

Orta-Batı Anadolu Geçiş Bölgesindeki Ormanlarda Trafik Kaynaklı Kadmiyum (Cd⁺²) Kirliliğinin Belirlenmesi

*Ersin YÜCEL¹

Erhan EDİRNELİOĞLU¹

Mine YÜCEL²

¹Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

*Sorumlu yazar: ebitki@gmail.com

Geliş Tarihi: 30.07.2013

Özet

Bu çalışmada, Orta Batı Anadolu geçiş bölgesindeki ana yollar kenarındaki ormanlarda, trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amacıyla Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) ibre ve kabukları biyomonitör olarak kullanıldı. Orta-Batı Anadolu geçiş bölgesinde bulunan Eskişehir'in, çevre ve ara bağlantı yolları üzerinden seçilen 24 örnekleme noktasında gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda; toprakta bulunan Cd⁺² değerleri ile trafik yoğunluğu arasında istatistiksel bakımdan pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca kadmiyum kirliliği yoldan (3 m, 50m ve 100 m) uzaklığa bağlı olarak değişmekte olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum, Anadolu Karaçamı, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, Kirlilik, Biyomonitör

Determination of Traffic Originated Cadmium (Cd⁺²) Pollution on The Forests on Transition Zone of The Middle-West Anatolia

Abstract

In this study, needles and bark of the Anatolian Black Pine (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) were used as a bioindicator to determine the traffic originated heavy metal (cadmium) pollution on the forests beside the main roads at the Middle West Anatolia gate zone. Twenty four sampling areas were chosen on the roads which are connecting provinces and towns of Eskişehir to each other.

At the end of the studies, it was determined meaningful positive relationship between traffic density and amount of Cd⁺² determined on the soil, the forest floor, pine bark and pine needle. Also, cadmium pollution varies depending on the distance from the road (3 m, 50 m and 100 m).

Key Words: Cadmium, Anatolian Black Pine, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, Pollution, Biomonitor

Giriş

Motorlu karayolu taşıtları sayısının artışına bağlı olarak ormanlarda motorlu taşıtların hava kirliliğine katkı payının da artmıştır. Yapılan araştırmalar ve hesaplamalar sonucunda; motorlu taşıtlardan yaklaşık 0.5 milyon ton Cd çıkararak biyosferde biriktiği anlaşılmıştır (Nriagu, 1984). Bu durum bölgesel ve küresel ölçekte önemli bir risk oluşturmaktadır.

Kadmiyum elementi önemli derecede toksik etkiye sahiptir. Toksik etkisi 0.1-1.0 mg/L toprak çözeltisi olarak bildirilmektedir. Bitki bünyesinde bulunmasına müsaade edilen normal kadmiyum derişimi 0.1-2.4 µg/g; toksik etki yaratacak derişim ise 5.0-30.0 µg/g'dır (Kılınç, 2003).

Kadmiyum bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile bilinen bir elementtir. Örneğin; tütün bitkisinde yapılan bir çalışmada toprak kadmiyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte

fotosentetik hız ve yaprak klorofil içeriğinde azalmalar kaydedilmiş, kadmiyum fotosistem II' nin fotokimyasal aktivitesini inhibe etmiş, fakat fotosistem I üzerinde herhangi bir etkisi belirlenmemiştir (Jiang ve Li, 1989).

Coriandrum sativum bitkisi üzerine toprak ve atmosferdeki yüksek kadmiyum seviyelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, bitkiler 100 ppm kadmiyum ile kontamine edilen topraklarda gelişmeye terk edildiklerinde, gövde ve köklerin uzamasında ve umbella sayısında önemli bir azalma, yapraklarda sararma ve ultrastrüktürel değişiklikler ve meyvelerdeki uçucu yağ unsurlarının bileşiminde dikkat çekici azalmalara rastlanmıştır (Pasquale ve ark., 1995).

Bu çalışmada; Orta-Batı Anadolu geçiş bölgesindeki ormanlarda biyoindikatör bitki olarak Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) kullanılmak suretiyle trafik

kaynaklı kadmiyum kirliliğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

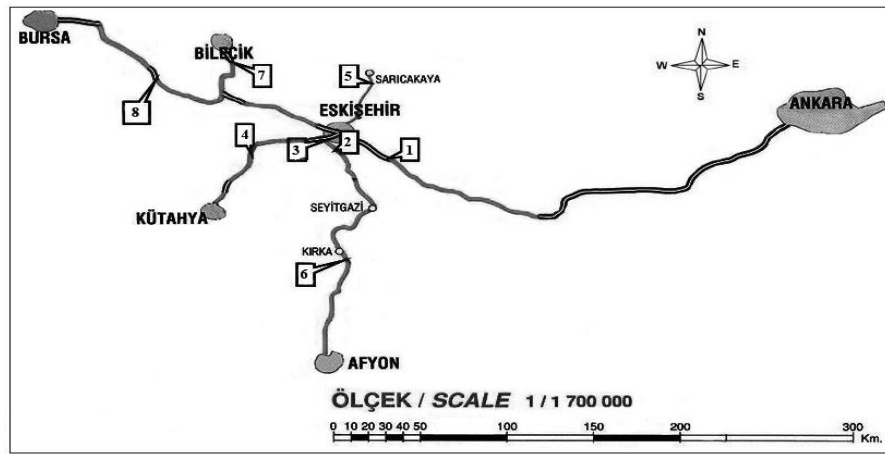
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Eskişehir'i çevre il ve ilçelere bağlayan yollar üzerinde bulunan ormanlar araştırma alanı olarak, yol kenarlarındaki ormanlarda bulunan Anadolu Karaçamı ibreleri (yaprakları) ile toprak ve ölü örtü çalışma materyali olarak seçilmiştir.

Belirlenen amaç doğrultusunda toplam 8 örnek alan belirlenmiştir (Şekil 1). Belirlenen örnek alanlar üzerinde yoldan 3, 50 ve 100 m uzaklıklardan olmak üzere 24 örnekleme

noktasından toprak ve ölü örtü örnekleri ile Anadolu Karaçamı ibre ve kabuk ve örnekleri toplanmıştır (Tablo 1).

İbre örnekleri yol kenarından 0-3 m, 50 m ve 100 m uzaklıktaki örnekleme noktalarında bulunan ağaçların 1,5-2 m yükseklikteki yan dallarının uç kısımlarından alınmıştır. Alınan ibre örnekleri öncelikle bir ve iki yaş olarak ayrılmış sonra bunların yarısı yıkanmış diğer yarısı yıkanmamıştır. İbrelerin ibrelerin bir kısmı 100 adet sayılarak, diğer bir grup ise sayılmadan ayrılmıştır. Tüm işlemler ayrılmış olan bu iki gruba ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Örnek alanlar

Tablo 1. Örnek alanlar ve örnek alanlarda trafik yoğunlukları

Örnek Alan	Trafik Yoğunluğu (Araç sayısı/Gün)	Alan Tanıtımı
1	8646	Eskişehir-Ankara otoyolu 20.km.Yükseklik:974m. Yoldan 3m uzaklık Eskişehir-Ankara otoyolu 20.km. Yükseklik:978m. Yoldan 50m uzaklık Eskişehir-Ankara otoyolu 20.km. Yükseklik:981m. Yoldan 100m uzaklık
2	1923	Eskişehir-Seyitgazi yolu, Mezarlık karşısı.Yükseklik:847m. Yoldan 3m uzaklık Eskişehir-Seyitgazi yolu, Mezarlık karşısı.Yükseklik:851m. Yoldan 50m uzaklık. Eskişehir-Seyitgazi yolu, Mezarlık karşısı.Yükseklik:857m. Yoldan 100m uzaklık.
3	26906	Kütahya ÇevreYolu Yenikent Bağlantısı. Yükseklik:767m. Yoldan 3m uzaklık Kütahya ÇevreYolu Yenikent Bağlantısı. Yükseklik:781m. Yoldan 50m uzaklık Kütahya ÇevreYolu Yenikent Bağlantısı. Yükseklik:785m. Yoldan 100 uzaklık.
4	2951	Eskişehir-Kütahya yolu. Yükseklik:841m. Yoldan 3m uzaklık Eskişehir-Kütahya yolu. Yükseklik:841m. Yoldan 50m uzaklık.

Eskişehir-Kütahya yolu. Yükseklik:842m. Yoldan 100m uzaklık.

Tablo 1 devamı

Örnek Alan	Trafik Yoğunluğu (Araç sayısı/Gün)	Alan Tanıtımı
5	4994	Eskişehir-Sarıcakaya arası 20-25. km. Yükseklik:1238m. Yoldan 3m uzaklık
		Eskişehir-Sarıcakaya arası 20-25. km. Yükseklik:1245m. Yoldan 50m. uzaklık.
		Eskişehir-Sarıcakaya arası 20-25. km. Yükseklik:1246m. Yoldan 100m. uzaklık.
6	1799	Eskişehir-Afyon arası 60km. Kırka mevkii. Yükseklik:1075m. Yoldan 3m uzaklık
		Eskişehir-Afyon arası 60km. Kırka mevkii. Yükseklik:1074m. Yoldan 50m uzaklık.
		Eskişehir-Afyon arası 60km. Kırka mevkii. Yükseklik:1075m. Yoldan 100m uzaklık.
7	8833	Bilecik şehir merkezine 4 km.Yükseklik:289m. Yoldan 3m uzaklık.
		Bilecik şehir merkezine 4 km.Yükseklik:301m. Yoldan 50m uzaklık.
		Bilecik şehir merkezine 4 km.Yükseklik:313m. Yoldan 100m uzaklık.
8	7003	Eskişehir-Bursa arası Mezitler Vadisi mevkii. Yükseklik:710m. Yoldan 3m uzaklık
		Eskişehir-Bursa arası Mezitler Vadisi mevkii. Yükseklik:717m. Yoldan 50m. uzaklık.
		Eskişehir-Bursa arası Mezitler Vadisi mevkii. Yükseklik:730m. Yoldan 100m. uzaklık.

İbre örneği alınan her ağaçtan kabuk örnekleri yerden yaklaşık 1 m yükseklikten ağacın dört ayrı yönünden alınmıştır. Ayrıca örnek alınan ağaçlara yaklaşık 0-2 m uzaklıkta 0-30 cm derinlikten toprak örnekleri ve ölü örtü örnekleri de alınmıştır.

Toprak, ölü örtü, kabuk ve ibre örneklerinin kimyasal analizleri yaş yakma yöntemine göre yapılmış (Halvin ve Soltanpour, 1980) olup, sonuçlar Perkin Elmer Optical Emission Spectrometer Optima 4300 DV cihazında okunmuştur.

Bulgular

Çalışma alanlarından toplanan toprak, ölü örtü, kabuk ve ibre örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Trafik yoğunluğu ile Cd^{+2} ilişkisi

Yoldan 3 metre uzaklıktan alınan ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları trafik

yoğunluğuna bağlı olarak artış göstermekte olup bulunan değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 3). Yoldan 50 ve 100 metre uzaklıklardan alınan ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri ile trafik yoğunluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Trafik yoğunluğu ile yoldan 3, 50 ve 100 metre uzaklıklardan alınan kabuklarda ölçülen Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 3).

Tüm örnek alanlardan elde edilen sonuçlar topluca değerlendirildiğinde trafik yoğunluğu ile yoldan 3, 50 ve 100 m uzaklıklardan alınan 1 ve 2 yaşlı, yıkanmış ve yıkanmamış ibrelerde ölçülen toplam Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak zayıf bir ilişki bulunmuş olup, ilişki modelleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 2. Toprak, ölü örtü, kabuk ve ibre örneklerinde Cd⁺² miktarları (ppm)

Örnek Alan	Cd/T	Cd/Ö	Cd/K	Cd/B1 Ym100	Cd/B1 Ym	Cd/B1 Y100	Cd/B1 Y	Cd/B2 Ym100	Cd/B2 Ym	Cd/B2 Y100	Cd/B2 Y
1	0,65	5	2	0,002	0,63	0,002	0,64	0,004	0,64	0,003	0,63
2	0,62	3	1	0,003	0,63	0,003	0,66	0,002	0,64	0,004	0,63
3	0,64	2	0*	0,002	0,63	0,002	0,63	0,002	0,64	0,002	0,62
4	0,58	6	2	0,003	0,71	0,003	0,65	0,002	0,68	0,003	0,66
5	0,55	7	1,5	0,002	0,63	0,002	0,63	0,003	0,63	0,002	0,63
6	0,56	3	2	0,002	0,61	0,002	0,63	0,002	0,63	0,002	0,62
7	0,58	20	2	0,002	0,61	0,002	0,62	0,002	0,62	0,002	0,61
8	0,57	8	1	0,002	0,62	0,002	0,61	0,002	0,61	0,002	0,61
9	0,53	7	0,5	0,002	0,61	0,002	0,61	0,002	0,61	0,002	0,62
10	0,58	9	2	0,003	0,6	0,002	0,66	0,002	0,61	0,002	7
11	0,58	6	2	0,002	0,59	0,002	0,61	0,002	0,6	0,002	0,68
12	0,58	4	0,5	0,002	0,6	0,002	0,6	0,002	0,6	0,002	0,62
13	0,57	4	1,5	0,003	0,68	0,004	0,7	0,003	0,6	0,003	0,69
14	0,56	3	1	0,002	0,6	0,003	0,65	0,002	0,57	0,003	0,67
15	0,56	2	0	0,002	0,52	0,002	0,57	0,002	0,52	0,003	0,6
16	0,61	4	2,5	0,004	0,65	0,005	0,7	0,004	0,67	0,003	0,67
17	0,6	3	1	0,002	0,64	0,002	0,65	0,002	0,63	0,003	0,68
18	0,59	3	1	0,002	0,61	0,002	0,64	0,002	0,6	0,002	0,67
19	0,63	10	2,5	0,002	0,6	0,002	0,6	0,003	0,59	0,003	0,6
20	0,62	4	2	0,001	0,6	0,002	0,6	0,003	0,59	0,003	0,59
21	0,61	3	1,5	0,002	0,6	0,001	0,58	0,003	0,59	0,002	0,59
22	0,77	4	2	0,003	0,66	0,003	0,65	0,003	0,66	0,003	0,66
23	0,73	3	2	0,002	0,63	0,002	0,65	0,002	0,64	0,002	0,63
24	0,66	0*	0,5	0,002	0,62	0,002	0,64	0,002	0,62	0,002	0,62
Ort.	0,61	5,13	1,42	0,002	0,62	0,002	0,63	0,002	0,62	0,003	0,90
St. Sap.	±0,06	±3,96	±0,75	±0,001	±0,04	±0,001	±0,03	±0,001	±0,03	±0,001	±1,30
Min.	0,53	0*	0*	0,001	0,52	0,001	0,57	0,002	0,52	0,002	0,59
Maks.	0,77	20	2,5	0,004	0,71	0,005	0,7	0,004	0,68	0,004	7

Cd/T : Topraktaki Cd⁺² miktarı, Cd/Ö : Ölü örtüdeki Cd⁺² miktarı, Cd/K : Kabuktaki Cd⁺² miktarı,
Cd/B1 Ym100 : 1 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede rezerve Cd⁺² miktarı, Cd/B1 Ym : 1 yaşlı yıkanmamış ibrede toplam Cd⁺² miktarı
Cd/B1 Y100 : 1 yaşlı yıkanmış 100 ibrede Cd⁺² miktarı, Cd/B1 Y : 1 yaşlı yıkanmış ibrede toplam Cd⁺² miktarı
Cd/B2 Ym100 : 2 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede Cd⁺² miktarı, Cd/B2 Ym : 2 yaşlı yıkanmamış ibrede toplam Cd⁺² miktarı
Cd/B2 Y100 : 2 yaşlı yıkanmış 100 ibrede rezerve Cd⁺² miktarı, Cd/B2 Y : 2 yaşlı yıkanmış ibrede toplam Cd⁺² miktarı
O* : Aletin okuma limit değerinin altında (2,7 ppb) bulunan sonuç

Tablo 3. Toprak, ölü örtü ve kabukta ölçülen Cd⁺² değerleri ile trafik yoğunluğunun istatistiksel modeli

Yoldan Uzaklık	Materyal	Sabit D ₀	Regresyon Katsayısı (D ₁)	Kararlılık Katsayısı (R ²)	Standart Hata (St)
0-3m	Toprak	0,622	-1,22E-07	0,000	0,035
50m	Toprak	0,604	-5,64E-09	0,000	0,030
100m	Toprak	0,602	-1,48E-06	0,082	0,022
0-3m	Ölü Örtü	3,427	0,001	0,787**	1,331
50m	Ölü Örtü	3,680	0,000	0,264	0,935
100m	Ölü Örtü	1,805	0,000	0,450	0,782
0-3m	Kabuk	2,053	1,259E-06	0,001	0,169
50m	Kabuk	1,535	-1,31E-05	0,049	0,255
100m	Kabuk	0,865	-1,54E-05-05	0,034	0,367

* 0,05 düzeyinde anlamlı; ** 0,01 düzeyinde anlamlı

Yoldan uzaklığa bağlı olarak Cd⁺² miktarındaki değişimlerin herbir örnek alan ayrı ayrı olmak üzere değerlendirilmesi

Tüm örnek alanlardan elde edilen sonuçlar topluca değerlendirildiğinde trafik yoğunluğu ile yoldan uzaklık ile Cd⁺² miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamış olmasına karşın, örnek alanların teker teker incelenmesinde bazı örnek alanlarda anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Bir nolu örnek alandaki Cd⁺² miktarları

Bir nolu örnek alanda; yoldan 50 metre uzaklıktan alınan toprak örneklerinde ölçülen

Cd⁺² miktarında, yoldan 3 metre uzaklıktan alınan toprak örneğine göre azalma olurken, yoldan 100 metre uzaklıktan alınan toprak örneklerinde ölçülen Cd⁺² miktarında, yoldan 50 metre uzaklıktan alınan toprak örneğine göre nedeni bilinmeyen bir artış olmuştur (Şekil 2).

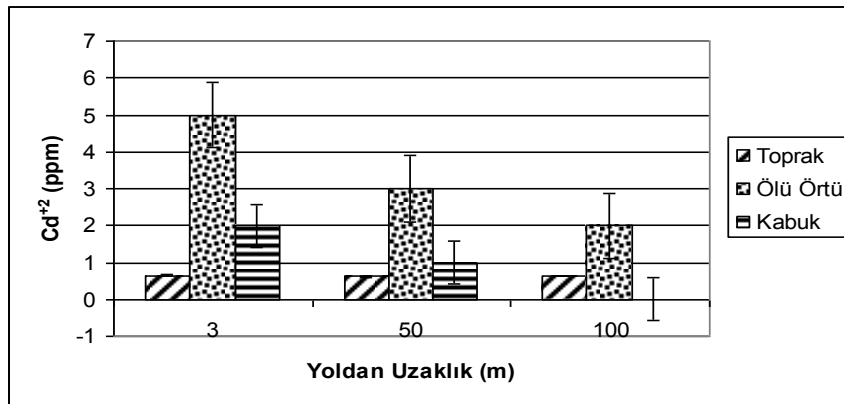
Ölü örtülerdeki Cd⁺² miktarlarının yoldan uzaklaştıkça azaldığı ve sonuçların istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu bulunmuştur (Şekil 2).

Kabuk örneklerindeki Cd⁺² miktarlarının Yoldan uzaklaştıkça azaldığı ve bulunan değerlerin istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu bulunmuştur (Şekil 2).

Tablo 4. Karaçam ibrelerinde ölçülen Cd⁺² değerleri ile trafik yoğunluğu ilişkisi

Yoldan Uzaklık	Materyal	Sabit D ₀	Regresyon Katsayısı (D ₁)	Kararlılık Katsayısı (R ²)	Standart Hata (St)	Yoldan Uzaklık	Materyal	Sabit D ₀	Regresyon Katsayısı (D ₁)	Kararlılık Katsayısı (R ²)	Standart Hata (St)
0-3m	B1 Ym	0,660	-2,31E-06	0,238	0,018	0-3m	B1 Ym100	0,003	-5,57E-08	0,439	0,000
50m	B1 Ym	0,617	1,182E-07	0,003	0,010	50m	B1 Ym100	0,002	-3,77E-10	0,000	0,000
100m	B1 Ym	0,592	1,119E-06	0,078	0,017	100m	B1 Ym100	0	0	0	0
0-3m	B1 Y	0,672	-2,56E-06	0,381	0,014	0-3m	B1 Y100	0,003	-6,93E-08	0,268	0,001
50m	B1 Y	0,641	-1,09E-06	0,156	0,011	50m	B1 Y100	0,002	-8,98E-09	0,027	0,000
100m	B1 Y	0,613	-8,98E-08	0,001	0,014	100m	B1 Y100	0,002	-2,70E-09	0,004	0,000
0-3m	B2 Ym	0,641	-1,01E-06	0,063	0,017	0-3m	B2 Ym100	0,003	-2,79E-08	0,079	0,000
50m	B2 Ym	0,613	7,530E-08	0,001	0,013	50m	B2 Ym100	0,002	-8,54E-09	0,024	0,000
100m	B2 Ym	0,594	1,005E-06	0,053	0,019	100m	B2 Ym100	0,002	2,701E-09	0,004	0,000
0-3m	B2 Y	1,895	-6,07E-05	0,052	1,154	0-3m	B2 Y100	0,003	-3,00E-08	0,297	0,000
50m	B2 Y	0,658	-2,38E-06	0,359	0,014	50m	B2 Y100	0,003	-1,54E-08	0,031	0,000
100m	B2 Y	0,623	-4,29E-07	0,024	0,012	100m	B2 Y100	0,002	-1,13E-08	0,072	0,000

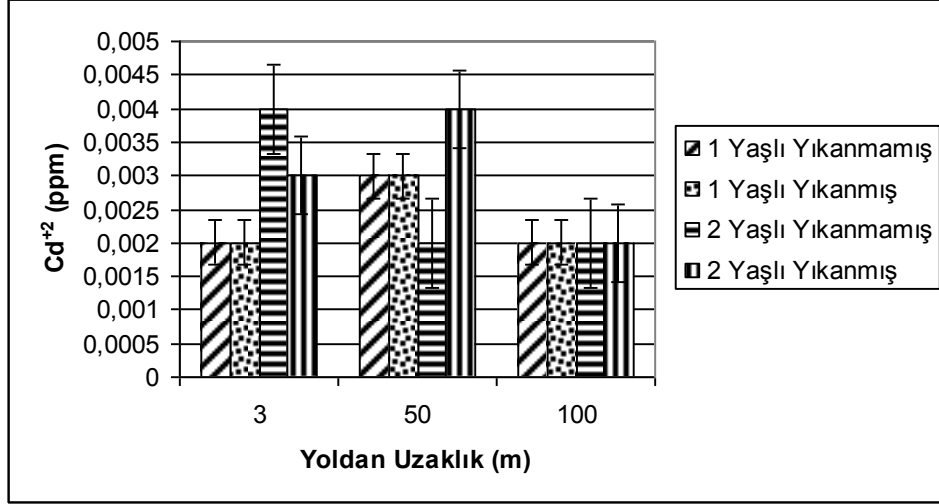
* 0,05 düzeyinde anlamlı; ** 0,01 düzeyinde anlamlı bir ilişki



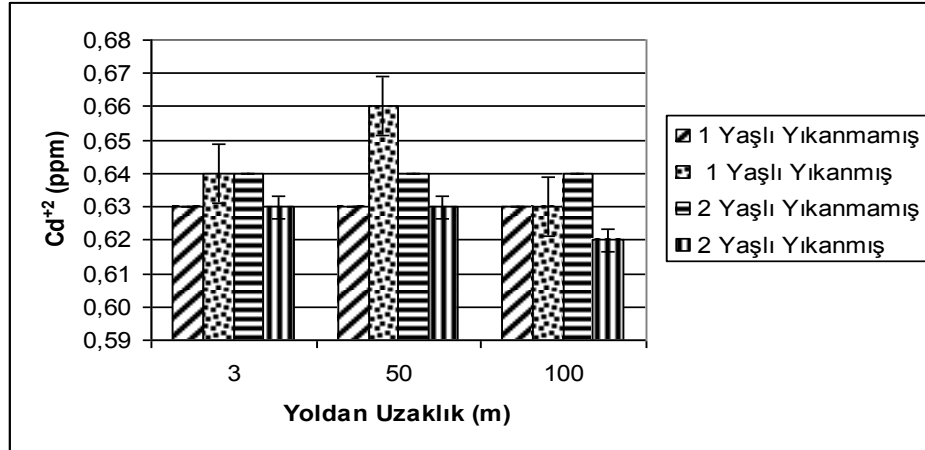
Şekil 2. Bir nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

İbre örneklerinde yapılan çalışmalar sonunda yoldan uzaklığa bağlı olarak Cd^{+2} değerinde bir azalma olduğu fakat bunun istatistiksel bakımdan anlamlı olmadığı görülmektedir (Şekil 3, 4). Ayrıca Cd^{+2} miktarı yoldan 3 m uzaklıkta yıkanmış ve yıkanmamış 1 yaşlı ibrelerde eşit, 2 yaşlı

ibrelerde yıkanmamış ibrelerde daha yüksek; yoldan 50m uzaklıkta yıkanmış ve yıkanmamış 1 yaşlı ibrelerde eşit, yıkanmış ibrelerde daha yüksek; yoldan 100m uzaklıkta yıkanmış ve yıkanmamış 1 ve 2 yaşlı ibrelerde eşit bulunmuştur.



Şekil 3. Bir nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

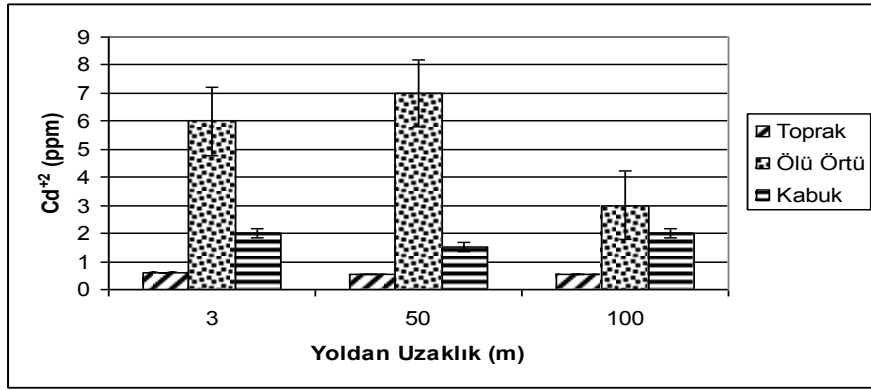


Şekil 4. Bir nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

İki Nolu Örnek Alandaki Cd^{+2} miktarları

İki nolu örnek alanda; toprak, ölü örtü ve kabuk örneklerinde, yoldan 3 m uzaklıktan,

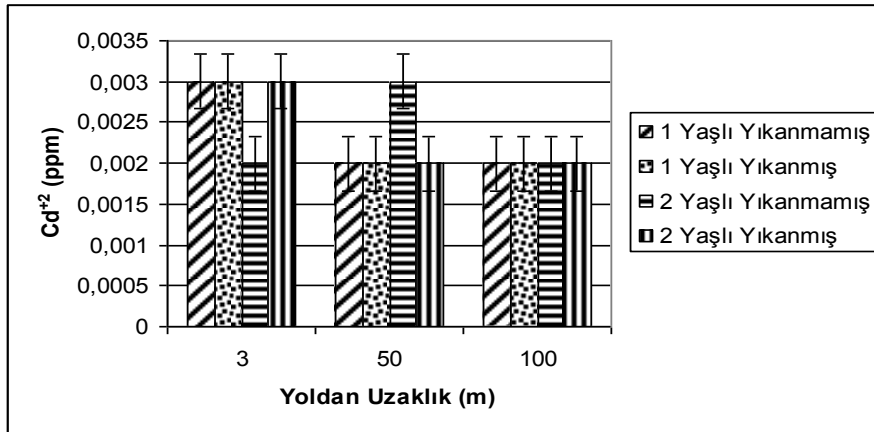
yoldan 50 metre uzaklığa kadar Cd^{+2} miktarında azalma, yoldan 50 metre uzaklıktan 100 metreye kadar bir artış olduğu gözlenmektedir (Şekil 5).



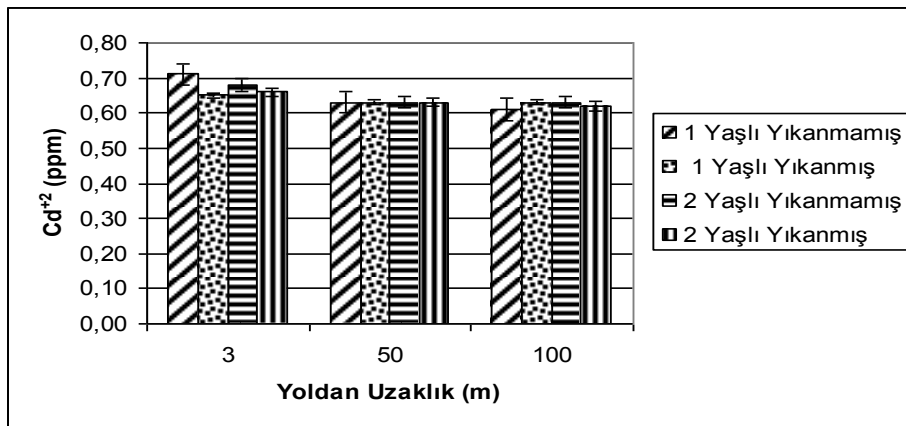
Şekil 5. İki nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

İki nolu örnek alanda Cd²⁺ değerleri 1 yaşlı yıkanmış ve yıkanmamış ibrelerde eşit, 2 yaşlı ibrelerde ise yıkanmış ibrelerde daha yüksek; yoldan 50m uzaklıkta 1 yaşlı yıkanmış ve yıkanmamış ibrelerde eşit, 2

yaşlı ibrelerde yıkanmamış örneklerde daha yüksek; yoldan 100 m uzaklıkta yıkanmış ve yıkanmamış ibrelerde ise eşit bulunmuştur (Şekil 6, 7).



Şekil 6. İki nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



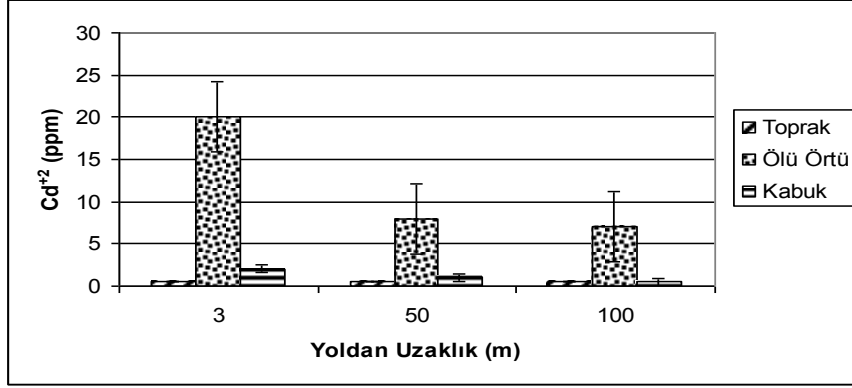
Şekil 7. İki nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Üç Nolu örnek alanda Cd^{+2} miktarları

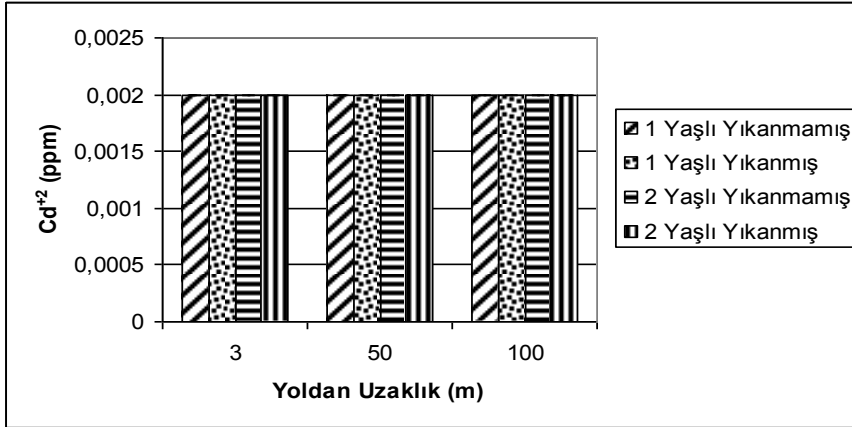
Üç nolu örnek alanda; toprak, ölü örtü ve kabuk örneklerinde Cd^{+2} miktarları; yoldan Cd^{+2} miktarlarında belirgin bir azalma olup

ölçülen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 8).

Alınan 1 ve 2 yaşlı, 100 ibrede rezerve Cd^{+2} miktarlarında yoldan uzaklığa bağlı olarak değişme olmamıştır (Şekil 9, 10).



Şekil 8. Üç nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



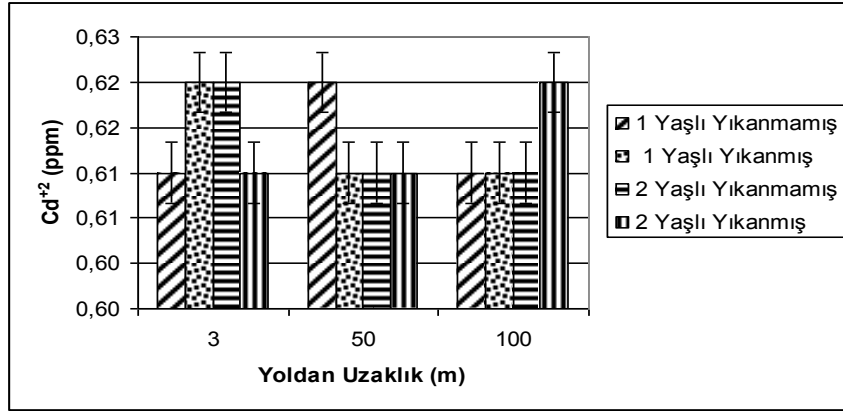
Şekil 9. Üç nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Total olarak işlem yapılan ibrelerin Cd^{+2} miktarlarında yoldan uzaklık, yıkanma ve yıkanmama bakımından anlamlı bir farklılık ve ilişki bulunamamıştır (Şekil 10).

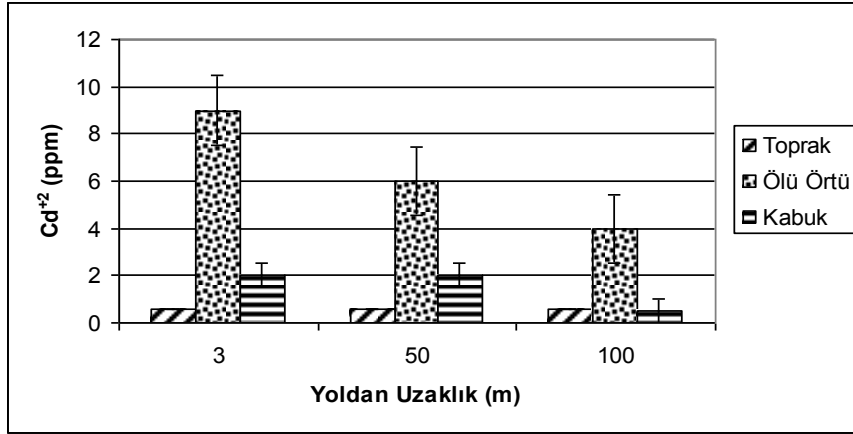
Dört nolu örnek alanda Cd^{+2} miktarları

Toprak örneklerinde belirlenen Cd^{+2} miktarlarında yoldan uzaklığa bağlı olarak

anlamlı bir değişiklik olmazken, ölü örtülerdeki Cd^{+2} miktarlarında bir azalma olmuş ve bu sonuç istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 11). Kabuk örneklerinde ise yoldan uzaklığa bağlı olarak bir azalmanın olduğu görülmektedir.



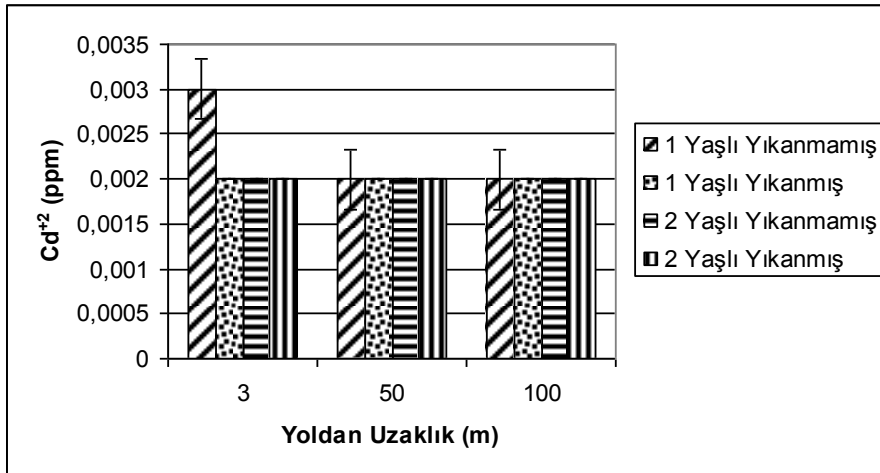
Şekil 10. Üç nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



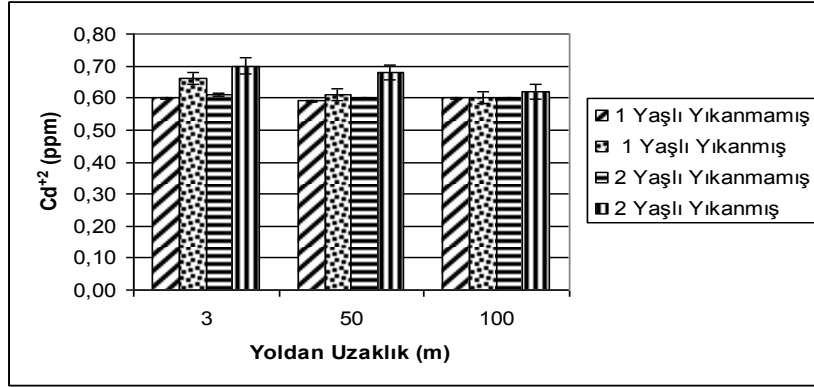
Şekil 11. Dört nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Yapılan analizler sonucu 100 ibrede rezerve Cd²⁺ miktarlarında total yapılan örneklerde yoldan uzaklığa bağlı olarak

anamlı bir değişiklik olmamıştır (Şekil 12, 13).



Şekil 12. Dört nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd²⁺ miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

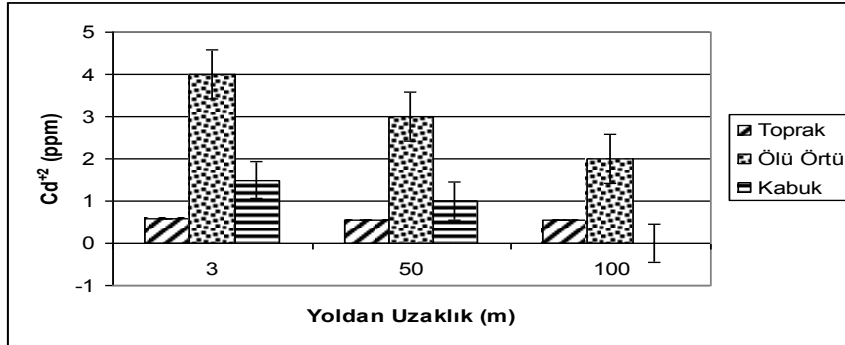


Şekil 13. Dört nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

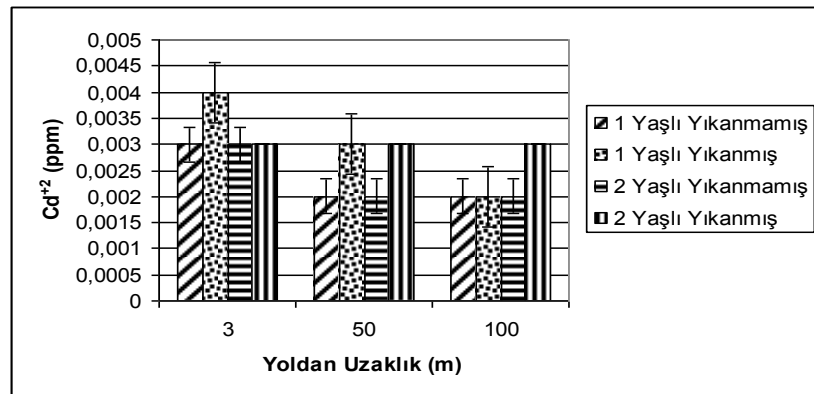
Beş nolu örnek alanda Cd⁺² miktarları

Yoldan uzaklığa bağlı olarak toprak örneklerindeki Cd⁺² miktarında bir azalma olduğu; ölü örtü ve kabuktaki Cd⁺² miktarlarındaki azalmanın ise daha belirgin ve istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı olduğu bulunmuştur (Şekil 14).

Yoldan uzaklığa bağlı olarak yıkanmış ve yıkanmamış 100 ibrede ki rezerve Cd⁺² değerine göre azalma göstermesine karşın bu sonuç istatistiksel bakımdan anlamlı bulunmamıştır (Şekil 15).



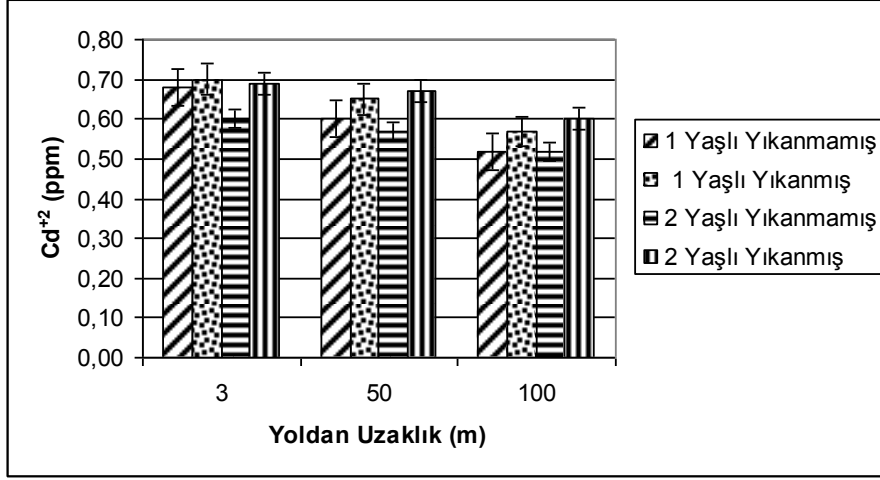
Şekil 14. Beş nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



Şekil 15. Beş nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Yıkanmış ve yıkanmamış, 1 ve 2 yaşlı ibrelerde ki toplam Cd^{+2} değerleri yoldan uzaklaştıkça göreceli olarak bir azalma

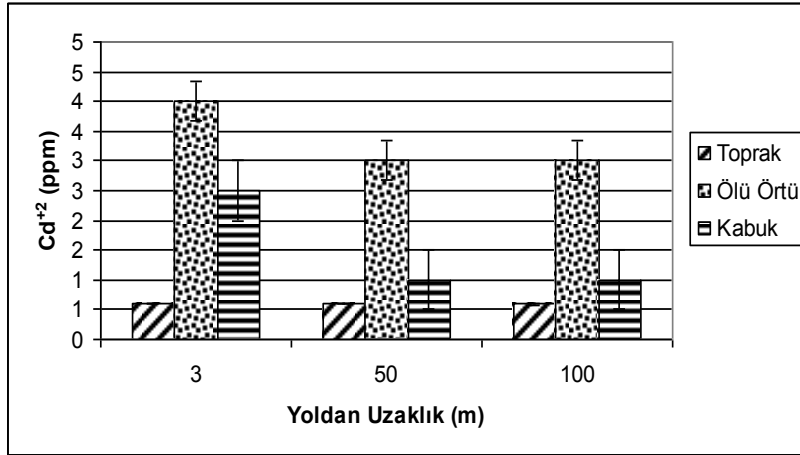
göstermiş olup bulunan değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur. (Şekil 16).



Şekil 16. Beş nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Altı nolu örnek alanda Cd^{+2} miktarları
Toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarında, yoldan uzaklığa bağlı olarak düşüş olup elde edilen değerler istatistiksel

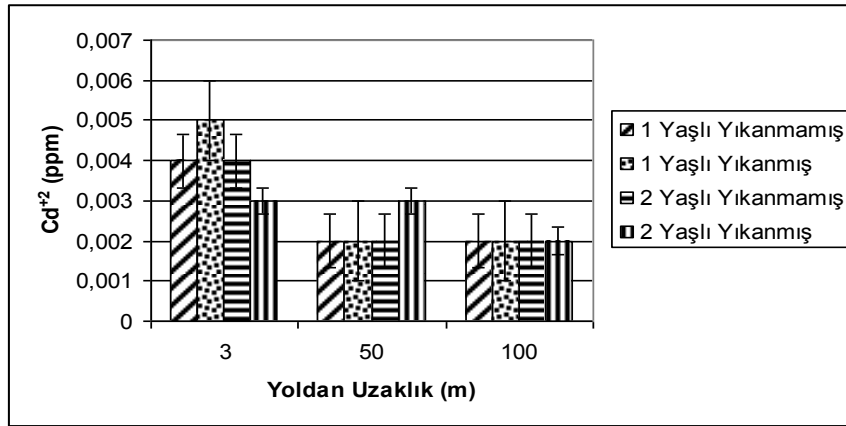
olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunurken; ölü örtü ve kabuktaki azalma ise anlamlı bulunmamıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Altı nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan alınan 1 ve 2 yaşlı, yıkanmış ve yıkanmamış 100 ibredeki rezerve Cd^{+2} değeri, belirgin bir

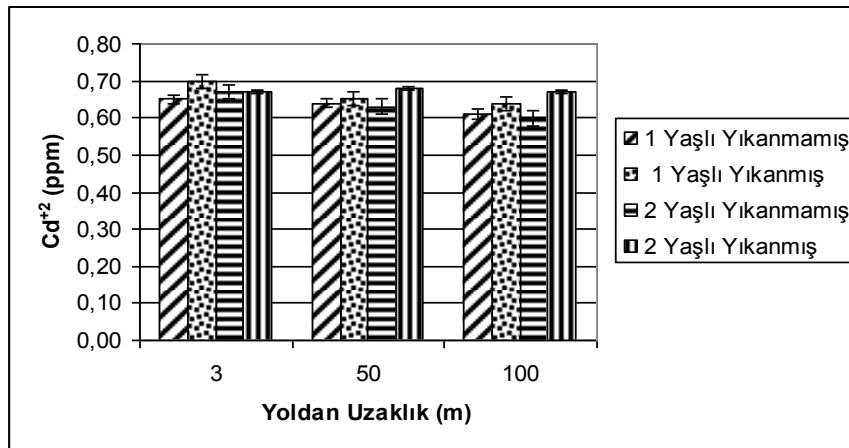
azalma gösterirken; 50 m ile 100 m arasında bir farklılık bulunmamaktadır (Şekil 18).



Şekil 18. Altı nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Altı nolu örnek alandan alınan 1 ve 2 yaşlı yıkanmış ve yıkanmamış ibrelerde ki toplam Cd⁺² değerleri yoldan uzaklaştıkça azalma

göstermiş olup bulunan değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 19).



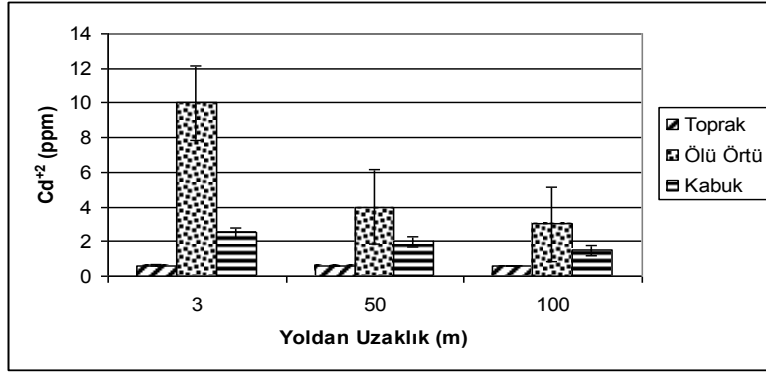
Şekil 19. Altı nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd⁺² miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Yedi nolu örnek alanda Cd⁺² miktarları

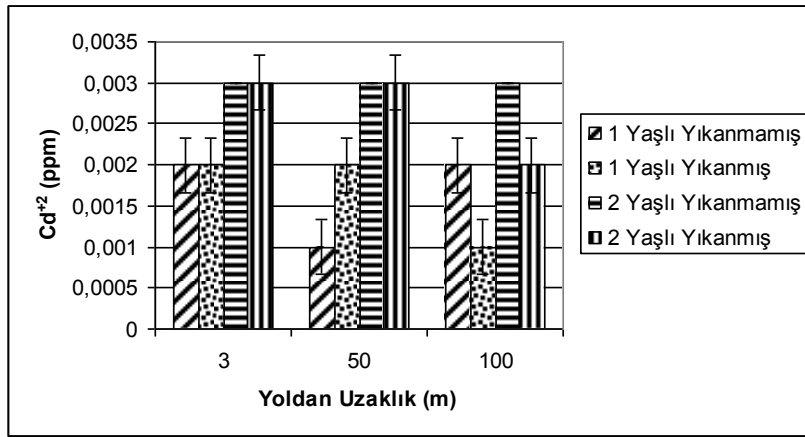
Yoldan uzaklaştıkça toprak, ölü örtü ve kabuk örneklerinde ölçülen Cd⁺² miktarlarında belirgin bir azalma olduğu gözlenmiş olup ölçülen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 20).

Yoldan uzaklık, yaş ve yıkanma gibi faktörlere bağlı olarak 100 ibrede ki rezerve Cd⁺² değerlerinde anlamlı bir değişim bulunmamıştır (Şekil 21).

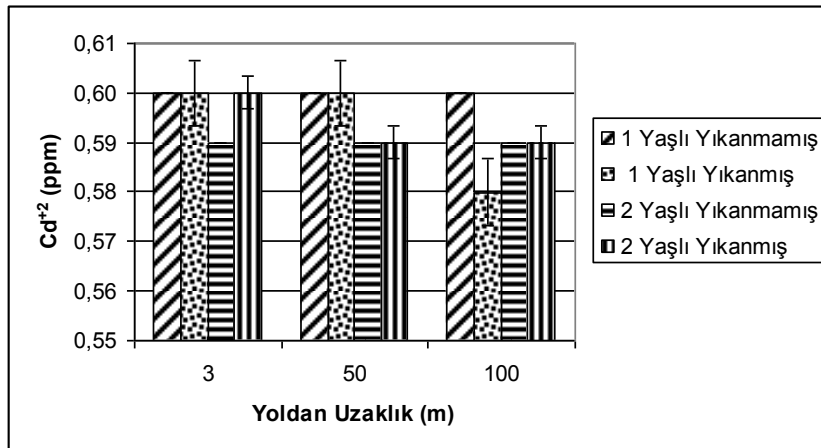
İbrelerdeki toplam Cd⁺² miktarları bakımından incelendiğinde bu örnek alanda anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (Şekil 22).



Şekil 20. Yedi nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



Şekil 21. Yedi nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



Şekil 22. Yedi nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

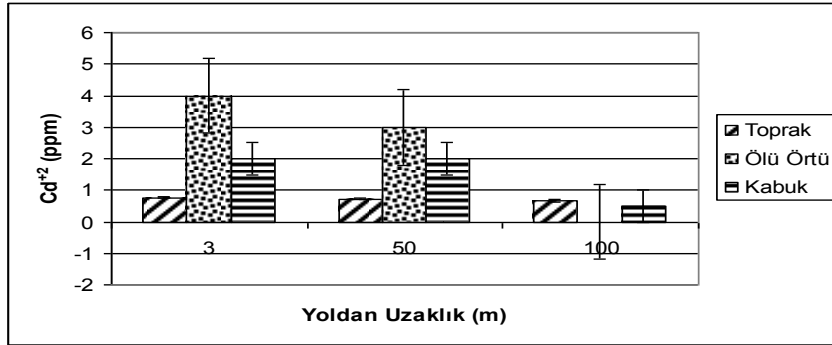
Sekiz nolu örnek alanda Cd^{+2} miktarları

Sekiz nolu örnek alanda, yoldan uzaklaştıkça toprak ve ölü örtüde ölçülen Cd^{+2} miktarlarında belirgin bir azalma olup ölçülen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$

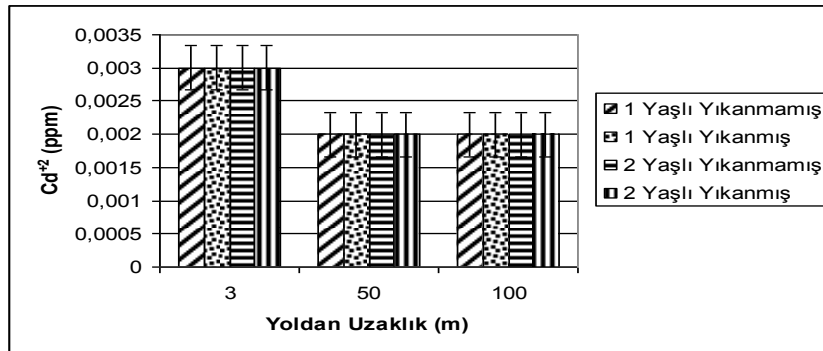
düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 23). Kabuk örneklerindeki Cd^{+2} miktarındaki azalma ise 50 ci metreden sonra anlamlı bir düzeyde olmuştur.

Sekiz nolu örnek alanda yaş, yıkanma ve yoldan uzaklığa bağlı olarak 100 ibre rezerve Cd^{+2} değerinde 3 m ile 50 metre uzaklık arasında belirgin bir azalma olurken, 50 ile 100 m ler arasında bir değişim görülmemektedir (Şekil 24).

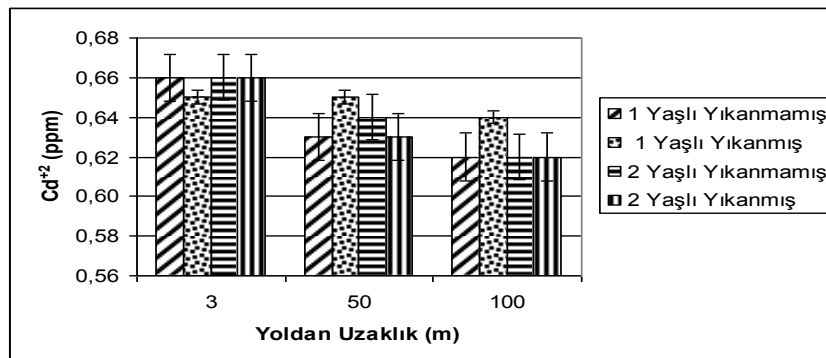
Sekiz nolu örnek alandan alınan 1 yaşlı yıkanmamış ve 2 yaşlı yıkanmış ve yıkanmamış sayılmamış ibrelerde toplam Cd^{+2} değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalma göstermiş olup elde edilen değerler $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 25).



Şekil 23. Sekiz nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak toprakta, ölü örtüde ve kabukta ölçülen Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



Şekil 24. Sekiz nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, 100 ibrede rezerve Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları



Şekil 25. Sekiz nolu örnek alanda, yoldan uzaklığa bağlı olarak, sayılmamış ibrelerde toplam Cd^{+2} miktarlarındaki değişimler ve standart sapmaları

Tüm örnek alanlarda bulunan sonuçların topluca değerlendirilmesi

Çalışmalar sonucunda, toprak, ölü örtü ve kabuk örneklerinde elde edilen Cd^{+2}

miktarlarına göre yapılan eşlendirilmiş örnekleme t testi sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Örnekleme noktalarından alınan toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarında en düşük değer 0,53 ppm, en yüksek değer ise 0,77 ppm bulunmuştur. Yoldan 3 ile 50 metre uzaklıklardan ve 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri yoldan uzaklaştıkça azalma göstermiş olup ölçülen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 5). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıklardan alınan toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarındaki en düşük değer 0 ppm, en yüksek değer 20 ppm olarak ölçülmüştür. Yoldan uzaklaştıkça ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarında azalma olup ölçülen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 5).

Kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarında en düşük değer 0 ppm, en yüksek değer ise 2,5 ppm olarak ölçülmüştür. Yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan ve 50

ile 100 metre uzaklıklardan alınan kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalmış olup ölçülen değerler arasında istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Tablo 5).

Yoldan 3 ile 50 metre uzaklıklardan alınan kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Çalışma alanlarından alınan ibrelerdeki toplam Cd^{+2} miktarları; 1 yaşlı yıkanmamış ibrelerde en düşük 0,52 ppm, en yüksek 0,71 ppm, 1 yaşlı yıkanmış ibrelerde en düşük 0,57 ppm, en yüksek 0,70 ppm, 2 yaşlı yıkanmamış ibrelerde en düşük 0,52 ppm, en yüksek 0,68 ppm ve 2 yaşlı yıkanmış ibrelerde ise en düşük 0,59 ppm, en yüksek 0,70 ppm olarak belirlenmiştir.

Yoldan 3, 50 ve 100 metre uzaklıklardan alınan 1 yaşlı yıkanmamış ibrelerde ölçülen Cd^{+2} değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Tablo 5. Toprak, kabuk ve ölü örtüde eşlendirilmiş örneklemede Cd^{+2} t testi sonuçları

		t	df	Sig. (2-tailed)
Eşleştirme 1	Toprak/3m - Toprak/50m	3,564	7	,009
Eşleştirme 2	Toprak/3m - Toprak/100m	2,393	7	,048
Eşleştirme 3	Toprak/50m - Toprak/100m	1,213	7	,265
Eşleştirme 4	Ölü Örtü/3m - Ölü Örtü /50m	3,416	7	,011
Eşleştirme 5	Ölü Örtü/3m - Ölü Örtü /100m	6,251	7	,000
Eşleştirme 6	Ölü Örtü/50m - Ölü Örtü /100m	2,762	7	,028
Eşleştirme 7	Kabuk/3m - Kabuk/50m	2,145	7	,069
Eşleştirme 8	Kabuk/3m - Kabuk/100m	3,528	7	,010
Eşleştirme 9	Kabuk/50m - Kabuk/100m	3,529	7	,010

Yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan 1 yaşlı yıkanmış ibrelerde ölçülen Cd^{+2} değerleri yoldan uzaklaştıkça azalmış olup ölçülen değerler arasında istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 3 ile 50 metre uzaklıklardan ve yoldan 50 ile 100 metre uzaklıklardan alınan 1 yaşlı yıkanmış ibrelerde ölçülen Cd^{+2} değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

2 yaşlı yıkanmamış ibrelerde yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan ve 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibrelerde ölçülen Cd^{+2} miktarları yoldan uzaklığa bağlı olarak

azalmış olup ölçülen değerler arasında istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Yoldan 3, 50 ve 100 metre uzaklıklardan alınan 2 yaşlı yıkanmış ibrelerde ölçülen Cd^{+2} değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Örnekleme noktalarından alınan 100 ibredeki rezerve Cd^{+2} miktarları; 1 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede en düşük 0,001 ppm, en yüksek 0,004 ppm, 1 yaşlı yıkanmış 100

ibrede en düşük 0,001 ppm, en yüksek 0,005 ppm, 2 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede en düşük 0,002 ppm, en yüksek 0,004 ppm ve 2 yaşlı yıkanmış 100 ibrede ise en düşük 0,002 en yüksek 0,004 ppm olarak ölçülmüştür.

1 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan ve yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibrelerde ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalmış olup elde edilen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıktan alınan 1 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

1 yaşlı yıkanmış 100 ibrede yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibrelerde ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalmış olup elde edilen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıktan ve yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan alınan 1 yaşlı yıkanmış 100 ibrede ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri ile yoldan uzaklık arasında

istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

2 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibrelerde ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalmış olup elde edilen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıktan ve yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan alınan 2 yaşlı yıkanmamış 100 ibrede ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

2 yaşlı yıkanmış 100 ibrede yoldan 3 ile 100 metre uzaklıklardan alınan ibrelerde ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri yoldan uzaklığa bağlı olarak azalmış olup elde edilen değerler istatistiksel olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 6). Yoldan 50 ile 100 metre uzaklıktan ve yoldan 3 ile 50 metre uzaklıktan alınan 2 yaşlı yıkanmış 100 ibrede ölçülen rezerve Cd⁺² değerleri ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Tablo 6. İbrelerde Cd⁺² miktarlarına göre eşlendirilmiş örnekleme t testi sonuçları

		t	df	Sig. (2-tailed)
Eşleştirme 1	B1 Ym100/3m - B1 Ym100/50m	2,393	7	,048
Eşleştirme 2	B1 Ym100/3m - B1 Ym100/100m	3,000	7	,020
Eşleştirme 3	B1 Ym100/50m - B1 Ym100/100m	,000	7	1,000
Eşleştirme 4	B1 YmK/3m - B1 YmK/50m	1,972	7	,089
Eşleştirme 5	B1 YmK/3m - B1 YmK/100m	2,038	7	,081
Eşleştirme 6	B1 YmK/50m - B1 YmK/100m	1,758	7	,122
Eşleştirme 7	B1 Y100/3m - B1 Y100/50m	1,488	7	,180
Eşleştirme 8	B1 Y100/3m - B1 Y100/100m	2,646	7	,033
Eşleştirme 9	B1 Y100/50m - B1 Y100/100m	2,049	7	,080
Eşleştirme 10	B1 YK/3m - B1 Yk/50m	2,075	7	,077
Eşleştirme 11	B1 YK/3m - B1 Yk/100m	2,688	7	,031
Eşleştirme 12	B1 Yk/50m - B1 Yk/100m	2,160	7	,068
Eşleştirme 13	B2 Ym100/3m - B2 Ym100/50m	1,667	7	,140
Eşleştirme 14	B2 Ym100/3m - B2 Ym100/100m	2,393	7	,048
Eşleştirme 15	B2 Ym100/50m - B2 Ym100/100m	1,000	7	,351
Eşleştirme 16	B2 YmK/3m - B2 YmK/50m	3,055	7	,018
Eşleştirme 17	B2 YmK/3m - B2 YmK/100m	2,876	7	,024
Eşleştirme 18	B2 YmK/50m - B2 YmK/100m	1,852	7	,106
Eşleştirme 19	B2 Y100/3m - B2 Y100/50m	,552	7	,598
Eşleştirme 20	B2 Y100/3m - B2 Y100/100m	3,416	7	,011
Eşleştirme 21	B2 Y100/50m - B2 Y100/100m	1,871	7	,104
Eşleştirme 22	B2 YK/3m - B2 YK/50m	1,014	7	,344
Eşleştirme 23	B2 YK/3m - B2 YK/100m	1,032	7	,336
Eşleştirme 24	B2 YK/50m - B2 YK/100m	1,965	7	,090

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada; Orta-Batı Anadolu geçiş bölgesindeki ana yolların kenarlarındaki ormanlarda trafik kaynaklı kadmiyum kirliliğinin olup olmadığını tespit etmek amacıyla 8 örnek alan belirlenmiştir. Belirlenen alanlarda, yoldan 3, 50 ve 100 metre uzaklıklardan olmak üzere toplam 24 örnekleme noktasından Anadolu Karaçamı ibre ve kabukları alınarak biyomonitör olarak kullanılmıştır. Ayrıca aynı noktalardan toprak ve ölü örtü örnekleri de alınarak kimyasal analize tabi tutuldu.

Coşkun (2006) tarafından, Türkiye'nin Trakya Bölgesinden Avusturya çamı (*Pinus nigra*) kabukları toplanarak, havada yayılabilen bazı ağır metallerin dağılışı belirlenmeye çalışılmıştır. Avusturya çamı (*Pinus nigra*) kabuklarında Cd^{+2} miktarı 0,04-0,68 mg/kg arasında bulunmuştur. Sawidis ve arkadaşları (2001), *Pinus nigra* yıkanmamış ibrelerde Cd^{+2} miktarlarını 0,23-1,72 ppm arasında, *Juniperus arizona*, *Salix babylonica*, *Ligustrum japonicum*, *Populus nigra* *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus minor*, *Rosa canina* ve *Pyracantha coccinea* yıkanmamış yapraklarında Cd^{+2} miktarlarını 0,25-1,98 ppm arasında ölçmüşlerdir. Yapılan bir başka çalışma sonucunda; Cd^{+2} miktarını 0,28-0,40 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ arasında ölçmüştür (Türkan, 1986; Türkan ve Öztürk, 1990). Konya şehir merkezinde hava yoluyla yayılan ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amacıyla *Cedrus libani* ibrelerini kullanılmış olup 10-15 ve 20-25 yaşlar arasında olmak üzere iki tip ağaçlardan toplanan ibreler 1 yaşlı ve 2 yaşlı olarak ayrılıp kimyasal analize tabi tutulmuş ve analizler sonucunda 1 yaşlı ibrelerde, Cd^{+2} miktarı 0,01-0,21 ppm arasında, 2 yaşlı ibrelerde Cd^{+2} miktarı 0,01-0,18 ppm arasında bulunmuştur (Önder ve Dursun, 2006). Samecka-Cymerman ve Kempers (2006), *Pleurozium schreberi* örneklerinde Cd^{+2} miktarını 0,1-2,1 mg/kg arasında, *Pinus sylvestris* 1 yaşlı ibrelerde Cd^{+2} miktarını 0,08-0,29 mg/kg arasında, 2 yaşlı ibrelerde 0,13-0,52 mg/kg arasında ve *Pinus sylvestris* kabuk örneklerinde ise Cd^{+2} miktarını 0,33-2,1 mg/kg arasında bulmuşlardır. Baycu ve ark. (2006), İstanbul'da yaprak döken ağaçlarda Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} ve Ni^{+2} konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Materyal olarak; *Acer* sp.,

Aesculus sp., *Ailanthus* sp., *Fraxinus* sp., *Platanus* sp., *Populus* sp. ve *Robinia* sp. yaprakları seçilmiş olup, çalışma sonucunda, yapraklarda ki Cd^{+2} miktarları 0-1,35 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Denizli'de yaptıkları bir çalışmada *Robinia pseudoacacia* yapraklarında Cd^{+2} miktarını 0,32-3,70 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında, toprak örneklerinde Cd^{+2} miktarını 0,48-7,36 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında bulmuşlardır (Çelik ve ark., 2005). Tausz ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada *Pinus canariensis* ibrelerinde Cd^{+2} miktarını 15-39 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında tespit etmişlerdir. İtalya'da topraktaki kimyasal değişimler sonucundaki ağır metal durumu, *Lupinus albus* kök, gövde ve toprak örneklerinde araştırılmış olup kökte Cd^{+2} miktarı 10,23-36,84 mg/kg arasında, gövdede 5,08-9,82 mg/kg ve toprak örneklerinde 196 mg/kg olarak ölçülmüştür (Castaldi ve ark., 2005). Çiçek ve Koparal (2004) tarafından, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, *Salix alba*, *Populus tremula*, *Robinia pseudoacacia* ve *Quercus infectoria* yıkanmamış yapraklarında Cd^{+2} miktarları 0,1-7,23 mg/kg arasında bulunmuştur. Aboal ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışma sonucunda; *Quercus robur* yapraklarında Cd^{+2} miktarını 0,001-0,045 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında, *Pinus pinaster* ibrelerinde Cd^{+2} miktarını 0,033-0,187 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında bulmuşlardır. Tomasevic ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada, *Aesculus hippocastanum* yapraklarında Cd^{+2} miktarı 0,2-4,9 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında, *Tilia* sp. yapraklarında Cd^{+2} miktarı 0-1,4 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında ve alınan toprak örneklerinde Cd^{+2} miktarını 1,34-1,73 $\mu\text{g}/\text{g}$ arasında ölçmüşlerdir. İspanya'da yapılan bir çalışmada, *Populus alba* yapraklarında Cd^{+2} miktarı 0,21-3,82 mg/kg arasında, gövde örneklerinde 0,31-3,18 mg/kg arasında ve toprak örneklerinde 1,56-4,29 mg/kg arasında bulunmuştur (Madejon ve ark., 2004). El-Hasan ve ark. (2002), Ürdün Amman'da atmosferdeki metal kirliliğinin tespitinde *Cupressus sempervirens* kabuklarını biyomonitör olarak kullanmışlardır. *Cupressus sempervirens* kabuklarında Cd^{+2} miktarını 0,11-0,83 ppm arasında bulmuşlardır. *Pinus sylvestris* ibrelerinde Cd^{+2} miktarı 0-88 mg/kg olarak bulunmuştur (McEnroe ve Helmisaari, 2001). Kayseri'de ağır metal kirliliğinin tespitinde

Robinia pseudoacacia yıkanmış ve yıkanmamış yapraklarını biyolojik monitör olarak kullanmış ve analizleri sonucunda; yıkanmış yapraklarda Cd^{+2} miktarını 0,44-1,22 $\mu g.g^{-1}$ arasında, yıkanmamış yapraklarda Cd^{+2} miktarını 0,47-3,39 $\mu g.g^{-1}$ arasında ve toprak örneklerinde Cd^{+2} miktarını 0,64-9,88 $\mu g.g^{-1}$ arasında ölçülmüştür (Aksoy ve ark. 2000).

Samecka-Cymerman ve Kempers (1999), Polonya'nın Wrocław şehrinde, ağır metallerin etkilerini her dem yeşil bitkiler üzerinde araştırmışlardır. Ayrıca toprak örneklerinde de ölçüm yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda, *Ilex aquifolium* yapraklarında Cd^{+2} miktarını 0,51-1,35 mg/kg, *Mahonia aquifolium* yapraklarında 0,55-1,39 mg/kg, *Rhododendron catawbiense* yapraklarında 0,70-3,90 arasında, toprak örneklerinde ise Cd^{+2} miktarı 0,69-2,60 mg/kg arasında ölçülmüştür. Kayseri'de ağır metal kirliliğinin tespitinde *Elaeagnus angustifolia* yıkanmış ve yıkanmamış yaprakları biyolojik monitör olarak kullanılmış olup analizler sonucunda; yıkanmış yapraklarda Cd^{+2} miktarı 0,48-1,25 $\mu g.g^{-1}$ arasında, yıkanmamış yapraklarda Cd^{+2} miktarı 0,50-3,45 $\mu g.g^{-1}$ arasında ve toprak örneklerinde Cd^{+2} miktarı 0,69-10,21 $\mu g.g^{-1}$ arasında bulunmuştur (Aksoy ve Şahin, 1999). Yücel (1996) tarafından Kütahya'da trafik kökenli ağır metal (Pb, Cd ve Zn) kirliliğinin saptanması amacıyla Asya Servi Kavağı (*Populus usbekistanica* subsp. *usbekistanica* cv. "Afghanica") yaprakları analiz edilmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonucunda, Cd^{+2} miktarı 0,722-4,148 mg/kg arasında bulunmuştur. Henden ve ark. (1993) tarafından yapılan bir çalışmada *Ballota acetabulosa* yıkanmamış yapraklarında Cd^{+2} miktarı 1,50-15,3 mg/g arasında bulunmuştur. Suudi Arabistan Yanbu'daki ağır metal kirliliğinin tespiti amacıyla, *Nerium oleander* yıkanmamış yaprakları biyomonitör olarak kullanmış ve analizleri sonucunda *Nerium oleander* yıkanmamış yapraklarında Cd^{+2} miktarı 0,4-5,3 ppm arasında ölçülmüştür (Seaward ve Mashhour, 1991). Bereket ve Yücel (1990), İstanbul-Ankara anayolu üzerinde trafik kökenli ağır metalleri izlemek amacıyla *Populus nigra* subsp. *nigra* yaprak örneklerini kullanmışlardır. Çalışma neticesinde

yapraklarda Cd^{+2} miktarı 0,68-0,73 $\mu g.g^{-1}$ arasında bulunmuştur.

Bu çalışmada; toprak örneklerinde Cd^{+2} değerleri 0,53-0,77 ppm arasında, ölü örtüde 0-20 ppm arasında, kabuk örneklerinde 0-2,5 ppm arasında, Anadolu Karaçamı 1 yaşlı yıkanmamış ibrelerde 0,52-0,71 ppm arasında, 1 yaşlı yıkanmış ibrelerde 0,57-0,70 ppm arasında, 2 yaşlı yıkanmamış ibrelerde 0,52-0,68 ppm arasında ve 2 yaşlı yıkanmış ibrelerde 0,59-0,70 ppm arasında bulunmuştur.

Bu çalışmada *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* ibrelerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri, yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında; Sawidis ve arkadaşlarının 2001'de *Pinus nigra* ibrelerinde, Türkan ve Henden 1990'da *Pinus nigra* ibrelerinde, Önder ve Dursun'un 2006'da *Cedrus libani* ibrelerinde, Samecka-Cymerman ve Kempers'in 2006'da *Pinus sylvestris* ibrelerinde, Tausz ve arkadaşlarının 2005'te *Pinus canariensis* ibrelerinde, Çiçek ve Koparal'ın 2004'te *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* ibrelerinde, McEnroe ve Helmisaari'nin 2001'de *Pinus sylvestris* ibrelerinde ölçtükleri Cd^{+2} değerleri ile paralellik göstermektedir. Bu çalışmada kabuk örneklerinde elde edilen veriler, Coşkun'un 2006'da *Pinus nigra* kabuklarında, Samecka-Cymerman ve Kempers'in 2006'da *Pinus sylvestris* kabuklarında ölçtükleri Cd^{+2} değerlerine ile paralellik göstermektedir.

Toprakta izin verilebilir sınır Cd^{+2} değerleri 1-3 mg/kg arasında olmaktadır (Anonim 1986; Boşgelmez ve Ark., 2001; Romheld ve Marschner, 1991). Örnek alanlardan alınan toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarının izin verilebilir sınır değerleri geçmediği anlaşılmıştır. Ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları izin verilebilir sınır Cd^{+2} değerlerinin üzerinde bulunmuştur.

Kabukta izin verilebilir sınır Cd^{+2} değerleri 0,1-1,2 mg/kg arasında kabul edilmektedir. Çalışmamızda özellikle yol kenarında (yoldan 3 metre uzaklıktan) alınan kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} değerleri, trafik yoğunluğuna bağlı olarak izin verilebilir sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Bitkide izin verilebilir Cd^{+2} sınır değerleri 0,03-3 mg/kg arasında olduğu kabul

edilmektedir (Markert,1994; Ross,1994; Fergusson, 1990). Buna göre; araştırma alanlarından alınan ibrelerde ölçülen Cd^{+2} miktarları limit değerleri aşmamıştır.

Trafik yoğunluğu ile toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Toprak örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları tüm araştırma alanlarında izin verilebilir sınır değerleri aşmayan ve yaklaşık olarak birbirleri ile yakın değerlerde ölçülmüştür. Toprakta bulunan Cd^{+2} miktarının trafik yoğunluğuna bağlı olarak değişmediği anlaşılmıştır.

Trafik yoğunluğu ile ölü örtü örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak pozitif yönde ($p \leq 0,05$) anlamlı ilişki bulunmuştur.

Trafik yoğunluğu ile kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları ile trafik yoğunluğu arasında pozitif fakat zayıf bir ilişki olduğundan dolayı istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır.

Trafik yoğunluğu ile Karaçam ibrelerinde ölçülen toplam ve rezerve Cd^{+2} miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Karaçam ibrelerinde ölçülen Cd^{+2} miktarları ile trafik yoğunluğu arasında pozitif fakat zayıf bir ilişki olduğundan dolayı istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır.

Yoldan uzaklaştıkça toprak, ölü örtü ve kabuk örneklerinde ölçülen Cd^{+2} miktarlarının azaldığı ve ölçülen değerler ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olduğu bulunmuştur.

Yoldan uzaklaştıkça Karaçam ibrelerinde ölçülen toplam Cd^{+2} miktarları ile Karaçam 100 ibrede ölçülen rezerve Cd^{+2} miktarlarında azalma olduğu ve tespit edilen değerler ile yoldan uzaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu bulunmuştur.

Çalışmamızın sonucunda elde edilen değerler doğrultusunda, çalışma alanlarımızda trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin olduğu saptanmıştır. Ağır metallerin canlı bünyesinde birikim yapmaları ve belli bir seviyeye ulaştıklarında canlıların hayati fonksiyonlarını ciddi bir biçimde etkiledikleri için bu kirlilik insanları

ve diğer tüm canlıları yakından ilgilendirmektedir. Sağlıklı bir kent yaşamının sağlanması ve insanlar ile diğer canlıların hayati fonksiyonlarını düzgün bir şekilde sürdürebilmeleri için en kısa zamanda taşıtlarda kurşunsuz benzine geçilmesi, kurşunlu benzinin tüketiminin yasaklanması, fosil yakıt kullanımının azaltılması, yakın gelecekte fosil yakıtların yerini alabilecek ve bu yakıtlara oranla çevreye zararsız ya da daha az zararlı yeni enerji kaynaklarının bulunması, çevre yollarının yerleşim alanlarından uzakta kent dışına çıkartılması ve toplu taşıma araçlarının kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar topluca değerlendirildiğinde; Orman ekosistemlerinde trafik orijinli bir Cd birikimi olduğu görülmektedir. İbrelerde Cd daha ziyade yaprak yüzeyinde birikmekte, daha sonra yıkanma ile ölü örtüde tutulmaktadır. Cd kirliliği 3m ile 50 m arasında belirgin şekilde azalma gösterirken, 50m ile 100 m arasında fazla bir değişim göstermemektedir. Bu da Cd kirliliğinin yoldan 50 metre uzaklığa kadar etkili olduğunu göstermektedir. Ana yoldan uzaklaştıkça toprak, ölü örtü, kabuk ve ibrelerdeki trafik orijinli Cd kirliliği göreceli olarak azalma eğilimindedir. Bazı örnek alanlarda yoldan uzaklık kirlilik ilişkisi çok belirgin ortaya çıkarken bazı örnek alanlarda hiçbir ilişki olmadığı görülmektedir. Bu da orman ekosistemlerinde trafik orijinli Cd kirliliğinin yoldan uzaklık ve yıkanma dışında başka faktörlere göre de değişim gösterdiğine işaret etmektedir. Kirliliğin dağılımını etkileyen diğer unsurlarında belirlenebilmesi için bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Aboal, J. R., (2004). Fernandez, A. Carballera., Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution. *Environmental and Experimental Botany* 51: 215–225
- Aksoy, A., Şahin, U., Duman, F., (2000). *Robinia pseudoacacia* L. as a Possible Biomonitor of Heavy Metal Pollution in Kayseri. *Turk. J. Botany* 24: 279-284
- Aksoy, A., Şahin, U., (1999). *Elaeagnus angustifolia* L. as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution. *Tr. J. of Botany* 23; 83–87

- Anonim. (1986). Avrupa Topluluğu Konseyi, Kanalizasyon atıklarının tarımda kullanılması halinde çevrenin ve özellikle toprağın korunması hakkında 12 Haziran 1986 tarihli konsey direktifi (86/278/EEC).
- Baycu, G., Tolunay, D., Özden, H., Günebakan, S., (2006). Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in İstanbul. *Environmental Pollution* 143: 545-554.
- Bereket, G., Yücel, E. (1990). Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Eskişehir, Doğa-Tr.J. of Chemistry, 14: 266-271.
- Boşgelmez A., Boşgelmez İ.İ., Savaşçı S., Paslı N., (2001). Ekoloji –II Toprak. Hacettepe Üniversitesi, Başkent Klîşe Matbaacılık.
- Castaldi, P., Santona, L., Melis, P., (2005). Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere* 60. 365–371.
- Coşkun, M., (2006). Toxic Metals In The Austrian Pine (*Pinus nigra* Arnold.) Bark In The Thrace Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 121: 173–179
- Çelik, A., Aslıhan A. Kartal, (2005). Abdullah Akdoğan, Yakup Kaska, Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudoacacia* L. *Environment International* 31: 105–112
- Çiçek, A., Koparal, A.S., (2004). Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant *Chemosphere* 57, 1031–1036
- El-Hasan, T., Al-Omari, H., Jiries, A., Al-Nasir, F., (2002). Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environment International* 28: 513–519.
- Fergusson, J., (1990). The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health effects, Reader in Chemistry, University of Canterbury, New Zeland, Pergamon Pres, 1st edition.
- Halvin, J.L., Soltanpour, P.N., (1980). A nitric acid plant tissue digest method for use inductively-coupled plasma spectrometry. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 11: 969-80.
- Henden E., Türkan İ., Çelik Ü. ve Kuvılcım Ş., (1993). Ağır Metal Kirlenmesinin Bir Monitörü Olarak *Ballota acetobulosa* (L.) Bentham, I. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Ankara.
- Jiang W. Z., Li, J.L., (1989). “Effects of Cadmium on Photosynthetic Characteristics of Tobacco” *Plant Physiology*
- Kılınç C., (2003). Eskişehir topraklarında ağır metal ve makro elementlerin incelenmesi, Lisans bitirme tezi, Anadolu Üniversitesi, Çevre mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye.
- Madejon, P., (2004). Teodora Maranon, Jose M. Murillo, Brett Robinson, White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. *Environmental Pollution* 132: 145-155
- Markert, B., (1994). Plants of biomonitors-potential advantages and problems. In: Adriano, D.C., Chen, Z.S., Yang, S.S. (Eds.), *Biochemistry of Trace Elements*. Science of Technology Letters, Nortwood, NY, pp. 601–613.
- McEnroe, N. A., H. S. Helmisaari., (2001). Decomposition of Coniferous forest litter along a heavy metal pollution gradient, South-West Finland. *Environmental Pollution* 113: 11-18.
- Nriagu, J. O., (1984). Changing metal cycles and human health. Springer-Verlag, Berlin pp: 445.
- Önder, S., Dursun, Ş., (2006). Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment* 40: 1122–1133
- Pasquale, R., Rapisarda, A., Germano, M.P., Ragusa, S., Kirjavainen, S., Galati E.M., (1995). Effects of Cadmium on Growth and Pharmacologically Active Constituents of the Medicinal Plant *Coriandrum sativum* L. *Water, Air and Soil Pollution*, 84: 1-2: 147-157.
- Romheld, V., Marschner, H., (1991). Function of micronutrients in plants. In: Mortvelt, J.J. (Eds.), *Micronutrient in Agriculture*, second ed. SSSA Book Ser. 4. SSSA, Madison, WI.
- Ross, M.S., (1994). Sources and form of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems* (ed M.S.Ross) pp. 3- 25. John Wiley, Chichester.
- Samecka-Cymerman, A., Kempers, A.J., (1999). Bioindication of heavy metals in the town Wroclaw (Poland) with evergreen plants. *Atmospheric Environment* 33: 419-430
- Samecka-Cymerman, A., G. Kosior, Kempers, A.J., (2006). Comparison of the moss *Pleurozium schreberi* with needles and bark of *Pinus sylvestris* as biomonitors of pollution by industry in Stalowa Wola (southeast Poland). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 65: 108–117
- Sawidis, T., M. K. Chettri, A. Papaioannou, G. Zachariadis, J. Stratis., (2001). A Study of Metal Distribution from Lignite Fuels Using Trees as Biological Monitors. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 48, 27}35.
- Sawidis, T., Marnasidis, A., Zachariadis, G., Stratis, J., (1995). A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using

trees as biological indicators, Arch Environ Contam Toxicol, 28:118-124.

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

Tausz, M., Trummer, W., Goessler, W., Wonisch, A., Grill, D., Naumann, S., Jimenez, M.S., Morales, D., (2005). Accumulating pollutants in conifer needles on an Atlantic island - A case study with *Pinus canariensis* on Tenerife, Canary Islands. Environmental Pollution 136: 397-407.

Tomasevic, M., Rajsic, S., Dordevic, D., Tasic, M., Krstic, J., (2004). Novakovic, V., Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. Environ Chem Lett 2:151-154.

Türkan, İ., Henden E., (1990). Monitoring of heavy metals using bark samples of pine (*Pinus* sp.). Urban Ecology (Ed. M.Öztürk, Ü. Edem, G. Görk) Ege Univ. Pres, İzmir pp:72.

Türkan, İ., Öztürk M., (1990). Lead contamination in the plants growing near motor roads. Jour. Fac. Sci. Ege Univ., 2: 25-33.

Türkan, İ., (1986). İzmir İl Merkezi ve Çevre Yolları Kenarında Yetşen Bitkilerde Kurşun, Çinko ve Kadmiyum Kirlenmesinin Araştırılması, Turkish Journal of Biology, 10/1: 116-120.

Yücel, E., (1996). Investigation on Pb, Cd ve Zn Pollution from Traffic Using Asian Populus (*Populus usbekistanica* Kom. subsp. *usbekistanica* cv. "Afghanica" in Kütahya City (Turkey), Turkish Journal of Botany, 20/2: 113-116