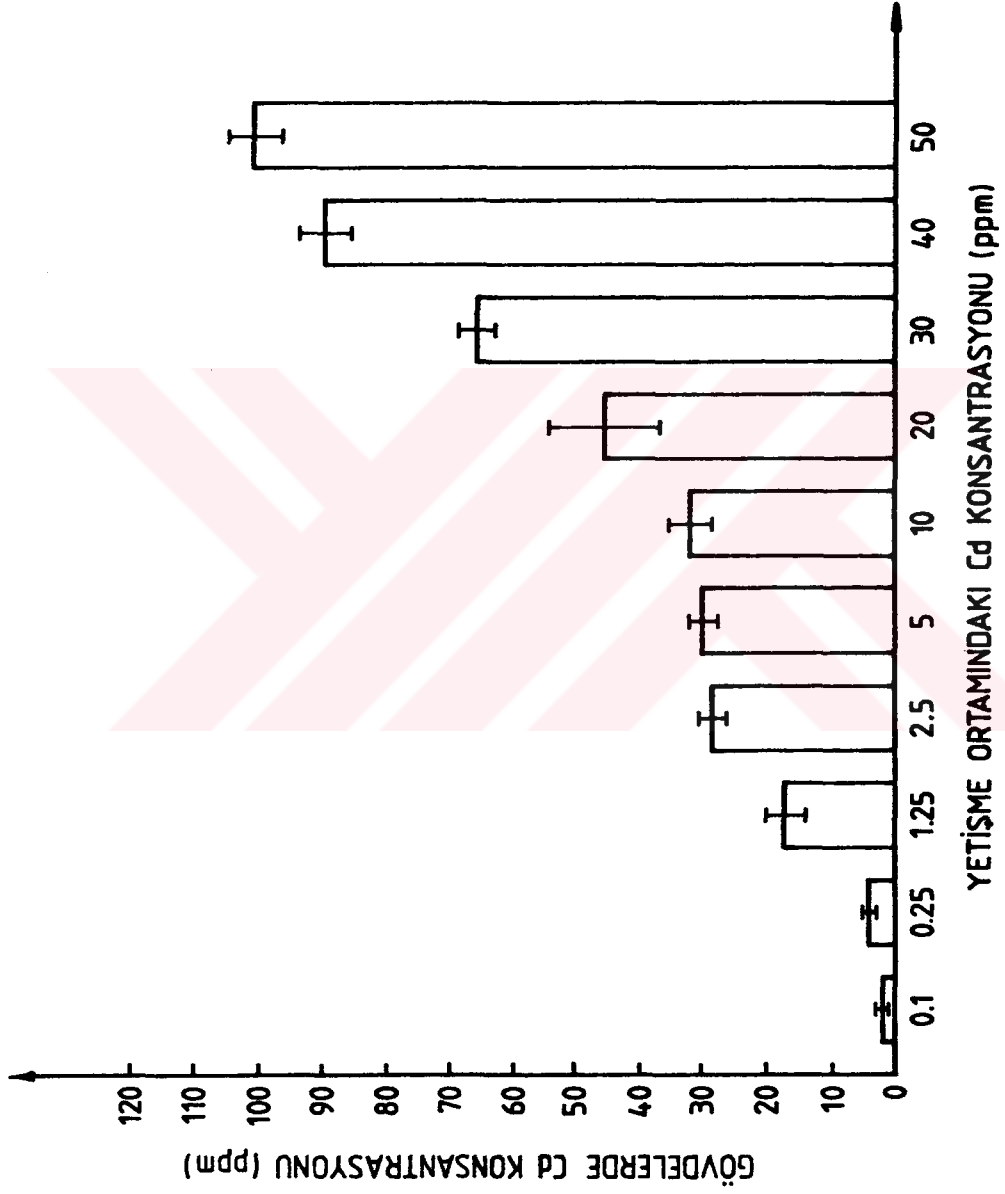
**Tablo 10 : Cd uygulanarak yetiştirilen *Allanthus altissima*'nin çeşitli organlarındaki Cd konsantrasyonu (ppm / KM) (n = 10)**

| Yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu (ppm) | BİTKİ ORGANLARINDAKİ Cd KONSANTRASYONU (ppm) |              |                 |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|-----------------|
|                                                | YAPRAK                                       | GÖVDE        | KÖK             |
| 0.1                                            | 1.50 ± 0.50                                  | 2.06 ± 0.31  | 14.63 ± 1.63    |
| 0.25                                           | 3.63 ± 0.38                                  | 4.94 ± 0.44  | 35.75 ± 2.25    |
| 1.25                                           | 9.94 ± 1.31                                  | 17.94 ± 2.06 | 135.82 ± 2.94   |
| 2.5                                            | 16.81 ± 1.69                                 | 28.75 ± 1.56 | 257.83 ± 10.94  |
| 5                                              | 23.31 ± 1.69                                 | 30.43 ± 1.69 | 298.44 ± 10.31  |
| 10                                             | 27.59 ± 2.19                                 | 32.00 ± 3.00 | 309.69 ± 9.06   |
| 20                                             | 38.50 ± 2.00                                 | 45.50 ± 8.25 | 584.06 ± 24.69  |
| 30                                             | 49.69 ± 5.31                                 | 65.50 ± 2.25 | 748.13 ± 29.38  |
| 40                                             | 65.38 ± 2.13                                 | 89.40 ± 3.25 | 996.88 ± 29.38  |
| 50                                             | 67.88 ± 2.14                                 | 95.56 ± 3.19 | 1000.00 ± 31.25 |

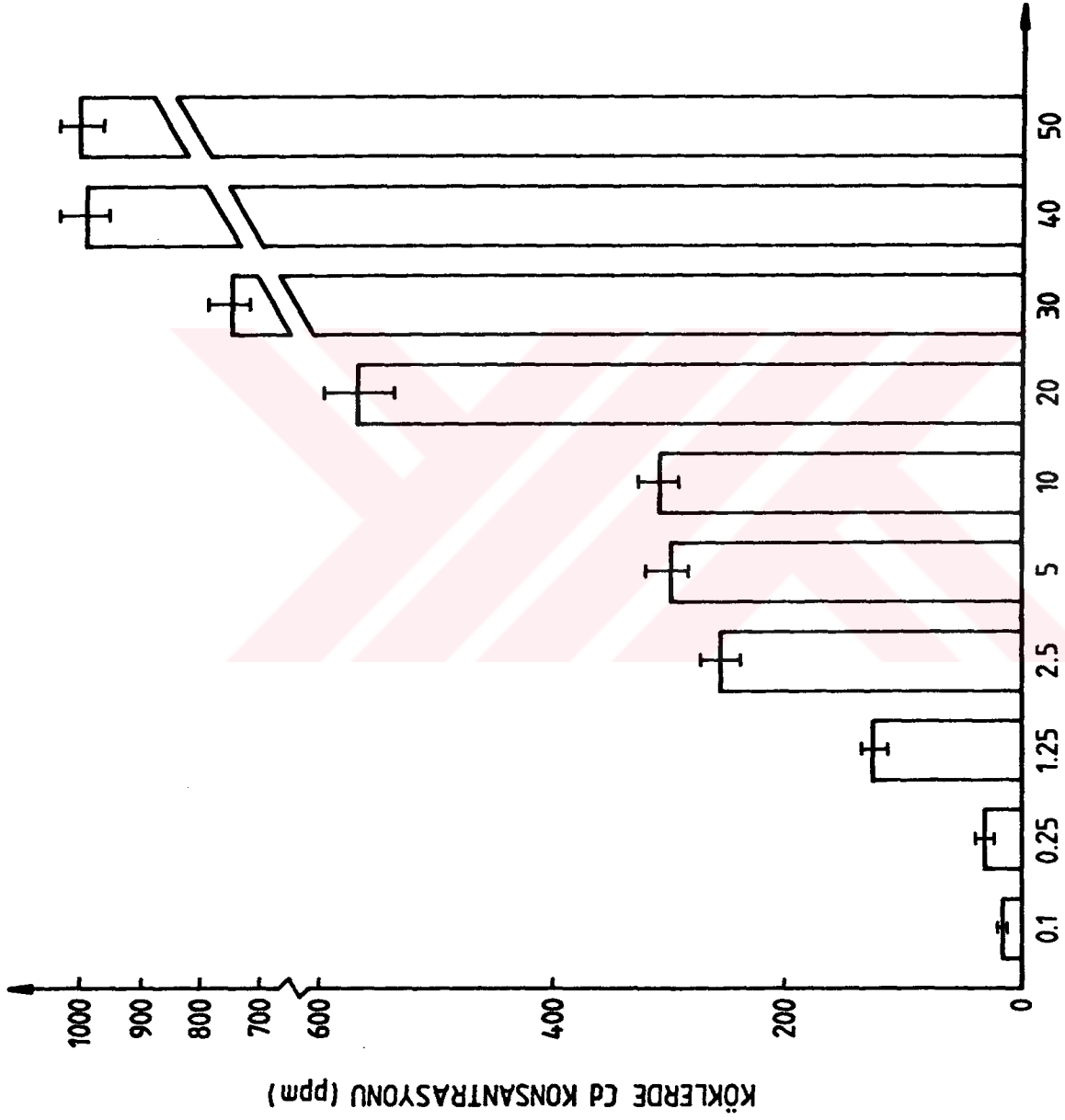
KM = Kuru madde



Şekil 8 : Farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen *Ailanthus altissima* bitkisinin yapraklarındaki Cd birikimi (ppm / KM)



Şekil 7 : Farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen *Allanthus altissima* bitkisinin gövdelerindeki Cd birikimi (ppm / KM)



Şekil 8 : Farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen *Allanthus altissima* bitkisinin köklerindeki Cd birikimi (ppm / KM)

**Tablo 11 : Farklı konsantrasyonlarda yetiştirilen  
*Ailanthus altissima*'nın yaprak ve gövdelerinde  
Cd birikim yüzdesi (Kök = 100)**

| Yetiştirme ortamındaki<br>Cd konsantrasyonu (ppm) | Yaprak (%) | Gövde (%) |
|---------------------------------------------------|------------|-----------|
| 0.1                                               | 10.25      | 17.77     |
| 0.25                                              | 10.15      | 13.82     |
| 1.25                                              | 7.32       | 13.21     |
| 2.5                                               | 6.52       | 10.73     |
| 5                                                 | 7.81       | 10.20     |
| 10                                                | 8.90       | 10.33     |
| 20                                                | 6.59       | 7.79      |
| 30                                                | 6.64       | 8.75      |
| 40                                                | 6.55       | 8.96      |
| 50                                                | 6.78       | 9.56      |

Tablo 12 : Farklı Cd konsantrasyonlarının bitki organlarında Cd transfer faktörüne etkisi

| Yetiştirme ortamındaki<br>Cd konsantrasyonu (ppm) | Cd'un Bitki Organlarındaki Transfer Faktörü |       |        |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|--------|
|                                                   | YAPRAK                                      | GÖVDE | KÖK    |
| 0.1                                               | 15.00                                       | 20.60 | 146.30 |
| 0.25                                              | 14.52                                       | 19.76 | 143.00 |
| 1.25                                              | 7.95                                        | 14.35 | 108.66 |
| 2.5                                               | 6.72                                        | 11.50 | 103.28 |
| 5                                                 | 4.66                                        | 6.09  | 59.69  |
| 10                                                | 2.75                                        | 3.20  | 30.97  |
| 20                                                | 1.93                                        | 2.28  | 29.20  |
| 30                                                | 1.66                                        | 2.18  | 24.94  |
| 40                                                | 1.63                                        | 2.24  | 24.92  |
| 50                                                | 1.34                                        | 1.91  | 20.00  |

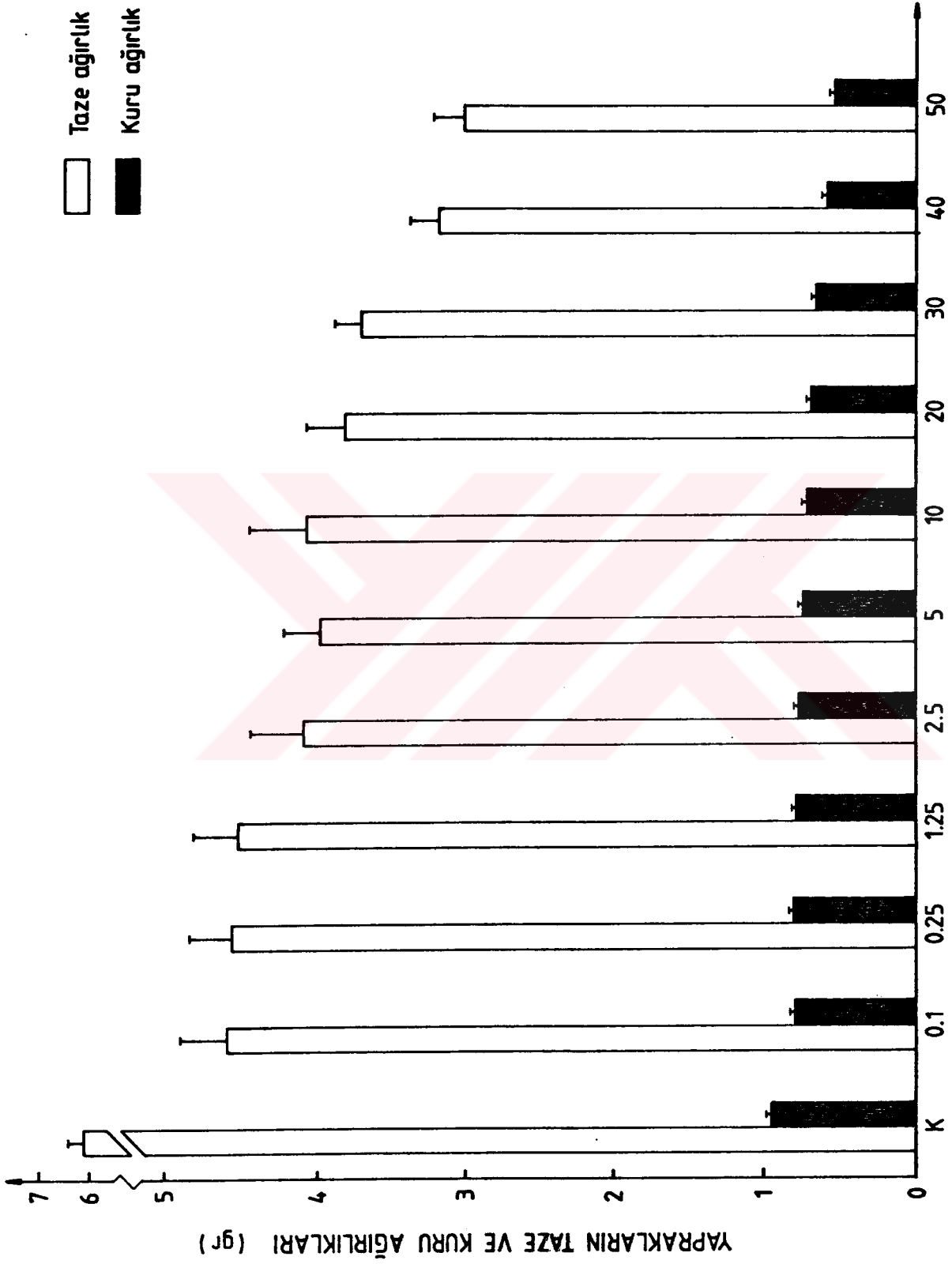
Tablo 13 : Farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'nın taze ağırlığına etkisi (gr) (n = 10)

| Yetiştirme ortamındaki<br>Cd konsantrasyonu (ppm) | BİTKİ ORGANLARININ TAZE AĞIRLIĞI (gr) |             |             |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                   | YAPRAK                                | GÖVDE       | KÖK         |
| Kontrol                                           | 6.11 ± 0.33                           | 3.51 ± 0.28 | 4.71 ± 0.31 |
| 0.1                                               | 4.59 ± 0.29                           | 2.75 ± 0.23 | 4.19 ± 0.30 |
| 0.25                                              | 4.54 ± 0.20                           | 2.70 ± 0.17 | 4.15 ± 0.25 |
| 1.25                                              | 4.51 ± 0.22                           | 2.54 ± 0.15 | 4.20 ± 0.28 |
| 2.5                                               | 4.13 ± 0.25                           | 2.39 ± 0.21 | 3.95 ± 0.19 |
| 5                                                 | 3.99 ± 0.18                           | 2.22 ± 0.24 | 3.91 ± 0.21 |
| 10                                                | 4.12 ± 0.23                           | 2.24 ± 0.14 | 3.74 ± 0.23 |
| 20                                                | 3.83 ± 0.19                           | 2.21 ± 0.13 | 3.79 ± 0.26 |
| 30                                                | 3.74 ± 0.13                           | 2.23 ± 0.18 | 3.81 ± 0.29 |
| 40                                                | 3.25 ± 0.15                           | 1.95 ± 0.11 | 3.44 ± 0.18 |
| 50                                                | 3.02 ± 0.17                           | 1.90 ± 0.12 | 2.96 ± 0.15 |

Tablo 14 : Farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima*'nın kuru ağırlığına etkisi (gr) (n = 10)

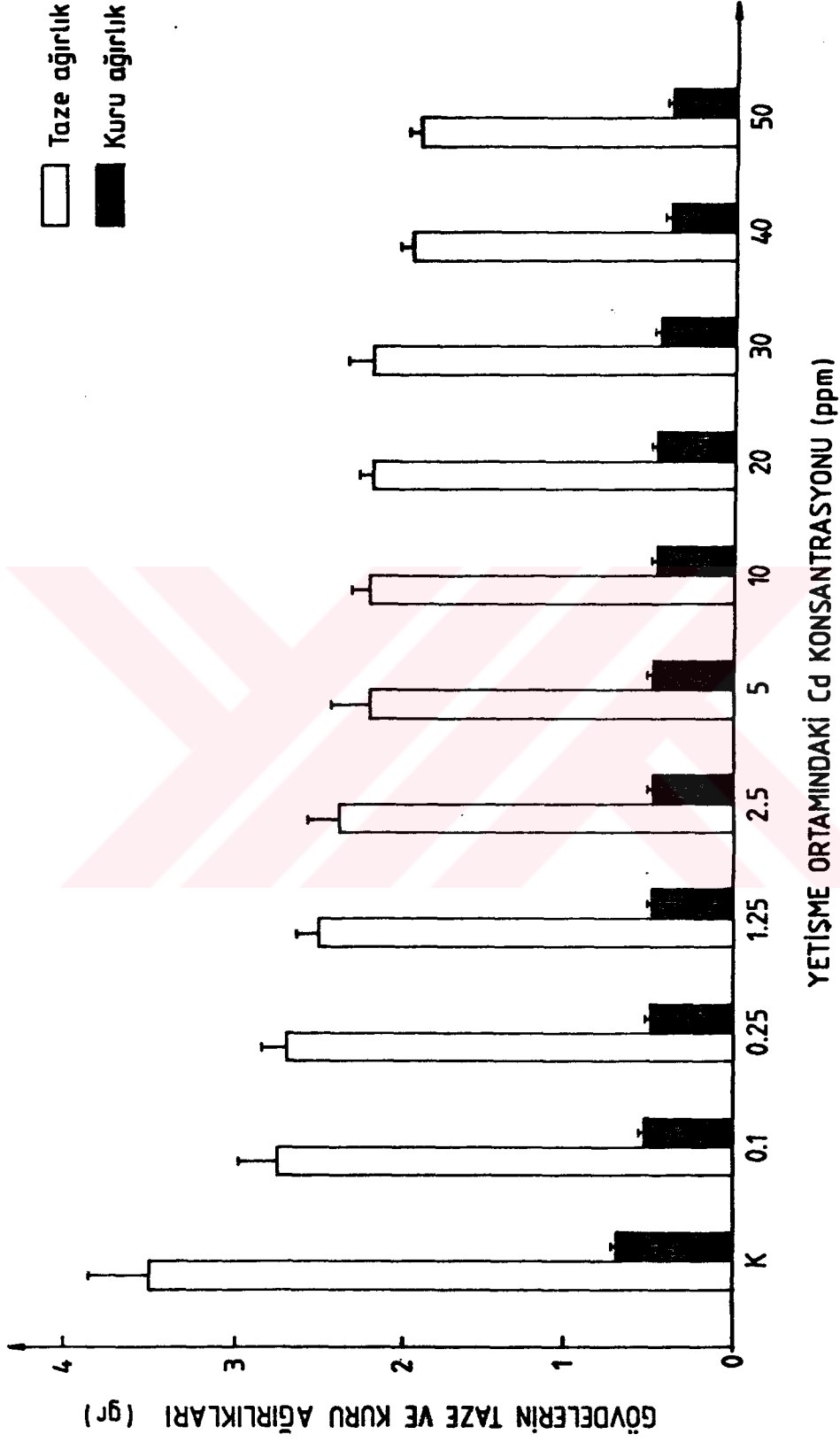
| Yetiştirme ortamındaki<br>Cd konsantrasyonu (ppm) | Bitki Organlarının Kuru Ağırlığı (gr) |             |             |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                   | YAPRAK                                | GÖVDE       | KÖK         |
| Kontrol                                           | 0.94 ± 0.05                           | 0.71 ± 0.01 | 0.60 ± 0.03 |
| 0.1                                               | 0.82 ± 0.01                           | 0.56 ± 0.01 | 0.53 ± 0.01 |
| 0.25                                              | 0.84 ± 0.01                           | 0.53 ± 0.02 | 0.54 ± 0.07 |
| 1.25                                              | 0.81 ± 0.01                           | 0.49 ± 0.01 | 0.54 ± 0.05 |
| 2.5                                               | 0.80 ± 0.01                           | 0.48 ± 0.02 | 0.50 ± 0.03 |
| 5                                                 | 0.79 ± 0.02                           | 0.47 ± 0.01 | 0.51 ± 0.04 |
| 10                                                | 0.75 ± 0.03                           | 0.46 ± 0.07 | 0.46 ± 0.06 |
| 20                                                | 0.72 ± 0.04                           | 0.46 ± 0.02 | 0.47 ± 0.04 |
| 30                                                | 0.68 ± 0.08                           | 0.45 ± 0.09 | 0.46 ± 0.07 |
| 40                                                | 0.59 ± 0.04                           | 0.39 ± 0.05 | 0.45 ± 0.06 |
| 50                                                | 0.55 ± 0.02                           | 0.39 ± 0.01 | 0.42 ± 0.01 |



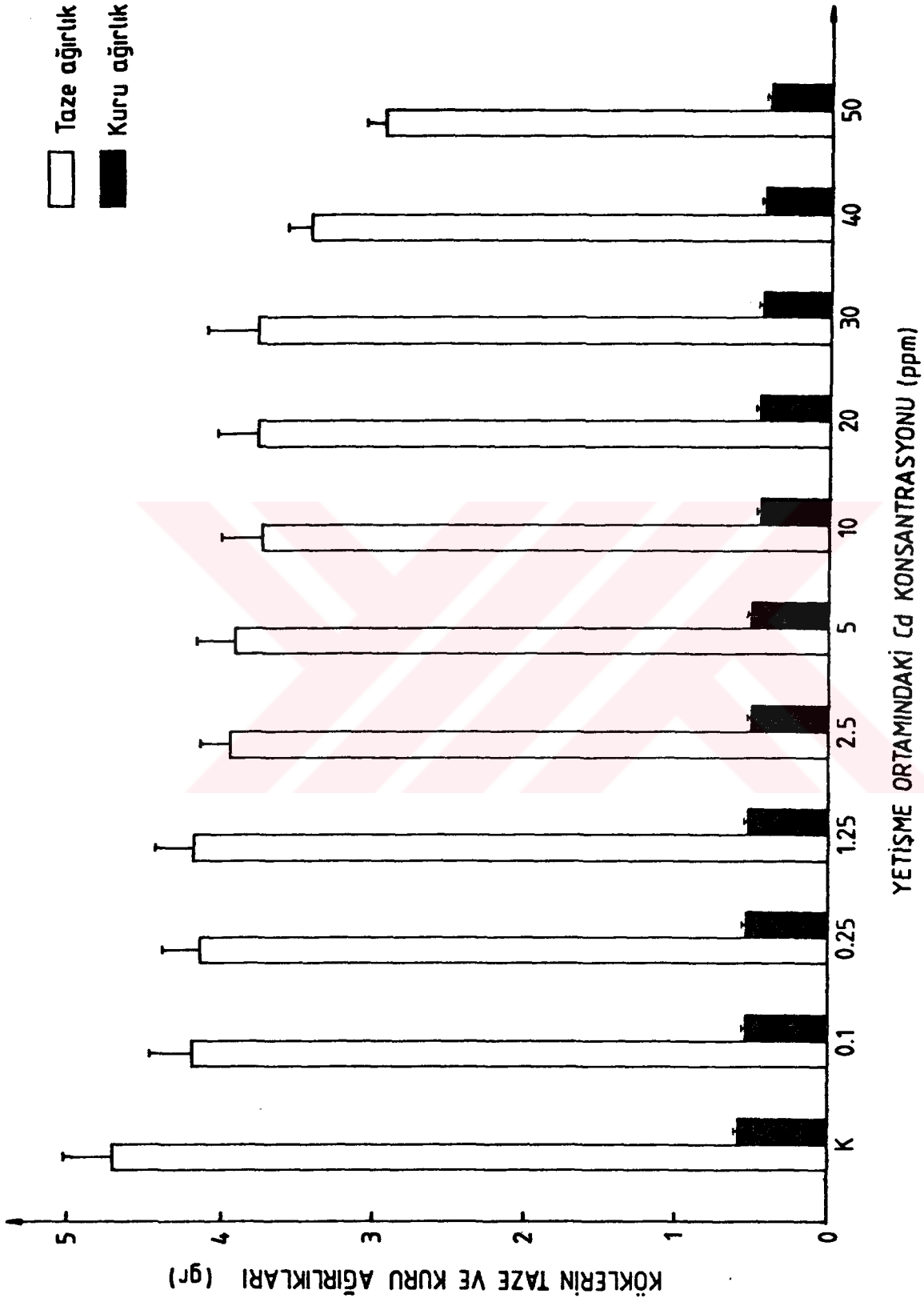


YETİŞME ORTAMINDAKİ Cd KONSANTRASYONU (ppm)

Şekil 9 : Yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima*'da yaprak taze ve kuru ağırlığına etkisi (gr)



Şekil 10 : Yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima*'da gövde taze ve kuru ağırlığına etkisi (gr)



Şekil 11 : Yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'da kök taze ve kuru ağırlığına etkisi (gr)

kadmiyumun taze ağırlığa olumsuz etki gösterdiği saptanmıştır. Cd'un etkisiyle yaprakların taze ağırlığında kontrole göre %24.88 - 50.57, gövdelerin taze ağırlığında %21.66 - 45.87, köklerin taze ağırlığında ise %11.02 - 37.15 arasında bir indirgenme belirlenmiştir.

Aynı şekilde kontrole göre kuru madde miktarındaki indirgenmeler hesaplandığında, yapraklarda %10.64 - 41.49, gövdede %21.13 - 45.08, köklerde ise %10 - 30 arasında değerler bulunmuştur. Özellikle ortamdaki Cd konsantrasyonu 5 ppm ve daha yüksek olduğunda bitki organlarının kuru madde miktarındaki azalma anlamlıdır. Bu konsantrasyonda bitkinin yapraklarında 23.3 ppm Cd, gövdelerinde 30.4 ppm Cd, köklerinde ise 298 ppm Cd birikmiştir. Bu sonuçlar ortamda ve buna paralel olarak bitki organlarında artan Cd konsantrasyonlarının belirli bir taze ve kuru ağırlık kaybına neden olduğunu göstermektedir. Tablo 15'de yaprak, gövde ve köklerdeki taze ve kuru ağırlıkların kontrole göre düşüş yüzdeleri belirtilmiştir. Kuru madde miktarını bitkinin büyüme parametresi olarak kullanırsak Cd'dan en fazla olumsuz yönde etkilenen organ gövdedir; daha sonra sırasıyla yaprak ve kökler gelmektedir. Kuru madde miktarına göre Gövde/Kök oranı hesaplandığında yetiştirme ortamındaki 1.25 ppm Cd konsantrasyonundan itibaren bu oran kökün lehine gelişmiştir. Yani kuru madde miktarı gövdede köke oranla daha fazla düşüş göstermiştir. Cd, en fazla köklerde biriktiği halde, kuru madde miktarı bakımından kökler, gövde ve yapraklara göre daha az etkilenmiştir.

Tablo 16'da, yaprak, gövde ve köklerde taze ağırlığa göre hesaplanan su miktarları görülmektedir. Bulgularımıza göre farklı Cd konsantrasyonları ile yetiştirilen *A. altissima* 'nın gövde ve köklerinin su miktarında bir düşüş görülmemiştir. Ancak Cd uygulanan bitkilerin yapraklarındaki su miktarı kontrole göre %2 oranında azalma göstermiştir.

**Tablo 15 : Farklı Cd konsantrasyonlarında yetiştirilen *Allanthurus altissima* organlarının taze ve kuru ağırlık yüzdeleri (Kontrol = 100)**

| Yetiştirme ortamındaki Cd kons. (ppm) | YAPRAK           |                  | GÖVDE            |                  | KÖK              |                  |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                       | Taze ağırlık (%) | Kuru ağırlık (%) | Taze ağırlık (%) | Kuru ağırlık (%) | Taze ağırlık (%) | Kuru ağırlık (%) |
| Kontrol                               | 100              | 100              | 100              | 100              | 100              | 100              |
| 0.1                                   | 75.12            | 87.23            | 78.34            | 78.87            | 88.95            | 88.33            |
| 0.25                                  | 74.30            | 89.36            | 76.92            | 74.64            | 88.40            | 90.00            |
| 1.25                                  | 74.81            | 86.17            | 72.36            | 69.01            | 89.17            | 90.00            |
| 2.5                                   | 67.59            | 85.10            | 68.09            | 67.60            | 83.96            | 90.00            |
| 5                                     | 65.30            | 84.04            | 63.24            | 64.78            | 83.01            | 83.33            |
| 10                                    | 67.43            | 79.78            | 63.81            | 64.78            | 79.40            | 85.00            |
| 20                                    | 62.68            | 76.59            | 62.96            | 64.78            | 80.46            | 78.33            |
| 30                                    | 61.21            | 72.34            | 63.53            | 63.38            | 80.89            | 76.66            |
| 40                                    | 53..19           | 62.76            | 55.55            | 54.92            | 73.03            | 75.00            |
| 50                                    | 49.42            | 58.51            | 54.13            | 54.92            | 62.84            | 70.00            |

**Tablo 16 : Farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthurus altissima*'nin su miktarına etkisi (taze ağırlığa göre %)**

| Yetiştirme ortamındaki<br>Cd konsantrasyonu (ppm) | Bitki Organlarındaki Su Miktarı (%) |       |     |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----|
|                                                   | YAPRAK                              | GÖVDE | KÖK |
| Kontrol                                           | 84                                  | 80    | 87  |
| 0.1                                               | 82                                  | 80    | 87  |
| 0.25                                              | 81                                  | 80    | 87  |
| 1.25                                              | 82                                  | 80    | 87  |
| 2.5                                               | 81                                  | 80    | 87  |
| 5                                                 | 80                                  | 79    | 87  |
| 10                                                | 82                                  | 79    | 88  |
| 20                                                | 81                                  | 79    | 88  |
| 30                                                | 82                                  | 80    | 88  |
| 40                                                | 82                                  | 80    | 87  |
| 50                                                | 82                                  | 79    | 86  |
|                                                   |                                     |       |     |

#### **IV.4. Farklı Cd Konsantrasyonlarının *Allanthurus altissima*'nın Gövde Uzunluğuna Etkisi**

Yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu arttıkça gövde uzunluklarında bir indirgenme saptanmıştır (Tablo 17, Şekil 12). Fakat bu indirgenme 10 ppm Cd konsantrasyonuna kadar anlamlı değildir. Kadmiyumun gövde uzunluğuna olan olumsuz etkisi özellikle 10 ppm'de başlayarak 50 ppm'e kadar artmıştır. Bu indirgenme değerleri kontrole göre 10 ppm Cd konsantrasyonunda %19 iken, 50 ppm Cd uygulamasında %45'e yükselmiştir.

#### **IV.5. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Total Klorofil Miktarına Etkisi**

Yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu arttıkça total klorofil miktarında düşme kaydedilmiştir (Tablo 18, Şekil 13). Bu indirgenme kontrol 100 kabul edildiğinde %3.87 - 47.67 arasında değişmektedir. Gözlemlerimize göre 10 ppm Cd konsantrasyonunda yetişen bitkilerin yapraklarında hafif renk açılması başlamış ve ortamda Cd arttıkça bu renk açılması yani kloroz belirginleşmiştir.

#### **IV.6. Farklı Cd Konsantrasyonlarının *Allanthurus altissima*'nin Morfolojik Görünümüne Etkisi**

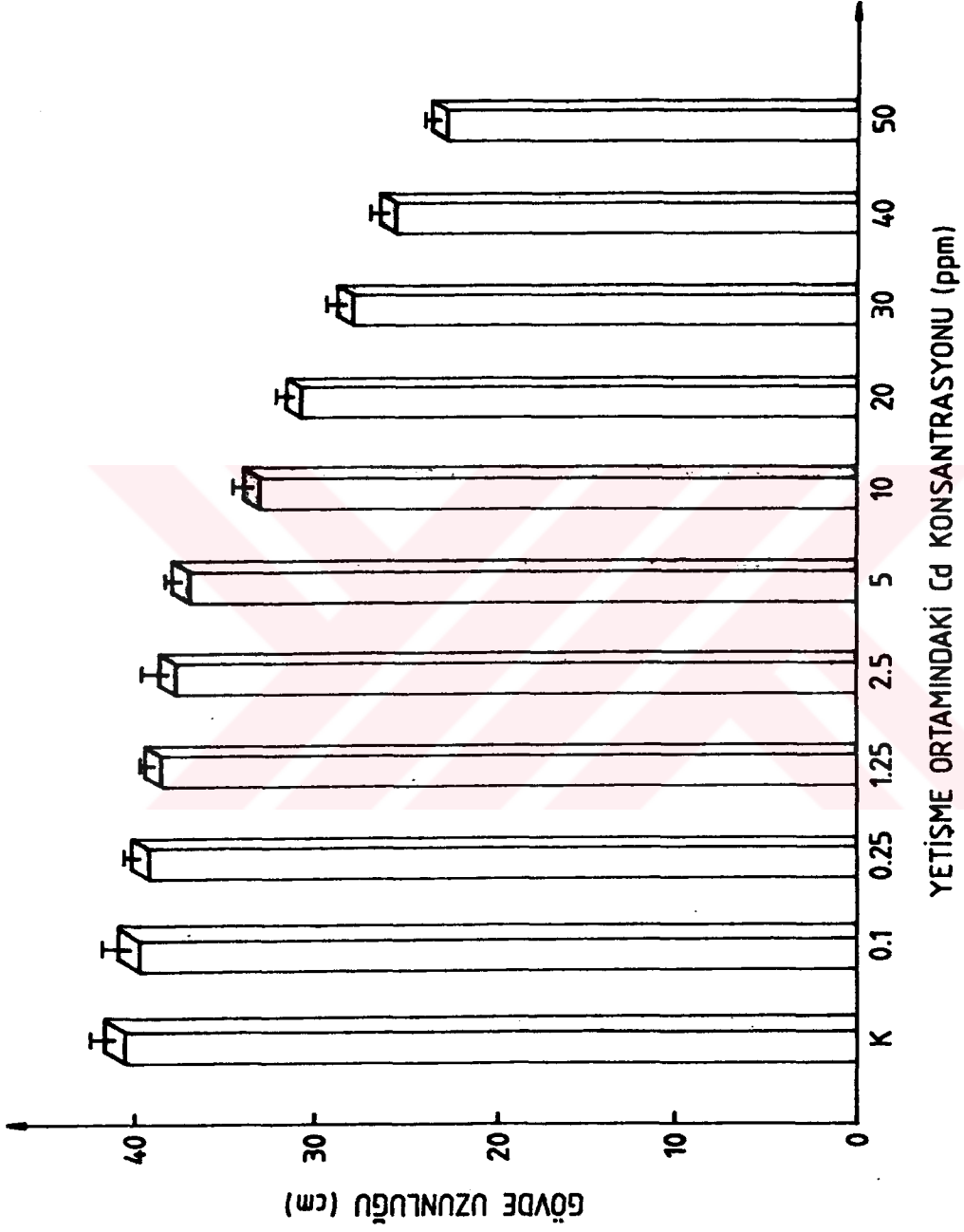
0.1, 0.25, 1.25, 2.5, 5, 10, 20 , 30, 40 ve 50 ppm Cd konsantrasyonlarında yetişen bitkilerde ilk 15 gün morfolojik bir bozukluk görülmemiştir. Daha sonraki günlerde ise bitkilerde ilk yaprakların sararıp düşmesi ya da uçların kıvrılması, bazılarında bileşik yaprak oluşumu gibi değişiklikler belirmiştir.

1.25, 2.5 ve 5 ppm Cd uygulanan bitkilerde 35. günden itibaren yapraklarda hafif kloroz (açık yeşil), gövdelerde incelme, internodyumlarda kısalma gözlemlendi. 0.1 ve 0.25 ppm'lik serilerde ise bir değişiklik görülmedi.

**Tablo 17 : Farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'nin gövde uzunluğuna etkisi (cm) (n = 10 )**

| <b>Yetiştirme ortamındaki<br/>Cd konsantrasyonu (ppm)</b> | <b>Gövde uzunluğu (cm)</b> | <b>Gövde uzunluğu % (kontrol = 100)</b> |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Kontrol                                                   | 40.83 ± 1.99               | 100.00                                  |
| 0.1                                                       | 39.74 ± 2.25               | 97.33                                   |
| 0.25                                                      | 39.00 ± 1.20               | 95.52                                   |
| 1.25                                                      | 38.20 ± 1.08               | 93.56                                   |
| 2.5                                                       | 37.52 ± 2.13               | 93.56                                   |
| 5                                                         | 36.36 ± 1.12               | 90.01                                   |
| 10                                                        | 33.25 ± 1.75               | 81.44                                   |
| 20                                                        | 30.90 ± 2.04               | 75.68                                   |
| 30                                                        | 27.85 ± 1.98               | 68.21                                   |
| 40                                                        | 25.67 ± 1.53               | 62.87                                   |
| 50                                                        | 22.73 ± 1.48               | 55.67                                   |

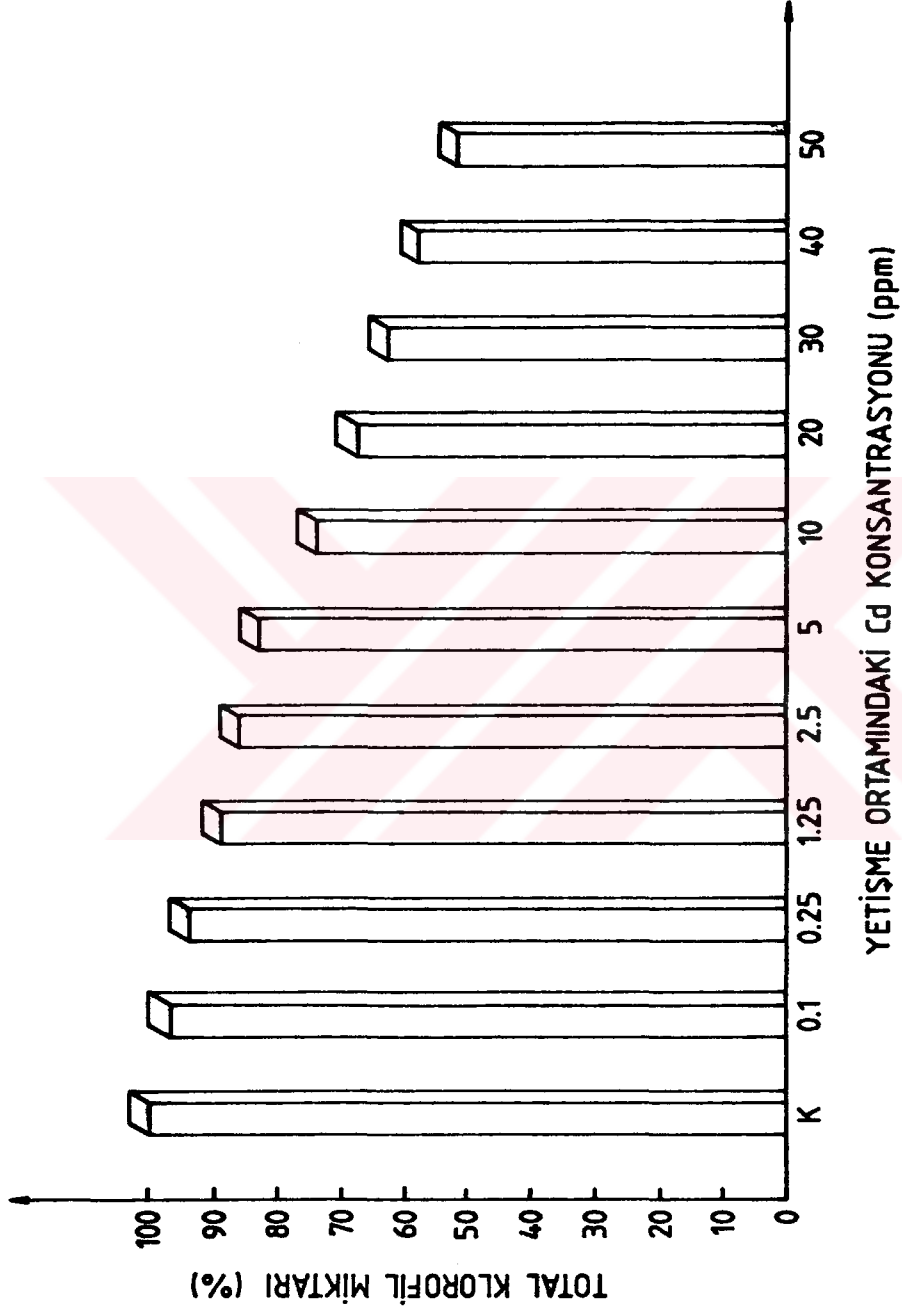




Şekil 12 : Yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'nın gövde uzunluğuna etkisi (cm)

**Tablo 18 : Farklı Cd konsantrasyonlarının *Ailanthus altissima* 'nın total klorofil miktarına etkisi (Kontrol = 100) (n = 10)**

| <b>Yetişme ortamında<br/>Cd konsantrasyonu (ppm)</b> | <b>Total klorofil miktarı %<br/>(kontrol = 100)</b> |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Kontrol                                              | 100.00                                              |
| 0.1                                                  | 96.13                                               |
| 0.25                                                 | 93.40                                               |
| 1.25                                                 | 89.25                                               |
| 2.5                                                  | 86.20                                               |
| 5                                                    | 82.35                                               |
| 10                                                   | 73.56                                               |
| 20                                                   | 67.35                                               |
| 30                                                   | 63.15                                               |



Şekil 13 : Yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının *Allanthus altissima* 'nin total klorofil miktarına etkisi (Kontrol : 100)

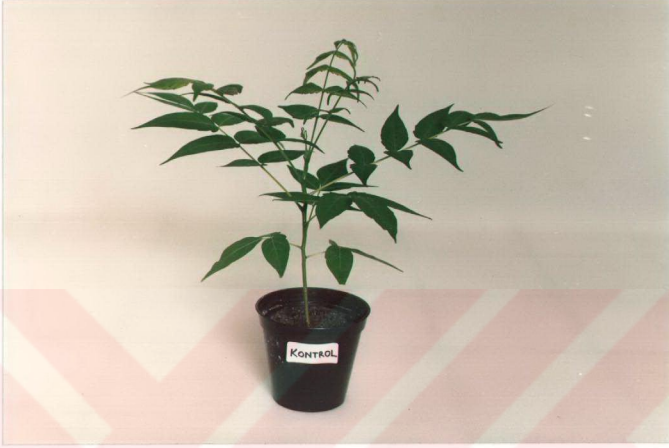
**Cd** uygulama süresi olan 53 gün tamamlandığında, 2.5 ve 5 ppm'lik serilerin bazı yapraklarında demir eksikliği semptomlarında görülebilen damarlar arası kloroz, bazı yapraklarda ise bileşik yaprak oluşumu gibi anomaliler, 5 ppm **Cd** uygulanan serinin köklerinde ise sarı - kahve renk değişimi belirlendi.

Kadmiyumun oluşturduğu bu semptomlar özellikle 5 ppm'den sonra arttı. 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm'lik serilerde, ortamda **Cd** konsantrasyonu arttıkça, yapraklardaki damarlar arası kloroz (sarımsı yeşil), gövde internodyumlarında kısılma artmış, bileşik yaprak oluşumu, köklerde sararma ve kısılma, sekonder köklerde yanlara doğru açılma meydana gelmiştir. 20, 30, 40 ve 50 ppm **Cd** konsantrasyonlarında yaprak damarları arasında klorozun yanısıra yapraklarda genel bir açık yeşil renk oluşumu, bazılarında küçük sarı - kahve benekler, yaprak yüzeyinde indirgenme ve yaprak kenarındaki diş sayısının artışı gözlemlendi. Bu belirtilere ek olarak, 40 ve 50 ppm'de yaprakçık arası uzunlukların arttığı görüldü.

Genel olarak, ortamda artan **Cd** konsantrasyonları sonucunda, gövde çaplarında bir incelmeye görülmüş ve gövde uzunluklarında ölçümlerle de tesbit edilebilen bir indirgenme kaydedilmiştir. **Cd**'un klorofil miktarına olumsuz etkileri sonucu görülen kloroz özellikle 5 ppm'den itibaren 50 ppm'e kadar artmaya devam etmiştir. Yeni çıkan genç yapraklarda hasat tarihine kadar herhangi bir morfolojik bozukluk görülmemiştir. Kadmiyumun olumsuz etkisi öncelikle yaşlı yapraklarda oluşmakta ve yaprakların sararıp düşmesine neden olmaktadır.

Bütün bu semptomlara rağmen 53 günlük **Cd** uygulaması sonucunda 50 ppm'lik seriler dahil olmak üzere nekrotik belirtilere rastlanmamıştır. Bitkilerin genel görünüşleri Foto 5 - 15, üstten görünüşleri Foto 16 - 26, kökler ise Foto 27 - 37'de görülmektedir.

**Kontrol ve Farklı Cd Konsantrasyonları Uygulanan  
*Ailanthus altissima* Bitkilerinin Genel Görünümleri**



**Foto 5 : Kontrol**



**Foto 6 : 0.1 ppm Cd**



**Foto 7 : 0.25 ppm Cd**



**Foto 8 : 1.25 ppm Cd**



**Foto 9 : 2.5 ppm Cd**



**Foto 10 : 5 ppm Cd**



Foto 12 : 20 ppm Cd



Foto 11 : 10 ppm Cd





Foto 14 : 40 ppm Cd



Foto 13 : 30 ppm Cd



Foto 15 : 50 ppm Cd

**Kontrol ve Farklı Cd Konsantrasyonları Uygulanan  
*Ailanthus altissima* Bitkilerinin Üstten Görünümleri**



**Foto 16 : Kontrol**



**Foto 17 : 0.1 ppm Cd**



**Foto 18 : 0.25 ppm Cd**



**Foto 19 : 1.25 ppm Cd**



**Foto 20 : 2.5 ppm Cd**



**Foto 21 : 5 ppm Cd**



**Foto 22 : 10 ppm Cd**



**Foto 23 : 20 ppm Cd**





**Foto 24 : 30 ppm Cd**



**Foto 25 : 40 ppm Cd**



**Foto 26 : 50 ppm Cd**



Kontrol ve Farklı Cd Konsantrasyonları Uygulanan  
*Allianthus altissima* Bitkilerinin K k g r n mleri

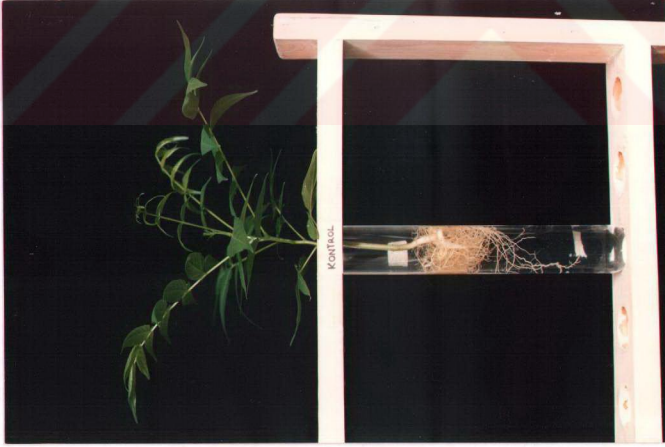


Foto 27 : Kontrol



Foto 28 : 0.1 ppm Cd

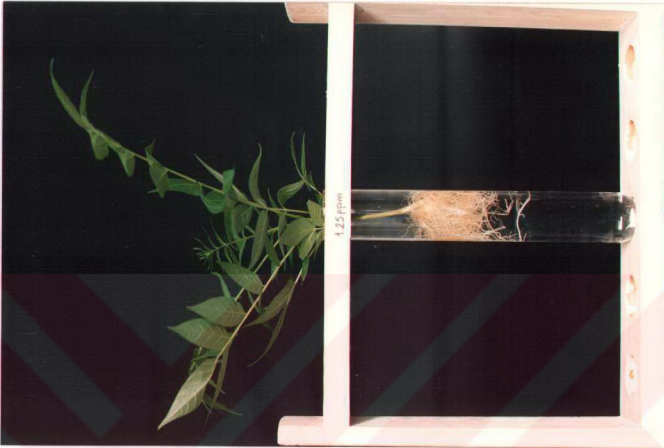


Foto 30 : 1.25 ppm Cd



Foto 29 : 0.25 ppm Cd



Foto 32 : 5 ppm Cd



Foto 31 : 2.5 ppm Cd

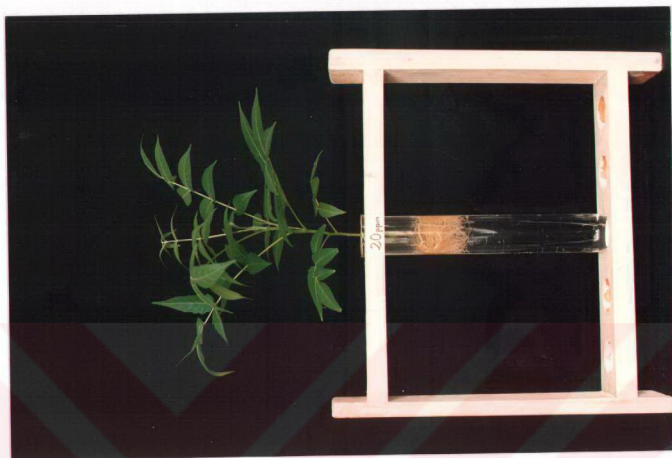


Foto 34 : 20 ppm Cd



Foto 33 : 10 ppm Cd



Foto 36 : 40 ppm Cd



Foto 35 : 30 ppm Cd





Foto 37 : 50 ppm Cd

## V. TARTIŞMA

### V.1. Otoyol Kenarları ve Endüstri Bölgeleri Çevresinde Cd ve Pb Kirliliği

Endüstrileşmenin ve motorlu taşıtların yoğunlaşması ile, bu emisyon kaynaklarından çıkan **Cd**, **Pb** gibi ağır metallerin çevreye yayılımı ve birikimi artmaktadır. (LAGERWERFF 1967, 1970; GANJE ve PAGE 1972; GIDDINGS ve MONROE 1972; HUANG ve ark 1974, SEEKAMP 1977; JACKSON ve WATSON 1977; DAVIES 1978; LERCHE ve BRECKLE 1979; WARD 1980; ÖZTÜRK ve TÜRKAN 1982; NÜRNBERG VE ark 1982 1983; TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989; ZIEGLER 1989; WITTIG ve NEITE 1989).

Doğal ortamda ve özellikle otoyol kenarlarında bu ağır metallerin konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla araştırmalar yapılmış, farklı bölgelere ait toprak örnekleriyle değişik bitki örnekleri kullanılmıştır. Doğada yapılan çalışmalardan başka, farklı konsantrasyonlarda **Cd** ve **Pb** uygulayarak yetiştirilen bitkilerde bu ağır metallerin birikimi ve toksik etkilerini inceleyen araştırmalar da bulunmaktadır. Ancak literatürde, *Ailanthus altissima* ile bu konuda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Değişik bitkilerle ve toprak örnekleriyle doğal şartlarda yapılmış bazı çalışmaların özeti **Tablo 19** ve **20**'de gösterilmiştir.

Atmosferik olarak taşınan ağır metallerin özellikle toprağın üst katmanlarında biriktiğini gösteren bir çok araştırma vardır (BERTELS ve ark. 1989). Motorlu taşıt egzozlarından çıkarak atmosfere yayılan ve zamanla yere çöken **Pb** partiküllerinin yüzeysel (0 - 5 cm) bir toprak kirliliği oluşturduğu

belirtilmektedir.. (WARD ve ark 1980). MUSKETT ve JONES (1980), topraktaki en yüksek **Cd** ve **Pb** konsantrasyonlarını otoyola 0 - 10 m uzaklıklarda bulmuşlardır. SEBÜKTEKİN ve İNEL (1976), İstanbul'da yaptıkları incelemeler sonucu, Edirnekapı durağında 235 ppm **Pb**, Haliç köprüsü üzerinde 410 ppm **Pb** ve Topkapı - Edirnekapı caddesinde 660 ppm **Pb** saptamışlardır. İNEL ve ark. (1977) ise, İstanbul'da Ankara asfaltı boyunca yaptıkları ölçümlerde otoyola 0 m. uzaklıkta 0.36 - 0.83 ppm **Cd**, 384 - 419 ppm **Pb**; otoyola 10 m. uzaklıkta 0.03 - 0.07 ppm **Cd**, 90 - 159 ppm **Pb** belirlemişlerdir.

Genel olarak otoyol ve endüstri kökenli emisyon kaynaklarının bulunduğu bölgelerden uzaklaştıkça **Cd** ve **Pb** konsantrasyonlarında azalma olmaktadır (RODRIGUEZ - FLORES ve RODRIGUEZ 1982). Otoyoldan 10 m. uzaklıktaki toprakta **Cd** miktarının %15, **Pb** miktarının ise %32 azaldığı saptanmıştır (İNEL ve ark. 1977). MARSCHNER (1983), kurşun ve çinko eritme fabrikalarına 0.75 km. uzaklıkta 7.1 ppm **Cd**, 2700 ppm **Pb**; 6 km. uzaklıkta ise 1.9 ppm **Cd**, 160 ppm **Pb** belirlemişlerdir.

#### **V.2. Doğal Koşullarda Yetişen *Allanthus altissima* Bitkisi ile Aynı Bölgedeki Topraklarda Bellirlenen **Cd** ve **Pb** Konsantrasyonları**

Çalışmamızın doğayla ilgili olan bölümünde, otoyol kenarları ile, otoyola ve endüstri bölgelerine belli uzaklıklardan toplanan *A. altissima* yaprakları ve aynı bitkilerin izdüşümünden alınan toprak örneklerindeki **Cd** , **Pb** konsantrasyonları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarımızda, **Cd** ve **Pb** konsantrasyonlarının yıkanmamış yapraklarda yıkanmışlara oranla; otoyola ve endüstri bölgelerine yakın olanlarda ise uzak olanlara göre daha fazla bulunduğu saptanmıştır.



**Tablo 19 : Otoyola uzaklığına ve taşıt yoğunluğuna bağlı olarak diğer araştırmacıların bitkilerde belirlediği Cd ve Pb konsantrasyonları (ppm)**

| Literatür               | Deney Bitkisi                     | Oto yola uzaklık | Taşıt yoğunluğu/S | Konsantrasyon (ppm) |        |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|--------|
|                         |                                   |                  |                   | Cd                  | Pb     |
| Bereket ve Yücel (1990) | Populus nigra subsp. nigra L.(y)  | 0 m.             | 298               | 0.731               | 9.06   |
|                         |                                   | 0 m.             | 1686              | 1.157               | 26.83  |
| Türkan ve Öztürk (1989) | Pinus brutia (y)                  | 0 m.             | Otoyol            | -                   | 36     |
|                         |                                   | 0 m.             | Tali yol          | -                   | 6      |
|                         | Olea europaea (y)                 | 0 m.             | Oto yol           | -                   | 7      |
|                         |                                   | 0 m.             | Tali yol          | -                   | 4      |
|                         | Nerium oleander (y)               | 0 m.             | 2133              | -                   | 27     |
|                         |                                   | 0 m.             | 263               | -                   | 4      |
| Türkan (1986)           | Morus alba (y)                    | 0 m.             |                   | 0.87                | 57     |
|                         | Eucalyptus camaldulensis (y)      | 0 m.             |                   | 0.46                | 5      |
|                         | Olea europaea var. sylvestris (y) | 0 m.             |                   | 1                   | 17     |
|                         | Pistacia terebinthus (y)          | 0 m.             |                   | 0.58                | 4      |
|                         | Zea mays L. (y)                   | 0 m.             |                   | 0.62                | 8      |
|                         |                                   | 0 m.             |                   | 0.12                | 2      |
| Yalçın ve ark. (1989)   | Çeşitli meyvalar                  | 10 m.            |                   | -                   | 20     |
|                         |                                   | 100 m.           |                   | -                   | 7.5    |
| Marschner (1983)        | Çeşitli bitkiler                  | 0.75 km.         |                   | 2.1                 | 98     |
|                         |                                   | 1.5 km.          |                   | 1.1                 | 55     |
|                         |                                   | 6 km.            |                   | 0.4                 | 12     |
|                         |                                   | 12 km.           |                   | 0.2                 | 7      |
| Milberge ve ark. (1980) | Çeşitli bitkiler                  | 0 m.             |                   | -                   | 7 - 35 |
|                         |                                   | 10 m.            |                   | -                   | 4 - 18 |
|                         |                                   | 1000 m.          |                   | -                   | 3 - 4  |

y = Yaprak

**Tablo 20 : Otoyola ve endüstri bölgelerine uzaklığına göre diğer araştırmacılar tarafından topraklarda belirlenen Cd ve Pb konsantrasyonları (ppm)**

| Literatür                          | Otoyola uzaklık | Ölçümün Yapıldığı Ülke                                                                                                                                  | Toprak Örnekleri (ppm)                                   |                                                                                              |
|------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                 |                                                                                                                                                         | Cd                                                       | Pb                                                                                           |
| Muskett ve Jones (1980)            | 0 m.<br>10 m.   | İngiltere<br>İngiltere                                                                                                                                  | 2.8<br>1                                                 | -<br>-                                                                                       |
| Kabata - Pendias ve Pendias (1984) | 0 m.<br>e<br>e  | B.Almanya<br>Hollanda<br>Japonya                                                                                                                        | 1 - 10<br>9 - 33<br>2.2 - 8.8                            | 114 - 885<br>628 - 1334<br>310 - 2100                                                        |
| İnel ve ark. (1977)                | 0 m.            | Rusya<br>ABD (Florida)<br>Çin<br>Avusturya<br>Meksika<br>Malezya<br>Japonya<br>İngiltere<br>ABD (Texas)<br>Belçika<br>Hollanda<br>ABD<br>(Pennsylvania) | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- | 19<br>75<br>80<br>85<br>179<br>182<br>195 - 242<br>20 - 400<br>720<br>859<br>893<br>977<br>- |
| Karataglis ve Alexiadis (1982)     | -               | Yunanistan                                                                                                                                              | -                                                        | 10 - 500                                                                                     |

e = Metal endüstrisine yakın bölge.

Bu bize, atmosfere savrulan ve daha sonra yaprak yüzeyinde biriken ağır metallerin bir kısmının yağışlarla yıkanarak giderilebildiğini (HAGEMEYER ve ark. 1986) ve motorlu taşıtların otoyol kenarında yüksek miktarda **Cd** , **Pb** birikimine neden olduğunu göstermektedir (INEL ve ark. 1977; MUSKETT ve JONES 1980; MILBERGE ve ark. 1980; MARSCHNER 1983; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984 ; TÜRKAN 1986; YALÇIN ve ark. 1989; TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989; BEREKET VE YÜCEL 1990).

KABATA - PENDIAS ve PENDIAS (1984)'ın belirttiğine göre otoyol kenarından toplanan *Zea mays L.* (mısır) yapraklarının yıkanmış olanlarında 16 ppm, yıkanmamışlarda ise 24 ppm **Pb** bulunmaktadır. Ancak, **Cd** ve **Pb** farklı özelliklere sahip ağır metaller olmaları nedeniyle gerek yapraklarda gerekse tüm bitkide değişik oranlarda birirmektedir. **Cd**, toprakta çözünebilmesi ve kökler tarafından kolay alınabilmesinin yanısıra yaprak yüzeyinde de tutunarak birikebilmektedir. Ayrıca kadmiyumun kökler aracılığı ile kurşundan 8 kez daha kolay alınabildiği belirtilmiştir. **Pb** ise, topraktaki hareketi ve çözünürlüğü zor bir ağır metal olduğundan, köklerle alınımı da güçtür. **Cd** gibi yaprak yüzeyinde tutunamaz ve yağışlar sonucunda yapraklardan temizlenmesi daha kolaydır (LAGERWERFF 1971; HAGHIRI 1973; LERCHE ve BRECKLE 1974; CUTLER ve RAINS 1974; ARVIK ve ZIMDAHL 1974a; LEPP 1981; HAGEMEYER ve ark. 1986; KAHLE 1988; YALÇIN ve ark. 1989; QUIEROLO ve ark. 1989).

Deney sonuçlarımıza göre, yapraklardaki **Cd** konsantrasyonunu topraklardaki **Cd** konsantrasyonuyla karşılaştırdığımızda, yapraklarda daha yüksek oranlarda **Cd** bulunduğunu gördük. **Pb**'un ise topraktaki konsantrasyonu yapraklara göre çok daha fazladır (TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989).

Yukarıda da belirtildiği gibi bu veriler, kadmiyumun kurşuna göre daha kolay alınarak birikime neden olduğunu, kurşunun ise zor alınan bir ağır metal olması nedeniyle bitkiden çok toprakta biriktiğini düşündürmektedir (LEPP 1981; HAGEMeyer ve ark. 1986).

Araştırmamızdan elde ettiğimiz bulgulara göre, trafiğin yoğun olduğu otoyol çevresinden ve endüstri bölgelerinden uzaklaştıkça kadmiyum miktarı gerek yapraklarda ve gerekse aynı bölgenin topraklarında azalmaktadır. Örneğin, otoyola 10 m. uzaklıktaki bölgeden sağlanan *A. altissima* yapraklarında 1.14 ppm Cd, 20 m. uzaklıkta 1.13 ppm Cd ve 60 m. uzaklıkta ise 0.69 ppm Cd bulunmuştur. Aynı bölgelerdeki toprak Cd değerleri ise sırasıyla, 0.62 ppm, 0.41 ppm, 0.19 ppm Cd şeklindedir (Tablo 8 ve Şekil 1,2,3).

Pb ölçümlerinde ise elde ettiğimiz sonuçlar, Cd ölçümleriyle aynı doğrultudadır. Emisyon kaynağından uzaklaştıkça gerek yapraklarda, gerekse topraklardaki kurşun konsantrasyonu düşmektedir. Otoyoldan 1m. uzaklıktaki bitki yapraklarında 63.9 ppm Pb, 20 m. uzaklıkta 37.4 ppm Pb ve 60 m. uzaklıkta ise 30.7 ppm Pb ölçülmüştür. Aynı bölgelerden sağlanan topraklarda ise bu değerler sırasıyla, 370.2 ppm, 171.1 ppm ve 100.2 ppm Pb şeklindedir (Tablo 9 ve Şekil 1,4,5).

Ağır metallerin yaprak ve topraklardaki birikimi emisyon kaynağından uzaklığının yanı sıra bölgenin konumu, rüzgârın yönü, mevsim, yağışlar ve taşıt yoğunluğu gibi faktörlerle de etkilenmektedir (FIDORA 1972; MILBERGE ve ark. 1980; MARSCHNER 1983; KABATA - PENDIAS ve PENDIAS 1984; TÜRKAN 1986; YALÇIN ve ark. 1989; TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989; BERKET ve YÜCEL 1990). Bulgularımız yukarıda belirttiğimiz araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir.

### V.3. Otoyol Kenarlarındaki Cd ve Pb'un Bitkilerin Türüne Göre Birikimi

Otoyol kenarlarına ya da diğer emisyon kaynaklarına yakın bulunan bitkilerin türlerine ve bazı özelliklerine göre de bu ağır metallerin birikimi farklılık göstermektedir (Tablo 19). TÜRKAN ve ÖZTÜRK (1989), tüylü yapraklara sahip *Cistus creticus* (lâden) örneğinde 8-56 ppm Pb, yoğun dallanma gösteren *Pinus brutia* (kızılçam)'da 6 - 45 ppm Pb, tüysüz yapraklara sahip *Olea europaea* (zeytin) bitkisinde ise 4 - 7 ppm Pb belirlenmişlerdir BEREKET ve YÜCEL (1990) ise *Populus nigra* subsp. *nigra* L. yapraklarında 0.731 - 1.157 ppm Cd, 9.06 - 26.83 ppm Pb saptamışlardır.

Otoyol kenarlarından toplanan, hafif tüylü ve özellikle orta damarları tüylü *Ailanthus altissima* yapraklarında ise 16 - 67 ppm Pb ve 0.6 - 1.20 ppm Cd birikimi ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar tüylü yaprakların ağır metalleri daha çok biriktirdiğini göstermektedir (TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989, YALÇIN ve ark. 1989).

Bu ağır metallerin birikimi sonucunda *P. brutia*, *C. creticus* (TÜRKAN ve ÖZTÜRK 1989), *Plantago lanceolata* (WU ve ANTONOVICS 1986), *Festuca rubra* (ATKINS ve ark. 1982) ya da *A. altissima* gibi herhangi bir anomali veya toksik belirti göstermeyen bitkilerin kirlenmenin yoğun olduğu bölgelere dikilerek, Cd ve Pb aerosollerini kısmen tutabileceklerini ve bu sayede çevre kirlenmesine bir önlem getirebileceği düşünülebilir.

#### V.4. Farklı Cd Konsantrasyonlarında ve Farklı Özelliklere Sahip Ortamlarda Yetiştirilen Bitkilerde Cd Birikimi

Ağır metallerin bitkilerde birikiminin farklılık göstermesi, bunların konsantrasyonu ve bitkinin türünden başka yetiştirme ortamının değişik özelliklere sahip olmasından da kaynaklanmaktadır.

Atmosferik olarak taşınan ağır metallerin orman ekosistemlerinde üst toprak horizonlarında biriktiği ve özellikle asit yağmurları nedeniyle Orta Avrupa'nın orman topraklarındaki asitleşme sonucunda ağaç köklerine toksik etki gösterdiği saptanmıştır (BERTELS ve ark. 1989).

BINGHAM ve ark. (1980), *Oryza sativa* (pirinç), CHANEY ve ark. (1976) ise *Glycine max L.* (soya fasulyesi) bitkilerini yetiştirdikleri ortamın pH'sı düştükçe bitkilerdeki Cd konsantrasyonunun arttığını saptamışlardır.

2µg/g Cd içeren toprakda yetiştirilen *Beta vulgaris var. Cicla* (pazı) yapraklarında toprak pH'sı 4.5 olduğunda 16 ppm Cd, pH 7.4 olduğunda ise 7.2 ppm Cd birikimi kaydedilmiştir (LEPP 1981).

Ortamdaki Cd konsantrasyonu arttıkça bitkide biriken Cd konsantrasyonu da artmaktadır. Uygulanan ağır metal konsantrasyonunun artması ile özellikle kökte birikimin arttığı, ancak bunun bitki türü ve yetiştirme ortamı özellikleri ile substrata da bağlı olduğu belirtilmiştir (BROWNE ve ark. 1984, KAHLE 1988).

*Zea mays L.* (mısır) bitkisindeki Cd miktarının, toprağa uygulanan Cd miktarı arttıkça buna paralel olarak arttığı (SINGH ve NAYYAR 1981) ve uygulanan Cd konsantrasyonu yükseldikçe bitkideki birikimin fazlalaşması ile doyum noktasına çok daha çabuk ulaşıldığı kaydedilmiştir (STRICKLAND ve ark. 1979).

KELLY ve ark. (1979) kum kültüründe yetiştirilen 5 farklı ağağ türüne 17 hafta süreyle Cd uygulamış ve birikimin daha çok köklerde olduğunu kaydetmiştir. Farklı Cd konsantrasyonlarıyla *Fagus sylvatica* L. (kayın) bitkisi ile yapılan bir araştırmada, 6 hafta süre ile 1,3,7 ve 21 ppm Cd uygulanmış ve bu srenin sonunda köklerin sırasıyla 68,24,261 ve 777 ppm Cd biriktirdiği belirlenmiştir (BERTELS ve ark. 1989).

KAZIMIR ve BRENNAN (1986), *Quercus palustris* Muenchh. (meşe) fidelerini kum kültüründe 0.1 µg/ml Cd ekledikleri Hoagland besi çözeltisi ile yetiştirmiş ve yapraklarda 2.13 µg/g, köklerde 23.05 µg/g Cd birikimi saptamışlardır.

GINGAS ve ark. (1983), *Populus androscoggin* ve *Helianthus annuus "mammoth"* bitkilerini yetiştirdikleri toprağa 0.13, 0.29, 0.62, 3.20 ve 3.20 µg/g Cd eklemiş, sonuç olarak kök ile yapraklardaki Cd konsantrasyonlarının topraktaki Cd konsantrasyonu arttıkça fazlalaştığını belirlemişlerdir.

Bir başka çalışmada, kum kültüründeki *Fagus sylvatica* L. bitkisine 6 hafta süreyle 1, 5, 25, 75 ppm Cd uygulanmış ve yapraklarda sırasıyla 0.4, 0.6, 0.8, 1.3 ppm Cd, köklerde ise 150, 400, 1200 ve 3650 ppm Cd birikimi olduğu saptanmıştır (KAHLE ve BRECKLE 1986).

Farklı ailya veya türe ait bitkilerde Cd birikiminde farklı olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (BINGHAM ve ark. 1976). TURNER (1973), 1 µg/ml Cd içeren çözelti ile *Daucus carota* L. (havuç) ve *Lycopersicum esculentum* Mill. (domates) bitkilerini yetiştirmiş ve *D. carota* L. yapraklarında 2.2 µg/g *L. esculentum* Mill. yapraklarında ise 150 µg/g Cd birikimi saptamıştır. JOHN (1976), 11 gün süreyle 1 ppm Cd uygulanan *Avena sativa* (yulaf) köklerinde 181 ppm Cd, *Lactuca sativa* (marul) köklerinde ise 135 ppm Cd biriktiğini belirlemişlerdir.

Diğer bir araştırmada sırasıyla 0.1 ppm ve 10 ppm Cd uygulanarak yetiştirilen farklı bitkilerin yapraklarında kadmiyum birikimi şöyle belirlenmiştir:

| Bitkiler                                      | 0.1 ppm Cd | 10 ppm Cd  |
|-----------------------------------------------|------------|------------|
| <i>Beta vulgaris L.</i><br>(Şeker pancarı)    | 0.8 ppm Cd | 47 ppm Cd  |
| <i>Lepidium sativum L.</i><br>(kıvırcık tere) | 2.4 ppm Cd | 89 ppm Cd  |
| <i>Spinacia oleacea L.</i><br>(ispanak)       | 3.6 ppm Cd | 160 ppm Cd |

Bu veriler Cd birikiminin farklı bitki türlerinde farklılık gösterdiğini belirtmektedir (LEPP 1981).

Bir diğer araştırmada 0.1 mg/lt Cd uygulayarak yetiştirilen *Zea mays L.* bitkisinin yapraklarında 90 ppm, *Beta vulgaris L.* yapraklarında ise 280 ppm Cd biriktiği saptanmıştır (PAGE ve ark. 1972).

LEPPER (1978), kültür solüsyonlarındaki bitkilerde kadmiyumun daha fazla alınabildiğini ve 0.01 mg/lt Cd içeren 12.5 lt'lik çözeltideki kadmiyumun yarısının 3 gün içinde bitki tarafından alınarak %70'inin köklerde biriktirildiğini rapor etmiştir.

Cd'un diğer organlara göre köklerde 20 - 100 kez daha fazla biriktiği, az miktarlarda ise gövde nodyumları, petiol ve yaprakların ana damarlarında bulunduğu belirtilmiştir (KABATA PENDIAS ve PENDIAS 1984; HAGEMEYER ve ark. 1986; HAGEMEYER ve WASEL 1989a). İletim bölgelerinde, ya da köklerin endodermis bölgesinde, kadmiyumun köklerden yapraklara taşınmasında bir engel olduğu, bu nedenle yapraklarda ve gövdede köklere göre daha az Cd biriktiği CUNNINGHAM ve ark (1975) tarafından ileri sürülmektedir.



HAGEMeyer ve ark (1986) *Fagus sylvatica* L. fidelerine 0.2 ve 1.0 ppm Cd uygulamışlar ve köklerde bulunan kadmiyumun yaprak ve gövdelere göre çok daha fazla olduğunu açıklamışlardır.

Çeşitli sera ve doğa koşullarında Cd ile yapılan deneylere göre, saksılarda yetiştirilen bitkilerin aynı konsantrasyonlarda doğal şartlarda yetiştirilenlerden daha çok Cd içerdiği ve bunun da kök sisteminin gelişmesi ile ilgili olduğu; doğada köklerin Cd ile kirlenmiş bölgenin altına inebildiği, saksılarda ise bunun mümkün olmadığı belirtilmiştir (LEPP 1981).

Su kültürleri ile yapılan deneylerde sonuçların daha çabuk alınmasına ve toksik etkilerin daha erken ortaya çıkmasına rağmen, doğaya yakın koşulları kapsamaması ve havalandırmaya gerek duyulmaması nedeniyle (KAHLE 1988), bizim araştırmamızda kum kültürleri tercih edilmiştir.

#### **V.5. Farklı Cd Konsantrasyonlarında Yetiştirilen**

##### ***Allanthus altissima* Bitkisinde Cd Birikimi**

0.1, 0.25, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm Cd uygulayarak iklim odası koşullarında yetiştirilen *A. altissima* fidelerinde en fazla kadmiyum birikimi köklerde, daha sonra sırasıyla gövde ve yapraklarda ölçülmüştür. 0.1 ppm Cd uygulandığında yapraklarda biriken kadmiyum 1.50 ppm, gövdede 2.06 ppm, köklerde ise 14.63 ppm'dir. 5 ppm Cd uygulamasında ise bu birikim aynı sıraya göre 23.31, 30.4 ve 298.43 ppm'dir. Yetiştirme ortamındaki 50 ppm Cd ise yapraklarda 67.88 ppm, gövdede 95.56 ppm, köklerde ise 1000 ppm Cd birikimine neden olmuştur.

7 hafta süreyle kum kültürlerine uygulanan ve pH değerleri ortalama 4.7 olan farklı Cd konsantrasyonları, daha önce belirtilen diğer araştırmalarda olduğu gibi köklerde diğer organlara göre oldukça yüksek konsantrasyonlarda birikime yol açmıştır. Köklerde biriken Cd, 100 olarak kabul edildiğinde, gövdelerdeki birikim kökün %7.8 - 17.8'i, yapraklardaki birikim ise kökün %6.5 - 10.3'ü arasında değişmektedir. Sonuçlarımız, JOHN (1976), LEEPER (1978), SINGH ve NAYYAR (1981), LEPP (1981), GINGAS ve ark. (1983), KABATA - PENDIAS ve PENDIAS (1984), HAGEMEYER ve ark. (1986), KAHLE ve BRECKLE (1986), KAHLE (1988), HAGEMEYER ve WASEL (1989a), BERTELS ve ark. (1989) ile paralellik göstermektedir.

Bunun yanı sıra, yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonları Cd'un transfer faktörüne de etki etmiştir. Konsantrasyon arttıkça yaprak, gövde ve köklerin Cd alımı düşmüştür (KAHLE 1988). Buna göre bitkilerde en fazla Cd absorpsiyonu 0.1 - 0.25 ppm Cd arasında belirlenmiştir. Yapraklardaki Cd transfer faktörü, 0.1 ppm Cd konsantrasyonunda 15, 0.25 ppm'de ise 14.52'dir. 50 ppm Cd konsantrasyonu için ise bu değer 1.34'tür. Sonuçlarımız, KAHLE (1988) ile uyum göstermektedir. Ayrıca, belli bir konsantrasyondan sonra bitkinin kadmiyumla doyma noktasına ulaştığını da doğrulamaktadır (STRICKLAND ve ark 1979).

#### **V.6. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Taze, Kuru Ağırlığa ve Su Miktarına Etkisi**

Ağır metallerden bazılarının fitotoksisite sıralaması şöyledir:  $Cd > Ni > Pb > Zn$ . Toksisitesi en yüksek ağır metal olan Cd birikiminin ardından meydana gelebilen toksik etkiler, farklı Cd konsantrasyonları ve bitkilerin özellikleri ile değişim göstermektedir.

Kadmiyumun bitkilerin taze ve kuru ağırlıklarına etkisi ile ilgili bir araştırmada, 14 gün süre ile 0.6, 2.3, 5 ve 20 ppm Cd eklenen besi çözeltilisinde yetiştirilen *Beta vulgaris* fidelerinin kök, gövde ve tüm bitki olarak taze ve kuru ağırlıklarını düşürdüğü belirlenmiştir (GREGER ve ark. 1988).

Yem bitkilerinde, 5 - 10 ppm Cd'un kritik konsantrasyon olduğu ve kuru ağırlığı azalttığı saptanmıştır (KLOKE ve ark 1984). DANG ve ark (1990), *Allium cepa* ve *Trigonella pocnumgraceum* bitkilerine 50, 100, 200, 400, mg/kg Cd içeren seriler uygulamışlar ve 50 mg/kg Cd konsantrasyonundan itibaren her iki bitkinde taze ve kuru ağırlıklarının düştüğünü kaydetmişlerdir.

*Glycine max* L. bitkisine verilen 18 µM Cd'un fotosentetik aktiviteyi %60 inhibe ederek karbonhidrat birikimini engellediği ve tüm bitkinin genel taze ve kuru ağırlığını %35 indirgediği belirtilmiştir (HUANG ve ark 1974,. CEDENO- MOLDANO ve ASCENIO 1976). GREGER (1989), Cd'un karbonhidrat aktivitesini düşürerek büyüme için gerekli madde yapımını azalttığını ve kuru madde miktarına olumsuz etki ettiğini saptamıştır.

Buna karşın, VÖGELİ - LANGE ve WAGNER (1990), 1 hafta süreyle 20 µM uygulanan *Nicotiana rustica* var. *Pavonii* (tütün) bitkisinin yapraklarının taze ağırlığında belirli bir değişiklik görmemişlerdir. GINGAS ve ark. (1983) ise *Populus androscoggin* ve *Helianthus annuus* "mammoth" bitkilerine 0.13 - 13. 20 µg/g olarak verdikleri Cd sonucunda, bitki organlarının kuru ağırlığında olumsuz bir değişiklik belirleyememişlerdir.

Bazı bitkilere çok düşük konsantrasyonlardaki Cd toksik etki gösterirken (Örn.: *Allium cepa* (mutfak soğanı) için kritik konsantrasyon 1.5 ppm'dir) diğer bitkilerde çok daha yüksek konsantrasyonlar etkili olmaktadır.

Bizim çalışmamızda Cd, *A. altissima* organlarının taze ve kuru ağırlığını 10 - 50 ppm arasında olumsuz yönde etkilemiştir. Buna göre ortamda artan Cd konsantrasyonu ile bitkideki Cd birikimi artmış ancak özellikle 10 - 50 ppm Cd uygulaması ile yapraklarda biriken 27.59 - 67.88 ppm , gövdelerde 32.00 - 95.56 ppm , köklerde ise 309.69 - 1000 ppm arasında biriken Cd sonucunda bu olumsuz etkiler izlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak madde yapımının azaldığını söylemek mümkündür (CEDENO-MOLDANO ve ASCENIO 1976). Bulgularımız, HUANG ve ark. (1974), KLOKE ve ark. (1984), GREGER ve ark. (1988), DANG ve ark. (1990) ile paralellik göstermektedir. Kuru madde miktarındaki kaybın, yalnız kadmiumun toksik etkisine değil, ortamdaki ağır metal nedeniyle bitki büyümesinde etkili olan bazı biyoelementlerin alınamamasına da bağlandığı belirtilmiştir(KAHLE 1988).

POSCHENRIEDER ve ark. (1989), su kültürlerindeki *Phaseolus vulgaris* bitkisine 48 saat süreyle Cd vermiş ve yaprakların taze ağırlığının kuru ağırlığından daha çok etkilendiğini, Cd içeren yaprakların kontrole göre daha az su miktarına sahip olduğunu ve bunun sonucu olarak yapraklarda belirgin bir turgor kaybının bulunduğunu gözlemişlerdir. BARCELÓ ve ark. (1989), *Phaseolus vulgaris* L. cv Contender bitkisine 3 hafta süreyle Cd uygulamış ve 5 ppm Cd'un bitkinin su metabolizmasında olumsuz değişikliklere yol açtığını belirlemiştir.

Bazı araştırmalarda elde edilen sonuçlara göre artan Cd konsantrasyonu ile yapraklardaki transpirasyonun, yani su kaybının arttığı ve böylece bitkide su miktarının düştüğü kaydedilmiştir(HAGEMEYER ve ark. 1986; HAGEMEYER ve WAISEL 1989b; KAHLE 1988). Uzun süreli kadmiyum uygulaması sonucu su metabolizmasının bozularak hücrelerin turgorlarını ve dolaylı olarak çeperlerin esnekliğini kaybettiği ileri sürülmektedir (MARSCHNER 1983).

Araştırmamızda, yapraklar dışındaki *A.altissima* organlarında su miktarında bir değişiklik saptanamamıştır. Farklı konsantrasyonlardaki Cd uygulaması sonucunda yapraklarda kontrole göre %2'lik bir su kaybı meydana gelmiştir. Bu olay kadmiyumun bitkide su metabolizmasını olumsuz etkilediği sonucunu düşündürmektedir(MARSCHNER 1983; HAGEMEYER ve ark.1986; HAGEMEYER ve WAISEL 1989b; POSCHENRIEDER ve ark.1989).

#### V.7. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Büyümeye Etkisi

Kadmiyumun bitkilerin büyümesine olan etkilerini inceleyen araştırmalarda, artan Cd konsantrasyonlarının bitkilerin büyümesine engel olduğu belirtilmiştir (TURNER 1973, BINGHAM ve ark.1976,1980). Büyümenin engellenme oranı bitki türlerine ve ortamın Cd konsantrasyonuna göre farklılık göstermektedir.

CATALDO ve ark (1981,1983), *Glycine max L.* (soya fasülyesi) ile yaptıkları deneyde ortamdaki 1µM Cd'un büyümede %50 indirgenmeye neden olduğu, *Hordeum vulgare L.*(arpa) bitkisinde ise 40 µM kadmiyumun aynı indirgenmeyi sağladığını belirlemişlerdir. Büyümede indirgenme ile ilgili benzer sonuçlar CUNNINGHAM ve ark.(1975), SMITH ve ark.(1985)'nin araştırmalarında da saptanmıştır.

RÜEGSEGGER ve ark (1990), *Pisum sativum* L. (bezelye) bitkisi ile yaptıkları çalışmada kök ve gövde büyümesinin 5, 20 ve 50  $\mu$ M Cd içeren ortamda belirgin oranda indirgendiğini ispatlamışlardır. BARCELÓ ve ark. (1989), su kültürlerindeki *Phaseolus vulgaris* L. cv Contender bitkisine 48 saat süreyle 0.3 ppm Cd uygulamışlar, sonuçta köklerin ve yaprakların büyümesinin olumsuz etkilendiğini belirlemişlerdir.

KAZIMIR ve BRENNAN (1986), *Quercus palustris* Muenchh. fidelerinde 0.1  $\mu$ g/ml Cd ile büyümede herhangi bir fark gözlenmediğini kaydetmişlerdir. CLARKE ve BRENNAN 1980 ise *Populus tremuloides* Michx. ile yaptıkları deneyde 30 gün süreyle 1 ppm Cd uygulamışlar ve gövdelerde kontrole göre bir uzama belirlemişlerdir. Bu sonuç, düşük Cd konsantrasyonlarında *Fagus sylvatica* L. bitkisinde de saptanmıştır. Fakat Cd'un büyümeyi teşvik edici etkisinin nedenleri açıklanmamıştır (KAHLE 1988).

Araştırmamızda, farklı Cd konsantrasyonları uygulanan *A.altissima* bitkisinin gövde uzunluklarında, 0.1 - 5 ppm Cd konsantrasyonları arasında kontrole göre belirgin bir fark kaydedilmemiştir. 10,20,30,40 ve 50 ppm'lerde ise gözle görülür bir fark ortaya çıkmıştır. 50 ppm Cd uygulanan bitkilerin gövde uzunluklarında kontrole göre % 50 'ye yakın bir indirgenme söz konusudur. Bu sonuç, Cd'un özellikle 10 ppm'den itibaren *A.altissima* 'daki madde yapımını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Büyümenin kadmiyumun etkisiyle engellenmesi, kökün ve enzim sistemlerinin zarar görmesine ve mitoz bölünmenin olumsuz etkilenmesine bağlanmaktadır (LAGERWERFF 1967; PAGE ve ark 1972; WEIGEL ve JAGER 1980a, 1980b). Ayrıca, ortamdaki Cd gibi ağır metallerin, Mg, Mn, Zn, ve Fe gibi bitki büyümesinde etkili biyoelementlerin alımını olumsuz yönde etkileyerek dolaylı olarak büyümeyi engellediği belirtilmiştir (BERGMANN 1983; KAHLE 1988).

Verilerimiz, TURNER (1973), BINGHAM ve ark. (1976, 1980), CATALDO ve ark. (1981, 1983), SMITH ve ark. (1985), KAZIMIR ve BRENNAN (1986), RÜEGSEGGER ve ark. (1990)'nın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

#### **V.8. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Klorofil Miktarına Etkisi**

STOBART ve ark. (1985), *Hordeum vulgare* L. cv. Proctor fidelerinde Cd'un klorofil biyosentezine etkilerini incelemiş ve klorofil yapımının Cd ile inhibe olduğunu belirlemişlerdir. BASZYNSKI ve ark.(1980), Cd'un *Lycopersicum esculentum* L. bitkisindeki fotosentezi etkilemeden önce, klorofil biyosentezini inhibe ettiğini saptamıştır. KAZIMIR ve BRENNAN (1986), *Quercus palustris* Muenchh fidelerinde Cd'un klorofil miktarını düşürdüğünü kaydetmişlerdir.

GREGGER ve ÖGREN (1988) *Beta vulgaris* L. cv. Monohilli bitkisini 4 hafta süreyle, tam besi çözeltisine 5, 10,20  $\mu$ M Cd ekleyerek yetiştirmiş ve 5 ppm'e kadar klorofil miktarında herhangi bir indirgenme olmamasına rağmen 20 ppm'de %75'e varan bir azalma saptamışlardır. Kloroplastlarda fotofosforilasyonu ve ayrıca klorofili olumsuz etkileyerek fotosentezi inhibe ettiğini belirten araştırmalar bulunmaktadır (LUCERO ve ark. 1974; BAZZAZ ve ark. 1974; CARLSON ve ark. 1975). Bu sonuçların ortamdaki kadmiyum konsantrasyonuyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Van AASCHE ve CLIJSTERS 1990).

Bizim araştırmamızda, ortamda artan kadmiyum konsantrasyonları ile *A. altissima* yapraklarının klorofil miktarında azalma olduğu belirlenmiştir. Klorofil miktarındaki indirgenme 0.1 - 5 ppm arasındaki Cd konsantrasyonlarda oldukça

düşük, ancak 10 - 50 ppm arasında belirgindir. Cd uygulanan serilerdeki klorofil miktarında, kontrole göre %50'ye varan bir indirgenme saptanmıştır. Verilerimiz yukarıdaki araştırmalardan elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir (BAZZAZ ve ark. 1974; CARLSON ve ark. 1975; BASZYNSKI ve ark. 1980; GREGER ve ÖGREN 1988).

#### V.9. Farklı Cd Konsantrasyonlarının Bitkilerin Morfolojik Görünümlerine Etkisi

Kadmiyumun genel olarak hem otsu hem de odunlu bitkilerde kloroza neden olduğu ileri sürülmektedir (BERGMANN 1983). 1 - 100 ppm Cd uygulanarak kum kültürlerinde (uzun süreli ) yetiştirilen *Quercus palustris* yapraklarında kloroz ve nekroz gözlemlenmiştir (RUSSO ve BRENNAN 1979).

SMITH ve BRENNAN (1974), 5-20 ppm Cd'un kum kültürlerindeki *Acer saccharinum* yapraklarında, demir alımının azalması ile birlikte oluşan kloroz meydana getirdiğini kaydetmişlerdir. Aynı yöndeki bulgular, *Pinus strobus*, *Acer rubrum* ve *Picea abies* yapraklarında MITCHELL ve FRETZ (1977) tarafından saptanmıştır. PORTER ve SHERIDEN (1981), *Medicago sativa* L. bitkisinin 0.01 - 100  $\mu\text{g Cd}^{2+}/\text{ml}$  arasında toksik semptom göstermediğini, 100  $\mu\text{g Cd}$  uygulaması sonucunda ise hafif yaprak solması, petiol diplerinde kloroz, bazı yapraklarda kırmızı renklenme ile görülen antosiyan yapımı kaydetmişlerdir. GREGER ve LINDBERG (1987), *Beta vulgaris* L. cv Monohill bitkisini 5 hafta süreyle su kültürlerinde yetiştirmiş ve 0.5 - 50  $\mu\text{M Cd}$ 'un yaprakları incelterek Mg ve Fe eksikliğine bağlı kloroza neden olduğunu, ayrıca büyümede indirgenme ve Ca eksikliğine bağlı olarak yan köklerde kısılma ve kahverengileşme belirlemişlerdir.



HAGEMEYER ve ark. (1986), *Fagus sylvatica* L. bitkisinde köklerin Cd'un etkisi ile kahverengileşip kısaldığını, yaprakların kloroz gösterdiğini, yapraklarda kahverengi noktalar, yaprak damarları ve petiollerde kırmızımsı renk oluştuğunu, yaprakların kıvrıldığını gözlemlemişlerdir. Bir başka çalışmada *Tamarix aphylla* (ılgın) köklerinin Cd ile mavimsi siyah bir renk aldığı belirlenmiştir (HAGEMEYER ve WASEL 1989b). DANG ve ark. (1990) *Allium cepa* bitkisine 200 mg Cd/kg uygulandığında, yapraklarda kloroz ve daha sonra nekroz meydana geldiğini bulmuşlardır.

Bir diğer araştırmada ise, *Glycine max* L. bitkisine verilen 0.05 ve 0.30 ppm Cd'un yapraklarda damarlar arası kloroza neden olduğu kaydedilmiştir (SMITH ve ark. 1985). Cd'un fitotoksik mekanizması tam olarak anlaşılamamasına rağmen (SMITH ve ark. 1985), bazı çalışmalarda bitkinin iletim sistemindeki engellerin yapraklarda besin dengesizliği ve eksikliğine yol açarak damarlar arası klorozu oluşturduğu belirtilmiştir (GAUCH 1973). Demir eksikliğinde karakteristik olarak meydana gelen bu semptom demirin taşınmasında kadmiyumun engel teşkil ettiğini düşündürmektedir (CUNNINGHAM ve ark. 1975; RAUSER 1978, SMITH ve BRENNAN 1985). MALONE ve ark. (1977), GREGER ve LINDBERG (1987), Cd'un kofaktör olarak demire gereksinim duyan enzim sistemlerine etki ettiğini öne sürmüştür. Aşırı ağır metal alımı, bitki için gerekli diğer elementlerin alımını bozarak katyon dengesini olumsuz etkilemektedir (JOHN 1976).

Bu verilerden başka, KAZIMIR ve BRENNAN (1986), *Quercus palustris* Muenchh fidelerinde 0.1 µg/ml Cd ile köklerin enine geliştiğini gözlemlemişlerdir. CLARKE ve BRENNAN (1980) ise, 30 gün süren 1.0 ppm Cd uygulaması ile *Populus tremuloides* Michx bitkisinde yaprak sayısında artma görmüşlerdir.

Bizim araştırmamızda, farklı Cd konsantrasyonlarında, özellikle 10, 20, 30,40, 50 ppm Cd uygulanan serilerde damarlar arası hafif kloroz, bazı yaşlı yaprakların sararıp düşmesi ya da yaprak uçlarının kuruyup kıvrılması, gövde internodyumlarının kısılması ve gövde büyümesinde indirgenme, bunun yanısıra yüksek konsantrasyonlarda bazı yapraklarda sarı - kahve beneklerle bileşik yaprak oluşumu ve yaprak yüzeylerinde küçülme meydana gelmiştir.

5 ppm Cd uygulamasından itibaren köklerde sarı- kahve renk meydana gelmiş ve özellikle 10 - 50 ppm Cd konsantrasyonları arasında ise köklerde kısılma belirlenmiştir.

Bitkilere genel olarak bakıldığında, 0.1 ve 0.25 ppm Cd uygulanan serilerdeki değişiklik belirgin değildir. 1.25 - 5 ppm arasında biraz artmaya başlayan toksik etkiler, 10 - 50 ppm Cd uygulamasında iyice fazlalaşmış ve bitkilerdeki gövde kısılığı, yaprak küçülmesi ile hafif kloroz gözle görülür düzeye gelmiştir. Bütün bu olumsuz belirtiler *Ailanthus altissima* 'da en yüksek kadmiyum konsantrasyonunda bile aşırı dereceye varamamıştır.

Bizim bulgularımız belirttiğimiz bazı araştırmacıların bulgularıyla kısmen paralellik göstermektedir (SMITH ve BRENNAN 1974; CUNNINGHAM ve ark. 1975; MITCHELL ve FRETZ 1977; RAUSER 1978, RUSSO ve BRENNAN 1979, SMITH ve ark. 1985, HAGEMeyer ve ark. 1986; GREGER ve LINDERG 1987).

***Allanthus altissima*** 'nın 50 ppm gibi oldukça toksik bir Cd konsantrasyonuna 7 hafta süre ile dayanması ve bazı toksik semptomlar gösterse de yaşamını sürdürmesi bir tolerans mekanizmasına ya da enzim sistemine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Genel olarak bitkideki enzim stimülasyonu, toksik metale karşı olan dolaylı bir reaksiyondur. Membran düzeyinde yapılan araştırmalar, plazma membranının metalin ilk girdiği fonksiyonel yapı olması nedeniyle ATPaz gibi metale duyarlı enzimler içerdiğini göstermiştir. Belli bir ağır metal, toksik konsantrasyona ulaştığı zaman bu, bitki için stres noktasıdır. Stres noktasında bitkide biomasın olumsuz yönde etkilenmesi ve senesens gibi belirtiler ortaya çıkar. Bu düzeydeki değişiklik bazı enzim aktivitelerinin artmasıyla olur. Örneğin, POD (peroksidaz) yüksek bitkilerin toksik metal konsantrasyonlarına karşı bir reaksiyon sonucunda stimüle olur. POD, kök ve yapraklarda toksik Cd konsantrasyonları uygulamasından sonra belirlenmiştir (Van ASSCHE ve CLIJTERS 1990). Bununla birlikte bazı bitkiler ağır metalleri topraktaki konsantrasyonlardan daha fazla biriktirebilirler. Bazıları ortamdakiyle orantılı olarak, bir kısmı ise daha çok köklerinde biriktirerek ya da gutasyonla dışarı atarak toksik etkileri en aza indirebilirler, bir başka deyişle tolerans gösterebilirler (KECK 1978; BAKER 1981 ; FARAGO 1981; CATALDO ve ark. 1983; FITTER ve HAY 1983; KAHLE 1988).

Bu mekanizmaların dışında, ağır metallerle kompleks oluşturmak için  $(\gamma\text{-glu} - \text{cys})_{n=2-11}$  yapısında **fitokelatin** olarak adlandırılan peptid formasyonu meydana gelebilir. Fitokelatinler ağır metal iyonlarının detoksifikasyonunda önemli rol oynarlar (RÜEGSEGGER ve ark. 1990) ve bitkilerin yüksek oranlarda Cd içerdiği durumlarda bile toleransı sağlayabilmek için sürekli mücadele halindedirler (KROTZ ve ark. 1989).

Ağır metal bağlayan peptidler glutationdan sentezlenirler (GRILL 1987; SCHELLER ve ark. 1987; GRILL ve ark. 1989). Sisteince zengin olan bu  $\gamma$  - glutamil peptidler Cd ile aşırı derecede stimüle olurlar (REESE ve WAGNER 1987). KROTZ ve ark. (1989), *Nicotiana tabacum* (tütün) bitkisine Cd uygulayarak yaptıkları araştırmada elde edilen peptidlerin tipik Cd - bağlayan peptid yapısında olduğunu ve kadmiyuma duyarlı olan vakuol dışı hücre kısımlarında toksik etkilerden korunmayı sağladığını belirlemişlerdir.

VÖGELI - LANGE ve WAGNER (1990), su kültüründe yetiştirilen tütün fidelerine 20  $\mu$ M Cd uygulandığında CdBP'lerin sentezinin arttığını saptamışlardır. Ağır metaller organik moleküllerle kelat oluşturduğunda, hücre içindeki serbest toksik metal konsantrasyonu düşürülmüş olur. CdBP'ler bu şekilde Cd detoksifikasyonunu sağlarlar. Ancak CdBP'lerin basit bir kelat oluşturma mekanizmasından çok, taşıyıcı işlevi görüp kadmiyumu vakuole taşıdığı ve toksik etkileri ortadan kaldırdığı düşünülmektedir (WOOLHOUSE 1983; VÖGELI - LANGE ve WAGNER 1990).

Cd gibi ağır metal iyonları, enzimlerin ya da yapısal proteinlerin sülfhidril (SH) gruplarına bağlanarak bitki metabolizmasına girerler. CdBP'lerin bulunduğu bölümde toksik konsantrasyonlarda Cd biriktiğinde, bu enzimler Cd'un reaksiyona girmesini önlerler. CdBP ya da fitokelatın olarak adlandırılan sisteince zengin  $\gamma$  - glutamil peptidleri Cd tarafından stimüle edilerek yüksek bir afinite ile bağlanırlar (STEFFENS ve ark. 1986; GRILL 1987,

1989; REESE ve WAGNER 1987). Hayvanlarda aynı metal detoksifikasyonuna neden olan metallotioneinlerin tam tersi olarak fitokelatinler gen ürünleri değildir, yani ribozomal değil enzimatik olarak sentezlenirler ve yapı olarak büyüme hormonları (GSH) ile ilişkilidirler (TOMSETT ve THURMAN 1988; ROBINSON ve ark. 1988).

***Allanthus altissima*** ile doğada ve iklim odası şartlarında yapılan bu araştırma sonucunda, bitkinin kirlenme ile artış gösteren **Cd**, **Pb** gibi ağır metallere özellikle de yüksek konsantrasyonlardaki **Cd**'a bazı hafif toksik semptomlar dışında fazla zarar görmeden tolerans gösterebildiği, kadmiyumu biriktiren akümülatör bir bitki olabileceği ve belkide kadmiyumun toksik etkisini azaltabilen **CdBP**'leri içerebildiğini düşündürmektedir.

Hava kirliliğine karşı dayanıklılığı fark edilerek Çin'de yetiştirilmiş olmasının literatürde yer aldığını (POLUNIN ve EVERARD 1976) gözönünde bulundurarak, dayanıklılığının yanı sıra **Cd**, **Pb** gibi kirleticilere karşı bir önlem olarak otoyol kenarlarında yetiştirilmesinin, çevre kirlenmesi açısından bir çözüm getirebileceği düşüncesindeyiz. Günümüzün önemli bir sorunu haline gelen çevre kirliliği ve bu konuyla ilgili olarak yapılan araştırmalara **Allanthus altissima** bitkisinin de değişik incelemelere tabi tutularak katılmasının faydalı olacağı kanısındayız.

## **VI. LITERATÜR**

- ALLOWAY, B.J. & MORGAN, H. (1985)** The behaviour and availability of cadmium, nickel and lead in polluted soil, pp. 101 - 113. In J.W Assing and W.J. Vanden (eds): Contaminated Soil, Martinus Nijhoff Pub., Dordrecht, Netherlands.
- ANDERSSON, A. (1977)** Heavy metals in commercial fertilizers, manure and lime. Cadmium balance for cultivated soils. Reports of Agricultural College of Sweden, Serie A, Nr. 283.
- ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A.D. & TURNER, A. (1971)** Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol.Res., 7:2 - 85.
- ARNON, D.I. (1949)** Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiol., 24:1 - 15.
- ARVIK, J.H & ZIMDAHL R.L. (1974a)** Barriers of the foliar uptake of lead, J. Environ. Qual., 4: 369 - 374.
- ATKINS, D.P., TRUEMAN, I.C. & CLARKE, C.B. (1982)** The evolution of lead tolerance by *Festuca rubra* on a motorway verge. Environ. Pollut. (Series A), 27:233 - 241.
- BAKER, A.J.M. (1981)** Accumulators and excluders. Strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrition, 3 (1 - 4): 643 - 654.
- BARCELÓ J., POSCHRIEDER, C., VÁZQUEZ, M.D. & GUNSÉ, B. (1989)** Synergism between cadmium- induced ion stress and drought, in M.A. Öztürk (ed.): Plant and Pollutants in Developed and Developing Countries. Proc. International Symposium 22-28 Aug. 1988, İzmir.

- BASZYŃSKI, T., WAJDA, L., KRÓL, M., WOLIŃSKA, D., KRUPA, Z. & TUKENDORF, A. (1980) Photosynthetic activities of cadmium - treated tomato plants. *Physiol. Plant.*, 48 : 365 - 370.
- BAYTOP, A. (1977) *Simaroubaceae*. *Farmasötik Botanik*, 3. Baskı, 226.
- BAYTOP, T. (1963) *Ailanthus altissima*. *Türkiye'nin tıbbi ve zehirli bitkileri*, 246.
- BAZZAZ, F.A., ROLFE, G.L. & CARLSON, R.W. (1974) Effect of Cd on photosynthesis and transpiration of excised leaves of corn and sunflower. *Physiol. Plant.*, 32 : 373 - 376.
- BAZZAZ, F.A., CARLSON, R.W. & ROLFE, G.L. (1975) Inhibition of corn and sunflower photosynthesis by lead. *Physiol. Plant.*, 34 : 326 - 329.
- BEKİL, L. (1976) Türkiye kurşun potansiyeli ve değerlendirme imkanları. *İTÜ Maden Fak. Tatbiki Metalürji Kürsüsü Bitirme Ödevi*.
- BEREKET, G. & YÜCEL, E. (1990) Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Eskişehir. *Doğa - Tr. J. of Chemistry TÜBİTAK*, 14 ; 266 - 271.
- BERGMANN, W. (1983) *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*, G. Fischer Stuttgart, 614.
- BERTELS, C.; RÜTHER, P.; KAHLE, H & BRECKLE, S - W (1989) Die Entwicklung des Wurzelsystems von Buchenkeimlingen bei Cadmium und kombinierter Cadmium - / Bleibelastung . Poster zu verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Essen 1988) Band XVIII.
- BINGHAM, F.T., PAGE, A.L., MAHLER, R.J. & GANJE, T.J. (1976) Yield and cadmium accumulation of forage species in relation to cadmium content of sludge amended soil. *J. Environ. Qual.*, 5 : 57 - 60.

- BINGHAM, F.T., PAGE, A.L. & STRONG, J.E.(1980) Yield and Cd content of rice grain in relation to addition of Cd, Cu, Ni, Zn, and liming. *Soil Sci.*, 130:32-38.
- BITTEL, J.E., KOEPPE, D.E. & MILLER, R.J. (1974) Sorption of heavy metal cations by corn mitochondria and the effects on electron and energy transfer reactions. *Physiol. Plant.*, 30:226-230.
- BROWNE, C.L. WONG, Y.M. & BUHLER, D.R. (1984) A predictive model for the accumulation of cadmium by container grown plants. *J. of Environ. Qual.*, 12 (2) : 184 - 188.
- BUCHHOLZ, C. (1962) Zellen, Gewebe und Organe von pflanzen bei Phosphormangel. Dissertation, Berlin.
- CARLSON, R.W., BAZZAZ, F.A. & ROLFE, G.L. (1975) The effect of heavy metal on plants. II. Net photosynthesis and transpiration of whole corn and sunflower plants treated with Pb, Cd, Ni and Ti. *Environ. Res.*, 10 : 113 - 120.
- CARTWRIGHT, B., MERRY, R.H. & TILLER, K.G. (1976) Heavy metal contamination of soils around a lead smelter at Port Pirie, South Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 15 : 69 - 81.
- CASTERLINE, J.L., BARTOLF, M., BRENNAN, E. & PRICE, C. (1980) Partial characterization of a cadmium - binding protein from the roots of cadmium treated tomato. *Plant. Physiol.*, 66 : 438 - 441.
- CASTERLINE, J.L. & BARNETT, N.M (1982) Cadmium - binding components in soybean plants. *Plant Physiol.*, 69 : 1004 - 1007.
- CATALDO, D.A., GARLAND, T.R. & WILDUNG, R.E. (1981) Cadmium distribution and chemical fate in soybean plants. *Plant Physiol.*, 68 : 835 - 839.



- CATALDO, D.A., GARLAND, T.R. & WILDUNG, R.E. (1983)  
Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants.  
Plant Physiol., 73 : 844 - 848.
- CEDENO - MOLDANO, A. & ASCENIO, C.I. (1976) Carbonic  
anhydrase: An alternate site for Cd inhibition of  
photosynthesis. Plant Physiol., 57 (suppl.) : 7.
- CHANEY, R.L., WHITE, M.C. & SIMON, P.W. (1975) Plant uptake  
of heavy metals from sewage sludge applied to land,  
in Proc. Second National Cong Municipal Sludge  
Management, Information Transfer Inc., Rockville,  
pp. 169 - 178.
- CLARKE, B. & BRENNAN, E. (1980) Evidence for a cadmium and  
ozone interaction on *Populus tremuloides*.  
J. Arboricult., 6 : 130 - 134.
- CUNNINGHAM, L.M., COLLINS, F.W. & HUTCHINSON, T.C. (1975)  
Physiology and biochemical aspects of cadmium  
toxicity in soybeans. I. Toxicity symptoms and  
autoradiographic distribution of Cd in roots, stems,  
and leaves, in Int. Conf. on Heavy Metals in the  
Environment, Toronto - Ontario, Canada, 27 - 31  
October, pp. 97 - 120 .
- CUTLER, J.N. & RAINS, D.W. (1974) Characterization of Cd  
uptake by plant tissue. Plant Physiol., 54: 67 - 71.
- DAINES, R.H., MOTTO, H.L. & CHILKO, D.M. (1980) Atmospheric  
lead: Its relationship to traffic volume and a proximity  
to highways. Environ. Sci. Tech., 4: 318 - 322.
- DANG, Y.P., CHHABRA, R. & VERMA, K.S. (1990) Effect of  
cadmium, nickel and zinc on growth and chemical  
composition of onion and fenugreek. Commun. in Soil  
Sci. and Plant Anal., 21(9 - 10): 717 - 735.
- DAVIES, B.E., (1977) Heavy metal pollution of agricultural soils  
with special reference to the role of lead and copper  
mining, in Proc. Int. Semin. on Soil Environment and  
Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo,  
p. 394.

- DAVIES, B.E., CARTWRIGHT, J.A. & HUDDERS, G.L. (1978)  
Heavy metals in soils and plants of urban England,  
in Proc. Conf. No.2, Effects of Trace Element  
Pollutants on Agric. Environ. Quality, Kabata -  
Pendias, A. (ed.), IUNG, Pulawy, Poland, p. 117.
- DAVIES, B.E. (ed.) (1980) Applied Soil Trace Elements, John  
Wiley & Sons, New York, p.482.
- DAVIS, J.B. & BARNES, R.L. (1973) Effects of soil - applied  
fluoride and lead on growth of loblolly pine and red  
maple. Environ. Pollut., 5: 35 - 44.
- DAVIS, P.H. (ed.) (1967) Simaroubaceae, in Flora of Turkey and  
the East Aegean Islands, 2:508, University Press,  
Edinburgh.
- EDIGER, R.D. (1973) A review of water analysis by atomic  
absorption. Atomic Absorption Newsletter, 12 : 151.
- ERNST, W. H.O & WEINHERT, H. (1972) Lokalisation von Zink in  
den Blättern von *Silene cucubalus* wib. Z. Pflanzen  
physiol., 66: 258 - 264.
- ERNST, W.H.O. (1974) Schwermetallvegetation der Erde,  
Fischer - Verlag, Stuttgart.
- ERNST, W.H.O. (1980) Biochemical aspects of cadmium in  
plants, in J.O.Nriagu (ed.): Cadmium in the  
Environment, pp. 639 - 653. J. Wiley & Sons, New York.
- ERNST W.H.O. & JOOSE - van DAMME E.N.G. (1983)  
Umweltbelastung durch mineralstoffe - Biologische  
Effekte, Fischer - Verlag, Stuttgart, 233.
- EWERS, V. & SCHLIPKÖTER H.W (1984) Blei in : E. Merian (Hrsg)  
Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim,  
351 - 373.
- FALAHI - ARDAKANI, A. (1984) Contamination of environment  
with heavy metals emitted from automobiles.  
Ecotoxicology and Environmental safety., 8:152 - 161.
- FARAGO, M.E. (1981) Metal tolerant plants, Coordination  
Chemistry Reviews 36, 155 - 182.

- FERNANDEZ, F.J. & MANNING, D.C. (1971) Atomic absorption analyses of metal pollutants in water using a heated graphite atomizer. Atomic Absorption Newsletter, 10:65.
- FIDORA, B. (1972) The lead content of plants growing near motor road dependent on the season. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Bd. 85, H. 5/6, 219 - 227.
- FISBEIN, L. (1973) Metals, gaseous and industrial pollutants, in Chromatography of Environmental Hazards, Vol II. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- FITTER, A.H. & HAY, R.K.M. (1983) Environmental Physiology of Plants, Experimental Botany, 15 : 201 - 231. Academic Press, London.
- FOROUGH, M., VENTER, F. (1978) Die unterschiedlicher cadmiumgaben auf die Eisenversorgung einiger Gemüsearten. Landwirtsch Forsch, 31 : 300 - 308.
- FROSSARD, R., STADELMANN, F.X. & NIEDERHAUSER, J. (1989) Effects of different heavy metals on fructan, sugar and starch content of ryegrass. J. Plant Physiol., 134: 180 - 185.
- FUHRER, J. (1982) Ethylene biosynthesis and cadmium toxicity in leaf tissue of beans (*Phaseolus vulgaris*). Plant Physiol. 70:162 - 167.
- GANJE, T.J. & PAGE A.L. (1972) Lead concentration of plants, soil and air near highways. Calif. Agric., 26 : 7 - 9.
- GAUCH, H.G. (1973) Chlorosis, in Inorganic Plant Nutrition, pp. 361 - 363. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pa.
- GEORGI, H. - W, PERSEKE, C. & ROHBOCK, E. (1982) Feststellung der Deposition von Sauren und Langzeitwirksamen Luftverunreinigungen aus Ballungsgebieten, Umweltforschungsplan BMI/UBA.

- GIDDINGS, J.C. & MONROE, M.B. (eds.) (1972) *Our Chemical Environment*, Canfield Press, San Francisco.
- GINGAS, V.M., SYDMOR, T.D. & WEIDENSAUL, T.C. (1983) The effects of stimulated acid rain on Cd mobilization in soils and Cd uptake and accumulation in *Populus androscoegin* and *Helianthus annuus* 'mammoth'. *Hort Science*, p. 855. Proc. of 2<sup>nd</sup> Annual Meeting, East Lansing, Michigan.
- GREGER, M. & LINDBERG, S. (1987) Effects of  $\text{Cd}^{2+}$  and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*). II. Net uptake of  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ . *Physiol. Plant*, 69:81 - 86.
- GREGER, M. & ÖGREN, E. (1988) Direct and indirect effects of cadmium on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*). Manuscript.
- GREGER, M., BRAMMER, E. LINDBERG, S., GUNVOR, L. & IDESTAM - ALMQUIST, J (1988) Uptake & physiological effects of Cd in sugar beet (*Beta vulgaris*) related to mineral provision. Submitted to *Plant Physiology*.
- GREGER, M. (1989) Cadmium effects on carbohydrate metabolism in Sugar Beet (*Beta vulgaris*). Doctorial Dissertation, pp. 7 - 20, Stockholm.
- GRILL, E., WINNACKER, E.L., ZENK, M.H. (1987) Phytochelatins, a class of heavy - metal - binding peptides from plants, are functionally analogous to metallothioneins. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 84 : 439 - 443.
- GRILL, E., LÖFFLER, S., WINNACKER, E.L. & ZENK, M.H. (1989) Phytochelatins, the heavy metal binding peptides of plants, are synthesized from glutathione by a specific  $\gamma$  - glutamyl - cysteine dipeptidyl transpeptidase (phytochelatin synthase). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 86: 6838 - 6842.

- HAGEMEYER, J., KAHLE, H., BRECKLE, S.W. & WASEL, Y. (1986) Cadmium in *Fagus sylvatica* L. trees and seedlings: Leaching, uptake and interconnection with transpiration. *Water, air and soil pollution*, 29:347 - 359.
- HAGEMEYER, J. & WASEL, Y. (1989a) Uptake of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$  by excised roots of *Tamarix aphylla*. *Physiol. Plant.*, 77: 257 - 263.
- HAGEMEYER, J. & WASEL, Y. (1989b) Influence of NaCl,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  and air humidity on transpiration of *Tamarix aphylla*. *Physiol. Plant.*, 75 : 280 - 284.
- HAGHIRI, F. (1973) Cadmium uptake by plant, *J. Environ. Qual.*, 2: 93 - 96.
- HAMMETT, F.S. (1928) Studies in the biology of metals. I. The localization of lead by growing roots. *Protoplasma*, 4:183 - 186.
- HEGNAUVER, R. (1973) Simaroubaceae, in *Chemische Reihe, Chemotaxonomie Der Pflanzen Band 6*, Dicotyledoneae: Rafflesiaceae - Zygophyllaceae, 397 - 403. Birkhäuser, Verlag Basel und Stuttgart.
- HEILENZ, S. (1970) Untersuchungen über den Bleigehalt von Pflanzen an Verkehrsreichen Standorten, *Landw. Forschung*, 25, 73 - 78.
- HEPPLE, P.(ed.) (1973) *Lead in the Environment*, Applied Science Publishers Ltd., Barking, Essex.
- HIRT, H., CASARI, G. & BARTA, A. (1989) Cadmium - enhanced gene expression in suspension - culture cells of tobacco. *Planta*, 179: 414 - 420.
- HORAK, O. (1979) Untersuchungen zur Bleiaufnahme der Pflanze, *Die Bodenkultur (Wien)* 30(2), 120 - 126.
- HÖLL, W. & HAMPP, R. (1975) Lead and plants. *Residue Reviews*, 54: 79 - 111.
- HU, S.Y. (1979) *Ailanthus*. *Arnoldia*, 39 (2) : 29 - 50.

- HUANG, C. Y., BAZZAZ, F.A. & VANDERHOEF, L.N. (1974) The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol.*, 54:122 - 124.
- INEL, Y., SEBÜKTEKİN, H. & KURT, N. (1977) Otoyol boyunca kurşun, çinko ve kadmiyum birikimi. *Tübitak VI. Bilim Kongresi, Çevre Araştırmaları*, 51 - 57, Ankara.
- ISHIBASHI, M., FURUNO, T., HIETTER, H., TSUYUKI, T. & TAKAHASHI T. (1987) Bitter principles of *Ailanthus altissima* swingle studies on oxidative degradation of the A - ring of ailanthon derivatives. *Chem. and Pharm. Bull.*, 35(7): 3011 - 3015.
- JACKSON, D.R. & WATSON, L.H.P (1977) Disruption of nutrient pools and transport of heavy metals in a forested watershed near a lead smelter, *J. Environ. Qual.*, 6(4): 331 - 338.
- JOHN, M.K. (1976) Interrelationships between plant cadmium and uptake of some other elements from culture solutions by oats and lettuce. *Environ. Pollut.*, 11:85-95.
- KABATA - PENDIAS, A. & PENDIAS, H. (1984) Trace element in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- KAHLE, H. & BRECKLE, S.- W. (1986) Wirkungen Ökotoxischer Schwermetalle auf Buchenjungwuchs. Statuskolloquium "Luftverunreinigungen and Waldschaden", pp: 84 - 90, Düsseldorf.
- KAHLE, H. (1988) Wirkungen von Blei und Cadmium auf Wachstum und Mineralstoffhaushalt von Jungbuchen (*Fagus sylvatica* L.) in Sandkultur, in *Dissertationes Botanicae* Band 127, J. Cramer, Berlin.
- KAHN, H.L. (1973) The detection of metallic elements in wastes and waters with the graphite furnace. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 3:121.

- KARAMANOS R.E., BATTANY, J.R, STEWART, J.W.B. (1976) The uptake of native and applied Pb by alfalfa and brome grass from soil. Can J. Soil Sci., 56: 485 - 494.
- KARATAGLIS, S.S. & ALEXIADIS, C. (1982) Environmental lead pollution. Ber. Deutsch. Bot. Ges. Bd., 95:441 - 447.
- KAYACIK, H. (1975) Angiospermae. Orman ve Park ağaçlarının özel sistematiği, III. Cilt, 109 - 110.
- KAYACIK, H. (1987) İstanbul peyzajında yeşilin dejenerasyonu, Çevre Koruma, Temmuz sayısı, s. 34.
- KAZIMIR, J., BRENNAN, E. (1986) The impact of chronic cadmium exposure on growth of pin oak seedlings. Forest sci., 32(4): 1061 - 1066.
- KECK, R.W. (1978) Cadmium alteration of root physiology and potassium ion fluxes. Plant Physiol., 62 : 94 - 96.
- KELLY, J.M. PARKER, G.R., Mc FEE, W.W. (1979) Heavy metal accumulation and growth of seedlings of five forest species as influenced by soil cadmium level. J. Environ.Qual., 8(3): 361 - 364.
- KHAN, D.H., DUCKETT, J.G., FRANKLAND, B. & KIRKHAM, J.M. (1984) An X - ray microanalytical study of the distribution of Cd in roots of Zea mays L. J. Plant Physiol., 115: 19 - 28.
- KHAN, S. & KHAN, N.N. (1983) Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and egg plant (*Solanum melongena*). Plant and Soil, 74: 387 - 394.
- KLOKE, A. & RIEBARTCH, K. (1964) Contamination of crops with lead from vehicle exhausts. Naturwissenschaften, 51 : 367 - 368.

- KLOKE, A., SAUERBECK, D., VETTER, H. (1984) The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chain in J.O Nriagu (ed.): Changing Metal Cycles and Human Health, Bahlem Konferenzen, Berlin, 113 - 141.
- KOEPPE, D.E. (1981) Lead : Understanding the minimal toxicity of lead in plants, in N.W. Lepp (ed.): Effect of heavy Metal Pollution on plants, Vol: 1, pp. 55 - 76. Applied Science Publishers, London.
- KOWARIK, I. (1983) Zur Einbürgerung und zum pflanzengeographischen Verhalten des Götterbaumes (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) im französischen Mittelmeergebiet (Bas - Languedoc). *Phytocoenologia*, 11 (3): 389 - 405.
- KOWARIK, I. & BÖCKER, R. (1984) Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Einbürgerung des Götterbaumes (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) in Mitteleuropa. *Tuexenia*, 4:9 - 28.
- KOWARIK, I. (1990) Some responses of flora and vegetation to urbanization in Central Europe, in H. Sukopp et al. (eds): Urban Ecology, Plants and Plant Communities in Urban environments, pp. 45 - 74. SPB Academic publishing bv, The Hague, Netherlands.
- KOWARIK, I. (1991) The adaptation of urban flora to man - made perturbations, in O. Ravera (ed.): Terrestrial and aquatic ecosystems, Perturbation and recovery, pp. 176 - 184, Ellis Horwood, London.
- KROTZ, R.M. EVANGELOU, B.P. & WAGNER, G.J. (1989) Relationship between Cd, Zn, Cd - peptide and organic acid in tobacco suspension cells. *Plant Physiol.*, 91: 780 - 787.



- LÅG, J. & STEINNES, E. (1978b) Regional distribution of mercury in humus layers of Norwegian forest soils. *Acta Agric. Scand.*, 28: 393.
- LAGERWERFF, J.V. (1967) Heavy metal contamination of soils. In N.C. Brady (ed.): *Agriculture and the Quality of Our Environment*. Am. Assoc. Advmt. Sci. Publ., 85:343 - 364.
- LAGERWERFF, J.V. & SPECHT, A.W. (1970) Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. Technol.*, 4: 583 - 586.
- LAGERWERFF, J.V. (1971) Uptake of Cd, Pb and Zn by radish from soil and air. *Soil Science*, 111: 129 - 133.
- LAGERWERFF, J.V. (1972) Lead, mercury and cadmium in environmental contaminants, in J.J., Mortvedt et al. (eds.): *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Madison, Wis., p. 593.
- LAGERWERFF, J.V., ARMIGER, W.H. & SPECHT, A.W (1973) Uptake of Pb by alfalfa and corn from soil and air. *Soil Sci.*, 115: 455 - 460.
- LAMERSDORF, N. (1986). Verteilung von Spurenstoffen (Schwermetallen) in Waldökosystemen, in Umweltbundesamt (Hrsg.): *Belastung und Schäden auf Ökosystemebene und ihre Folgen*, Texte 17/86, Berlin, 142 - 152.
- LAMOREAUX, R.J. & CHANEY, W.C. (1977) Growth and water movement in silver maple seedlings affected by cadmium. *J. Environ. Qual.*, 6: 201 - 205.
- LANE, S.D., MARTIN, E.S. & GARROD, J.F. (1978) Lead toxicity effects on indole - 3Ylacetic acid - induced cell elongation. *Planta*, 144 : 77 - 84.

- LEEPER, G.W. (1978) Managing the heavy metal on the land, in *Pollution Engineering and Technology* 6, pp. 3 - 91, Australia.
- LEPP, N.W. (ed.) (1981) *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, Vol.1: Effects of trace metals on plant function.* Applied Science Publishers, London.
- LEPP, N.W. (ed.) (1981) *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, Vol.2: Metals in the Environment.* Applied Science Publishers, London.
- LERCHE, H. & BRECKLE, S. - W. (1974) Untersuchungen Zum Bleigehalt von Baumblättern im Bonner Raum, *Angew. Botanik*, 48: 309 - 330.
- LUCAS, G. & SYNGE, H. (1980) Simaroubaceae. The IUCN Plant Red Data Book, p. 509. The Gresham Press, Old Woking, Surrey.
- LUCERO, H.A., ANDREO, C.S. & VALLEJOS, R.H. (1976) Sulphydryl groups in photosynthetic energy conservation. III. Inhibition of photophosphorylation in spinach chloroplasts by  $\text{CdCl}_2$ . *Plant Sci. Lett.*, 6: 309 - 313.
- LUND, H.F. (ed.) (1971) Cadmium, in *Industrial Pollution Control Handbook*. Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- MALONE, C.D., KOEPPE, D.E. & MILLER, R.J. (1974) Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol.*, 53: 388 - 394.
- MALONE, C.D., MILLER, R.J. & KOEPPE, D.E. (1977) Root growth in corn and soybeans: Effects of cadmium and lead on lateral root initiation. *Can. J. Bot.*, 56: 277 - 281.
- MANKOVSKA, B. (1979) The pollution of spruce *Picea abies* Karst. by emissions of F, As, Pb, Cd and S from an aluminum plant. *Biologia (Bratislava)*, 34 (7): 563 - 570.

- MARSCHNER, H. (1983) General Introduction to the Mineral Nutrition of Plants, in Encyclopedia of Plant Physiology, Inorganic Plant Nutrition, New Series 15 A, pp. 37 - 49. A. Läuchli and R.L. Bielecki (eds.), Springer - Verlag, Berlin.
- MARTEN, G.C. & HAMMOND, P.B. (1966) Lead uptake by brome grass from contaminated soils. Agron.J., 58:553 - 554.
- MAYER, R. & HEINRICHS H. (1981) Gehalte von Baumwurzeln an chemischen Elementen einschließlich Schwermetallen aus Luftverunreinigungen. Z. Pflanzenernähr, Bodenk., 144: 637 - 646.
- MILBERGE, R.P., LAGERWERFF, J.V., BROWER, D.L. & BIERSDORF, G.E. (1980) Soil lead accumulation alongside a newly constructed roadway. Environ Sci. Technol., 4:231 - 237.
- MILLER, R.J., BITTEL, J.E. & KOEPPE, D.E. (1973) The effects of cadmium on electron and energy transfer reactions in corn mitochondria. Physiol. Plant., 28: 166 - 171.
- MITCHELL, C.D., & FRETZ, T.A. (1977) Cadmium and Zinc toxicity in white pine, red maple and Norway spruce. J. Amer. Soc. Hort Sci., 102 (1): 81 - 84.
- MUKHERJI, S. & MAITRA, P. (1977) Growth and metabolism of germinating rice (*Oryza sativa* L.) seeds as influenced by toxic concentrations of lead. Z. Pflanzenphysio., Bd. 81: 26 - 33.
- MUSKETT, C.J. & JONES, M.P. (1980) The dispersal of lead, cadmium and nickel from motor vehicles and effects on roadside invertebrate macrofauna. Environ. Pollut. 23(A): 231 - 242.
- NAZLI, C. (1978) Kadmiyum metalürjisi. İTÜ Maden Fak. Tatbiki Metalürji Kürsüsü Bitirme Ödevi.
- NRIAGU, J.O. (1978) The Biogeochemistry of lead in the environment, Part A, Elsevier, Amsterdam.

- NRIAGU, J.O. (1980) Cadmium in the environment, Part I (Ecological cycling) and Part II (Toxicology), New York.**
- NÜRNBERG, H.W., VALENTA, P. & NGUYEN, V.D. (1982) Wet deposition of toxic metals from the atmosphere, in H.W. Georgii & J. Pankrath (eds.): Deposition of atmospheric pollutants. Reidel Publ. Comp. Dordrecht - Boston, pp. 143 - 157.**
- ÖZTÜRK, M. & TÜRKAN, İ. (1982) Kurşun Kirlenmesi ve Bitkiler. Tabiat ve İnsan, 3: 32 - 34.**
- PAGE, A.L., BINGHAM, F.T. & NELSON, C. (1972) Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solutions of cadmium concentration. J. Environ. Qual., 1: 288 - 291.**
- PAGE, A.L., BINGHAM, F.T. & CHANG, A.C. (1981) Cadmium in N.W. Lepp (ed.): Effect of heavy Metal Pollution on Plants, Vol. 1, pp. 77 - 109, Applied Sci. Publ., London.**
- PAUS, P.E. (1973) Determination of some heavy metals in seawater by atomic absorption spectroscopy. Fresenius Zeitschr. Anal. Chem., 264: 118.**
- POLUNIN, O & EVERARD, B. (1976) Trees and Bushes of Europe. Oxford Univ. Press, p. 117.**
- PORTER, J.R. & SHERIDEN, R.P. (1981) Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate, heavy metals, fluoride and simulated acid rain. Plant Physiol., 68: 143 - 148.**
- POSCHENRIEDER, C., GUNSE, B. & BARCELÓ, J. (1989) Influence of Cd on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiol., 90 : 1365 - 1371.**

- QUIEROLO, F., VALENTA, P., STEGEN, S. & BRECKLE, S. - W. (1989) Accumulation of heavy metals in oak wood from polluted regions, in H.W. Georgii (ed.): Mechanisms and Effects of Pollutant - Transfer into Forest, pp. 193 - 202, Kluwer Academic Publishers.
- RATTONETTI, A. (1974) Determination of soluble cadmium, lead, silver and indium in rainwater and stream water with the use of flameless atomic absorption. Anal. Chem., 47 : 428.
- RAUSER, W.E. (1978) Early effects of phytotoxic burdens of cadmium, cobalt, nickel and zinc in white beans. Can. J. Bot., 56: 1744 - 1749.
- RAUSER, W.E. (1984) Isolation and partial purification of Cadmium - Binding Protein from roots of the grass *Agrostis gigantea*. Plant Physiol., 74: 1025 - 1029.
- RAY, M. & BANERJEE, S. (1986) Cytological studies of the water contaminated with industrial effluents. II. Effects of Tamla Nalah water on *Allium Sativum* L. Perspectives in Cytology and Genetics, 5: 475 - 483.
- RAY, M., BARMAN, S.C. & KHAN, S. (1989) Heavy metal accumulation in rice plants: Adaptation to environmental stress and consequent public health risks, in M.A. Öztürk (ed.): Plants and Pollutants in Developed and Developing Countries, pp. 421 - 443. Proc. International symposium 22 - 28 Aug, 1988, Izmir.
- REESE, R.N. & WAGNER, G.J. (1987) Properties of tobacco (*Nicotiana tabacum*) cadmium - binding peptides. Biochem. J., 241: 641 - 647.
- ROBINSON, N.J., RATLIFF, R.L., ANDERSON, P.J., DELHAIZE, E., BERGER, J.M. & JACKSON, P.J. (1988) Biosynthesis of poly( $\gamma$ -glutamylcysteinyl)glycines in cadmium-resistant *Datura innoxia* cell. Plant Sci., 56: 197-204.

- RODRIGUEZ - FLORES, M. & RODRIGUEZ, C. (1982) Lead and cadmium levels in soil and plants near highways and their correlation with traffic density. *Environ. pollut. (Series A )*, 4: 281 - 290.
- ROLFE, G.L. (1973) Lead uptake by selected tree seedlings. *J. Environ. Qual.*, 2:153 - 157.
- RUSSO, F. & BRENNAN, E. (1979) Phytotoxicity and distribution of cadmium in pin oak seedlings determined by mode of entry. *Forest Sci.*, 25 (2): 328 - 332.
- RÜEGSEGG, A., SCHMUTZ, D. & BRUNOLD, C. (1990) Regulation of glutathione synthesis by cadmium in *Pisum sativum* L. *Plant Physiol.*, 93: 1579 - 1584.
- SACHSE, U., STARFINGER, U. & KOWARIK, I. (1990) Synanthropic woody species in the urban area of Berlin (west). In: *Urban Ecology, Plants and Plant Communities in Urban Environments*, H. Sukopp et al.(eds.), SPB Academic Publishing bv, The Hague, Netherlands, 233 - 243.
- SCHEFFER, K. & SCHACHTSCHABEL P. (1984) - *Lehrbuch der Bodenkunde*, Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHELLER, H.V. HUANG, B., HATCH, E. & GOLDSBROUGH, P.B. (1987) Phytochelatin synthesis and glutathione levels in response to heavy metals in tomato cells. *Plant Physiol.*, 85: 1031 - 1035.
- SEBÜKTEKİN, U. & İNEL, Y. (1976) İstanbul kentinde hava ile taşınan kurşun kirliliği. Boğaziçi Üniversitesi İstanbul Haliç Sorunları ve Çözüm Yolları Ulusal Sempozyumu, 135 - 154.
- SEEKAMP, G. (1977) Umsatz von Schwermetallen in Waldökosystemen. *Göttinger Bodenkdl. Ber.*, Bd. 46.
- SINGH, S.P. & NAYYAR, V.K. (1989) Effect of cadmium and zinc on growth of corn in a coarse texture soil (Typic ustipsamments). *Intern. J. Environmental studies*, 34: 57 - 63.

- SLAVIN, W. (1968) Atomic Absorption Spectroscopy. John Wiley & Sons, New York.
- SMITH, G.C. & BRENNAN, E. (1984) Response of silver maple seedlings to an acute dose of root applied cadmium. *Forest Sci.*, 30 (3): 582 - 586.
- SMITH, G.C., BRENNAN, E.G. & GREENHALGH, B.J. (1985) Cadmium sensitivity of soybean related to efficiency in iron utilization. *Environmental & Experimental Botany*, 25 (2): 99 - 106.
- SMITH, W.H., (1976) Lead contamination of the roadside ecosystem. *J. Air pollut. Cont. Assoc.*, 26: 753 - 766.
- STEFFENS, J.C., HUNT, D.F. & WILLIAMS, B.G. (1986) Accumulation of nonprotein metal - binding polypeptides ( $\gamma$  - glutamylcysteinyl) $_n$  - glycine in selected cadmium - resistant tomato cells. *J. Biol. Chem.*, 261: 13879 - 13882.
- STOBART, A.K., GRIFFITHS, T., AMEEN - BUKHARI, I. & SHERWOOD, R. (1985) The effect of  $\text{Cd}^{2+}$  on biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley.
- STOEPPLE, M. (1984) Cadmium in E. Merian (Hrsg.): *Metalle in der Umwelt*, Weinheim, 375 - 408.
- STRICKLAND, R.C., CHANEY, W.R. & LAMOREAUX, R.J. (1979) Cadmium uptake by *Pinus resinosa* Ait. pollen and effect on cation release and membrane permeability. *Plant. Physiol.*, 64: 366 - 370.
- SUKOPP, H. (1962) Neophyten in natürliche Pflanzen-gesellschaften Mitteleuropas. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, 75(6): 193 - 205.
- TANDLER, C.J & SOLARI, A.J. (1969) Nucleolar orthophosphate ions - electron microscope and diffraction studies. *J. Cell Biol.*, 41: 91 - 108.

- TANTON, T.W. & CROWDY, S.H. (1971) The distribution of lead chelate in the transpiration stream of higher plants. *Pest. Sci.*, 2: 211 - 213.
- TOMSETT, A.B. & THURMAN, D.A. (1988) Molecular biology of metal tolerances in plants. *Plant Cell Environ.*, 11:452 - 476.
- TURNER, M.A. (1973) Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. *J. Environ. Qual.*, 2:118 - 119.
- TÜRDÜ, S. (1991) Atomik absorpsiyon spektrofotometresi üzerine kişisel söyleşi (TÜBİTAK Enstrümental analiz bölümü).
- TÜRKAN, I. (1986) The investigation of lead, zinc and cadmium pollution in the plants growing along the motor roads of Izmir and environment. *Doğa, Turkish J. of Biol.*, 10(1): 116 - 120.
- TÜRKAN, I. & ÖZTÜRK, M. (1989) Lead contamination in the plants growing near motor roads. *J. of Fac. of Sci. Ege University, Series B*, 11(2): 25 - 33.
- ULLMANN (1975) *Encyclopädie der technischen chemie*, 4. Auflage, Weinheim.
- VALLEE, B.L. & ULMER, D.D. (1972) Biochemical effects of mercury, cadmium and lead. *Annu. Rev. Biochem.*, 41: 91 - 128.
- Van ASSCHE, F. & CLIJSTERS, H. (1990) Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant cell and environment*, 13: 195 - 206.
- Van DE GEIJN, S.C. & PETIT, C.M. (1978) In vivo Measurement of Cadmium ( $^{115m}\text{Cd}$ ) Transport and Accumulation in the stems of Intact Tomato plants (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) II. Lateral Migration from the Xylem and Redistribution in the stem. *Planta*, 138: 145 - 151.



- VÖGELI - LANGE, R. & WAGNER, G.J. (1990) Subcellular localization of cadmium and cadmium - binding peptides in tobacco leaves. *Plant Physiol.*, 92: 1086.
- WARD, N.I., ROBERTS, E. & BROOKS, R.R. (1980) Seasonal variation in the lead content of soils and pasture species adjacent to a New Zealand highway carrying medium density traffic. *N.Z. J. Exp. Agric.*, 7: 347 - 351.
- WEHMER, C. (1931) *Ailanthus glandulosa*. Die Pflanzenstoffe, Zweiter band, p. 644. Jena, Gustav Fischer, Hannover.
- WEIGEL, H.J. & JAGER, H.J. (1980a) Subcellular distribution and chemical form of cadmium in bean plants. *Plant Physiol.*, 65: 480 - 482.
- WEIGEL, H.J. & JAGER, H.J. (1980b) Different effects of cadmium in vitro and in vivo on enzyme activities in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.c.v. Sankt Andreas). *J. of Plant Physiol.*, 97 (2): 102- 113.
- WITTIG, R. & NEITE, H. (1989) Distribution of lead in the soils of *Fagus sylvatica* forests in Europe, in M.A. Öztürk (ed.): *Plants and Pollutants in Developed and Developing Countries*, pp. 199 - 207. Proc. 22 - 28 Aug. 1988, International symp., Izmir.
- WOOLHOUSE, H.W. (1983) Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals, in O.L. Lange et al. (eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology, Physiological Plant Ecology III (New Series) 12 C*, pp. 245 - 300. Springer - Verlag Berlin.
- WU, L. & ANTONOVICS, J. (1976) Experimental ecological genetics in *Plantago lanceolata*, II. Lead tolerance in *Plantago lanceolata* and *Cynodon dactylon* from a roadside. *Ecology*, 57, 205 - 208.

**WU, SUN - HO (1991) Yaş yakma metodu üzerine kişisel söyleşi (National Taiwan Univ. Dept. of Agricultural Chemistry, Institute of Plant Nutrition).**

**YALÇIN, N., AYDIN, A.O. & SEVİNÇ, V. (1989) Lead and zinc accumulation caused by the motor vehicles in the agricultural areas. Doğa, Engineering and Enviromental Sciences, 13 (3): 429 - 434.**

**ZIEGLER, H. (1989) What is a plant pollutant?, in M.A. Öztürk (ed.): Plants and Pollutants in Developed and Developing countries, pp. 1 - 17. Proc. International Symposium 22 - 28 Aug. 1988, İzmir.**

