

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Pb, Cd, Sb ve Ni KİRLİLİĞİNE MARUZ KALMIŞ
TARIM TOPRAKLARININ
YONCA (*MEDICAGO SATIVA L.*) BİTKİSİ
KULLANILARAK DOĞAL ARITIMI**

**Tezi Hazırlayan
M. Cüneyt BAĞDATLI**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE**

**Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Pb, Cd, Sb ve Ni KİRLİLİĞİNE MARUZ KALMIŞ
TARIM TOPRAKLARININ
YONCA (*MEDICAGO SATIVA L.*) BİTKİSİ
KULLANILARAK DOĞAL ARITIMI**

**Tezi Hazırlayan
M. Cüneyt BAĞDATLI**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE**

**Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından NÜBAP18F4 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE danışmanlığında **M. Cüneyt BAĞDATLI** tarafından hazırlanan " **Pb, Cd, Sb ve Ni Kirliliğine Maruz Kalmış Tarım Topraklarının Yonca (*Medicago Sativa L.*) Bitkisi Kullanılarak Doğal Arıtımı**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Kimya Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

17/06/2019

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Fatma KARİPCİN

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE

Üye : Doç. Dr. Nalan ÖZDEMİR

ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 26.06.2019 tarih ve 39-376 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27/06/2019
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



M. Cüneyt BAĞDATLI



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan ve tezimin her aşamasında değerli bilgilerini esirgemeyen ve Kimya Anabilim Dalı Analitik Kimya alanında yetişmemi sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Kimya Anabilim Dalına şahsımı kabul ederek ilgili anabilim dalında yüksek lisans yapmama imkân tanıyan ve özellikle ders aşamalarında teknik bilgi ve deneyimlerini esirgmeden aktaran ve yetişmemde büyük emeğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Fatma KARİPCİN'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmaya teknik bilgi ve desteğini esirgmeden sağlayan değerli meslektaşım Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi öğretim üyelerinden Dr. İlknur UÇAK'a şükranlarımı sunarım.

Yürütülen bu araştırma esnasında serada deneme deseninin kurulmasında bitkilerin yetiştirilmesi ve örneklerinin alınmasında ayrıca laboratuvar ortamında bitki ve toprak örneklerinin analizleri esnasında emeklerini esirgmeden destek sağlayan değerli öğrencilerim, Eda Nur ARIKAN, Esra CAN, Oğuzhan ARSLAN ve Yiğitcan BALLI'ya teşekkür ederim.

Bunun yanında çalışmanın finansmanını sağlayan ve NÜBAP18F4 nolu projesi ile araştırmayı destekleyen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

**Pb, Cd, Sb ve Ni KİRLİLİĞİNE MARUZ KALMIŞ
TARIM TOPRAKLARININ YONCA (*MEDICAGO SATIVA L.*) BİTKİSİ
KULLANILARAK DOĞAL ARITIMI**

(Yüksek Lisans Tezi)

M. Cüneyt BAĞDATLI

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2019

ÖZET

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metalleri tarafından kirletilmiş toprakların yonca (*Medicago sativa L.*) bitkisi ile doğal yollarla arıtımının sağlanılmasını amaçlanmıştır. Çalışma 2017 Ekim – 2018 Mayıs dönemleri arasında Nevşehir ilinde sera koşullarında saksı denemeleri doğrultusunda yapılmıştır. Ağır metallerin her birinden 25 kg'lık saksı toprağındaki toplam derişimleri, 1000, 2000, 4000 ve 8000 ppm olacak şekilde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ağır metaller tek seferde 1 L saf su ile çözelti şeklinde uygulanmıştır. Çalışmada hiç ağır metal uygulanmayan 0 (kontrol) grubu da oluşturulmuş ve her bir uygulamadan 3 tekerrür olacak şekilde deneme deseni kurulmuştur. Deneme esnasında ağır metallerin topraktan alımını kolaylaştırmak amacı ile şelat vb. uygulamalar ile saksı topraklarının farklı oranlarda kum ve torf ile karışımları yapılmamış, tarla toprağı direk kullanılmıştır. Bu amaçla denemenin sera koşullarında kısmen de olsa çiftçi şartlarını temsil etmesi sağlanılmaya çalışılmıştır. Saksılarda yonca bitkisi yetiştirilmiş yoncalar 6 cm uzunluğa ulaştığında 4 dönem boyunca vejetatif kısımlarından alınan örnekler çözülmüş ve ICP-MS cihazında ağır metal derişimleri ölçülmüştür. Sonuç olarak 1000 ppm Cd uygulanan saksılardan bitki kökleri ile toplam alımın 265,563 ppm olduğu ve toplam Cd'un % 26,56'sının bitkiye geçtiğı belirlenmiştir. 8000 ppm uygulamasından ise 344,224 ppm alındığı ve toplam Cd birikiminin % 4,30'unun bitki tarafından alındığı gözlenmiştir. Ni uygulanan saksılarda 1000 ppm uygulamalarındaki Ni alımının 213,817 ppm olduğu (%21,38'i), 8000 ppm uygulamaların da ise 275,354 ppm (% 3,44'ü) olduğu görülmüştür.

Pb uygulamalarında ise 1000 ppm uygulandığında 28,527 ppm (% 2,85'i), 8000 ppm uygulandığında bitki kökleri ile alınan Pb miktarının ise 68,605 ppm (% 0,86'sı) olduğu belirlenmiştir. Sb uygulamasının 1000 ppm olarak yapıldığı saksılardan toplam Sb miktarının alımı 14,437 ppm (% 1,44'ü) ve 8000 ppm uygulananlardan ise 27,803 ppm ve toplam uygulanan Sb miktarının ancak % 0,35'inin bitki tarafından topraktan alınabildiği görülmüştür. Toprakten yonca bitkisinin kökleri yardımıyla uygulanan ağır metallerin alımının sırasıyla Cd ve Ni'in daha kolay alındığı, Pb ve Sb'nini ise Cd ve Ni'e göre daha zor gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yonca bitkisinin Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metal birikimlerinin topraklarda doğal yollarla arıtımı herhangi bir şelatör desteği olmadan başarılı olmuş ve ağır metallerin 4 dönem boyunca topraktan doğal arıtımı giderek arttan bir eğilim göstermiştir. Yonca bitkisinin hiçbir şelat desteği olmadan ağır metal kirliliğine maruz kalan tarım topraklarında doğal arıtım açısından kullanılması ekonomik olarak ülke doğal kaynaklarına ve çevre kirliliğinin giderilmesine yönelik çalışmalarda olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Ağır Metal Kirliliği, Yonca (Medicago Sativa L.), Fitoremediasyon, Tarım Toprakları, Doğal Arıtım*

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aşlıhan KARATEPE

Sayfa Adedi: 87

**NATURAL TREATMENT of AGRICULTURAL SOILS EXPOSED to
Pb, Cd, Sb and Ni POLLUTION
by USING ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA L.*) PLANT**

(M.Sc. Thesis)

M. Cüneyt BAĞDATLI

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES**

June 2019

ABSTRACT

In this study, it was aimed to provide the naturally refinement of soils by alfalfa plant (*Medicago sativa L.*) polluted in different concentrations of Pb, Cd, Sb and Ni heavy metals. The study was carried out between October 2017 and May 2018 in the greenhouse conditions towards the flowerpot trials in Nevşehir province. Applications were made with a total concentration of 25 kg of flowpot soil from each of the heavy metals in 1000, 2000, 4000 and 8000 ppm concentrations. Heavy metals were applied in solution with 1 L of distilled water at a time. In the study, 0 (control) group which heavy metal was not applied was also formed and a trial design was established with 3 replications from each application. During the trial, in order to facilitate the intake of heavy metals from the soil, the mixture of flowerpot soils with different concentrations of sand and peat with the treatments such as chelate was not conducted. Topsoil was used directly. For this purpose, it was tried to ensure that the experiment represented the greenhouse conditions partially of the farmers conditions. When the alfalfa plant reached 6 cm length, the samples which were taken from the vegetative parts solved within 4 periods and the heavy metal concentrations were measured in ICP-MS. As a result, it was determined that the total intake of Cd with plant roots from flowerpots which 1000 ppm applied was 265,563 ppm and 26,56% of the total Cd was transmitted to the plant. It was observed that in 8000 ppm application, 344,224 ppm was taken and 4.30% of total Cd accumulation was taken by the plant. In the 1000 ppm Ni applied flowerpots the Ni intake was observed as 213,817 ppm (21,38%), while the Ni intake was 275,354 ppm (3,44%) in 8000 ppm Ni application.

In the 1000 ppm Pb treatment the intake of Pb by plant roots was determined as 28,527 ppm (2,85%), whereas this amount was 68,605 ppm (0,86%) when 8000 ppm Pb applied. It was observed that in the 1000 ppm Sb treated flowerpots the intake of Sb was 14,437 ppm (1,44%), in the 8000 ppm Sb treated flowerpots the intake was 27,803 ppm and the total Sb intake by the plant roots was 0,35% of total Sb amount. It was concluded that the intake of Cd and Ni heavy metals by the roots of alfalfa from the soil was easier than the Pb and Sb. According to the obtained results, the natural refinement of Pb, Cd, Sb and Ni heavy metals by alfalfa plant was succeed without any chelator support and the natural refinement of heavy metals from the soil for 4 periods showed an increasing tendency. It might be thought that the use of alfalfa plant as a natural refinement in topsoils exposed to heavy metal pollution without any chelate support will provide economically positive contributions to the natural resources of the country and also will make positive contributions to the studies aimed the eliminating environmental pollution.

Keywords: *Heavy Metal Pollution, Alfalfa (Medicago Sativa L.), Fitoremediation, Agriculture Soils, Natural Treatment*

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Aslhan KARATEPE

Page Number: 87

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
RESİMLER LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
1. BÖLÜM.....	1
GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM.....	5
AĞIR METALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1. Araştırmada Kirlenici Olarak Kullanılan Ağır Metaller.....	5
2.2. Araştırmada Kullanılan Metallerin Sınır Değerleri.....	7
2.3. Ağır Metal Kirlilik Kaynakları.....	7
2.4. Ağır Metal Kirliliğinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	8
3. BÖLÜM.....	10
DOĞAL ARITIM (FİTOREMEDİASYON) YÖNTEMLERİ.....	10
3.1. Fitoremediasyon Yöntemleri.....	10
3.2. Doğal arıtım Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	12
4. BÖLÜM.....	14
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	14
5. BÖLÜM.....	22
MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
5.1. Materyal.....	22
5.1.1. Doğal arıtım amaçlı yetiştirilen bitki.....	22

5.1.2.	Kullanılan deneme toprağı.....	22
5.1.3.	Uygulanan kimyasal gübre.....	23
5.2.	Yöntem.....	23
5.2.1.	Laboratuvarda kullanılan cihazlar, malzemeler ve kimyasallar.....	23
5.2.2.	Saksı denemesinin kurulması ve yürütülmesi.....	24
5.2.3.	Toprağı ağır metal uygulamaları.....	28
5.2.4.	Sulama suyu uygulamaları.....	28
5.2.5.	Bitki ve toprak örneklerinin alınması.....	29
5.2.6.	Bitkide ağır metal analizleri.....	31
5.2.7.	Toprakta yapılan analizler.....	32
5.2.8.	Suda yapılan kimyasal analizler.....	33
5.2.9.	Sertifikalı referans madde analizleri.....	34
5.2.10.	İstatistikî analizler.....	34
6. BÖLÜM.....		35
ARAŞTIRMA BULGULARI.....		35
6.1.	Denemede Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	35
6.2.	Sulamada Kullanılan Suyun Kalite Özellikleri.....	35
6.3.	Bitkide Ölçülen Cd Değerleri.....	36
6.4.	Bitkide Ölçülen Ni Değerleri.....	45
6.5.	Bitkide Ölçülen Pb Değerleri.....	54
6.6.	Bitkide Ölçülen Sb Değerleri.....	63
6.7.	Toprakta Biriken Toplam Ağır Metal Miktarının Doğal Arıtım Seviyesi.....	72
6.8.	Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Doğruluğunun Belirlenmesi.....	74
7. BÖLÜM.....		75
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		75
KAYNAKLAR.....		79
ÖZGEÇMİŞ.....		87

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metallerinin bazı özellikleri.....	5
Tablo 2.2. İçme sularında bazı ağır metallerin izin verilen limit değerleri.....	7
Tablo 2.3. Araştırmada kullanılan ağır metallerin bazı kirlilik kaynakları.....	8
Tablo 5.1. Uygulanan gübrenin pH, EC ve bazı ağır metal içerikleri.....	23
Tablo 5.2. Toprağa uygulanan ağır metal tuzları ve uygulama miktarları.....	28
Tablo 5.3. Bitki ve toprak örneklerinin alındığı dönemler.....	31
Tablo 5.4. Toprak ve bitki için sertifikalı referans madde değerleri.....	34
Tablo 6.1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	35
Tablo 6.2. Uygulanan sulama suyuna ilişkin bazı kimyasal özellikler.....	36
Tablo 6.3. Bitkide dönemsel olarak yapılan Cd ölçüm sonuçları ile uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	41
Tablo 6.4. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	42
Tablo 6.5. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı.....	43
Tablo 6.6. Cd birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri.....	44
Tablo 6.7. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Cd miktarları ve yüzde oranları.....	45
Tablo 6.8. Bitkide dönemsel olarak yapılan Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	51
Tablo 6.9. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	51
Tablo 6.10. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı.....	52
Tablo 6.11. Ni birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri.....	53
Tablo 6.12. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Ni derişimleri ve yüzde oranları.....	54

Tablo 6.13. Bitkide dönemsel olarak yapılan Pb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	59
Tablo 6.14. Bitkide Pb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	60
Tablo 6.15. Bitkide Pb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı.....	61
Tablo 6.16. Pb birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri.....	62
Tablo 6.17. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Pb miktarları ve yüzde oranları.....	63
Tablo 6.18. Bitkide dönemsel olarak yapılan Sb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....	68
Tablo 6.19. Bitkide Sb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	69
Tablo 6.20. Bitkide Sb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı.....	70
Tablo 6.21. Sb birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri.....	71
Tablo 6.22. Farklı uygulama derişimlerinde toplamda dört hasat döneminde bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Sb derişimleri ve yüzde oranları.....	72
Tablo 6.23. Toprakta oluşan toplam ağır metal yükü ve uzaklaştırılan miktarları....	73
Tablo 6.24. Uygulanan ağır metal çözme yöntemin doğruluğunun belirlenmesi ve geri kazanım değerleri (%)......	74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Fitoremediasyon yöntemleri	12
Şekil 5.1. Denemede uygulanan ağır metaller ve uygulama derişimleri.....	26
Şekil 5.2. Deneme planı ve uygulama düzeni.....	27
Şekil 6.1. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	37
Şekil 6.2. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	38
Şekil 6.3. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	39
Şekil 6.4. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	40
Şekil 6.5. Yonca bitkisinin tüm biçim dönemleri için ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	41
Şekil 6.6. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	46
Şekil 6.7. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	47
Şekil 6.8. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	48
Şekil 6.9. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	49
Şekil 6.10. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	50
Şekil 6.11. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	55
Şekil 6.12. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	56
Şekil 6.13. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	57

Şekil 6.14. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	58
Şekil 6.15. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	59
Şekil 6.16. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	64
Şekil 6.17. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	65
Şekil 6.18. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	66
Şekil 6.19. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	67
Şekil 6.20. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı.....	68

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Pb, Cd, Sb ve Ni'in maden formları.....	6
Resim 5.1. Denemenin yürütüldüğü sera alanı.....	25
Resim 5.2. Toprağa taban gübresi uygulaması ve yonca tohum ekimi.....	25
Resim 5.3. Deneme düzeninden bir görüntü.....	27
Resim 5.4. Sulama suyu uygulamaları.....	29
Resim 5.5. Bitki örneklerinin alınması.....	30
Resim 5.6. Bitki örneklerinde yapılan bazı analiz işlemleri.....	32
Resim 5.7. Toprak örneklerinin tartılması.....	33



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ppm	:mg/kg (miligram/kilogram), mg/L (miligram/Litre)
ppb	: μ g/kg (mikrogram / kilogram), μ g/L (mikrogram/Litre)
mL	:Mililitre
g	:Gram
pH	:Asitlilik ve baziklik ölçüsü
EC	:Elektriksel İletkenlik
EU	:Avrupa Birliği
WHO	:Dünya Sağlık Örgütü
TS	:Türk Standartları
SRM	:Sertifikalı Referans Madde
EC	:Elektriksel İletkenlik
SAR	:Sodyum Adsorbsiyon Oranı
ICP-MS	:Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
DTPA	:Dietilen triamine penta asetik asit
EDDHA	:Etilen diamin dihidroksifenil asetik asit
EDTA	:Etilen diamin tetra asetik asit
μ mhos/cm	:mikromhos / santimetre

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ile birlikte sanayileşme ve araç yoğunluklarının da buna paralel artış eğiliminde olması beraberinde çevre kirliliğinin artmasına yol açmıştır. Sanayileşme hızı 1990 - 2002 yılları arasında % 3,8 oranında bir büyüme göstermişken bu oran 2002 - 2016 yılları arasında % 1,7 artışla % 5,5 seviyelerine kadar yükselmiştir. Sanayi ve evsel atıkların deşarj edilmeden özellikle akarsu yataklarına salınması ve bu bölgelerden tarımsal üretim amaçlı sulama yapılması da özellikle toprakta ağır metal kirlilik düzeylerinin artmasına ortam hazırlamaktadır.

İnsan sağlığını etkileyen en önemli problemlerden biri de çevre kirliliğidir. Sanayileşmenin artmasına paralel olarak teknolojiye yaşanan yenilikler le birlikte insan standartları yükselmiş ölüm oranlarında ciddi azalış meydana gelmiş ancak kent alanlarında hızlı bir nüfus artışı kendini göstermiştir. Bu da nüfus artışına paralel olarak çevre kirliliğinin artmasına ivme kazandırmıştır. Sanayileşmenin yoğun bir şekilde artması ve buna bağlı olarak üretim proseslerinde meydana gelen yan ürünler çevresel ve ekolojik dengeyi bozan etkenler olarak kendini göstermiştir [1].

Bununla beraber şehir ile birlikte sanayi kaynaklı atık suların arıtılmadan tarımsal alanlarda kullanımı veya tarımsal alanlara kontrolsüz bir şekilde deşarjı tarım topraklarında ağır metal birikiminin oluşmasına neden olmakta bu da tarımsal üretimi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizde arıtılmadan yaklaşık olarak 425 bin m³ atık suyun akarsu yataklarına deşarj edildiği ve bununla beraber 50 bin m³ suyun barajlara, 26 bin m³ atık suyun ise göllere arıtılmadan veya herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan deşarj edildiği tahmin edilmektedir.

“Tarımsal üretimde önemli bir yetiştirme ortamı sağlayan ve Dünya'nın temel yapı taşı oluşturulan toprak; Yeryüzünün dışını kaplayan, kayaların ve organik maddelerin, tarla ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş canlılar âlemini barındıran, bitkilere durak yeri olan ve onlara belirli miktarlarda besin elementlerini sunabilen ve belirli oranlarda su ve hava içeren canlı bir varlıktır” [2]. Bu canlı yapının giderek deforme edilmesi ve artan çevre kirliliğine maruz kalarak mevcut doğasının bozulması tarımsal üretimi de olumsuz etkilemektedir.

Çoğunlukla atom numarası 20'den büyük elementler ağır metal kapsamına girmekte ve bu sınıfa giren elementler $4,5 \text{ g/cm}^3$ den daha yüksek yoğunluğa sahip elementler olarak adlandırılmaktadırlar.

Ağır metal kirlilik düzeylerine rastlanan sahalardaki üretilen tarım ürünlerinde aşırı ağır metal birikimi bitkilere toksik etkiler yaparken, bitkinin genel olarak gelişiminin bozulmasına, kök yapısının deforme olmasına neden olur [3]. Ağır metaller bitkilerde yapraklardaki stoma hareketlerine, fotosentez ve enzim aktivitesine, transpirasyona ve fizyolojik aktivitenin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadırlar [4].

Toprağın ağır metallerle kirlenmesi tarımsal üretimin olumsuz etkilenmesine, verim düşüşüne neden olmakta ve dolaylı olarak da insan sağlığına ciddi tehlikeler ortaya koymaktadır. Özellikle sanayi kuruluşlarının yakınındaki tarım toprakları ile karayoluna yakın tarımsal üretim alanlarında yüksek miktarlarda ağır metal kirlilikleri ile karşılaşmak mümkündür. Nevşehir bölgesinde özellikle karayoluna yakın olan tarımsal üretim alanlarında yapılan çalışmalarda Pb, Cd, Sb ve Ni metallerinin izin verilen sınır değerleri üzerinde olduğu görülmüştür [5].

“Toprağın gereksinim duyulan miktarlarda devamlılığını sağlamak, niteliğini ve verimliliğini halkın yaşam temellerini karşılayacak düzeyde tutmak, tüm ülkelerde ulusal bir politika haline gelmiştir. Bu politikanın başarıya ulaşması için, toprak kirliliği sorununun tüm boyutlarıyla kavranması gerekmekte ve kirlenmenin önlenmesi için tedbirler alınmalıdır” [6].

Ağır metal kirlilik düzeyleri ile karşılaşılan topraklarda ağır metallerin uzaklaştırılması için uygulanan bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan camlaştırma işlemi ile ağır metallerin giderilmesi işleminde 75 - 425 \$/ton bir maliyet oluşurken, toprağın taşınarak başka bir atık alana götürülerek gömülmesi işleminde 100-500 \$/ton ve kimyasal uygulamalar yapılarak ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması işleminde ise 100 - 500 \$/ton'luk bir maliyet oluşmaktadır [7]. Daha bu ve buna benzer birçok yöntemde ciddi arıtım maliyetleri ortaya çıkmakta bu da yapılan işin fizibil olarak ortaya çıkmamasına ortam hazırlamaktadır. Gelişmiş ülkelerde maliyetler de dikkate alınarak bitkisel ıslah sistemleri oluşturulmuş ve doğal arıtım sistemleri planlanmıştır.

Kirlenmiş alanların bitkilerle ıslahı veya iyileştirilmesi kirlilik düzeylerinin minimize edilmesi, uygulamanın doğal yollarla ve ekonomik olarak minimum düzeyde sağlanabilmesi gibi nedenlerden ötürü giderek artmasına neden olmaktadır.

Fiteromediasyon dışındaki yöntemlerin çok fazla maliyet gerektirmesi ağır metaller ile kirlenmiş tarımsal üretim sahalarının kullanım dışı kalmasına veya tarımsal üretim yapılmasına devam edilmesi durumunda ise verim kayıplarına ve bitkide toksik etkilere ve insan sağlığına olumsuz etkilerin oluşmasına neden olmaktadır.

Maliyetin düşük olması ve kesin sonuçlara ulaşılabilmesi ve toprağın taşınmadan bulunduğu yerde arıtılabilmesi fiteromediasyon gibi bitkiler yardımıyla doğal yollarla topraktan ağır metal gideriminin sağlanması şeklinde alternatif çözüm arayışlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Tarımsal üretim sahalarında kültürü yapılan bitkiler ile farklı endemik bitki türlerinin büyük bir çoğunluğu topraktan metalleri alabilme yeteneğine sahiptirler. Ancak bazı bitki türleri yüksek oranda ağır metali bünyesine alma özelliğine sahipken bazı bitki türleri ise ağır metalleri bünyesine alabilme düzeyi olarak daha az etkindir. Fitoremediasyon yöntemi için kullanılacak en uygun bitki türleri metali bünyesinde biriktirebilmeli ve metale tolerans göstererek yüksek biyo kütleyle sahip olabilmelidir. Nevşehir ilinde hayvansal yem üretim amaçlı olarak tarımı yapılan yonca bitkisi çok yıllık, tarımsal üretimi kolay, derin kök yapısına sahip ve çiftçi şartlarında uygulama kolaylığının olması nedeniyle topraklardan ağır metal kirliliğinin doğal arıtım yöntemlerinden olan fiteromediasyon teknikleriyle kullanılarak performansının ortaya konulması araştırmada bu bitkinin ağır metal kirliliğine maruz kalmış toprakların doğal yöntemlerle arıtımı konusunda denenmesi imkânını ortaya koymuştur.

Bu araştırmada elde edilen veriler özellikle Nevşehir bölgesinde ağır metal kirliliği gözlenen alanlardaki kirlilik düzeylerinin azaltılması veya tamamen giderilmesi hususunda önemli katkılar ortaya koyacaktır. Kolay yetişen ve çok yıllık bir bitki türü olan yoncanın seçilmiş olması elde edilecek sonuçların bölgeye uygulanabilirliği konusunda büyük katkılar sağlayacaktır.

Çalışmanın özellikle bölgeden alınan tarla topraklarına herhangi bir karışım harç toprağı oluşturmada (kum, torf vs.) direk olarak saksı ortamında kullanılması araştırmanın bölge toprağını temsil etmesi açısından son derece önemli olmuştur.

Bunun yanında topraklardan ağır metal emilimi kolaylıkla sağlayan EDTA (Etilendiamin tetraasetik asit) DTPA (Dietilen triamine penta asetik asit), EDDHA (etilen diamin dihidroksifenil asetik asit), amino-asit, humik asit, fulvik asit gibi şelatörlerin kullanılmadan bu ağır metal alımının sadece yonca bitkisinin performansına dayalı olarak gerçekleştirilmesi uygulamaya ve maliyete yönelik avantajlar sağlamaktadır.

Nevşehir yöresi jeolojik yapısı itibarıyla ağır metal kirliliğinin yaygın olarak rastlandığı yerlerden biridir. Ayrıca karayoluna yakın tarım alanlarında ve sanayi bölgelerindeki tarım topraklarında da ağır metal birikimlerine rastlandığı yapılan ön inceleme çalışmalarında da tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların Nevşehir ilindeki tüm tarımsal alanlarda uygulanabilecek olması çalışmanın katma değerini göstermektedir. Araştırmada elde edilen sonuçlar tarımsal üretim yapan çiftçilere de anlatılarak fiteromediasyon teknikleri yardımıyla topraklarının ağır metal kirlilik düzeylerinin giderilmesi konusunda bilgilendirme yapılacak ve tarımsal üretim alanlarında daha kaliteli ve sağlığa zarar düzeyi minimum düzeye indirgenmiş üretim yapılabilmesine önemli katkılar sağlanacaktır.

2. BÖLÜM

Bu kısımda özellikle çalışma kapsamında incelenen Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metallerinin kimyasal yapısı ve davranışları, kirlilik kaynağı dâhilinde meydana getirdiği zararlar, izin verilebilir sınırları, çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri detaylı olarak aşağıda verilen konu başlıkları dâhilinde özet olarak sunulmuştur.

AĞIR METALLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Yoğunluğu $4,5 \text{ g/cm}^3$ 'den büyük ve atom ağırlıkları 63,546-200,590 arasında olan elementler “ağır metal” olarak adlandırılmaktadır. Bazı bilim insanları tarafından iz element, semi-metalik element veya hafif metal terimleri de ağır metaller için kullanılmıştır [8]. Bu durumda, kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko gibi daha birçok metal ağır metaller grubunda yer almaktadır. Canlı ve organizma yapılarında bazı ağır metaller (Mn, Mo, Se, Cu, Co, Fe) eser miktarlarda bulunurken Cd, Cr, Hg, Pb ve As gibi bazı ağır metallere ise gereksinim duymazlar ve yapılarında da barındırmazlar.

2.1. Araştırmada Kirletici Olarak Kullanılan Ağır Metaller

Araştırmada kirletici olarak Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metalleri kullanılmıştır. Kullanılan ağır metallere ilişkin bazı bilgiler Tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metallerinin bazı özellikleri

Ağır Metaller	Grubu	Atom Numarası	Atom Ağırlığı (g/mol)	Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	Erime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)
Pb	6A	82	207,2	11,37	327
Cd	2B	48	112,441	8,65	321
Sb	7A	51	121,76	6,70	630
Ni	8B	28	58,693	8,85	1455

Çalışma kapsamında belirtilen elementlerin tuz formları kullanılmış olup Pb için; $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Cd için; $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, Sb için; SbCl_3 ve Ni için ise $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında kirletici olarak kullanılan Kurşun (Pb); 6A grubu elementlerinden 82 atom numarası ve 207,2 g/mol atom ağırlığına sahip korozyona karşı dayanıklı bir elementtir. Kurşun (Pb); Erime noktası 327 °C olan kurşun değişik alaşımlarla kullanılabilme özelliğine sahiptir. Metaller arasında yassılaşıma ve tel çekme özelliğine de sahip bir metal olan kurşun, akü imalatı, kabloların kaplanması, renkli TV tüplerinin yapımı ve mühimmat imalatı gibi daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum (Cd); oda koşullarında katı halde bulunup mavimsi simli gri bir renge sahiptir. Peryodik tabloda 2B grubunda yer almakta olup atom numarası 48, atom ağırlığı ise 112,441 g/mol'dur. Bu elementin oda sıcaklığındaki yoğunluğu ise 8,65 g/cm³ olup 321 °C'de eridiği bilinmektedir.

Antimon (Sb); insanlar tarafından çok eski zamanlardan beri kullanılan ve günümüzde stratejik önemi olan bir metaldir. Gümüş beyazı renğinde, kolay kırılabilen, katı kristalin yapıda olup, elektrik ve ısı iletkenliği çok zayıf bir elementtir. Antimonun atom ağırlığı 121,76 g/mol, özgül ağırlığı ise 6,7 g/cm³ olup erime sıcaklığı 630 °C'dir. Alaşımlarda kullanılarak sertleştirici ve korozyonu önlemesi gibi bazı özellikleri nedeniyle birçok sanayinin hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Bu element paslanmaz çelik ürünleri ve emaye kaplama yerine kullanılabilir. Boya, pigment ve emayedeki antimon kimyasalları yerine titan, krom, kalay, çinko ve zirkon kullanılmaktadır [9].Nikel (Ni); periyodik tabloda 8B grubu elementlerinden, atom numarası 28 olup 1455 °C de erimekte ve sert bir madde formundadır. Parlak olması nedeni ile metal kaplamada kullanılır. Nikelin korozyona karşı dayanıklı bir metal olarak en fazla göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun aksine alkalilerin etkisine karşın tam bir mukavemete sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda kırılma eğilimindedir. Araştırmaya konu olan ağır metallerin maden formları Resim 2.1'de gösterilmiştir.



Resim 2.1. Pb, Cd, Sb ve Ni'nin maden formları

2.2. Araştırmada Kullanılan Metallerin Sınır Değerleri

Ağır metaller doğada farklı formlarda uzun süre kalabilirler ve uzun süre ortamda varlıklarını sürdürebilirler. Araştırmaya konu Pb, Sb, Cd ve Ni elementlerinin Türk standartları (TS266), Sağlık Bakanlığı ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kriterlerine göre içme sularındaki izin verilen üst sınır değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. İçme sularında bazı ağır metallerin izin verilen limit değerleri [10].

Ağır Metaller	TS266 (ppb)	Sağlık Bakanlığı (ppb)	WHO (ppb)
Pb²⁺	10	10	10
Sb²⁺	5	5	5
Cd³⁺	3	3	3
Ni⁺²	20	20	20

Topraklar, su ve hava ortamlarına kıyasla dış çevre etkilerine karşı tamponlama seviyesi yüksek düzeyde olan sistemler olarak bilinmektedir. Ancak kirleticiler yardımıyla ortamdaki kirlilik düzeylerinin artması bu ortamların kirleticilerden uzaklaştırılması zor ve masraflı bir durum ortaya koymaktadır. Toprak kirlenmesine sebep olan başlıca kirleticiler, ağır metaller, gübreler, atık sular, arıtma çamurları ve katı atıklardır [1].

2.3. Ağır Metal Kirlilik Kaynakları

Toprak kirlenmesinde en sık karşılaşılan kimyasallar arasında petrol kökenli hidrokarbonlar, solventler, pestisitler, ağır metaller ve fosil yakıtlar olarak sıralanabilir. Çalışma kapsamında kirletici olarak kullanılan Pb’un çevre kirliliği kapsamında en fazla rastlanan ağır metallerden olduğu ve yapılan araştırmalara bağlı olarak da çevrede rastlanan kurşun kirliliğinin %98’inin araç egzozlarından kaynaklandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bitkilerin yetiştirilme aşamasında yaşamsal döngülerini etkileyen ve üründe verim kaybına neden olan en önemli çevre kirleticisi Cd kaynakları; su boruları, kömür yakılması, tohum aşamasında ve endüstriyel üretim aşamasında kullanılan kimyasal gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında çevreye yayılan gazlar olarak karşımıza çıkmaktadır [11]. Bu kirleticiler özellikle sanayinin artışına ve kimyasal madde kullanımının bağlı olarak toprakların giderek ağır metal kirlilik düzeylerinin artmasını ortam hazırlamaktadırlar [12].

Ağır metal kirlilik kaynakları birçok farklı etkenin tetiklemesiyle oluşmakla birlikte özetle aşağıda sunulan kirlilik kaynakları ortamda ağır metal birikimlerinin artmasını sağlamaktadır. Bunlar;

- Katı yakıt kullanımının giderek artması, yakıt dökülmeleri ve çevreye sızmaları
- Maden endüstrisinin artış göstermesi, şehir altyapılarından kaynaklanan kanalizasyon suları, Araç yoğunluğunun artması ve egzoz gazı salınımları,
- Petrol ve yan ürünlerinin tüketimi sonucu oluşan kirlilik, katı atık depolama sahalarından toprağa veya suya karışan çöp sızıntı suları,
- Tarımsal alanlarda yoğun olarak kullanılan kimyasal gübre ve tarım ilaçları,
- Endüstriyel atıkların arıtma işlemine tabi tutulmadan toprağa ve sulara salınması,
- Sanayi kuruluşlarının üretim prosesleri sonucunda açığa çıkarttıkları atık sular ve gaz salınımları, konut, endüstri, araç kaynaklı karbon dioksit gibi gazların asit yağmurlarını arttırması olarak özetle sıralanabilir. Araştırma kapsamında kirletici olarak kullanılan ağır metallerin bazı kirlilik kaynaklarını gösteren bilgiler özet olarak Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Araştırmada kullanılan ağır metallerin bazı kirlilik kaynakları [73].

Üretim Sanayii / Ağır Metaller	Pb	Cd	Sb	Ni
Petrokimya Ürünleri Üretimi	+	+		
Kağıt Üretim Sanayii	+			+
Alkali Üretimi	+	+		
Kimyasal Gübre Üretimi	+	+		+
Çelik, Demir ve Metal Sanayii	+	+	+	+
Termik Santrallerden Enerji Üretimi	+	+		+
Tekstil Üretim Sanayii		+		

2.4. Ağır Metal Kirliliğinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Ağır metaller vücutta zamanla farklı çevre etkileri sonucunda birikmeleri neticesinde insan sağlığını tehdit eder niteliğe ulaşabilirler. Bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve nikel (Ni) canlılar için gerekli olmalarının yanı sıra yüksek konsantrasyonlara ulaştıklarında toksik etki meydana getirmektedir [8].

Bununla birlikte, kadmiyum (Cd), krom (Cr), civa (Hg) ve kurşun (Pb) gibi ağır metaller canlılar için gerekli olmayıp eser miktarları bile toksik etki gösterebilir [13].

Kurşun (Pb); Vücutta kurşun birikimi insanda sinir sisteminin işleyişinde tahribatlara neden olmakta, doğurganlığın azalmasına ve beyinde zamanla hasarların meydana gelmesine neden olmaktadır. Pb'un yaygın kullanımı nedeniyle insanların günlük yaşamlar esnasında özellikle içme suyu ve solunum yoluyla bu elementin toksik etkisine maruz kalma olasılığı yüksektir [14].

Antimon (Sb); İnsan vücudu için gerekli bir element olarak kabul edilmemektedir. İlaç sanayinde, kurşun alaşımlarında ve pil üretim sanayinde yoğun olarak kullanılan antimonun farklı inorganik bileşikleri bulunmakta olup bunlardan bazıları SbH_3 , Sb_2O_5 , $SbCl_3$, SbS_5 , SbF_3 olarak sayılabilir. İnsan vücudunda birikerek artması zamanla kalp ritim bozuklarına yol açmaktadır. Yapılan çalışmalarda çalışma ortamlarında Sb'nun $0,5 \text{ mg/m}^3$ değerinin üzerine çıkılmasının insan ve çevre üzerine olumsuz etkiler doğuracağını ortaya koymaktadır [15, 16].

Kadmiyum (Cd); İnsan vücudunda özellikle böbreklerde birikerek işlevselliğin azalmasına neden olmakla birlikte kemik yapısında kalsiyumun yerine geçerek özellikle kemiklerin daha kırılabilir olmasına neden olmaktadır. Kirletilmemiş bir çevrede 70 kg'lık bir kişi için günlük Cd alım miktarı 25 - 60 μg olarak tahmin edilmektedir [17].

Nikel (Ni); Bitkiler tarafından emilimi ve bitki bünyesinde depolanabilme özelliği bulunmaktadır. Çevre ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri olan bu ağır metal özellikle insan sağlığı üzerine kanserojen etki meydana getirmekte, cilt yüzeyinde alerjik etki yapmakta ve balıklarda yavru doğumlarında anormalliklerin meydana gelmesine yol açmaktadır.

Yüksek konsantrasyondaki ağır metaller bitkilerde yaprakların sarımtırak bir renk almasına, bitkinin büyümesinde azalmaya, ürünün strese girmesine, besin alımında azalmaların meydana gelmesine bitki metabolizmasının bozulmasına neden olmaktadır. Bazı bitki türleri ise yüksek miktarda ağır metalleri bünyesinde biriktirmekte ve hiçbir stres belirtisi göstermemektedir. Ancak bu tür bitkilerin tüketilmesinin insan ve hayvan sağlığında ciddi olumsuzluklarla karşılaşılmasına neden olduğu yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur [18].

3. BÖLÜM

Bu bölümde ağır metal kirliliğine maruz kalmış toprak ve su kaynaklarından bu kirlilik düzeylerinin doğal yöntemlerle arıtımı konularında detaylı olarak bilgiler verilecektir.

DOĞAL ARITIM (FİTOREMEDİASYON) YÖNTEMLERİ

Phytoremediation kelime olarak bitki anlamındaki “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinden meydana gelmiş olup 1991’de ıslah terminolojisine girmiştir. Bu terim ingilizcede phytoremediation, bioremediation, botanical remediation ve green remediation olarak da anılmaktadır [19].

Yeşil Islah (Fitoremediasyon) olarak kullanılan bu terim bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme yöntemi olarak da uygulamada yerini almıştır. Bu yöntem ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşmuş alanlarda ıslahın gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır [20].

Fitoremediasyon, sudan, topraktan veya sedimentlerden organik ve inorganik kirleticileri gidermek için, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal yetenekleri kullanılarak yerinde yapılan bir arıtım ve iyileştirme tekniğidir [21, 22, 23]. Bu tekniğin fazla masraflı olmaması, doğal ortam üzerine olumsuz etkisinin az olması ve özel şartlar altında başarılı bir şekilde uygulanmasından dolayı son zamanlarda ilgi odağı olmuştur [22]. Farklı bir yaklaşımla fitoremediasyon, çevredeki kirleticilerin alınmasında veya bu kirleticilerin etkisiz hale getirilmesinde hiperakümülatör bitkilerin kullanılması olarak tanımlanır [24].

3.1. Fiteromediasyon Yöntemleri

Bitkiler yoluyla kirleticilerin uzaklaştırılması kapsamında uygulanan farklı fiteromediasyon yöntemleri bulunmaktadır. Kirletici türüne göre değişkenlik gösteren uygulama yöntemleri örneğin metal içerikli bir kirleticinin bulunduğu alanda uygulanacak yöntemler fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve rizofiltrasyon olarak adlandırılırken bu kirleticiler organik kaynaklı ise uygulanacak fiteromediasyon yöntemleri fitodegradasyon, rizodegradasyon ve fitovolatilizasyon olarak sınıflandırılmaktadır.

Fitoekstraksiyon; Toprak kirliliğine neden olan metal kirleticilerin bitki kökleri yardımıyla alınması yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde bitkiler topraktan ağır metalleri kökleri yardımıyla alarak diğer vejetatif organlarına aktarırlar. Fitoekstraksiyon yönteminde başarı sağlanabilmesi için bitkilerin biyokütle oranlarının yüksek olması ve alınan metallerin bitki dokularında yüksek oranda depolanabilir özellikleri taşıması gerekmektedir [25].

Rizofiltrasyon; Bu yöntem topraktaki kirleticilerin giderilmesinden ziyade su ortamındaki kirleticilerin bitki kökleri ile alınması esasına dayanmaktadır. Bitkiler kirlilik sahasında direkt olarak yetiştirilmeden önce farklı bir ortamda kirleticiye adaptasyonu sağlanmaktadır. Daha sonra bu gelişmiş kök sistemli bitkiler adaptasyon amaçlı kirlenmiş bir su kaynağına aktarılır. Bitkilerin ortama adaptasyonu sağlandıktan sonra kalktıktan sonra bu yöntemle kirlenmiş sahalara bitkiler kolaylıkla aktarılıp yöntem başarı ile uygulanabilmektedir [26].

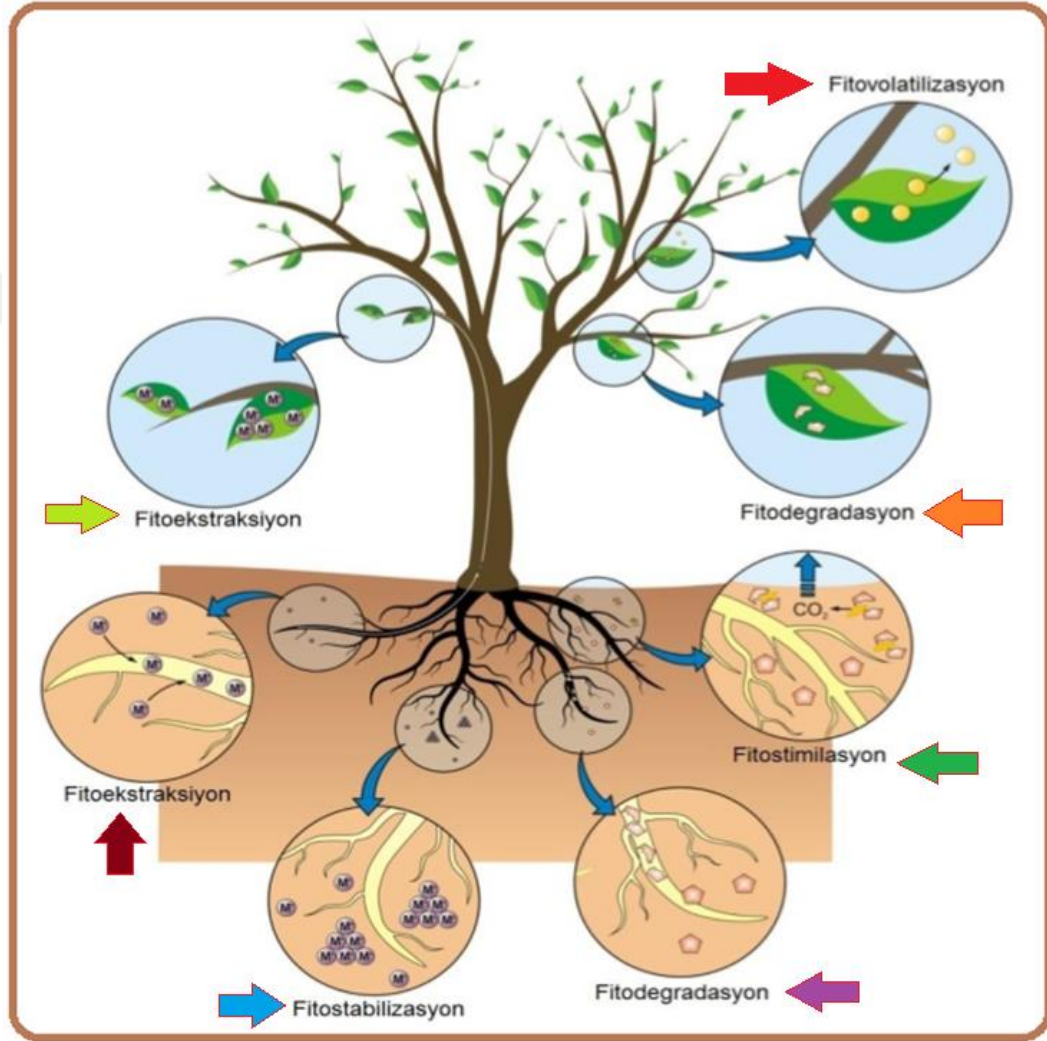
Fitostabilizasyon; Genellikle erozyonun meydana geldiği sahalarda erozyonu önlemek amacıyla, yer altı sularına kirleticilerin sızmasını engellemek ve toprakla doğrudan temasını engellemek için kullanılır. Bu yöntem için toprak yüzeyi alana uygun olan hiperakümülatör bitkiler ile örtülmektedir [27]. Bu yöntem daha çok toprak ve sediment çamurlarının ağır metallere ıslahı konularında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fitodegradasyon; Bu yöntemde bir alanda meydana gelen organik kaynaklı kirleticilerin ıslahı hedeflenmektedir. Bu yöntem kullanılarak yeraltı sularındaki çözücüler, topraktaki petrol ve aromatik bileşikler ve havadaki uçucu bileşikler gibi birçok farklı kirletici ıslah edilebilir [28].

Rizodegradasyon; Bu yöntemin çalışma prensibi organik kirleticilerin toprakta bulunan mikroorganizmalar yardımıyla ıslahı olarak tanımlanabilir. Bitki köklerinin toprağı gevşeterek ve havalandırarak aktivitelerini arttırması sonucunda mikroorganizmalar toprakta bulunan organik kirleticileri parçalayarak bünyelerine alırlar.

Fitovolatilizasyon; Bitkiler tarafından bünyelerine alınan ağır metallerin uçucu formlara dönüştürülerek terleme yoluyla ortama salınması olarak kısaca bu yöntemi açıklamak mümkündür.

Bu yöntemde bitkinin daha çok derinlere doğru kök sisteminin ilerleyebilmesi özellikle yeraltı sularındaki kirlilik düzeylerinin giderilmesi açısından son derece önemlidir. Bu anlamda fiteromediasyon yöntemlerinin farklı uygulama formlarına ilişkin şematize edilmiş çizim Şekil 3.1’de detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 3.1. Fitoremediasyon yöntemleri [29].

3.2. Doğal Arıtım Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Diğer arıtım teknolojilerine nazaran büyük avantajlara sahip olan fitoremediasyon yöntemlerinin avantajları;

-Düşük yatırım ve işletim masrafı olması, ekstra bir atılım sahasına gerek duyulmaması,

-Uygulama boyunca toprak işlevlerini devam ettiriyor olabilmesi,

-Kirlenmiş alanda bitki yetiştirildiği için o bölgede su, rüzgâr ve toprak erozyonunun önüne geçilmiş olunabilmesi,

-Atıkların depolanması ve dökümü için ekstra bir sahaya ihtiyaç duyulmaması,

-Yerinde ıslah metodunun uygulanabiliyor olması, tek tip kirletici ile birlikte birçok kirleticinin oluşturduğu kirlilik düzeylerine müdahale ederek ıslah edebilme özelliğine sahip olabilmesi,

-Islah boyunca estetik bir görünüm sağlaması gibi daha birçok avantajları yer almaktadır.

Fiteromediasyon yönteminin dezavantajlı yönlerine bakıldığında ise;

-Islah yönteminin uzun sürelere yayılmış olması, yüksek kirlilik konsantrasyonların da bitkilerin çok fazla toksik etkiye maruz kalabilmesi,

-Yapraklarda biriken kirleticiler yaprak dökümünün görüldüğü sonbahar aylarına toprağa düşerek karışma riskinin fazla olması,

Yakacak olarak kullanılabilen odunsu bitkilerin gövdelerindeki yoğun kirleticilerin insan sağlığını tehdit etmesi,

Kirletici miktarlarının çevre koşullarıyla birlikte çözünerek tekrardan toprağa karışabiliyor olması olarak sıralanabilir [26, 30].

4. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde fiteromediasyon teknikleri ile topraktan farklı ağır metallerin alımına ilişkin yapılan araştırmalara yer verilmiş ve her bir çalışmanın amaç ve sonuçlarına yönelik kısa literatür bilgilerinden bahsedilmiştir.

Orta derecede arsenikli (142,2 ve 77,7 mg/kg), biri yüksek derecede arsenikli (514 mg/kg), bir de diğerlerine göre daha az miktarda arsenik içeren sera toprağı (2,2 mg/kg) olmak üzere 4 farklı arsenik derişimin de toprakta yetiştirilen havuç, marul ve ıspanak bitkilerinde arsenik birikimini takip ettikleri çalışmalarında, yüksek konsantrasyonda arsenik bulunan topraklarda yetiştirilen bitkilerin bünyesindeki arsenik miktarının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ortamlar ve bitkiler karşılaştırıldığında en yüksek arsenik birikiminin 514 mg/kg arsenik içeren toprakta yetiştirilen marul köklerinde (toplam arsenik 165 mg/kg) olduğunu ve bunu sırasıyla ıspanak kökü (83,1 mg/kg) ve havuç kökünün (27,3 mg/kg) takip ettiğini gözlemlemişlerdir [31].

İtalya'da endüstriyel bir bölgeye yakın olan bir kasabada arsenik (As), cadmium (Cd), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) elementlerinin günlük diyetle alım oranlarının araştırdıkları bir çalışmada; iki farklı dönemde (Temmuz 2009 - Mart 2010) 35 farklı meyve ve sebzeden toplamda 255 örnek alınmıştır. Araştırma sonucunda en yüksek konsantrasyonların baharatlar ve otlarda bulunduğu; diğer gıdalar için ise en yüksek konsantrasyon olarak baklagillerde As (0,142 mg/kg) yapraklı sebzelerde Cd (0,147 mg/kg), meyvelerde Pb (0,294 mg/kg) ve yine baklagillerde Zn (13,03 mg/kg) olduğu tespit etmişlerdir [32].

Yapılan bir saksı denemesinde tütün, mısır ve buğday bitkilerini 3 farklı Cd (10, 30 ve 50 mg/kg) içeriğinde yetiştirmiştir. Denemenin sonucunda tütün, buğday ve mısır bitkilerinin kök ve gövdelerindeki kadmiyum konsantrasyonları maruz bırakıldıkları kadmiyum konsantrasyonlarıyla orantılı olarak artmıştır ve tütün hariç kadmiyum konsantrasyonu gövdeye nazaran köklerde daha yüksek bulunmuştur [34].

Tütün bitkisine (*Nicotianatobaccum Petit Havana, SR-1*) Çin kobay faresinden izole edilen p-S-ScMTII geni aktarılarak elde edilen genetiği değiştirilmiş tütün bitkisinin Cu ile kirletilmiş toprakların geri kazanımında kullanım potansiyeli 0 (kontrol), 50, 100, 200 ve 400 mg kg⁻¹ Cu ilave edilmiş ve farklı toprakta büyüme odasında yürütülen saksı denemeleriyle test edilmiştir. Genetiği değiştirilmiş tütün bitkisiyle normal bitki arasında kuru materyalde Cu konsantrasyonları arasında önemli bir fark olmamasına rağmen, genetiği değiştirilmiş bitki yüksek derişimler de, 200 ve 400 mg/kg uygulamalarında, sırasıyla %10,0 - 12,4 ve %8,45 - 12,65'lik daha fazla biyokütle üretimi gerçekleşmiştir [33].

Sera ve tarla koşullarında kolza (*Brassica napus*) bitkisinin Cr, Cu, Pb ve Zn metalleri bünyesinde biriktirme ve tolere edebilme özellikleri üzerine etkileri araştırdıkları bir çalışmada kolza bitkisinin sera şartlarında yüksek oranda metalleri bünyesinde biriktirdiği, tarla koşullarında ise bitkinin gelişiminin ve metal birikiminin daha zayıf ve bitki aksamalarında metallerin birikme sırasının Cr>Zn>Cu>Pb şeklinde olduğu belirlemişlerdir [35].

Yapılan bir çalışmada Siberian Light (SBL) ham petrolü ile kirlenmiş toprağın fitoremediasyonu incelenmişlerdir. Araştırmada fiteromedasyon amacıyla kullanılan ayçiçeği tohumlarının çimlenme oranı, SBL'nin artan konsantrasyonları ile ters orantılı olarak azalma göstermiştir. Klorofil ve karotenoid miktarları 15. günde konsantrasyona paralel olarak artarken 30. günde zıt bir şekilde kontrol grubunun da altına düşerek azalmıştır. Gövde ve kök dokularında ekstrakte organik madde (EOM) miktarları pek belirgin olmasa da toprak örneklerinde petrol konsantrasyonu arttıkça artış göstermektedir [36].

Pakistan'da endüstri bölgesinden toplanan 16 bitki türü ile toprak örneklerinde bulunan toplam Pb, Cu, Co, Ni ve Cr içeriklerinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada kök örneklerindeki toplam metal konsantrasyonlarının Cu>Cr>Zn>Ni>Pb>Co şeklinde sıralandığı, gövde aksamında bakır metalinin oranının diğer metallere oranla daha yüksek olduğu ve çimlerde çinko'nun yüksek konsantrasyonda biriktiği belirlenmiştir. [38].

P. australis ve *T. angustifolia* bitkilerinde Cd ve Pb elementlerinin birikimlerini yaz ve sonbahar mevsimleri boyunca izlendiği bir çalışmada ağır metal konsantrasyonları bitkilerin köklerinde diğer organlara nazaran yüksek bulunmuştur.

Ayrıca araştırmacılar her iki bitki türünün rizom, gövde ve yapraklarında sonbahar mevsiminde Pb birikimlerinin yaz mevsimine göre yüksek olduğunu ancak bu farkın istatistiksel olarak önemli olmadığını tespit etmişlerdir. En yüksek Pb birikimini sonbahar mevsiminde *T. angustifolia* bitkisinin rizomlarında gözlemişlerdir. Her iki bitki türünün rizom, gövde ve yapraklarında Cd birikiminin sonbahar mevsiminde yaz mevsimine göre yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek Cd birikimi sonbahar mevsiminde *P. australis* bitkisinin rizomlarında tespit edilmiştir [37].

Tütün bitkisinin farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum derişimlerinde topraktan kadmiyum alımını araştırmıştır. Araştırma sonucunda, toprakta 5 mg/kg Cd olması durumunda en fazla kadmiyum, sulamanın %33 düzeyinde yapıldığı (su stresinin %66 olduğu) konudan kaldırılmıştır. Tütünden en fazla ağır metal alımının (Cd, Mn) su stresi koşullarında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır [39].

Yürütölen bir saksı çalışmasında ağır metaller (Zn, Cu, Ni ve Pb) ile kirliliğe maruz bırakılmış topraklar da beş farklı *Brassica* türleri (*Brassica juncea*, *Brassica campestris*, *Brassica carinata*, *Brassica napus* ve *Brassica nigra*) bitkileri yetiştirilmiş ve bu bitki türlerinin ağır metalleri vejetatif aksamı yardımcıyla biriktirebilme kapasiteleri araştırılmıştır. *Brassica carinata* bitkisinin yüksek kuru madde üretimine paralel olarak bünyesinde yüksek düzeyde Zn, Ni ve Pb alırken, *Brassica campestris* bitkisinin ise yüksek Zn alım düzeyine sahip olduğu belirlenmiştir [40].

Yapılan diğer bir saksı çalışmasında ise ayrı ayrı ve karma şekilde Pb, Cd ve Zn ağır metaller ile kirlenmiş topraklar üzerinde yetiştirilen *Brassica napus L.* bitkisinin ağır metal alımı araştırılmıştır. Deneme sonucunda topraktaki Pb, Cd ve Zn metallerinin konsantrasyonların artışına paralel olarak bitkinin kök, sap ve tohumunda element konsantrasyonlarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Topraktan kökler aracılığıyla alınan Pb ve Zn'nun büyük bir kısmının köklerde biriktiği diğer kısmının ise gövde ve tohum aksamına taşındığı ortaya konmuştur. Ayrıca Cd'un kökten sap kısmına kolayca hareket ederek bitkinin üst kısmında yüksek oranlarda biriktiği belirlenmiştir [41].

Yapılan bir çalışmada Pb, Cd ve B elementleri ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon yöntemi ile temizlenmesi araştırılmıştır. Bu amaçla Pb, Cd ve B elementleri eklenmiş topraklarda, mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri kullanılarak, fitoremediasyonları incelenmiştir.

Ayrıca topraklara fitoremediasyon kapasitesini arttırmak üzere çeşitli derişimlerde kompleks yapıcı şelat ilave edilerek, bitkilerin element giderim performanslarındaki değişimler gözlenmiştir [42].

S. lacustris ve *P. australis* bitkilerinin ağır metallerin alınım ve dağılımlarını mevsimsel olarak incelendiği bir çalışmada her iki bitki türünün Pb, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd metalleri için kök akümülatörü olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda Zn, Cu ve Mn metallerinin bitkilerin sürgün ve yapraklarında da birikim gösterdiğini belirlemişlerdir. Her iki bitki içinde yüksek metal konsantrasyonlarına sonbahar ve kış mevsimlerinde, düşük metal konsantrasyonlarına ise ilkbahar mevsiminde rastlamışlardır [43].

Yapılan bir çalışmada şehirde ve yarı kırsal alanlarda sulama suyu ile toprakta ağır metal kirliliğine ne ölçüde katkı sağlanıldığı araştırılmıştır. Araştırma sonucunda yarı şehirselle ve büyük şehirde Cd'un 0,034 ve 0,029 mg/kg, Cu konsantrasyonlarının ise sırasıyla 1,744 ve 2,484 mg/kg bulunmuşlardır. Bu değerler uluslararası standartlardaki seviyelerden daha küçük bulunmuştur. Ancak, zamanla istenmeyen seviyelere yükselme riskinin olduğu belirtilmiştir [44].

Konya ana tahliye kanalının Çengilli bölgesi tarım topraklarında ve buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb derişimlerinin belirlenmesi amacıyla yürüttükleri bir çalışmada Konya ana tahliye kanalının Çengilli bölgesinde atıksular ile sulanan arazilerdeki toprak ve bitkide ağır metal birikmesinin tespit etmeyi amaçlamışlardır. Altı aylık süre ile su, toprak numunesi ve üç aylık süre ile de bitki numunesi alınarak ağır metal derişimi analizleri yapılmıştır.

Araştırma sonucunda, topraktaki ağır metal derişiminin, kanal suyuna göre daha fazla olduğunu, buğday bitkisindeki ağır metal derişiminin ise toksik etki yapacak seviyeye ulaşmadığını tespit etmişlerdir [45].

As, Cd, Pb ve Zn iz elementlerinin orta seviye kirlenmiş toprakların bitkisel yollarla iyileştirilebilme durumunu araştırıldığı bir çalışmada bitkilerin hiç birinde orta seviyedeki bir kirlilikte toksik etki belirlemedişlerdir. En iyi iyileştirme kapasitesinin, dikkate alınan birçok element için söğüt türünde olduğu ortaya konulmuştur [46].

Kurşun yönünden kirlenmiş topraklarda yaptıkları bir çalışmada ise, 300 - 4500 ppm Pb olan toprağın toplanma, kurutulma ve saksılara yerleştirilmesi, gübrenmesi ve sera şartlarında vetiver çimlerinin büyütülmesi deneyinde kullanılmıştır. Bitkilerdeki örneklerde 1390 - 1450 ppm konsantrasyonlarına kadar Pb miktarları bulunmuştur. En yüksek Pb miktarı bitki köklerinde bulunmuştur [47].

Domatesin (*Lycopersicon esculentum L.*), sera deneylerinde uygun bir bitki olmasından ve hızlı büyüyen bir bitki olmasından dolayı, arsenik (As) ile kontamine olmuş toprakların bitkisel yöntemlerle iyileştirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. As seviyesinin düşük değerlerinde birikimin sürgünlere oranla köklerde yoğunlaştığını ancak yüksek As değerlerinde de her iki bitkisel organda da birikimin çok yüksek değerlere ulaştığını belirlemişlerdir [48].

Yapılan bir saksı çalışmasında yüksek vejetatif biyokütle üretebilen yabancı otların topraktan Cd alım miktarları ve indikatör bitki türleriyle karşılaştırılmaları yapılmış ve topraktan Cd uzaklaştırılmasında sabah parıltısı (*Ipomoea Carnea*) bitkisinin hardal (*B. juncea*) bitkisinden 5 kat daha fazla biyokütle üretmesine bağlı olarak daha fazla düzeyde kadmiyum miktarını topraktan kökleri yardımıyla bünyesine topladığı belirlenmiştir [49].

Çeşitli ağır metal kirliliğine maruz kalmış topraklar üzerinde kolza (*Brassica napus*) ve turp (*Raphanus sativus*) bitkisi yetiştirerek bu bitkilerin fitoekstraksiyondaki işlevinin araştırıldığı bir çalışmada her iki bitkinin de kökleri yardımıyla topraktan ağır metalleri absorplama ve biriktirme konularında etkin oldukları, ağır metalleri topraktan alarak bünyesinde biriktirme konusunda turp bitkisinin kolza bitkisine oranla daha etkin olduğu ve sonuç olarak bu türlerin çeşitli ağır metallerle kirletilmiş toprakların fitoremediasyonu için uygun oldukları belirlenmiştir [50].

Kayseri İli Sultan Sazlığı bölgesinde, *T. angustifolia* ve *Potomageton pectinatus* bitkilerinde ağır metallerin (Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, ve Cu) birikimlerini incelendiği bir çalışmada *T. angustifolia* bitkisinin dokularında ağır metal birikimlerinin *P. pectinatus* bitkisinden daha yüksek konsantrasyonlarda olduğunu belirlemişlerdir. *T. angustifolia* bitkisinin yapraklarında biriken ağır metallerin, köklerine göre düşük konsantrasyonlar da olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Pb metalinin her iki bitki kökünde de önemli konsantrasyonlarda biriktiğini gözlemlemişlerdir [51].

İzmit gölü havzasında değişik su kaynaklarıyla sulanan tarım topraklarının ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla yaptıkları bir çalışmada artezyen, akarsu ve göl suyu ile sulanan ve sulanmayan toplam 40 bahçeden karma toprak örnekleri almışlardır. Toplam ağır metal içeriklerine göre, toprakların 22 sinde izin verilebilir sınırların üzerinde Ni belirlenmiştir. Bununla birlikte, değişik su kaynaklarıyla sulanan topraklar arasında Ni içeriklerindeki değişimlerin anlamlı olmadığı görülmüştür [52].

Doğu Avusturya ikliminde fitoremediasyon teknolojisiyle canola kullanılarak bir hayli kirlenen endüstri topraklarından Cu, Pb ve Zn elementlerinin giderimi için yürüttükleri bir çalışmada Açık havadaki saksı deneylerindeki çalışma sonucunda kanola, EDTA kullanılmadığı şartlarda köklerinde 130 mg/kg Cu, 30 mg/kg Pb ve 180 mg/kg Zn kuru bitki ağırlığı biriktirmiştir. Ayrıca toprak üstü aksamında ise yaklaşık 20 mg/kg Cu, 2 mg/kg Pb ve 120 mg/kg Zn biriktirdiği tespit edilmiştir [53].

Yapılan bir çalışmada maden ocağında ayçiçeği bitkisi yetiştirilerek toprakların doğal arıtmaların bakılmış ve sonuçlar ağır metal ile kirlenmemiş topraklardaki yetiştirilen ayçiçeği ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ayçiçeği bitkisinin topraktan ağır metalleri alma kapasitesinin çok düşük olduğu ancak bu bitkinin araştırma alanında toprak koruma amaçlı kullanılabileceğini ayrıca ayçiçeği bitkisinden elde edilecek bitkisel yağın endüstriyel amaçlı da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [54].

Mısır ve ayçiçeğinin yüksek düzeyde biomass içeren bitkilerden olduğunu ve bunların önemli düzeyde Pb toplayabildiklerini bildirmişlerdir. Aynı çalışmayla mısır ve ayçiçeği kullanılarak her yıl 180-539 kg/ha Pb''yi uzaklaştırarak, 2500 mg/kg kadar Pb ile kirlenmiş toprakların, 10 yılda iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir [60].

Almanya'da yazlık buğday, yazlık çavdar, yazlık arpa, mısır, şeker pancarı, kırmızı üçgül, turp, marul ve ıspanak bitkilerinin yetiştiği kumlu topraklarda yüksek düzeyde ağır metal tespit edilen atık suları bu bitkilerin yetiştirilmesinde kullanmışlardır. Sonucunda bitkilerde Zn olarak 808 mg/kg, Cd miktarı olarak ise 40 mg/kg ağır metal birikimi bulmuşlardır. Yürüttükleri çalışmalar sonucunda toprak ve bitki vejetatif aksamlarındaki ağır metal içeriklerinde logaritmik bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir [61].

Yapılan diğer bir çalışmada çok yıllık bir otsu bitki olan hasır otu (*Typha latifolia*) bitkisinin kökleri yardımıyla sudan aldıkları (Cu, Ni, Zn) ağır metal birikimlerini incelemişlerdir. Dört farklı grupta uygulanan ağır metal derişimleri ile hazırlanan ozeltiler iki haftada bir sulama suyu ile birlikte uygulanmış toplam 10. hafta sonunda bitki numuneleri toplanarak kurutulmuş ve ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda uyguladıkları ozelti konsantrasyonları ile bitkide biriken miktarları arasında doğrusal bir ilişkinini olduğunu ortaya koymuşlardır [56].

Topraktaki metallerin giderilmesine yönelik ve yeşil ışlah yöntemi olan bitkisel zmlemenin (phytoextraction) kullanılması ile birlikte bitkilerin hasat edildikten sonraki aşamalarında ekonomik yönden bir çalışma yapılmıştır. Bitkisel zmleme yaklaşımının, kek ölçekli çalışmalarda metallerle ilgili kirlenmiş topraklardan bitkilerin kökleri yardımıyla geri alınabildiği ve bundan da ekonomik yönden bir kazanç sağlanıldığı ortaya konulmuştur [57].

Yonca bitkisinde farklı ağır metallerin alımı üzerine laboratuvar ortamında yapmış oldukları bir çalışmada 0, 5, 10, 20 ve 40 ppm derişimlerinden Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn ağır metalleri yonca bitkisi için oluşturulan bir besi yerinde tohumlara uygulanmış ve tohumdan çıkışından 2 hafta sonrada bitkiler besi yerinden alınarak toplanmıştır. Sonuçta Cd alımının uygulanan dozla birlikte artış gösterdiği 5 ppm uygulamalarında 6122 mg/kg, 20 ppm'de 6710 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Ni miktarlarına bakıldığında ise 5 ppm uygulanan derişimlerden elde edilen yonca bitkisinin yeşil aksamlarında 740 mg/kg alım olduğu, 40 ppm uygulamaların da ise bu oranın 4036 mg/kg'a yükseldiği grlmştir [58].

Başka bir araştırmada, Vetiver (Kabe samanı) iminin Cd, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta vejetatif aksamlarının iyi geliştiği grlmştir. Ayrıca bitki gövdesinde yüksek düzeyde ağır metal belirlenmiştir. Çalışma sonucunda vetiver iminin özellikle Cd, Pb ve Zn'un bitki kökleri yardımıyla topraktan absorbe edilmesinde etkili olabileceği, ancak hasat sonunda toplanan bitki aksamlarının ne şekilde artırılabilirdiğiyle ilgili detaylı araştırmaların yapılması gerekliliği vurgulanmıştır [59].

Yürütölen diğer bir araştırmada ise farklı organlarında yüksek konsantrasyonlarda Pb biriktirebilen birçok bitki bulunduğunu belirlenmiştir. Brassica juncea, topraklarda fitoremediator olarak etkili bir şekilde kullanılabilđini, Kurşun kirletici bir toprakta, 500 mg/kg toprağa kadar Pb biriktirebildiğini, Ayçiçeği ve mısır 16 mg/kg toprak Pb konsantrasyonu olan topraklarda yetişebildiğini ifade etmişlerdir [55].



5. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak onca bitkisi, yetiştirme ortamı olarak toprak, ağır metaller, sulama suyu olarak içme kaynaklı şebeke suyu ve bitki besin elementlerinin karşılanması açısından kimyasal gübre kullanılmıştır. Araştırma kapsamında kullanılan materyallere ilişkin teknik detaylı bilgiler alt başlıklar dâhilinde aşağıda sunulmuştur.

5.1.1. Doğal arıtım amaçlı yetiştirilen bitki

Yonca bitkisi otsu bir bitki olup çok yıllık serin iklim bitkisidir. Derin bir kök sistemine sahip olan yoncanın boyu 50-80 cm uzunluğa kadar ulaşırken etkili kök derinliği ise 120-180 cm arasında değişkenlik göstermektedir. Ahır besiciliğinde %30 süt verimini arttırdığı için tarımı yoğun olarak yapılan yonca bitkisi, çok yıllık olması nedeniyle de özellikle fiteromediasyon konularında dikkati çeken bir bitki olmuştur. Özellikle kışı toprakta geçirmesi ve 4-5 yıl gibi sürekli olarak verim alınabilme özelliğine sahip olması ile birlikte çiftçi düzeyinde tarımının ve ekiminin kolay yapılabilmesi çalışmada yonca bitkisini fiteromediasyon performansının ne olabileceği sorusunu gündeme getirmiş ve araştırmada yonca bitkisinin kullanılmasının uygulamada avantajlar sağlayabileceği düşünülmüştür. Topraktaki ağır metal kirliliğinin bitkilerle doğal arıtımı konusunda bu çalışmada baklagiller (*Fabaceae*) familyasından uzun yıllar yaşayan, gerek yeşil ot gerekse kuru ot olarak değerlendirilebilen çok yıllık bir serin mevsim yem bitkisi türü olan ve ekimi kolay olan Yonca (*Medicago Sativa L.*) bitkisi kullanılmıştır.

5.1.2. Kullanılan deneme toprağı

Araştırma kapsamında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kampüs alanında peyzaj alanlarında kullanılan ve kampüsün ana toprak yapısını oluşturan toprak kullanılmıştır. Tarlada kullanılan toprağı temsil etmesi açısından denemede kullanılan toprağı ilave olarak torf, kum vs. karışımları ilave edilmemiştir. Çalışma kapsamında tarla toprağı 4 mm'lik elekten geçirilerek toprağın kaba materyali temizlenmiş ve çalışmada elenmiş toprak kullanılmıştır.

5.1.3. Uygulanan kimyasal gübre

Yonca bitkisinin yetişmesine katkı sağlamak amacıyla tohum ekimi esnasında her bir saksıya 20'şer g saf Azot (N) ve Fosfor Pentaoksit (P_2O_5) gelecek şekilde 20-20-0 (NPK) kompoze taban gübresi uygulaması yapılmıştır. Uygulanan taban gübresi potasyum (K) içermediği için bu itibarla taban gübrelemesinde K oranı sıfır olarak gübrenin oransal ifadesi olarak gösterilmiştir. Bunun ışığında yoncanın gelişim dönemlerinde ayrıca bir üst gübrelemesi ve bitki besin elementi takviyesi yapılmamıştır. Uygulanan gübre kimyasal gübre niteliğinde olup tüm kimyasal analiz değerleri gübre üretim tesisinden temin edilmiştir. Çalışmada tohum ekimi ile birlikte uygulanan taban gübrelemesine ilişkin kullanılan gübrelerin pH, EC ve bazı ağır metal içerikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Uygulanan gübrenin pH, EC ve bazı ağır metal içerikleri

pH	EC (dS m⁻¹)	Cd⁺² (ppb)
7,3	0,620	16,235
Ni⁺² (ppb)	Pb⁺² (ppb)	Sb⁺³ (ppb)
22,936	13,052	1,548

5.2. Yöntem

Çalışmada denemenin kurulması ve yürütülmesi, ağır metal uygulamaları, bitki ve toprak örneklerinin alınması, ağır metal analizleri gibi metotlar yapılmıştır. Yürütülen metotlara ilişkin detaylar aşağıda konu başlıkları dâhilinde sunulmuştur.

5.2.1. Laboratuvarda kullanılan cihazlar, malzemeler ve kimyasallar

Çalışma kapsamında toprak, bitki ve da yapılan kimyasal analizlerde kullanılan cihazlar aşağıda sunulmuştur. Bunlar;

1- ICP-MS Cihazı: Toprak ve Bitki çözeltilerinde ağır metal miktarlarının belirlenmesi için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Agilent marka ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Sulama suyundaki ağır metal miktarının belirlenmesi için ise Nevşehir Halk Sağlığı Labotaruvarında bulunan Perkin Elmer marka Nexicon 300 D model ICP-MS cihazı kullanılmıştır.

2- İyon Kromatografisi Cihazı: Sulardaki iyon ölçümleri için Nevşehir Halk Sağlığı Labotaruvarında bulunan Redox marka iyon kromatografisi cihazı kullanılmıştır.

3- pH ve EC Metre: Su ve toprak çözeltilisinde pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin ölçülmesi için AEK-Tech KL-02636 Sürekli Su Kalite PH EC TDS Ölçüm Cihazı kullanılmıştır.

4- Ultra Saf Su Cihazı: Deneysel çalışmalar boyunca ihtiyaç duyulan saf suyun elde edilmesinde Mp Minipure Dest Up ultra saf su cihazı kullanılmıştır.

5- Hassas Terazi: Bitki ve toprak örneği tartım işlemlerinde 0,1 mg hassasiyette Radwag marka AS 82 model analitik terazi kullanılmıştır.

6- Etüv: Bitki örneklerinin kurutulması için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kimya Bölümünde bulunan 200 °C sıcaklığa kadar ısıtılabilen Nüve marka FN 400 model etüv kullanılmıştır.

7- Çeker Ocak: Bitki ve toprak örneklerine asit ilavesinde çözme işlemi esnasında buharlaşan asidin ortamdaki uzaklaştırılması için hedlab marka çeker ocak kullanılmıştır.

8- Cam ve Plastik Malzemeler: Beher, saat camı, balon joje ve süzme düzenekleri, polietilen saklama kapları, cam tüpler, baget gibi deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Bitki ve toprakta asitle çözme işlemlerinde kullanılan kimyasallar;

1- Hidrojen Peroksit: % 35'lik H_2O_2

2- Hidroklorik Asit: % 37'lik HCL

3- Nitrik Asit: % 65'lik HNO_3

4- Ağır Metal Tuzları: $Cd(NO_3)_2$, $SbCl_3$, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Pb(NO_3)_2$

5.2.2. Saksı denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Bu araştırma sera koşullarında 2017 Kasım - 2018 Mayıs tarihleri arasında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinin çatısında yer alan 25 m² büyüklüğündeki cam sera ortamında yürütülmüştür. Denemenin yürütüldüğü alana ilişkin görüntü Resim 5.1'de verilmiştir.



Resim 5.1. Denemenin yürütüldüğü sera alanı

Yetiştirme ortamı olarak yonca bitkisinin etkili kök derinlikleri dikkate alınarak elenmiş 4 mm elekten geçirilmiş ve 75 cm yüksekliğinde, 40 cm çapında naylon saksılara aktarılarak her bir saksının 25 kg toprak doldurulması ile bitki yetiştirme ortamı sağlanmıştır.

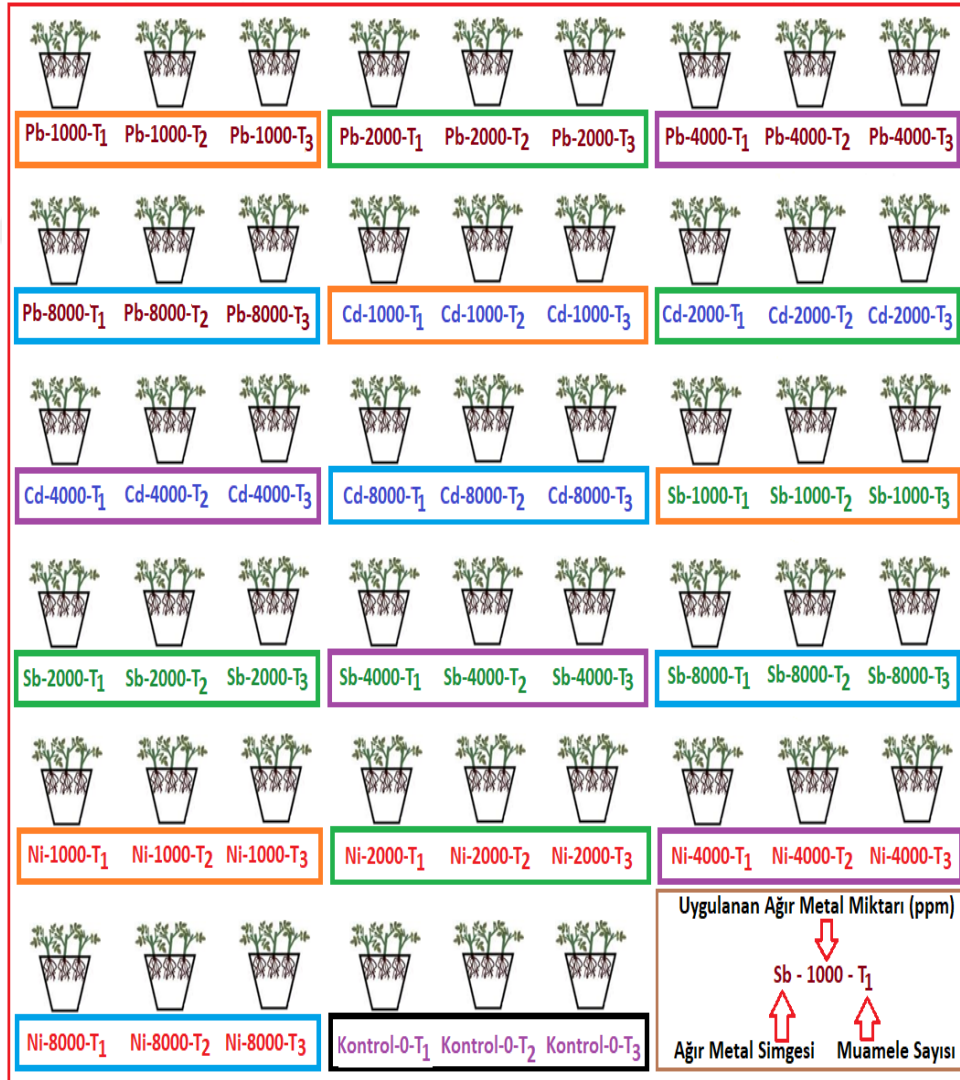
Bitki tohumlarının ekim tavına (hafif nemli) ulaşması için her bir saksıya 1 L sulama suyu uygulanmış 2 gün bekletilerek toprak neminin tohum ekimine uygun hale gelmesi sağlanmıştır. Bitki tohumları her bir saksıya 20 g saf N ve P₂O₅ olacak şekilde kompoze taban gübresi ile birlikte her bir saksıya 25 gr yonca tohumu ekimi yapılarak deneme kurulmuştur. Taban gübresinin toprağa verilmesi ve tohum ekimine ilişkin yapılan uygulamalar Resim 5.2’de sunulmuştur.



Resim 5.2. Toprağa taban gübresi uygulaması ve yonca tohumu ekimi



Resim 5.3. Deneme düzeninden bir görüntü



Şekil 5.2. Deneme planı ve uygulama düzeni

5.2.3. Toprağa ağır metal uygulamaları

Karatepe ve ark., 2017 de Nevşehir ili tarım topraklarındaki ağır metal kirliliklerinin belirlenmesi amaçlı yürüttükleri bir çalışmada bölge topraklarında en fazla rastlanan ağır metaller olarak Pb, Cd, Sb ve Ni metallerini tespit etmişlerdir. Bu bağlamda çalışmada bölgede topraklarında çok rastlanan ağır metal olarak Pb, Cd, Sb ve Ni ağır metalleri kullanılmış ve kirletici olarak bu ağır metallerin farklı derişimleri uygulanmıştır.

Toprakların belirtilen ağır metallerle kontamine işleminde Pb için $Pb(NO_3)_2$, Cd için $Cd(NO_3)_2$, Sb için $SbCl_3$ ve Ni için ise $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ tuzları kullanılmıştır. Uygulamalar, 25 kg saksı toprağında çözeltilerin ilgili metalin hesaplanmış değeri tartılarak saksılarda 1000, 2000, 4000 ve 8000 ppm ağır metal derişimlerinin sağlanması ile birlikte 1 L sulama suyu ile her bir saksıya yonca bitkisinin ilk biçime geldiği durumda tek seferde uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çeşme suyu ile tamamlanıp tek seferde bitki yetiştirilen saksılara uygulanmıştır. Toprağa kontamine edilen ağır metal tuzları ile uygulama miktarları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Toprağa uygulanan ağır metal tuzları ve uygulama miktarları

Uygulanan Ağır Metal Tuzları ve Miktarları				
Eklene ağır metallerin derişimleri (25 mg/kg)	$Cd(NO_3)_2$	$SbCl_3$	$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$Pb(NO_3)_2$
1000 ppm derişimi için	2,7443 g	1,8736 g	4,9548 g	1,5984 g
2000 ppm derişimi için	5,4886 g	3,7472 g	9,9097 g	3,1969 g
4000 ppm derişimi için	10,9772 g	14,9888 g	19,8532 g	6,3938 g
8000 ppm derişimi için	21,9544 g	29,9776 g	39,7064 g	12,7876 g

5.2.4. Sulama suyu uygulamaları

Bitki yetiştirme ortamına bitki besin elementlerinin çözünmesi ve bitkiler tarafından alınımının sağlanması ve bitkinin yaşamsal fonksiyonlarının devam edebilmesi için yonca bitkisinin tohumundan itibaren 7 gün ara ile her bir saksıya 0,5 L sulama suyu uygulanmış olup bunun için şebeke suyundan faydalanılmıştır. Sulama uygulamaları hortum fiskiye başlıkla yapılmış olup öncelikle başlığın debisi ölçülerek her bir saksıya eşit miktarda su verecek şekilde süre miktar ilişkisi dikkate alınarak sulama yapılmıştır.

Kullanılan içme suyu kalitesi niteliğindeki şebeke suyunun bazı kimyasal özellikleri araştırma bulguları kısmında detaylı olarak verilmiştir. Deneme sürecinde uygulanan sulama suyuna ilişkin görüntü Resim 5.4’te verilmiştir.



Resim 5.4. Sulama suyu uygulamaları

5.2.5. Bitki ve toprak örneklerinin alınması

Bitki örnekleri ilk tohum ekildiği tarihten (10.10.2017) itibaren yonca bitkisi 6 cm uzadıktan sonra ilk etapta bitki örneği alınmamış olup ilk biçim yüksekliğine gelen yoncanın vejetatif aksamı biçilerek atılmıştır. Değerlendirmeye alınmayan yoncanın ilk biçiminden sonraki ilk bitki örneği 25 Ocak 2018 tarihinde saksılardan bir makas yardımıyla biçilerek kilitli poşetlere aktarılmış ve poşetler etiketlenmiş ve daha sonra 105 ± 5 °C’de etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Yonca örneklerinin alınması esnasında kullanılan makasın biçim esnasındaki diğer saksılara ağır metal kontaminasyonu olmaması açısından 1:1 oranında saf su ve % 37’lik HCl asit içerisinde 5 dk bekletilmiştir. Ardından saf su ile yıkanması sağlanmış ve bu işlem her saksıdaki biçim işleminden önce uygulanmıştır. Bitki örneklerinin alınmasına ilişkin görüntü Resim 5.5’te verilmiştir.



Resim 5.5. Bitki örneklerinin alınması

Toprak örnekleri mevcut ağır metal durumunu ortaya koymak amacıyla ağır metal uygulanmadan alınmış ve daha sonra ise ağır metal uygulamaları ve bitki hasatları yapıldıktan çalışma sona erdikten sonra saksı poşetlerden 0-25 cm ve 50-75 cm katmanlarından alınarak harmanlanmış ve topraktaki fiteromediasyon sonucundan kalan metal birikiminin belirlenmesi amacıyla tüm katmanları temsilen bir örneklem teşkil edilmiştir [62].

Deneme bittikten sonra her bir saksıdan alınan toprak örnekleri, havanda dövülerek öğütülmüş, kesekler ufalanarak içerisindeki taş, kök ve diğer yabancı maddeler elle temizlenmiş ve laboratuvar şartlarında 105 °C'de 48 saat kurutulmuştur. Örnekler 2 mm elekten geçirilip elenmiş daha sonra kilitli şeffaf poşetlere aktarılarak etiketlenmiştir.

Bitki örnekleri yoncanın büyüme hızına bağlı olarak 4 farklı dönemlerde, toprak örnekleri ise ağır metal uygulaması yapılamadan ve deneme tamamlandıktan sonra alınmış ve örneklem zamanları Tablo 5.3'te özet halde listelenerek sunulmuştur.

Tablo 5.3. Bitki ve toprak örneklerinin alındığı dönemler

Yonca Bitkisi Hasat Tarihleri	Örneklem cinsi	Toprak Örneklem Tarihi
	Toprak örneği 0-25; 50-75 cm derinliklerinden	Ağır metal uygulamasından önce
I. Hasat (25.01.2018)	Yaprak ve Sap Kısımlarından (6 cm yüksekliğe ulaştığında)	
II. Hasat (19.02.2018)		
III. Hasat (12.04.2018)		
IV. Hasat (4.05.2018)		
	Toprak örneği 0-25; 50-75 cm derinliklerinden	Tüm bitki örneklemeleri alındıktan sonra

5.2.6. Bitkide ağır metal analizleri

Ağır metal ile deneme deseninde belirtilen oranlarda kirletilmiş toprak ortamında yetiştirilen yonca bitkisi 4 farklı dönemde biçilmiş ve örnek poşetlerine aktarılarak etiketlenmiştir.

Alınan bitki örnekleri 24 saat etüvde 80 °C de kurutularak hassas terazide 1,0 g olacak şekilde örnekler tartılıp behere alındıktan sonra üzerine 10 mL % 65'lik Nitrik asit (HNO₃) eklenerek ısıtıcı tabla üzerinde yaklaşık 100 °C' de kuruluğa kadar buharlaştırılmıştır.

Buharlaştırma işleminin ardından her bir örneğin üzerine 10 mL % 65'lik HNO₃ ve 5 mL % 35'lik hidrojen peroksit (H₂O₂) ilave edilerek ısıtıcı tabla üzerinde yaklaşık 100 °C' de kuruluğa kadar tekrar buharlaştırılmıştır.

Daha sonra ise 0,45 µm süzgeç kâğıdından geçirilip 25 mL'ye ultra saf su ile tamamlanarak plastik tüpler içerisine alınmış ve bitki içerisindeki ağır metallerin çözelti ortamına ykanması sağlanmıştır. Elde edilen çözelti ICP-MS cihazında ölçülerek ağır metal içerikleri belirlenmiştir.

Ayrıca sertifikalı referans madde (SRM) olarak NIST SRM 1570a Ispanak Yaprağı kullanılmış ve aynı yöntemle çözme işlemi uygulanarak yapılan çözme işleminin doğruluğu test edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerden gelebilecek kimyasal kirlenmeleri ve analit kayıplarını önlemek amacıyla uygulamalardan önce temizlik işlemi yapılmıştır. Temizlik işleminde malzemeler deterjanlı su ile iyice yıkanıp bol su ile durulandıktan sonra %10'luk HNO₃ çözeltisinde bekletilmesinin akabinde saf su ile iyice durulanıp kurutularak kullanılmıştır. Her bir saksıdan alınan bitki örneklerinde yapılan bazı işlemlere yönelik uygulamalar Resim 5.6'da gösterilmiştir.



Resim 5.6. Bitki örneklerinde yapılan bazı analiz işlemleri

5.2.7. Toprakta yapılan analizler

Toprağın pH değeri laboratuvar ortamında cam elektrotlu, dijital göstergeli pH metre ile saturasyon ekstraktında [63], Elektriksel İletkenlik (EC) değeri ise dijital göstergeli iletken ölçer ile saturasyon ekstraktında ölçülmüştür [64]. Toprağın tekstür sınıfının belirlenmesinde Boyoucos tarafından geliştirilen hidrometre yöntemi kullanılmıştır [65]. Hacim ağırlığının belirlenmesinde ise bozulmamış toprak örneklerinde fırın kurusu ağırlığın, örnek hacmine bölünmesine ilişkin yöntem kullanılmıştır [64].

Deneme toprağının organik madde miktarı Smith-Weldon tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir [66].

Analizlerde metalik bulaşmayı önlemek için metal kapların kullanımından kaçınılmasına özen gösterilmiştir. Deneme tamamlandıktan sonra topraktaki kalan ağır metal miktarının belirlenmesi amacıyla alınan toprak örnekleri içinden 1 g toprak örneği tartılmış ve kral suyu (3 mL HNO₃ + 9 mL HCl asit) ile çözülerek 0,45 µm süzgeç kâğıdından geçirilip 15 mL'ye saf su ile tamamlanarak toprak içerisindeki ağır metallerin çözelti ortamına alınması sağlanmıştır [32].

Ayrıca sertifikalı referans madde (SRM) olarak NIM - GBW07309 numaralı toprak örneği kullanılmış ve aynı yöntemle çözme işlemi uygulanarak yapılan çözme işleminin doğruluğu hesaplanmıştır.

Elde edilen toprak çözeltisi ICP-MS cihazında okutulmuş ağır metal uygulanmadan önceki topraktaki ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Laboratuvar şartlarında toprak örneklerinin tartılmasına ilişkin uygulama Resim 5.7'de verilmiştir.



Resim 5.7. Toprak örneklerinin tartılması

5.2.8. Suda yapılan kimyasal analizler

Çalışmada bitkilere şehir içi şebekesi kaynaklı içme suyu uygulanmıştır. Kullanılan şebeke içme suyunda ICP-MS cihazında ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca suyun pH'sı ve EC'si laboratuvar ortamında EC ve pH metre ölçerler kullanılarak belirlenmiştir [67, 68]. Sulama suyu kalite sınıfının belirlenmesinde Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değeri ile elektriksel iletkenlik (EC) değerinden faydalanılarak sulama suyu sınıfı belirlenmiştir [69,70]. Sulama suyunda yapılan bazı kimyasal analiz sonuçları araştırma bulguları kısmında detaylı olarak sunulmuştur.

5.2.9. Sertifikalı referans madde analizleri

Araştırma kapsamında bitki ve toprak örneklerinde yapılan analizlerin doğruluğunun belirlenmesi işlemlerinde hem bitki hem de toprak için sertifikalı referans madde (SRM) analizleri yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında SRM için yapılan ağır metal çözme işlemleri sonucunda elde edilen Cd, Ni, Pb ve Sb miktarlarının ayrı ayrı hem bitki hem de toprak için SRM'nin katalog değeri ile karşılaştırılarak uygulanan yöntemin doğruluğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan SRM'nin referans değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Toprak ve bitki için sertifikalı referans madde değerleri

Sertifikalı Toprak Referans Maddesi (Sertifika Kodu: GBW07309)		
Ağır Metal	Değeri	Birimi
Cd²⁺	1,04	ppb
Ni²⁺	128	ppb
Pb²⁺	92	ppb
Sb³⁺	3,24	ppb
Sertifikalı Bitki Referans Maddesi (Sertifika Kodu: NIST 1570a)		
Ağır Metal	Değeri	Birimi
Cd²⁺	2,876	ppb
Ni²⁺	2,142	ppb
Pb²⁺	-	-
Sb³⁺	-	-

5.2.10. İstatistiki analizler

Elde edilen tüm değerlerde güvenilirlik analizleri ile birlikte korelasyon değerleri hesaplanmış olup ayrıca tüm elde edilen değerler %95 (P<0,05) güven seviyesinde varyans analizine tabi tutularak elde edilen ortalama değerlere Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Bu amaçla tüm istatistiki analizlerin gerçekleştirilebilmesi için SPSS ve XLSTAT istatistiki yazılımlarından faydalanılmıştır.

6. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Denemede Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Denemede bitki yetiştirme ortamında kullanılan toprak fiziksel ve kimyasal yönden analize tabi tutulmuş ve elde edilen bulgular Tablo 6.1’de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Paremetre	Birimi	Ölçülen Değer
pH		7,10 ± 0,04
EC	(µmhos/cm)	560,25 ± 14,38
Pb ²⁺	ppb	2114,57 ± 20,04
Sb ³⁺	ppb	400,40 ± 0,05
Cd ²⁺	ppb	111,44 ± 15,09
Ni ²⁺	ppb	748,22 ± 26,11
As ³⁺	ppb	172,89 ± 8,96
Ba ²⁺	ppb	3873,46 ± 315,09
Cr ²⁺	ppb	669,35 ± 41,89
Mn ²⁺	ppb	11740,89 ± 630,59
Cu ⁺	ppb	270,58 ± 10,21
Hg ²⁺	ppb	0,78 ± 0,41
Hacim Ağırlığı	g/cm ³	1,58
Tekstür Sınıfı		Killi Tın
Organik Madde		%0,364

Bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprakta yapılan fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda toprağın 1,4 g/cm³ hacim ağırlığında ve tekstür sınıfı olarak kumlu killi bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. pH değerinin 7,10 ve nötr değere yakın olduğu elektriksel iletkenlik (EC) değeri 560,250 µmhos/cm olarak belirlenmiştir. Özellikle araştırma kapsamında incelenen ağır metaller Tablo 6.1’de ayrı olarak gösterilmiş ve toprağın kendi yapısından kaynaklanan Ni değerinin 748,220 ppb, Pb’nin 2114,579 ppb, Sb’nin 400,403 ppb ve Cd’un ise 11,448 ppb olduğu görülmüştür.

6.2. Sulamada Kullanılan Suyun Kalite Özellikleri

Denemede bitkilerin gelişiminin sağlanabilmesi için içilebilir su kalitesindeki şebeke suyu kullanılmıştır. Sulama yapılmadan önce şebeke suyundan alınan su numunesinde yapılan laboratuvar analizlerinde belirlenen bazı kimyasal özellikler Tablo 6.2’de özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.2. Uygulanan sulama suyuna ilişkin bazı kimyasal özellikler

pH	EC(μmhos/cm)	Ca⁺² (ppb)	Mg⁺² (ppb)	Al⁺³ (ppb)
7,1	533	58,800	19,900	5,784
As³⁺ (ppb)	Pb²⁺ (ppb)	Sb³⁺ (ppb)	Cd²⁺ (ppb)	Ni²⁺ (ppb)
24,863	0,119	0,143	0,034	5,113
Na⁺ (ppb)	K⁺ (ppb)	Se²⁺ (ppb)	Cr²⁺ (ppb)	Mn²⁺ (ppb)
48,100	6,300	1, 516	0,119	0,227

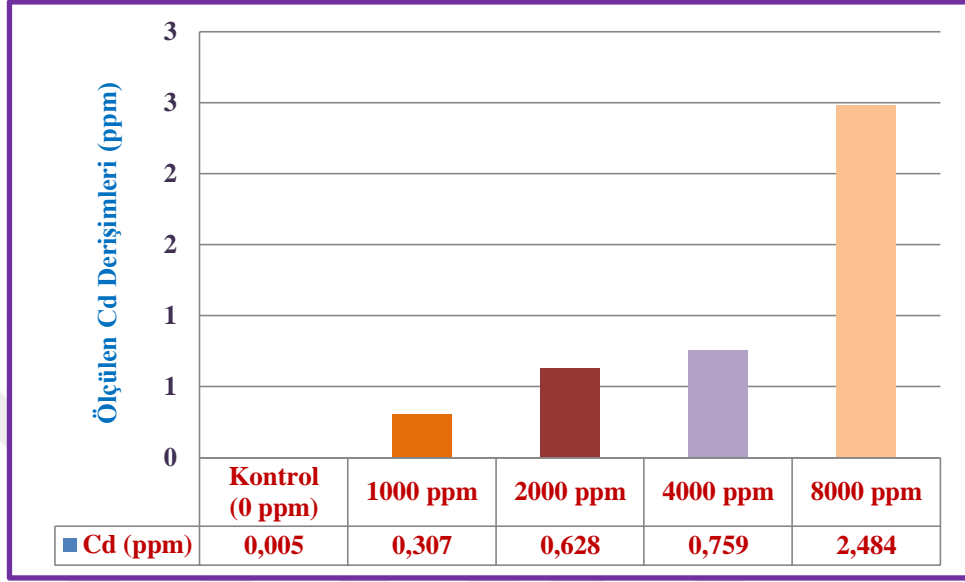
Bitki gelişimi için sulama suyu olarak kullanılan suda yapılan analizler sonucunda suyun pH değerinin 7,1 olarak nötr değerine yakın olarak bulunmuştur. Özellikle araştırma kapsamında incelenen ağır metallere Ni değerinin 5,113 ppb, Pb'nin 0,119 ppb, Sb'nin 0,143 ppb ve Cd'un ise 0,034 ppb olduğu görülmüştür. Sulama suyu kalite kriterlerinden olan Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) belirlenmesinde kullanılan Na değerine bakıldığında 48,100 ppb, Ca miktarı 58,800 ppb ve Mg miktarı ise 19,900 ppb olarak belirlenmiştir. SAR değeri hesaplandığında 7,669 oranı bulunmuş olup bu bağlamda sulama amaçlı kullanılan suyun az sodyumlu su sınıfına girdiği görülmüştür.

EC miktarına bakıldığında ise 533 μ mhos/cm olduğu görülmüş bu bağlamda da SAR ve EC değerleri dikkate alındığında sulama amaçlı kullanılan suyun ABD Tuzluluk Laboratuvarının sulama suyu sınıflandırılmasına göre C₂S₁ sınıfına girdiği belirlenmiştir. Sulama suyu bakımından incelendiğinde araştırmada bitki yetiştirilmesi için kullanılan suyun Nevşehir şebeke suyu ve içilebilir özellikte olduğu ve rahatlıkla sulamada kullanılabileceği görülmüştür. Ancak arsenik (As) miktarı bakımından Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği içilebilir sulara 10 ppb değerinin üzerinde bulunan şebeke içme suyu, As bakımından 24,863 ppb olarak ölçülmüş olup araştırma kapsamında As ile ilgili herhangi bir uygulama ve değerlendirme yapılmadığından bu değer dikkate alınmamıştır.

6.3. Bitkide Ölçülen Cd Değerleri

Yonca bitkisi ekiminden sonra bitkinin toprak yüzeyinden 6 cm'ye ulaştığında alınan bitki örneklerinde ölçülen Cd elementi miktarlarının dağılımları aşağıda dönemsel olarak grafikler dâhilinde sunulmuştur.

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki tüm Cd uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen miktarlarının uygulanan derişimler bazındaki dağılım grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir.

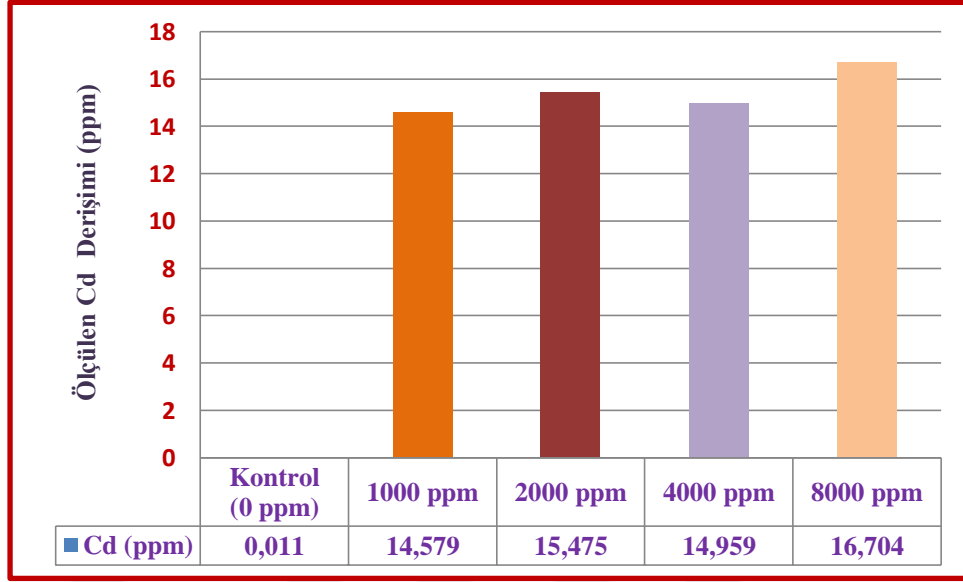


Şekil 6.1. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde yapılan biçimi sonucunda her bir Cd derişimi uygulanan farklı saksılardan elde edilen bitki materyalleri doğrultusunda ölçülen Cd miktarlarına bakıldığında;

Kontrol (0 ppm) saksılarında 0,005 ppm, 1000 ppm Cd uygulanan saksılardaki yonca bitkisi sap ve yapraklarında 0,307 ppm, 2000 ppm uygulamalarındaki saksılarda 0,628 ppm, 4000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde 0,759 ppm ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki bitki örneklerinde ise 2,484 ppm olarak Cd miktarları tespit edilmiştir. Şekil 6.1’de verilen grafik üzerinden de görüldüğü üzere topraktaki Cd miktarı arttıkça yonca bitkisinin kökleri ile absorblama oranında artış gözlemlenmiştir.

Yoncanın 19 Şubat tarihindeki hasadında farklı Cd uygulama derişimlerindeki saksılardan elde edilen bitki materyallerinden ölçülen Cd birikintisi miktarlarının değişimini gösteren dağılım grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

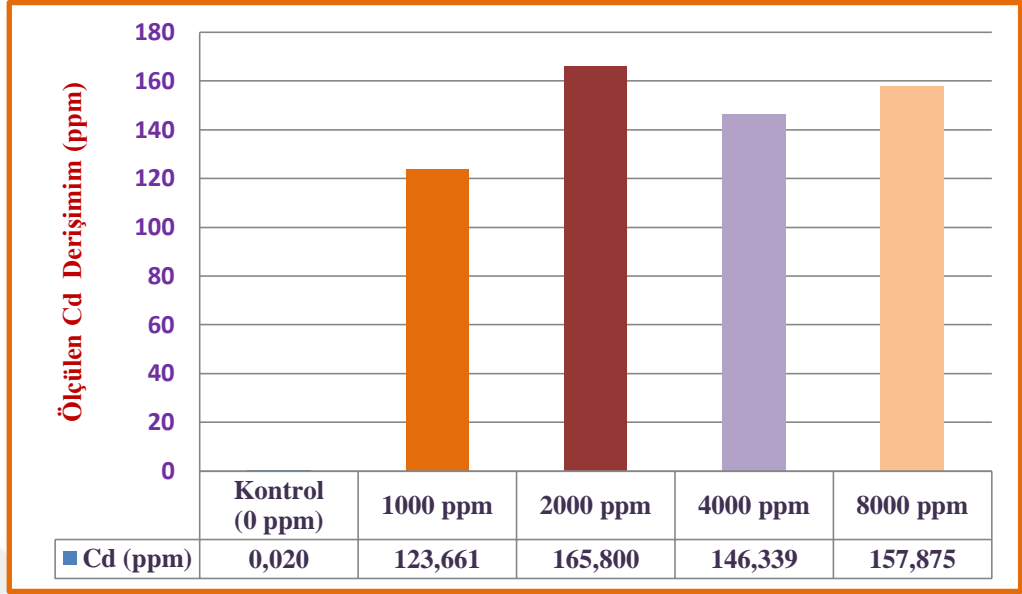


Şekil 6.2. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin ikinci hasadı olan 19 Şubat tarihindeki farklı uygulama derişimlerinde ki saksılardan toplanan bitki örneklerinde belirlenen Cd miktarlarına bakıldığında; kontrol gurubunda ölçülen Cd derişimi 0,011 ppm, 1000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde ölçülen Cd miktarı 14,579 ppm, 2000 ppm uygulanan derişimdeki saksılardan elde edilen bitki örneklerinde 15,475 ppm, 4000 ppm Cd uygulanan saksılardan toplanan bitkilerde 14,959 ppm ve 8000 ppm olarak uygulanan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Cd miktarı ise 16,704 ppm olarak belirlenmiştir.

Kontrol gurubunda ölçülen Cd miktarının ise toprağın kendi bünyesinden geldiği ve bu durumun tespiti ağır metal uygulamaları yapılmadan önce toprak analizlerinde de ortaya konulmuştur. Aynı biçim döneminde farklı derişimdeki Cd uygulanan saksı örneklerinden alınan bitki materyallerinde Cd birikimlerine genel olarak bakıldığında topraktaki ağır metal derişimi arttıkça yonca bitkisinin Cd miktarını absorblama oranının da arttığı görülmüştür.

Yonca bitkisinin üçüncü biçime ulaştığı dönem olan 12 Nisan tarihinde tüm saksılardan toplanan bitki örneklerinde ölçülen Cd miktarlarının dağılımı Şekil 6.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

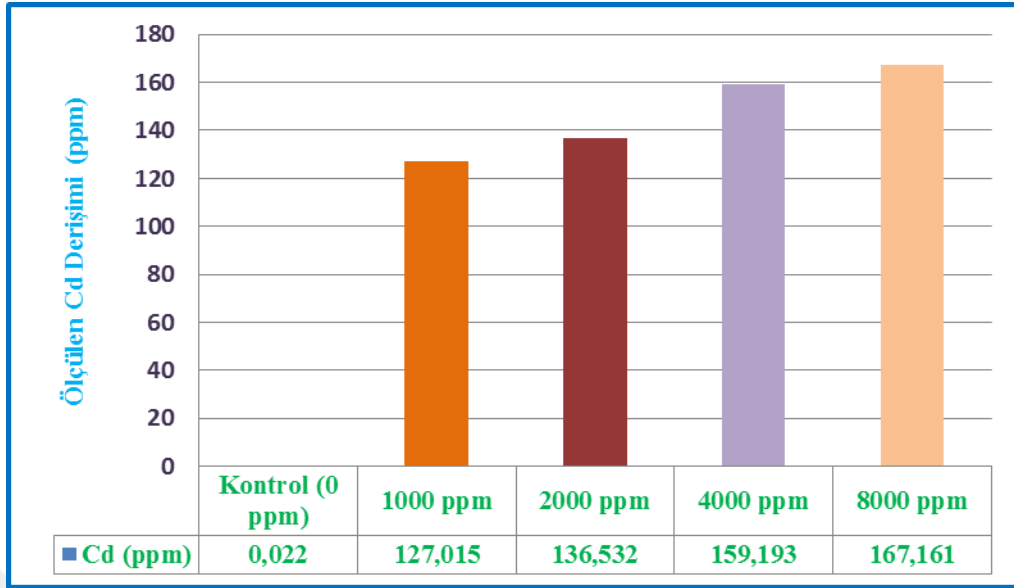


Şekil 6.3. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin ikinci hasadı olan 12 Nisan tarihindeki farklı uygulama derişimlerinde ki saksılardan toplanan bitki örneklerinde belirlenen Cd miktarlarına bakıldığında;

kontrol gurubundan 0,020 ppm düzeyinde Cd tespit edilmiştir. 1000 ppm uygulamalarındaki saksılardan ölçülen Cd miktarı 123,661 ppm, 2000 ppm uygulamalarında 165,800 ppm, 4000 ppm uygulamalarında 146,339 ppm ve en yüksek Cd birikiminin ise 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyalinde 157,875 ppm olarak belirlenmiştir.

Yonca bitkisini dördüncü biçimi olan 4 Mayıs tarihinde bitki vejetatif aksamalarında biriken Cd miktarının uygulanan saksı derişimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafik ise Şekil 6.4'te verilmiştir.

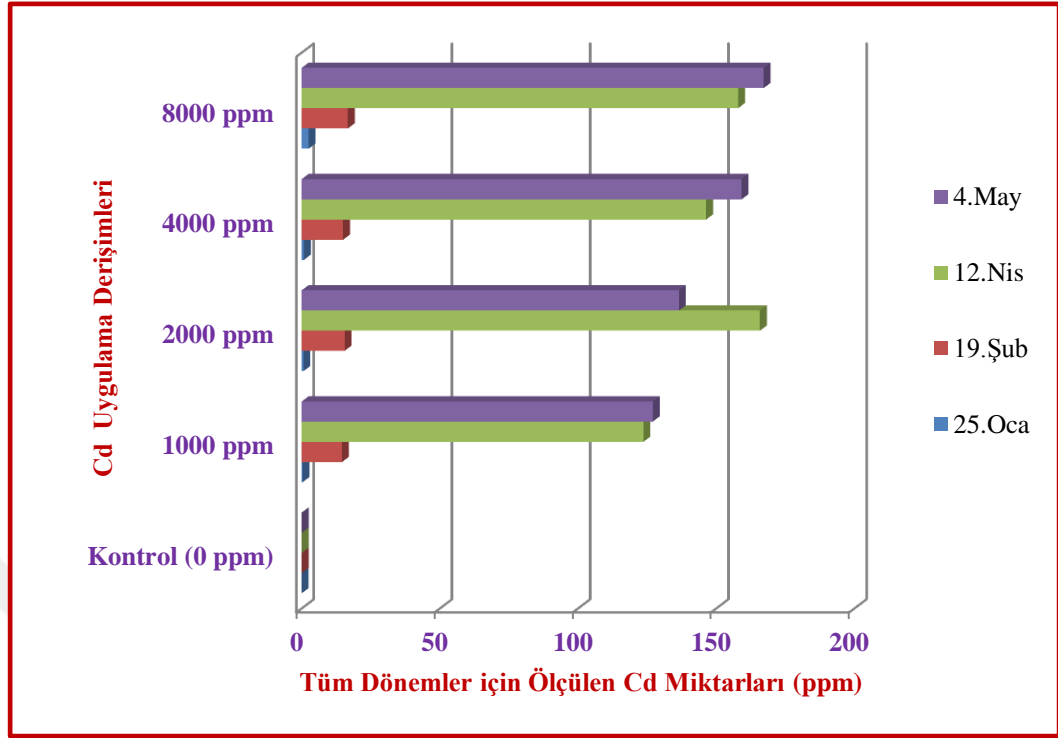


Şekil 6.4. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin dördüncü biçim dönemi olan 4 Mayıs tarihinde farklı derişimlerde uygulanan Cd miktarında yetişen saksılardan alınan bitki vejetatif aksamlarından elde edilen Cd birikim sonuçlarına bakıldığında; en yüksek değerin 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen yonca bitkisi vejetatif aksamlarında 167,161 ppm olarak belirlenmiş en düşük değeri ise yine hiç ilave Cd miktarı uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısından kaynaklanan kontrol konusunda 0,022 ppm olarak bulunmuştur.

1000 ppm uygulaması yapılan saksılardan alınan yonca bitkisinin vejetatif aksamlarında ölçülen Cd derişiminin 127,015 ppm olduğu, 2000 ppm uygulamalarında 136,532 ppm ve 4000 ppm uygulamalarında ölçülen Cd miktarının ise 159,193 ppm olduğu görülmüştür.

Yonca bitkisinin biçimlerinin gerçekleştirildiği ve bitki materyallerinin toplandığı dönemlerin tümündeki bitki vejetatif aksamındaki biriken Cd miktarlarının gösterir grafik Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Yonca bitkisinin tüm biçim dönemleri için ölçülen Cd miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Tüm biçim dönemleri bazında bakıldığında Cd'un genel olarak en fazla uygulama derişimi olan 8000 ppm'de absorbe edildiği, bunun da uygulanan Cd derişimi miktarı arttıkça bitkinin absorbleme oranının da artacağı sonucunu ortaya koyduğu görülmüştür.

Yonca bitkisinin vejetatif aksamalarında farklı saksı örneklerinden alınan bitki materyalleri doğrultusunda biriken Cd derişimleri ile uygulanan derişimler arası bir farkın olup olmadığı sonucunun belirlenmesi için yapılan istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.3'te özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.3. Bitkide dönemsel olarak yapılan Cd ölçüm sonuçları ile uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Cd Uygulama Derişimleri / Hasat dönemleri	25 Ocak	19 Şubat	12 Nisan	4 Mayıs
	Cd (ppm)	Cd (ppm)	Cd (ppm)	Cd (ppm)
Kontrol (0 ppm)	0,005 c	0,011 b	0,020 b	0,022 d
1000 ppm	0,307 bc	14,579 a	123,661 a	127,015 c
2000 ppm	0,628 bc	15,475 a	165,800 a	136,532 bc
4000 ppm	0,759 b	14,959 a	146,339 a	159,193 ab
8000 ppm	2,484 a	16,704 a	157,875 a	167,161 a

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde özellikle 1000 ppm ve 2000 ppm uygulanan derişimlerden alınan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Cd miktarlarının aynı grupta (bc) yer aldığı, diğer tüm uygulamaların ise her birinin farklı gruplarda (c, b ve a) yer aldığı görülmüştür.

19 Şubat ve 12 Nisan tarihlerinde yapılan tüm ölçümlerde kontrol grubu hariç tüm uygulanan derişimlerden elde edilen bitki materyalindeki Cd miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı, kontrol gruplarının ise yine farklı bir grupta aynı grup (b) içinde olduğu görülmüştür. 4 Mayıs tarihinde yapılan tüm ölçümlerde ise her bir farklı uygulanan derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Cd birikim miktarlarının birbirinden farklı olduğu ve istatistiki olarak ise her bir derişimden elde edilen bitki Cd birikim miktarının farklı gruplarda (d, c, bc, ab ve a) olarak dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Farklı hasat dönemlerinde farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan toplanan bitki materyallerinde elde edilen Cd birikim miktarlarının farklı uygulama derişimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu anlamda uygulanan farklı derişimler arasında da bir korelasyon ilişkisi belirlenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 6.4'te sunulmuştur.

Tablo 6.4. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Cd Uygulama Derişimleri	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1,000	0,956	0,990	0,946
2000 ppm	0,956	1,000	0,943	0,904
4000 ppm	0,990	0,943	1,000	0,919
8000 ppm	0,946	0,904	0,919	1,000

Farklı derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Cd birikimleri uygulanan derişimler arasında önemli düzeyde bir anlamlı ilişki bulunmuştur. Örneğin 1000 ppm uygulanan bir saksıdaki bitki materyalinden biriken Cd miktarı ile 2000 ppm Cd miktarı uygulanan saksıdan elde edilen bitki materyalinden Cd birikim miktarı arasında % 95,6 düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında tüm uygulanan derişimler arasında % 90'ın üzerinde anlamlı bir korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Yonca bitkisinin biçim dönemleri bazındaki varyans analiz sonucu ise Tablo 6.5'te sunulmuştur.

Tablo 6.5. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı

Uygulama Derişimleri / Bitki Hasat Dönemleri ve Ölçülen Cd Miktarları		Kontrol (0 ppm) (Cd)	1000 ppm (Cd)	2000 ppm (Cd)	4000 ppm (Cd)	8000 ppm (Cd)
25 Ocak	Ölçülen Cd (ppm) Miktarı	0,005 c	0,307 c	0,628 c	0,759 c	2,484 c
19 Şubat		0,011 b	14,579 b	15,475 b	14,959 b	16,704 a
2 Nisan		0,020 a	123,661 a	165,800 a	146,339 b	157,875 b
4 Mayıs		0,022 a	127,015 a	136,532 ab	159,193 a	167,161 a

Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan her bir derişim ve biçim dönemleri arası ilişkisinin dağılımına bakıldığında; kontrol ve 1000 ppm uygulanan derişimlerden 2 Nisan ve 4 Mayıs biçim dönemlerindeki bitki örneklerinde ölçülen Cd miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı diğer biçim dönemlerinin farklı gruplarda (c ve b) olduğu görülmüştür.

En yüksek derişim uygulaması olan 8000 ppm'e bakıldığında 19 Şubat ile 4 Mayıs da ki biçim dönemlerindeki bitki vejetatif aksamlarındaki Cd birikim miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı diğer biçim dönemlerinin ise farklı gruplarda (c ve b) olduğu belirlenmiştir. 1000 ve 2000 ppm uygulanan saksılardaki bitki Cd birikim miktarlarına bakıldığında; 25 Ocak da ki biçimlerden okunan Cd değerlerinin aynı grupta (c), 19 Şubat okumalarının farklı grupta ancak yine aynı grupta (b) ve 2 Nisan tarihinde yapılan biçimde bitkide okunan Cd birikim miktarının diğer biçim dönemlerine göre farklı grupta ancak aynı grupta (a) yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 6.6'da farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan farklı dönemlerde alınan bitki örneklerinde okunan Cd birikim miktarlarının ortalama değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan standart sapma değerleri özet halde sunulmuştur.

Tablo 6.6. Cd birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri

Bitki Hasat Dönemleri	Cd Uygulama Derişimleri	Ortalama ve \pm Standart Sapma (ppm)
25 Ocak	(Kontrol) 0 ppm	0,005 \pm 0,000
	1000 ppm	0,307 \pm 0,035
	2000 ppm	0,628 \pm 0,106
	4000 ppm	0,759 \pm 0,039
	8000 ppm	2,484 \pm 0,633
19 Şubat	(Kontrol) 0 ppm	0,011 \pm 0,004
	1000 ppm	14,579 \pm 3,343
	2000 ppm	15,475 \pm 3,054
	4000 ppm	14,959 \pm 2,660
	8000 ppm	16,704 \pm 2,810
2 Nisan	(Kontrol) 0 ppm	0,020 \pm 0,001
	1000 ppm	123,661 \pm 23,053
	2000 ppm	165,800 \pm 19,958
	4000 ppm	146,339 \pm 36,794
	8000 ppm	157,875 \pm 52,714
4 Mayıs	(Kontrol) 0 ppm	0,022 \pm 0,001
	1000 ppm	127,015 \pm 14,227
	2000 ppm	136,532 \pm 28,195
	4000 ppm	159,193 \pm 2,595
	8000 ppm	167,161 \pm 14,335

Farklı dönemlerde ve farklı uygulama derişimlerine tabi tutulan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Cd miktarlarının ortalama değerlerine bakıldığında; 25 Ocak tarihindeki en yüksek değer 8000 ppm uygulamasında 2,484 ppm olarak bulunmuşken bu örneklemedeki tüm ölçümlerin standart sapma değerleri ise \pm 0,633 olarak belirlenmiştir. 19 Şubat tarihinde yapılan yonca vejetatif aksamlarındaki Cd birikiminin 8000 ppm uygulanan saksılarda 16,704 \pm 2,810 ppm olarak bulunmuş, 2 Nisan'da 8000 ppm uygulanan saksılarda 157,875 \pm 52,714 ppm ve 4 Mayıs da 8000 ppm uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Cd miktarı ise 167,161 \pm 14,335 olarak belirlenmiştir.

Yonca bitkisinin farklı dört biçim dönemlerindeki farklı uygulama derişimlerine göre uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla topraktan aldıkları toplam Cd miktarları ve yüzde oranları Tablo 6.7'de hesaplanarak özet halde verilmiştir.

Tablo 6.7. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Cd miktarları ve yüzde oranları

Uygulanan Cd Derişimleri	*Toplam Cd (ppm) Alımı	Topraktan Alınan Toplam % Cd Oranı
1000 ppm	265,563	26,56
2000 ppm	318,435	15,92
4000 ppm	321,250	8,03
8000 ppm	344,224	4,30
* Toplam dört hasat dönemindeki bitki tarafından topraktan alınan toplam Cd miktarları		

Farklı Cd miktarları uygulanan saksılardan toplamda 4 dönem boyunca topraktan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Cd miktarlarına bakıldığında 1000 ppm derişimdeki saksılardan topraktan alınan toplam Cd miktarı 265,563 ppm iken toplam uygulanan 1000 ppm'lik Cd miktarının % 26,56'sı bitki kökleri yardımıyla topraktan uzaklaştırılabılmıştır.

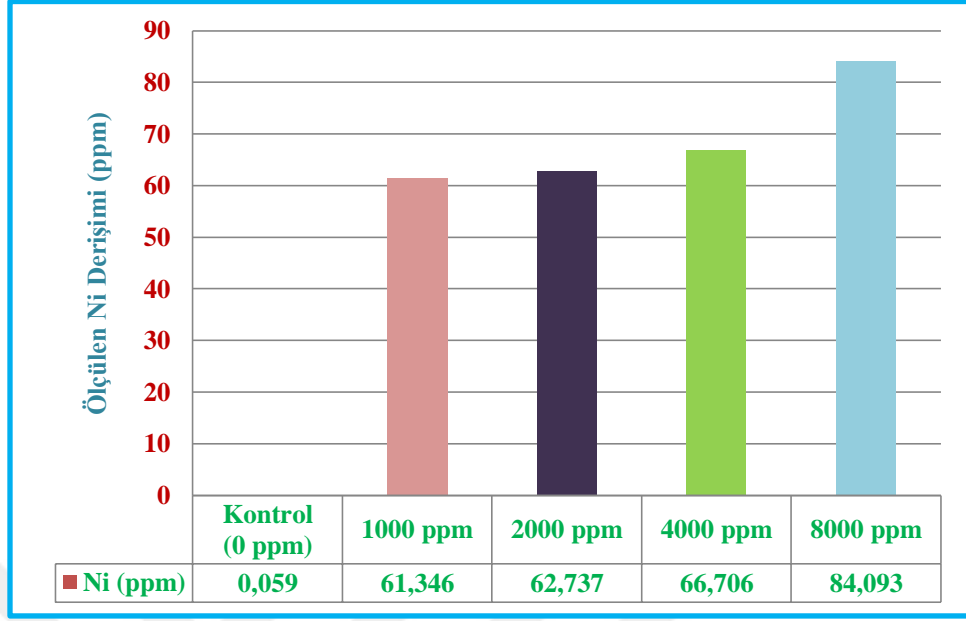
2000 ppm uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Cd miktarı 318,435 ppm iken toprağa uygulanan 2000 ppm Cd miktarının 4 biçim dönemi sonunda %15,92'si doğal yollarla topraktan adsorbsiyonu gerçekleştirilmiştir.

4000 ppm uygulanan saksılara bakıldığında dört dönem boyunca topraktan alınan Cd miktarı 321,250 ppm iken topraktaki toplam Cd miktarının % 8,03'u uzaklaştırılabılmıştır.

8000 ppm uygulanan saksılara bakıldığında dört dönem boyunca topraktan alınan Cd miktarı 344,224 ppm iken topraktaki toplam Cd miktarının % 4,30'u uzaklaştırılabılmıştır. Tablo 6.7'den görüleceği üzere topraktaki ağır metal birikimi arttıkça bitki kökleri ile topraktan Cd birikiminin alımı bitki fizyolojisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

6.4. Bitkide Ölçülen Ni Değerleri

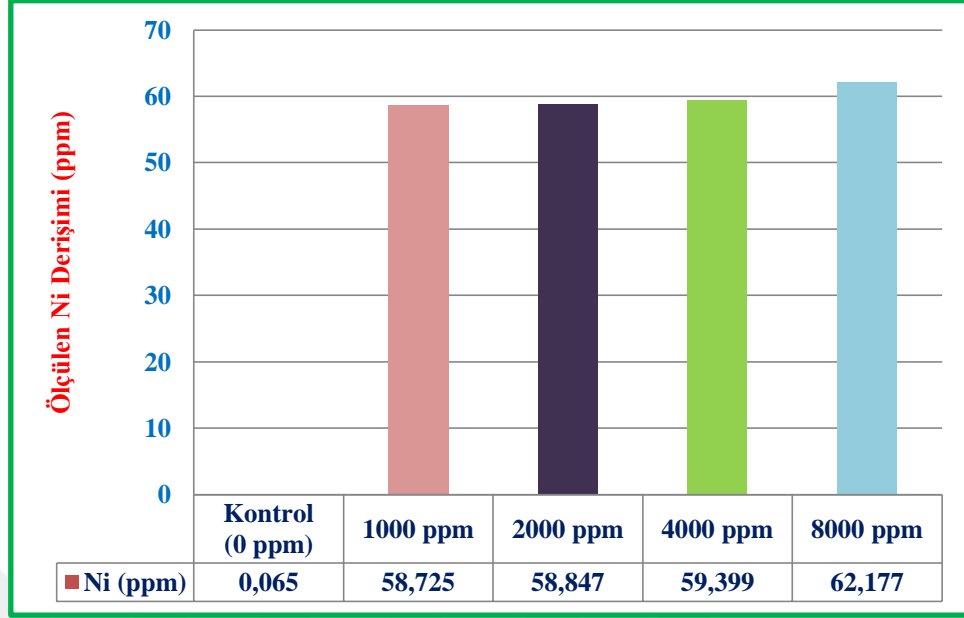
Yonca bitkisi toprak yüzeyinden itibaren 6 cm'ye ulaştığında bitki örnekleri alınmıştır. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki tüm Ni uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen miktarlarının uygulanan derişimler bazındaki dağılım grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde yapılan biçimi sonucunda her bir Ni derişimi uygulanan farklı saksılardan elde edilen bitki materyalleri doğrultusunda ölçülen Ni derişimlerine bakıldığında; kontrol (0 ppm) örneğindeki saksılarda 0,059 ppm, 1000 ppm Ni uygulanan saksılardaki yonca bitkisi sap ve yapraklarında 61,346 ppm, 2000 ppm uygulamalarındaki saksılarda 62,737 ppm, 4000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde 66,706 ppm ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki bitki örneklerinde ise 84,093 ppm Ni tespit edilmiştir. Şekil 6.6'da verilen grafik üzerinden de görüldüğü üzere topraktaki Ni miktarı arttıkça yonca bitkisinin kökleri ile absorblama oranında da ciddi artışlar gözlemlenmiştir.

Yonca 19 Şubat tarihindeki biçiminde farklı Ni uygulama derişimlerindeki saksılardan elde edilen bitki materyallerinden ölçülen Ni birikintisi miktarlarının değişimini gösteren dağılım grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir.

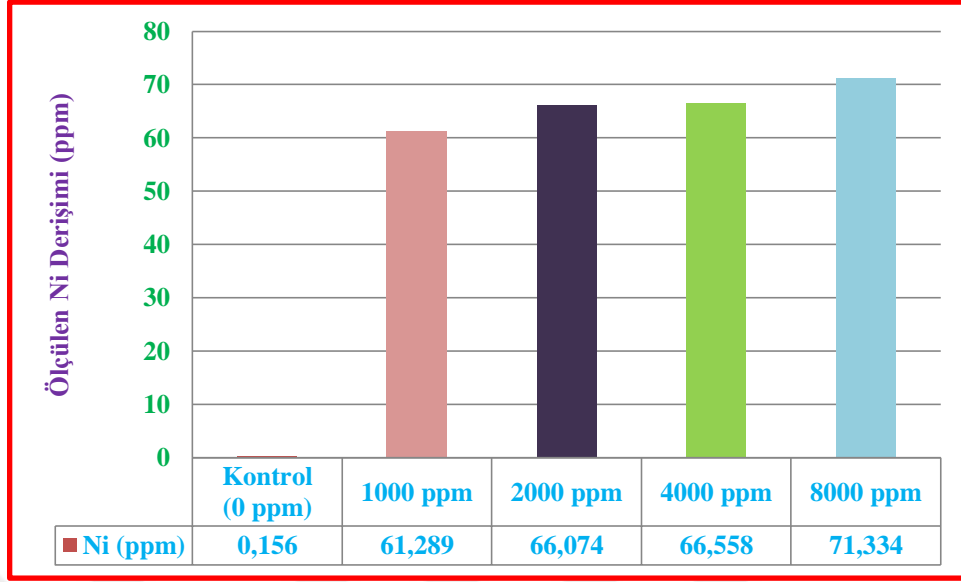


Şekil 6.7. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin ikinci hasadı olan 19 Şubat tarihindeki farklı uygulama derişimlerinde ki saksılardan toplanan bitki örneklerinde belirlenen Ni miktarlarına bakıldığında; kontrol gurubunda ölçülen Ni derişimi 0,065 ppm, 1000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde ölçülen Ni derişimi 58,725 ppm, 2000 ppm uygulanan derişimler deki saksılardan elde edilen bitki örneklerinde 58,847 ppm, 4000 ppm Ni uygulanan saksılardan toplanan bitkilerden 59,399 ppm ve 8000 ppm olarak uygulanan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Ni derişimi ise 62,177 ppm olarak belirlenmiştir. Kontrol gurubunda ise ölçülen Ni derişiminin ise toprağın kendi bünyesinde olan miktardan geldiği ve bu durum tespiti ise ağır metal uygulamaları yapılmadan önce toprak analizlerinde de ortaya konulmuştur.

Aynı biçim döneminde farklı derişimler de Ni uygulanan saksı örneklerinden alınan bitki materyallerindeki yaprak ve sap kısımlarındaki Ni birikimlerine genel olarak bakıldığında topraktaki ağır metal dozu arttıkça yonca bitkisinin Ni miktarını absorbleme oranının da arttığı görülmüştür.

Yonca bitkisinin üçüncü biçime ulaştığı dönem olan 12 Nisan tarihinde tüm saksılardan toplanan bitki örneklerinde ölçülen Ni miktarlarının dağılımı Şekil 6.8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



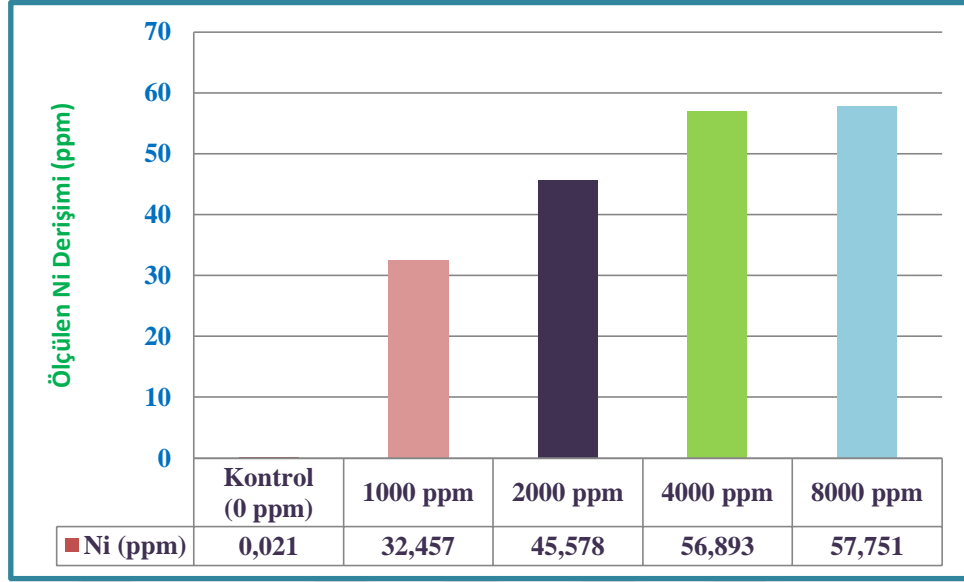
Şekil 6.8. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere farklı derişimler de uygulanan Ni miktarının uygulandığı saksılardan elde edilen yonca bitkisinin vejetatif aksanlarındaki Ni miktarlarının hiç Ni uygulanmayan, sadece toprağın kendi yapısından kaynaklanan kontrol saksısından 0,156 ppm düzeyinde tespit edilmiş ve en yüksek Ni birikiminin ise 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyalinde 71,334 ppm olarak belirlenmiştir.

1000 ppm uygulanan saksılardan 12 Nisan döneminde alınan bitki örneklerindeki Ni birikim miktarına bakıldığında 61,289 ppm Ni birikimi tespit edilmişken, 2000 ppm uygulanan saksılardaki bitkide biriken Ni miktarı ise 66,074 ppm olarak belirlenmiştir.

2000 ppm ve 4000 ppm Ni uygulanan saksılardaki bitkide biriken Ni miktarları birbirine çok yakın seyretmiştir.

Yonca bitkisini dördüncü biçimi olan 4 Mayıs tarihinde bitki vejetatif aksamlarında biriken Ni miktarının uygulanan saksı derişimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafik ise Şekil 6.9'da verilmiştir.

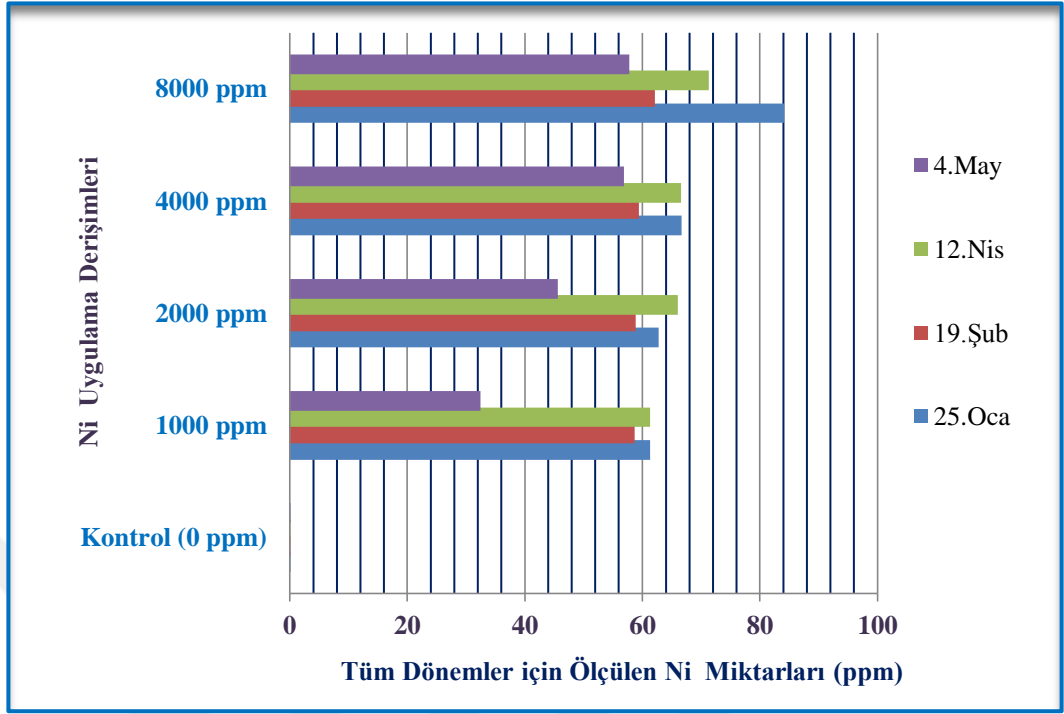


Şekil 6.9. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki biçim döneminde ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin dördüncü biçim dönemi olan 4 Mayıs tarihinde farklı derişimler de uygulanan Ni miktarında yetişen saksılardan alınan bitki vejetatif aksamlarından elde edilen Ni birikim sonuçlarına bakıldığında; en yüksek değerin 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen yonca bitkisi vejetatif aksamlarında 57,751 ppm olarak belirlenmiş en düşük değer ise yine hiç ilave Ni miktarı uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısında olan kontrol gurubunda olduğu saksılardan 0,021 ppm olarak belirlenmiştir.

1000 ppm Ni uygulanan saksılardaki yonca bitkisinin vejetatif aksamında biriken Ni miktarı 32,457 ppm olarak belirlenmişken 2000 ppm uygulamasında 45,578 ppm ve 4000 ppm uygulamalarında ise 56,893 ppm Ni birikimleri tespit edilmiştir. 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Ni birikim miktarının 57,751 ppm olduğu bu değerin ise 4000 ppm uygulanan saksılardan alınan bitki materyallerinde ölçülen Ni değerine yakın olduğu görülmüştür.

Bitki biçimlerinin gerçekleştirildiği ve bitki materyallerinin toplandığı dönemlerin tümündeki bitki vejetatif aksamındaki biriken Ni miktarlarının gösterir grafik Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Ni miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Tüm biçim dönemleri bazında bakıldığında Ni birikimleri genel olarak en fazla uygulama derişimi olan 8000 ppm de absorbe edildiği, bununda uygulanan Ni derişim miktarı arttıkça bitkinin absorbleme oranının da artacağı sonucunu ortaya koyduğu görülmüştür.

Yonca bitkisinin vejetatif aksamalarında farklı saksı örneklerinden alınan bitki materyallerinde biriken Ni miktarları ile uygulanan derişimler arası bir farkın olup olmadığı sonucunun belirlenmesi için yapılan istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.8’de özetlenerek sunulmuştur

Tablo 6.8. Bitkide dönemsel olarak yapılan Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değeriendirilmesi

Ni Uygulama Derişimleri / Hasat dönemleri	25 Ocak	19 Şubat	12 Nisan	4 Mayıs
	Ni (ppm)	Ni (ppm)	Ni (ppm)	Ni (ppm)
Kontrol (0 ppm)	0,059 c	0,065 b	0,156 b	0,021 c
1000 ppm	61,346 b	58,725 a	61,288 a	32,457 b
2000 ppm	62,737 b	58,847 a	66,074 a	45,578 ab
4000 ppm	66,706 b	59,399 a	66,074 a	56,893 a
8000 ppm	84,093 a	62,177 a	71,334 a	57,751 a

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde özellikle 1000, 2000 ve 4000 ppm uygulanan derişimlerden alınan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Ni miktarlarının aynı grupta (b) yer aldığı, diğer tüm uygulamaların ise her birinin farklı gruplarda (c ve a) yer aldığı görülmüştür.

19 Şubat ve 12 Nisan tarihlerinde yapılan tüm ölçümlerde kontrol gruplarının aynı grupta (b) yer aldığı ve diğer uygulama derişimlerinin ise farklı bir grupta yine aynı grupta (a) yer aldığı görülmüştür. 4 Mayıs tarihinde yapılan tüm ölçümlerde ise her bir farklı uygulanan derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Ni birikim miktarlarının 4000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardan ölçülen Ni miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı diğer uygulama derişimlerinin her birinin ise farklı gruplarda (c, b, ab) yer aldığı görülmüştür.

Farklı biçim dönemlerinde farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan toplanan bitki materyallerinde elde edilen Ni birikim miktarlarının farklı uygulama derişimlerine bağlı olarak değışkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu anlamda uygulanan farklı derişimler arasında da bir korelasyon ilişkisi belirlenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Ni Uygulama Derişimleri	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1,000	0,981	0,972	0,562
2000 ppm	0,976	1,000	0,981	0,743
4000 ppm	0,932	0,971	1,000	0,887
8000 ppm	0,452	0,443	0,325	1,000

Uygulanan farklı derişimler deki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Ni birikimleri arasında önemli düzeyde bir anlamlı ilişki bulunmuştur. En yüksek ilişki 200 ppm uygulanan saksılar ile 4000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde biriken Ni miktarları arasında % 98,1 oranında bir ilişki belirlenmiştir. Yonca bitkisinin biçim dönemleri bazındaki varyans analiz sonucu ise Tablo 6.10'da sunulmuştur.

Tablo 6.10. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı

Uygulama Derişimleri / Bitki Hasat Dönemleri ve Ölçülen Değerler		Kontrol (0 ppm)	1000 ppm (Ni)	2000 ppm (Ni)	4000 ppm (Ni)	8000 ppm (Ni)
25 Ocak	Ölçülen Ni (ppm) derişimleri	0,059 c	61,346 a	62,737 a	66,706 a	84,093 c
19 Şubat		0,065 c	58,725 a	58,847 a	59,399 b	62,177 b
2 Nisan		0,156 b	61,289 a	66,074 a	66,558 a	71,334 b
4 Mayıs		0,021 a	32,457 b	45,578 b	56,893 a	57,751 a

Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin biçim dönemleri arası ilişkisinin dağılımına bakıldığında; kontrol gurubunda 25 Ocak ve 19 Şubat tarihlerindeki biçim dönemlerinde bitkide ölçülen Ni miktarlarının aynı grupta (c) yer aldığı diğer biçim dönemlerinin ise farklı gruplarda (a ve b) yer aldığı görülmüştür.

1000 ve 2000 ppm uygulanan dozlarda ise 25 Ocak, 19 Şubat ve 2 Nisan biçim dönemlerinin aynı grupta (a) yer aldığı belirlenmiştir. 4000 ppm uygulama derişimin de ise 25 Ocak, 2 Nisan ve 4 Mayıs dönemlerindeki Ni birikim miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı, 19 Şubat dönemindeki Ni birikim miktarının farklı bir grupta (b) yer aldığı görülmüştür. 2 Nisan ve 4 Mayıs biçim dönemlerindeki bitki örneklerinde ölçülen Cd miktarlarının aynı grupta yer aldığı diğer biçim dönemlerinin farklı grupta olduğu görülmüştür. 8000 ppm uygulamalarına bakıldığında 19 Şubat ile 4 Mayıs da ki biçim dönemlerindeki bitki vejetatif aksamlarındaki Ni birikim miktarlarının aynı grupta yer aldığı diğer biçim dönemlerinin ise farklı grupta olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6.11’de farklı uygulama derişimlerdeki saksılardan farklı dönemlerde alınan bitki örneklerinde 4 tekerrürde okunan Ni birikim miktarlarının ortalama miktarları ve buna bağılı olarak hesaplanan standart sapma değerleri özet halde sunulmuştur.

Tablo 6.11. Ni birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri

Bitki Hasat Dönemleri	Ni Uygulama Derişimleri	Ortalama Ni Miktarları (ppm) ve ± Standart Sapma
25 Ocak	(Kontrol) 0 ppm	0,059 ± 0,012
	1000 ppm	61,346 ± 5,902
	2000 ppm	62,737 ± 7,256
	4000 ppm	66,706 ± 4,801
	8000 ppm	84,093 ± 18,319
19 Şubat	(Kontrol) 0 ppm	0,065 ± 0,039
	1000 ppm	58,725 ± 5,350
	2000 ppm	58,847 ± 6,228
	4000 ppm	59,399 ± 7,586
	8000 ppm	62,177 ± 8,318
2 Nisan	(Kontrol) 0 ppm	0,156 ± 0,039
	1000 ppm	61,289 ± 13,747
	2000 ppm	66,074 ± 4,702
	4000 ppm	66,558 ± 15,004
	8000 ppm	71,334 ± 9,848
4 Mayıs	(Kontrol) 0 ppm	0,021 ± 0,002
	1000 ppm	32,457 ± 9,069
	2000 ppm	45,578 ± 7,256
	4000 ppm	56,893 ± 13,836
	8000 ppm	57,751 ± 7,654

Farklı dönemlerde ve farklı uygulama derişimlerine tabi tutulan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Ni miktarlarının ortalama değerlerine bakıldığında; 25 Ocak tarihindeki en yüksek değer 8000 ppm uygulamasında 84,093 ppm bulunmuşken bu örneklemedeki tüm ölçümlerin standart değerleri ise ± 18,319 olarak belirlenmiştir. 19 Şubat tarihinde yapılan yonca vejetatif aksamlarındaki Ni birikiminin 8000 ppm uygulanan saksılarda 62,177 ppm ± 8,318 olarak bulunmuş, 2 Nisan’da 8000 ppm uygulanan saksılarda 71,334 ppm ± 9,848 ve 4 Mayıs da uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Ni miktarının ise 57,751 ppm ± 7,654 olarak belirlenmiştir.

Yonca bitkisinin farklı dört biçim dönemlerindeki farklı uygulama derişimleri göre uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla topraktan aldıkları toplam Ni miktarları ve yüzde oranları Tablo 6.12’de hesaplanarak özet halde verilmiştir.

Tablo 6.12. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Ni derişimleri ve yüzde oranları

Uygulanan Ni Derişimleri	*Toplam Ni (ppm) Alımı	Topraktan Alınan Toplam % Ni Oranı
1000 ppm	213,817	21,38
2000 ppm	233,237	11,66
4000 ppm	249,556	6,24
8000 ppm	275,354	3,44

* Toplam dört hasat dönemindeki bitki tarafından topraktan alınan toplam Ni miktarları

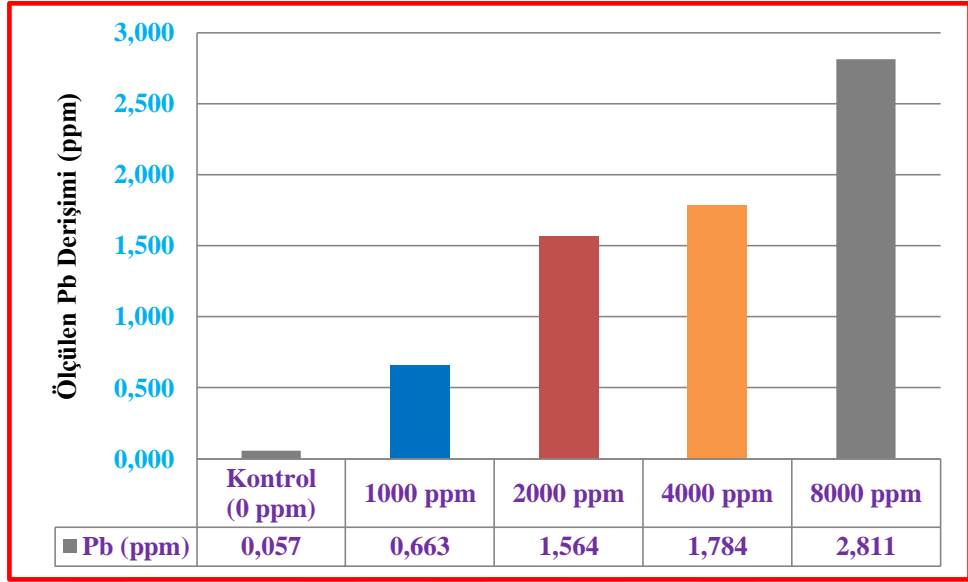
Farklı uygulama Ni miktarları uygulanan saksılardan toplamda 4 dönem boyunca topraktan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Ni miktarlarına bakıldığında 1000 ppm uygulanan saksılardan topraktan alınan toplam Ni miktarı 213, 817 ppm iken uygulanan toplam 1000 ppm’lik Ni miktarının % 21,38 ‘i bitki kökleri yardımıyla topraktan uzaklaştırılabildiğiştir.

2000 ppm uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Ni miktarı 233,237 ppm iken toprağa uygulanan 2000 ppm Ni miktarının 4 biçim dönemi sonunda % 11,66’sının doğal yollarla topraktan adsorbsiyonu gerçekleştirilmiştir.

8000 ppm uygulanan saksılara bakıldığında dört dönem boyunca topraktan alınan Ni miktarı 275,354 ppm iken topraktaki toplam Cd miktarının % 3,44’ü uzaklaştırılabildiğiştir. Topraktaki ağır metal birikimi arttıkça topraktaki ağır metal birikimine bağlı olarak bitki köklerinin alım oranının da azaldığı görülmüştür.

6.5. Bitkide Ölçülen Pb Değerleri

Yonca bitkisi toprak yüzeyinde 6 cm’ye ulaştığında bitki örnekleri alınmıştır. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki tüm Pb uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen miktarlarının uygulanan derişimler bazındaki dağılım grafiği Şekil 6.11’de verilmiştir.

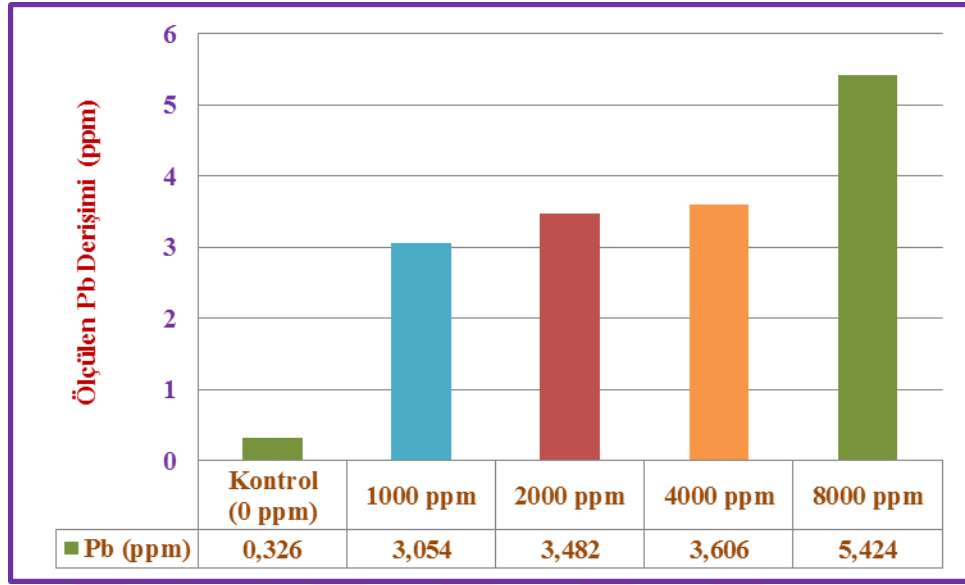


Şekil 6.11. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarlarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde yapılan biçimi sonucunda her bir Pb dozu uygulanan farklı saksılardan elde edilen bitki materyalleri doğrultusunda ölçülen Pb miktarlarına bakıldığında;

Kontrol gurubundaki saksılarda 0,057 ppm, 1000 ppm Pb uygulanan saksılardaki yonca bitkisi sap ve yapraklarında 0,663 ppm, 2000 ppm uygulamalarındaki saksılarda 1,564 ppm, 4000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde 1,784 ppm ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki bitki örneklerinde ise 2,811 ppm olarak Pb tespit edilmiştir.

Şekil 6.11’de verilen grafik üzerinden de görüldüğü üzere topraktaki Pb miktarı arttıkça yonca bitkisinin kökleri ile absorblama oranında da ciddi artışlar gözlemlenmiştir. Yoncanın 19 Şubat tarihindeki biçiminde farklı Pb uygulama derişimlerindeki saksılardan elde edilen bitki materyallerinden ölçülen Pb birikintisi miktarlarının değişimini gösteren dağılım grafiği Şekil 6.12’de verilmiştir.



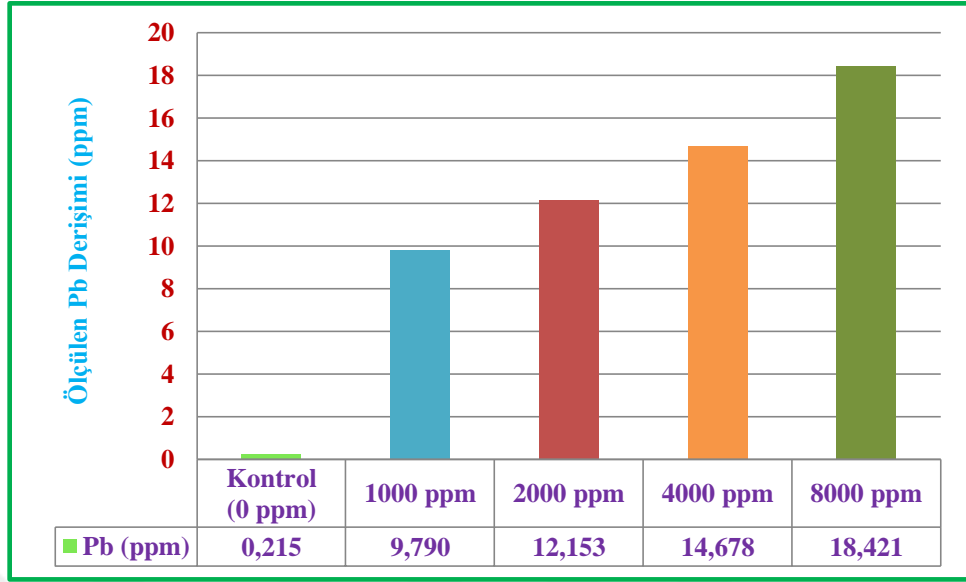
Şekil 6.12. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin ikinci hasadı olan 19 Şubat tarihindeki farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan toplanan bitki örneklerinde belirlenen Pb miktarlarına bakıldığında; kontrol konusunda ölçülen Pb miktarı 0,326 ppm, 1000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde ölçülen Pb miktarı 3,054 ppm, 2000 ppm uygulanan derişimler deki saksılardan elde edilen bitki örneklerinde 3,482 ppm, 4000 ppm Pb uygulanan saksılardan toplanan bitkilerde 3,606 ppm ve 8000 ppm olarak uygulanan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Pb miktarı ise 5,424 ppm olarak belirlenmiştir.

Kontrol konusunda ise ölçülen Pb miktarının ise toprağın kendi bünyesinde olan miktardan geldiği düşünülmektedir ve bu durumun tespiti ise ağır metal uygulamaları yapılmadan önceki toprak analizlerinde de ortaya konulmuştur.

Aynı biçim döneminde farklı derişimlerde Pb uygulanan saksı örneklerinden alınan bitki materyallerindeki yaprak ve sap kısımlarındaki Pb birikimlerine genel olarak bakıldığında topraktaki ağır metal dozu arttıkça yonca bitkisinin Pb miktarını absorblama oranının da arttığı görülmüştür.

Yonca bitkisinin üçüncü biçime ulaştığı dönem olan 12 Nisan tarihinde tüm saksılardan toplanan bitki örneklerinde ölçülen Pb miktarlarının dağılımı Şekil 6.13'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

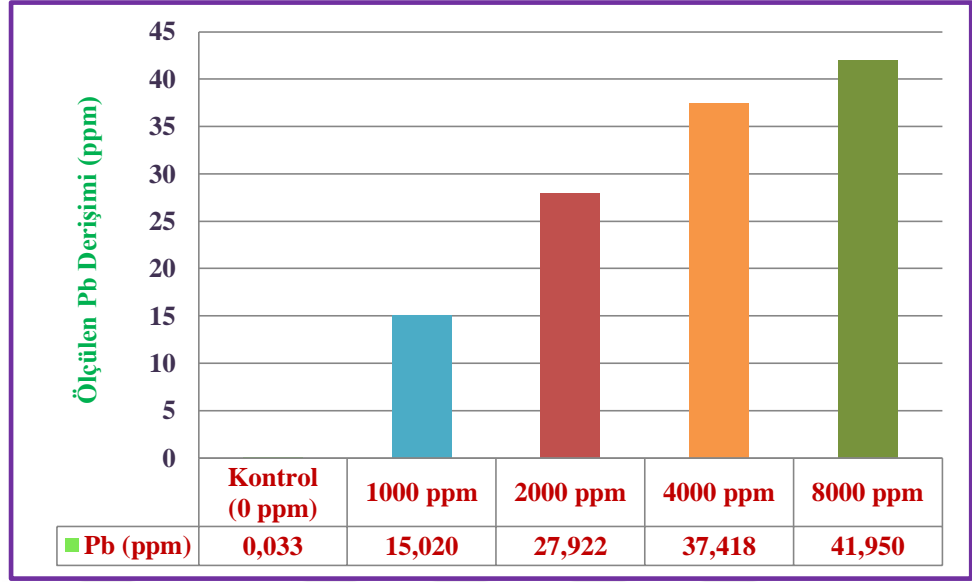


Şekil 6.13. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yukarıdaki grafik den de görüleceği üzere farklı derişimler de uygulanan Pb miktarının uygulandığı saksılardan elde edilen yonca bitkisinin vejetatif aksanlarındaki Pb miktarlarının hiç Pb uygulanmayan, sadece toprağın kendi yapısından kaynaklanan kontrol saksından 0,215 ppm düzeyinde tespit edilmiş ve en yüksek Pb birikiminin ise 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyalinde 18,421 ppm olarak belirlenmiştir.

En düşük uygulama derişimi olan 1000 ppm Pb uygulanan saksılardaki yonca bitkisinde 9,790 ppm'lik bir Pb birikimi belirlenmişken 2000 ppm uygulanan saksılarda 12,153 ppm ve 4000 ppm Pb uygulanan saksılarda ise 14,678 ppm'lik bir Pb birikimine rastlanılmıştır.

Yonca bitkisini dördüncü biçimi olan 4 Mayıs tarihinde bitki vejetatif aksamlarında biriken Pb miktarının uygulanan saksı derişimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafik ise Şekil 6.14'de verilmiştir

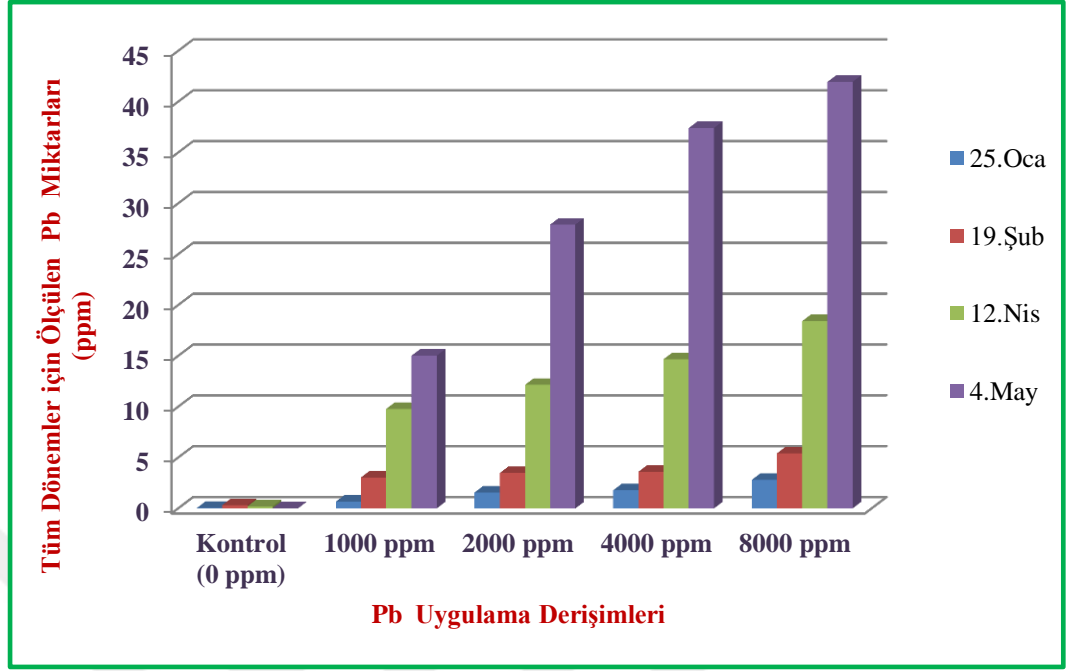


Şekil 6.14. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin dördüncü hasat dönemi olan 4 Mayıs tarihinde farklı derişimlerde uygulanan Pb miktarında yetişen saksılardan alınan bitki vejetatif aksamlarından elde edilen Pb birikim sonuçlarına bakıldığında; en yüksek değer 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen yonca bitkisi vejetatif aksamlarında 41,950 ppm olarak belirlenmiş en düşük değer ise yine hiç ilave Pb derişimi uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısından gelen kontrol konusunda 0,033 ppm olduğu belirlenmiştir.

En düşük Pb dozu olan 1000 ppm uygulanan saksılardaki bitki materyallerinde biriken Pb miktarı 4 Mayıs'taki biçim döneminde 15,020 ppm olarak belirlenmiş, 2000 ppm uygulamalarında 27,922 ppm ve 4000 ppm Pb uygulamalarındaki saksılardan alınan bitki örneklerinde biriken Pb miktarının ise 37,418 ppm olduğu tespit edilmiştir.

Bitki biçimlerinin gerçekleştirildiği ve bitki materyallerinin toplandığı dönemlerin tümündeki bitki vejetatif aksamındaki biriken Pb miktarlarını gösteren grafik Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Pb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Tüm biçim dönemleri bazında bakıldığında Pb birikimleri genel olarak en fazla uygulama dozu olan 8000 ppm de absorbe edildiği, bununda uygulanan Pb dozu miktarı arttıkça bitkinin absorbleme oranının da artacağı sonucunu ortaya koyduğu görülmüştür. Yonca bitkisinin vejetatif aksamalarında farklı saksı örneklerinden alınan bitki materyalleri doğrultusunda biriken Pb miktarlarının uygulanan derişimler arası bir farkın olup olmadığı sonucunun belirlenmesi için yapılan istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.13'te özetlenerek sunulmuştur

Tablo 6.13. Bitkide dönemsel olarak yapılan Pb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiki olarak değerlendirilmesi

Pb Uygulama Derişimleri / Hasat dönemleri	25 Ocak	19 Şubat	12 Nisan	4 Mayıs
	Pb (ppm)	Pb (ppm)	Pb (ppm)	Pb (ppm)
Kontrol (0 ppm)	0,258 c	0,479 c	0,565 e	0,644 d
1000 ppm	0,663 c	3,054 b	9,790 d	15,020 c
2000 ppm	1,564 b	3,482 b	12,153 c	27,922 b
4000 ppm	1,784 b	3,606 b	14,678 b	37,418 ab
8000 ppm	2,811 a	5,424 a	18,421 a	41,950 a

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde özellikle 2000 ve 4000 ppm uygulanan derişimlerden alınan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Pb miktarlarının aynı grupta (b) yer aldığı, kontrol ve 1000 ppm uygulanan saksılardan alınan bitki materyallerinin ise farklı bir grup olarak aynı grupta (c) yer aldığı görülmüştür.

19 Şubat tarihinde yapılan tüm ölçümlerde 1000, 2000 ve 4000 ppm uygulamalarının aynı grupta (b) yer aldığı ve diğer uygulama derişimlerinin ise farklı gruplarda (c, a) yer aldığı görülmüştür. 12 Nisan tarihinde yapılan biçimlerde uygulanan tüm uygulanan derişimler arası farklı gruplarda yer aldığı 4 Mayıs tarihinde yapılan tüm ölçümlerde ise her bir farklı uygulanan derişimler deki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Ni birikim miktarlarının 4000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardan ölçülen Ni miktarlarının aynı grupta (a) yer aldığı diğer uygulama derişimlerinin her birinin ise farklı gruplarda (c, b ve ab) yer aldığı görülmüştür. Farklı biçim dönemlerinde farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan toplanan bitki materyallerinden elde edilen Pb birikim miktarlarının farklı uygulama derişimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu anlamda uygulanan farklı derişimler arasında da bir korelasyon ilişkisi belirlenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 6.14’de verilmiştir.

Tablo 6.14. Bitkide Pb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Pb Uygulama Derişimleri	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1,000	0,945	0,862	0,911
2000 ppm	0,945	1,000	0,968	0,932
4000 ppm	0,862	0,968	1,000	0,927
8000 ppm	0,911	0,932	0,927	1,000

Farklı derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Pb birikimleri ile uygulanan derişimler arasında önemli düzeyde bir anlamlı ilişki bulunmuştur. Örneğin 4000 ppm uygulanan bir saksıdaki bitki materyalinden biriken Pb miktarı ile 2000 ppm Pb miktarı uygulanan saksıdan elde edilen bitki materyalinden Pb birikim miktarı arasında % 96,8 düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında tüm uygulanan derişimler arasında % 86’nın üzerinde anlamlı bir korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Yonca bitkisinin biçim dönemleri bazındaki varyans analiz sonucu ise Tablo 6.15’te sunulmuştur.

Tablo 6.15. Bitkide Pb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı

Uygulama Derişimleri / Bitki Hasat Dönemleri ve Ölçülen Değerler		Kontrol (0 ppm)	1000 ppm (Pb)	2000 ppm (Pb)	4000 ppm (Pb)	8000 ppm (Pb)
25 Ocak	Ölçülen Pb (ppm) Miktarı	0,258 d	0,663 c	1,564 c	1,784 c	2,811 c
19 Şubat		0,479 c	3,054 c	3,482 c	3,606 bc	5,424 c
2 Nisan		0,565 b	9,790 b	12,153 b	14,678 b	18,421 b
4 Mayıs		0,644 a	15,020 a	27,922 a	37,418 a	41,950 a

Bitkide Pb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin biçim dönemleri arası ilişkisinin dağılımına bakıldığında; kontrol grubunda tüm biçim dönemlerinde bitkide ölçülen Pb miktarlarının farklı gruplarda yer aldığı görülmüştür.

1000 ve 2000 ppm uygulanan derişimler da ise 25 Ocak ve 19 Şubat biçim dönemlerinin aynı grupta (c) yer aldığı belirlenmiştir. 4000 ppm uygulama derişiminde ise tüm biçim dönemlerinin farklı gruplarda yer aldığı, 8000 ppm derişiminin 25 Ocak ve 19 Şubat'taki biçim dönemlerinde ölçülen Pb birikim miktarının aynı grupta (c) yer aldığı görülmüştür.

Tablo 6.16'da Farklı uygulama derişimlerindeki saksılardan farklı dönemlerde alınan bitki örneklerinde 4 tekerrürde okunan Pb birikim miktarlarının ortalama değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan standart sapma değerleri özet halde sunulmuştur.

Tablo 6.16. Pb birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri

Bitki Hasat Dönemleri	Pb Uygulama Derişimleri	Ortalama Pb Değerleri (ppm) ve ± Standart Sapma
25 Ocak	(Kontrol) 0 ppm	0,258 ± 0,008
	1000 ppm	0,663 ± 0,086
	2000 ppm	1,564 ± 0,269
	4000 ppm	1,784 ± 0,542
	8000 ppm	2,811 ± 0,016
19 Şubat	(Kontrol) 0 ppm	0,479 ± 0,005
	1000 ppm	3,054 ± 0,242
	2000 ppm	3,482 ± 0,830
	4000 ppm	3,606 ± 1,025
	8000 ppm	5,424 ± 0,606
2 Nisan	(Kontrol) 0 ppm	0,565 ± 0,048
	1000 ppm	9,790 ± 0,097
	2000 ppm	12,153 ± 0,555
	4000 ppm	14,678 ± 1,529
	8000 ppm	18,421 ± 0,787
4 Mayıs	(Kontrol) 0 ppm	0,644 ± 0,039
	1000 ppm	15,020 ± 3,400
	2000 ppm	27,922 ± 7,122
	4000 ppm	37,418 ± 12,517
	8000 ppm	41,950 ± 4,190

Farklı dönemlerde ve farklı uygulama derişimlerine tabi tutulan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Pb miktarlarının ortalama değerlerine bakıldığında; 25 Ocak tarihindeki en yüksek değer 8000 ppm uygulamasında 2,811 ppm ± 0,016 olarak bulunmuştur. 19 Şubat tarihinde yapılan yonca vejetatif aksamlarındaki Pb birikiminin 8000 ppm uygulanan saksılarda 5,424 ppm ± 0,606 olarak bulunmuş, 2 Nisan'da 8000 ppm uygulanan saksılarda 18,421 ppm ± 0,787 ve 4 Mayıs da uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Pb miktarının ise 41,950 ppm ± 4,190 olarak belirlenmiştir.

Yonca bitkisinin farklı dört biçim dönemlerindeki farklı uygulama derişimleri göre uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla topraktan aldıkları toplam Pb miktarları ve yüzde oranları Tablo 6.17'de hesaplanarak özet halde verilmiştir.

Tablo 6.17. Toplamda dört dönemde farklı uygulama derişimlerine göre bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Pb miktarları ve yüzde oranları

Uygulanan Pb Derişimleri	*Toplam Pb (ppm) Alımı	Topraktan Alınan Toplam % Pb Oranı
1000 ppm	28,527	2,85
2000 ppm	45,121	2,26
4000 ppm	57,487	1,44
8000 ppm	68,605	0,86

* Toplam dört hasat dönemindeki bitki tarafından topraktan alınan toplam Pb miktarları

Pb miktarları farklı derişimlerdeki uygulaması yapılan saksılardan toplamda 4 dönem boyunca topraktan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Pb miktarlarına bakıldığında topraktan alınan en yüksek Pb oranının 1000 ppm uygulanan saksılarda olduğu ve bununda toplamda 28,527 ppm düzeyinde olduğu ve toprağa uygulanan toplam 1000 ppm'lik miktarın ise % 2,85'inin uzaklaştırıldığı görülmüştür.

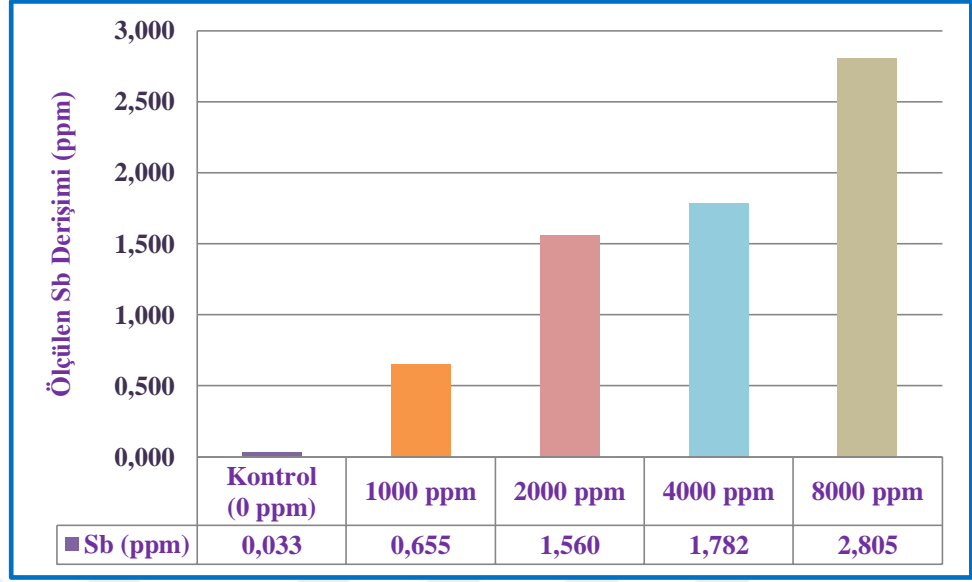
2000 ppm uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Pb miktarının 45,121 ppm iken toprağa uygulanan 2000 ppm Pb miktarının 4 biçim dönemi sonunda % 2,26'sının doğal yollarla topraktan adsorbsiyonu gerçekleştirilmiştir.

4000 ppm Pb uygulanan saksılardan ise toplamda 4 biçim dönemi boyunca 57,487 ppm'lik bir alım olduğu bununda oransal olarak % 1,44'e tekabül ettiği görülmüştür. 8000 ppm uygulanan saksılara bakıldığında dört dönem boyunca topraktan alınan Pb miktarı 68,605 ppm iken topraktaki toplam Pb miktarının % 0,86'sı uzaklaştırılabilmiştir.

Tablo 6.17'den de görüleceği üzere topraktaki ağır metal birikimi arttıkça bitki kökleri ile topraktan Pb birikiminin alınımının zorlaştığı ve bitki fizyolojisine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği öngörülmektedir.

6.6. Bitkide Ölçülen Sb Değerleri

Yonca bitkisi toprak yüzeyinde 6 cm'ye ulaştığında bitki örnekleri alınmıştır. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki tüm Sb uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen miktarlarının uygulanan derişimler bazındaki dağılım grafiği Şekil 6.16'da verilmiştir.

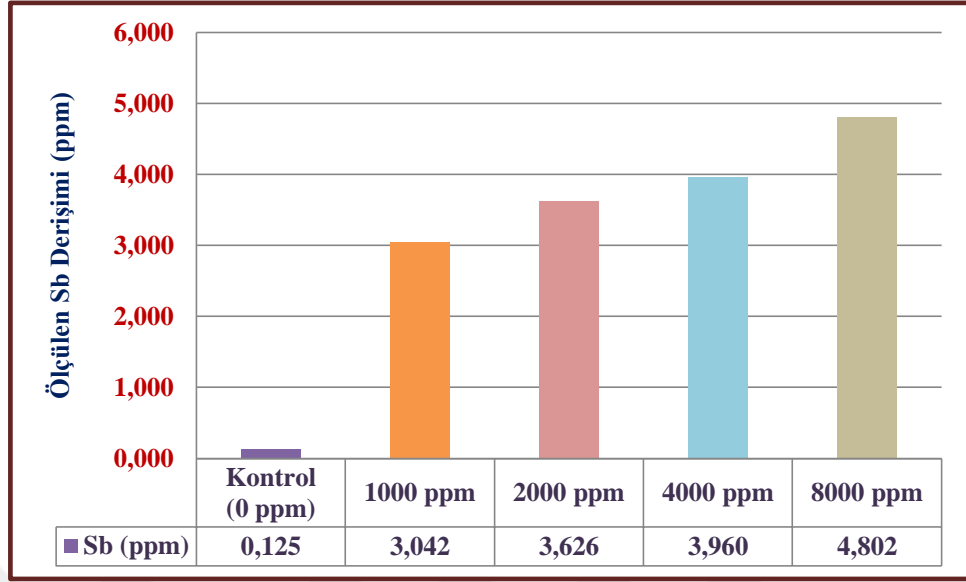


Şekil 6.16. Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde yapılan biçimi sonucunda her bir Sb dozu uygulanan farklı saksılardan elde edilen bitki materyalleri doğrultusunda ölçülen Sb miktarlarına bakıldığında;

Kontrol gurubundaki saksılarda 0,033 ppm, 1000 ppm Sb uygulanan saksılardaki yonca bitkisi sap ve yapraklarında 0,655 ppm, 2000 ppm uygulamalarındaki saksılarda 1,560 ppm, 4000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde 1,782 ppm ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki bitki örneklerinde ise 2,805 ppm olarak Sb tespit edilmiştir.

Grafik üzerinden de görüldüğü üzere topraktaki Sb miktarı arttıkça yonca bitkisinin kökleri ile absorbleme oranında da ciddi artışlar gözlemlenmiştir. Yoncanın 19 Şubat tarihindeki biçiminde farklı Sb uygulama derişimlerindeki saksılardan elde edilen bitki materyallerinden ölçülen Sb birikintisi miktarlarının değişimini gösteren dağılım grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir.

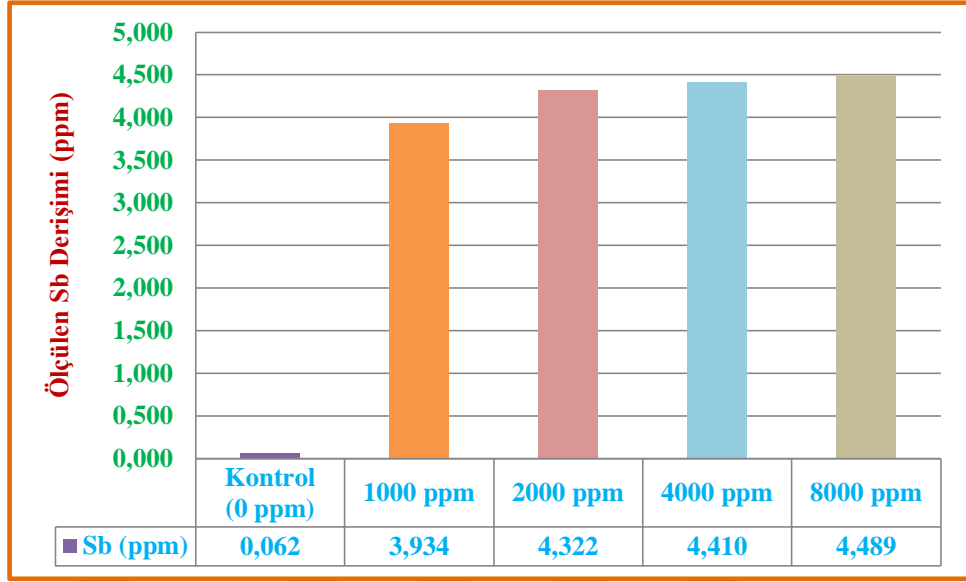


Şekil 6.17. Yonca bitkisinin 19 Şubat tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin ikinci hasadı olan 19 Şubat tarihindeki farklı uygulama derişimlerinde ki saksılardan toplanan bitki örneklerinde belirlenen Sb miktarlarına bakıldığında; kontrol konusunda ölçülen Sb miktarı 0,125 ppm, 1000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyallerinde ölçülen Sb miktarı 3,042 ppm, 2000 ppm uygulanan derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki örneklerinde 3,626 ppm, 4000 ppm Sb uygulanan saksılardan toplanan bitkilerde 3,960 ppm ve 8000 ppm olarak uygulanan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Sb miktarı ise 4,802 ppm olarak belirlenmiştir. Kontrol gurubunda ise ölçülen Sb miktarının toprağın kendi bünyesinde olan miktardan geldiği ve bu durum tespiti ise ağır metal uygulamaları yapılmadan önce toprak analizlerinde de ortaya konulmuştur.

Aynı biçim döneminde farklı derişimler de Sb uygulanan saksı örneklerinden alınan bitki materyallerindeki yaprak ve sap kısımlarındaki Sb birikimlerine genel olarak bakıldığında topraktaki ağır metal dozu arttıkça yonca bitkisinin Sb miktarını absorbleme oranının da arttığı görülmüştür.

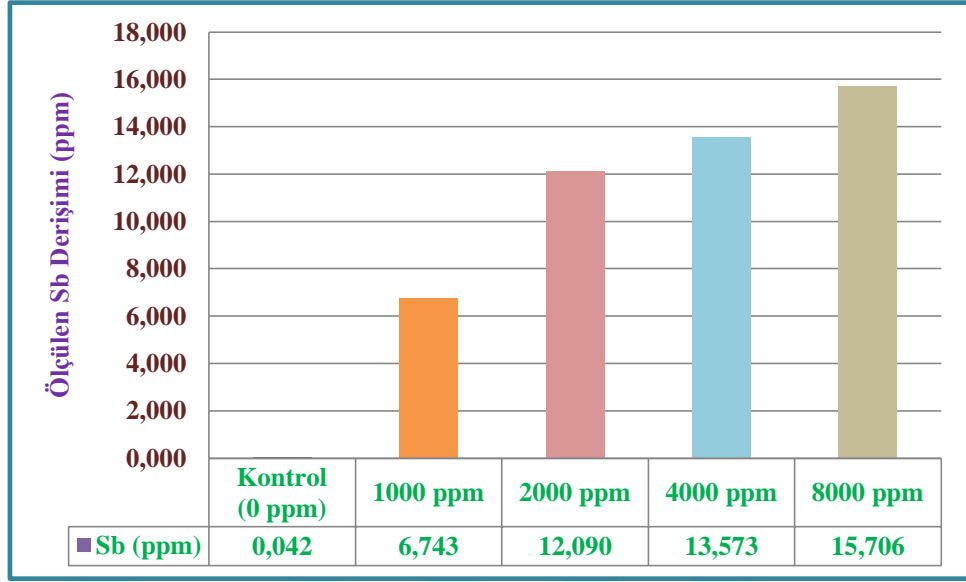
Yonca bitkisinin üçüncü biçime ulaştığı dönem olan 12 Nisan tarihinde tüm saksılardan toplanan bitki örneklerinde ölçülen Sb miktarlarının dağılımı Şekil 6.18'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Yonca bitkisinin 12 Nisan tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Dağılım grafiğinden de görüleceği üzere farklı derişimler de uygulanan Sb miktarının uygulandığı saksılardan elde edilen yonca bitkisinin vejetatif aksanlarındaki Sb miktarlarının 12 Nisan tarihinde yapılan biçimlerdeki yonca bitkisinin vejetatif aksamlarında hiç Sb uygulanmayan, sadece toprağın kendi yapısından kaynaklanan kontrol saksından 0,062 ppm düzeyinde oluşturduğu bir birikim tespit edilmiştir.

1000 ppm uygulanan konularda 3,934 ppm, 2000 ppm uygulanan saksılarda 4,322 ppm ve 4000 ppm Sb uygulanan saksılardan bitki kökleri vasıtasıyla alınan ve bitki vejetatif aksamlarında biriken Sb miktarının ise 4,410 ppm olduğu tespit edilmiştir. En yüksek Sb birikiminin ise 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitki materyalinde 4,489 ppm olarak belirlenmiştir. Yonca bitkisinin dördüncü biçimi olan 4 Mayıs tarihinde bitki vejetatif aksamlarında biriken Sb miktarının uygulanan saksı derişimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafik ise Şekil 6.19'da verilmiştir.



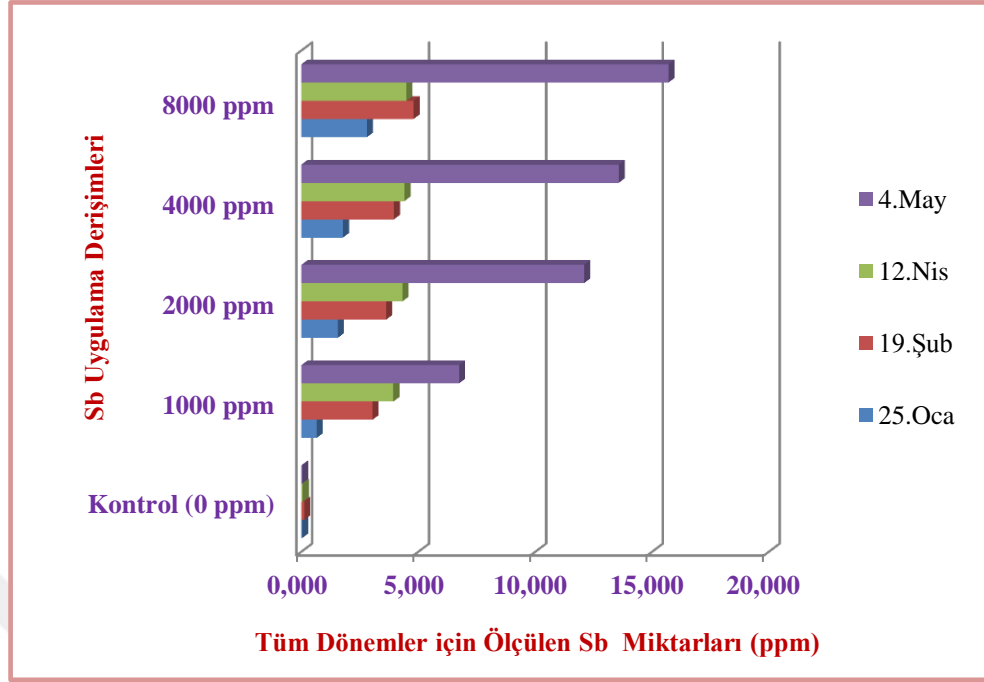
Şekil 6.19. Yonca bitkisinin 4 Mayıs tarihindeki hasat döneminde ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin dördüncü biçim dönemi olan 4 Mayıs tarihinde farklı derişimler de uygulanan Sb miktarında yetişen saksılardan alınan bitki vejetatif aksamlarından elde edilen Sb birikim sonuçlarına bakıldığında;

En yüksek değerin 8000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen yonca bitkisi vejetatif aksamlarında 15,706 ppm olarak belirlenmiş en düşük değer ise yine hiç ilave Sb miktarı uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısında olan kontrol konusunda 0,042 ppm olduğu belirlenmiştir.

1000 ppm uygulanan saksılarda ölçülen Sb değerinin 6,743 ppm, 2000 ppm Sb uygulamalarındaki saksılarda 12,090 ppm ve 4000 ppm uygulanan saksılardan 4 Mayıs tarihinde yapılan yonca bitkisindeki Sb birikim miktarın ise 13,573 ppm olarak ölçülmüştür.

Biçimlerin gerçekleştirildiği ve bitki materyallerinin toplandığı dönemlerin tümünde ki bitki vejetatif aksamındaki biriken Sb miktarlarının gösterir grafik Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.20. Yonca bitkisinin tüm hasat dönemleri için ölçülen Sb miktarının uygulanan derişimlere göre dağılımı

Yonca bitkisinin 4 farklı biçim dönemindeki Sb birikim miktarlarına toplu olarak bakıldığında; bitkideki Sb birikimleri genel olarak en fazla 8000 ppm uygulama dozu olan saksılardan absorbe edildiği, bununda uygulanan Sb dozu miktarı arttıkça bitkinin absorbleme oranının da artacağı sonucunu ortaya koyduğu görülmüştür. Yonca bitkisinin vejetatif aksamlarından farklı saksı örneklerinden alınan bitki materyalleri doğrultusunda biriken Sb miktarlarının uygulanan derişimler arası bir farkın olup olmadığı sonucunun belirlenmesi için yapılan istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.18’de özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.18. Bitkide dönemsel olarak yapılan Sb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası istatistiksel olarak değerlendirilmesi

Sb Uygulama Derişimleri / Hasat dönemleri	25 Ocak	19 Şubat	12 Nisan	4 Mayıs
	Sb (ppm)	Sb (ppm)	Sb (ppm)	Sb (ppm)
Kontrol (0 ppm)	0,041 d	0,064 c	0,076 b	0,133 c
1000 ppm	0,655 c	3,042 b	3,934 a	6,743 b
2000 ppm	1,560 b	3,626 b	4,322 a	12,090 a
4000 ppm	1,782 b	3,960 ab	4,410 a	13,573 a
8000 ppm	2,805 a	4,802 a	4,489 a	15,706 a

Yonca bitkisinin 25 Ocak tarihinde yapılan biçimimde 2000 ve 4000 ppm uygulanan derişimlerden alınan saksılardaki bitki materyallerinde ölçülen Sb miktarlarının aynı grupta (b) yer aldığı, kontrol, 1000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardan alınan bitki materyallerinin ise farklı bir gruplarda (d, c ve a) yer aldığı görülmüştür.

19 Şubat tarihinde yapılan tüm ölçümlerde 1000 ve 2000 ppm uygulamalarının aynı grupta (b) yer aldığı ve diğer uygulama derişimlerinin ise farklı gruplarda (c, ab ve a) yer aldığı görülmüştür. 12 Nisan tarihinde yapılan biçimlerde kontrol grubu hariç uygulanan tüm derişimlerin aynı grup da (a) yer aldığı 4 Mayıs tarihinde yapılan tüm ölçümlerde 2000, 4000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki ölçülen Sb miktarlarının ise aynı grupta (a) yer aldığı, Kontrol saksısının c grubunda, 1000 ppm uygulanan saksının ise b grubunda yer aldığı görülmüştür.

Faklı biçim dönemlerinde farklı uygulama derişimlerinde ki saksılardan toplanan bitki materyallerinde elde edilen Sb birikim miktarlarının farklı uygulama derişimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu anlamda uygulanan farklı derişimler arasında da bir korelasyon ilişkisi belirlenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 6.19'da verilmiştir.

Tablo 6.19. Bitkide Sb ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Sb Uygulama Derişimleri	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1,000	0,936	0,799	0,790
2000 ppm	0,936	1,000	0,920	0,931
4000 ppm	0,799	0,920	1,000	0,989
8000 ppm	0,790	0,931	0,989	1,000

Farklı derişimlerdeki saksılardan elde edilen bitki materyallerindeki Sb birikimlerinin uygulanan derişimler arasında genel olarak önemli düzeyde bir anlamlı ilişki bulunmuştur. En yüksek ilişki 8000 ppm uygulama dozu ile 4000 ppm uygulama derişiminde ki saksılardan toplanan bitki vejetatif aksamalarında biriken Sb miktarları arasında bulunmuş ve anlam düzeyi ise % 98,9 olarak belirlenmiştir. 4000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki Sb birikimi ile 1000 ppm uygulanan saksılardaki yonca bitkisinde oluşan Sb birikim miktarı diğerlerine oranla %79 düzeyinde kalmıştır. Yonca bitkisinin biçim dönemleri bazındaki varyans analiz sonucu ise Tablo 6.20'de sunulmuştur.

Tablo 6.20. Bitkide Sb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin hasat dönemleri arası ilişkisinin dağılımı

Uygulama Derişimleri / Bitki Hasat Dönemleri ve Ölçülen Değerler		Kontrol (0 ppm) (Sb)	1000 ppm (Sb)	2000 ppm (Sb)	4000 ppm (Sb)	8000 ppm (Sb)
25 Ocak	Ölçülen Sb (ppm) Derişimleri	0,041 b	0,655 c	1,560 b	1,782 c	2,805 c
19 Şubat		0,064 b	3,042 bc	3,626 b	3,960 b	4,802 b
2 Nisan		0,076 b	3,934 b	4,322 b	4,410 b	4,489 b
4 Mayıs		0,133 a	6,743 a	12,090 a	13,573 a	15,706 a

Bitkide Sb ölçümlerinin uygulanan her bir derişimin biçim dönemleri arası ilişkisinin dağılımına bakıldığında; Kontrol grubunda tüm biçim dönemlerinde bitkide ölçülen Sb miktarlarının 4 Mayıs dönemi hariç tüm dönemlerde aynı grupta (b) yer aldığı görülmüştür. 1000 uygulanan doz da ise tüm biçim dönemlerinde bitkide ölçülen Sb miktarlarının her birinin farklı gruplarda olduğu (c, bc, b ve a) görülmüştür.

2000 ppm uygulanan saksılardan elde edilen bitkideki Sb birikim miktarının 4 Mayıs hariç tüm biçim dönemleri için aynı grupta (b) yer aldığı belirlenmiştir. 4000 ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki yoncanın vejetatif aksamalarında biriken Sb miktarlarının 25 Ocak da aynı grupta (c), 19 Şubat ve 2 Nisan'da (b) ve 4 Mayıs da (a) gruplarında yer aldığı görülmüştür.

Tablo 6.21'de farklı uygulama derişimindeki saksılardan farklı dönemlerde alınan bitki örneklerinde 4 tekrürde okunan Sb birikim miktarlarının ortalama değerleri ve buna bağılı olarak hesaplanan standart sapma değerleri özet halde sunulmuştur.

Tablo 6.21. Sb birikim miktarlarının ortalamaları ve standart sapma değerleri

Bitki Hasat Dönemleri	Sb Uygulama Derişimleri	Ortalama Sb Değerleri (ppm) ve ± Standart Sapmaları
25 Ocak	(Kontrol) 0 ppm	0,041 ± 0,004
	1000 ppm	0,655 ± 0,088
	2000 ppm	1,560 ± 0,267
	4000 ppm	1,782 ± 0,546
	8000 ppm	2,805 ± 0,016
19 Şubat	(Kontrol) 0 ppm	0,064 ± 0,013
	1000 ppm	3,042 ± 0,238
	2000 ppm	3,626 ± 1,098
	4000 ppm	3,960 ± 0,728
	8000 ppm	4,802 ± 0,055
2 Nisan	(Kontrol) 0 ppm	0,076 ± 0,032
	1000 ppm	3,934 ± 0,311
	2000 ppm	4,322 ± 0,767
	4000 ppm	4,410 ± 0,302
	8000 ppm	4,489 ± 0,280
4 Mayıs	(Kontrol) 0 ppm	0,133 ± 0,024
	1000 ppm	6,743 ± 2,886
	2000 ppm	12,090 ± 3,285
	4000 ppm	13,573 ± 1,035
	8000 ppm	15,706 ± 0,175

Farklı dönemlerde ve farklı uygulama derişimlerine tabi tutulan saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Sb miktarlarının ortalama değerlerine bakıldığında; 25 Ocak tarihindeki en yüksek değer 8000 ppm uygulamasında 2,805 ppm olarak bulunmuşken bu örneklemedeki tüm ölçümlerin standart sapma değerleri ise ± 0,016 olarak belirlenmiştir. 19 Şubat tarihinde yapılan yonca vejetatif aksamlarındaki Sb birikiminin 8000 ppm uygulanan saksılarda $4,802 \pm 0,055$ olarak bulunmuş ve 2 Nisan da 8000 ppm uygulanan saksılarda ise $4,489 \text{ ppm} \pm 0,280$ hesaplanmıştır. 8000 ppm uygulana ve 4 Mayıs da saksılardan alınan bitki örneklerinde ölçülen Sb miktarı ise $15,706 \text{ ppm} \pm 0,175$ olarak belirlenmiştir. Farklı dört biçim dönemlerindeki farklı uygulama derişimleri göre uygulanan saksılardan yonca bitkisinin kökleri yardımıyla topraktan aldıkları toplam Sb miktarları ve yüzde oranları ise Tablo 6.22’de hesaplanarak özet halde verilmiştir.

Tablo 6.22. Farklı uygulama derişimlerinde toplamda dört hasat döneminde bitki kökleri yardımıyla topraktan alınan toplam Sb derişimleri ve yüzde oranları

Uygulanan Sb Derişimleri	*Toplam Sb (ppm) Alımı	Topraktan Alınan Toplam % Sb Oranı
1000 ppm	14,437	1,44
2000 ppm	21,597	1,08
4000 ppm	23,725	0,59
8000 ppm	27,803	0,35
* Toplam dört hasat dönemindeki bitki tarafından topraktan alınan toplam Sb miktarları		

Farklı uygulama Sb miktarları uygulanan saksılardan toplamda 4 dönem boyunca topraktan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Sb miktarlarına bakıldığında 1000 ppm uygulanan saksılardan topraktan alınan toplam Sb miktarı 14,437 ppm iken uygulanan toplam 1000 ppm'lik Sb miktarının %1,44'ü bitki kökleri yardımıyla topraktan uzaklaştırılabılmıştır.

2000 ppm uygulanan saksılardan bitki kökleri yardımıyla alınan toplam Sb miktarı 21,597 ppm iken toprağa uygulanan 2000 ppm Sb miktarının 4 biçim dönemi sonunda % 1,08'inin doğal yollarla topraktan adsorbsiyonu gerçekleştirilmiştir.

4000 ppm uygulanan saksılardan ise 23,725 ppm Sb bitki kökleri ile alınmışken toplam uygulanan 4000 ppm'lik Sb derişiminin % 0,59'u topraktan alınabilmiştir. 8000 ppm uygulanan saksılara bakıldığında dört dönem boyunca topraktan alınan Sb miktarı 27,803 ppm iken topraktaki toplam Sb miktarının % 0,35'i uzaklaştırılabılmıştır. Görüleceği üzere topraktaki ağır metal birikimi arttıkça bitki kökleri ile toraktan Sb birikiminin alımı azalmakta buda bitki köklerinin topraktan Sb miktarını bağlayarak alamadığı ve buna bağlı olarak da alım miktarının düştüğü sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

6.7. Toprakta Biriken Toplam Ağır Metal Miktarının Doğal Arıtım Seviyesi

Denemeye konu olan ağır metallerin farklı derişimleri toprağa sulama suyu ile birlikte tek sefer de uygulanmış olup bununla birlikte toprağın kendi yapısından kaynaklı ağır metal birikimi ile sulama suyundan kaynaklı ağır metal birikimleri ve gübreden kaynaklı ağır metal birikimleri deneme toprağında toplam bir kirlilik yükü oluşturmuştur. Oluşan bu toplam kirlilik yükünün yonca bitkisi kökleri ile ne kadarının adsorbe edildiğine ilişkin yapılan hesaplamaların özeti Tablo 6.23'te verilmiştir.

Tablo 6.23 Toprakta oluşan toplam ağır metal yükü ve uzaklaştırılan miktarları

Ağır Metaller	Uygulanan Ağır Metal Derişimleri (ppm)	Toprağın Kendi Yapısında Olan (ppm)	Gübreten Kaynaklanan (ppm)	Toplam Sulama Suyundan Kaynaklanan (ppm)	Topraktaki Toplam Ağır Metal Miktarı (ppm)	Topraktan Toplam Alınan Miktar (ppm)	Deneme Bitiminde Toprakta Kalan (ppm)
Cd	1000	0,111	0,016	0,001	1000,128	265,563	734,565
	2000	0,111	0,016	0,001	2000,128	318,435	1681,693
	4000	0,111	0,016	0,001	4000,128	321,250	3678,878
	8000	0,111	0,016	0,001	8000,128	344,224	7655,904
Ni	1000	0,748	0,023	0,006	1000,777	213,817	786,960
	2000	0,748	0,023	0,006	2000,777	233,237	1767,540
	4000	0,748	0,023	0,006	4000,777	249,556	3751,221
	8000	0,748	0,023	0,006	8000,777	275,354	7725,423
Pb	1000	2,115	0,013	0,001	1002,129	28,527	973,602
	2000	2,115	0,013	0,001	2002,129	45,121	1957,008
	4000	2,115	0,013	0,001	4002,129	57,487	3944,642
	8000	2,115	0,013	0,001	8002,129	68,605	7933,524
Sb	1000	0,400	0,002	0,002	1000,404	14,437	985,967
	2000	0,400	0,002	0,002	2000,404	21,597	1978,807
	4000	0,400	0,002	0,002	4000,404	23,725	3976,679
	8000	0,400	0,002	0,002	8000,404	27,803	7972,601

Tablodan da görüleceği üzere örneğin toprağa sulama suyu ile birlikte ilave 8000 ppm Cd uygulanan saksılarda 8000 ppm Cd miktarına ilave olarak toprağın kendi yapısından kaynaklanan 0,111 ppm Cd miktarı, tek seferde uygulanan taban gübresinden ilave olarak gelen 0,016 ppm Cd miktarı, deneme boyunca yapılan toplam 22 sulama sonucunda ilave gelen 0,001 ppm Cd sulama suyu kaynaklı Cd miktarı ile birlikte toplamda toprakta biriken Cd yükü 8000,128 ppm olarak hesaplanmıştır.

Toplamda dört dönem boyunca topraktan yonca bitkisinin kökleri yardımıyla uzaklaştırılan Cd miktarı ise 8000 ppm uygulanan saksılarda 344,224 ppm olarak belirlenmiştir. Sonucunda 8000 ppm uygulanan Cd konusundaki saksılardaki toplam Cd yükü kirliliği 8000,128 ppm olup 4 dönem boyunca 5 ay sonunda bunun 344,224 ppm'i bitki kökleri yardımıyla topraktan doğal yollarla uzaklaştırılmıştır.

6.8. Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Doğruluğunun Belirlenmesi

Toprak ve bitki örnekleri ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için yapılan çözme işlemlerinin doğruluğunun belirlenmesi amacıyla Sertifikalı Referans Madde (SRM) analizleri gerçekleştirilmiş ve SRM için aynı yöntemler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler SRM'nin katalog referans değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Hesaplanan değerlere ilişkin karşılaştırmalı sonuçlar ve uygulanan yöntemin % bağıl hata payları hesaplanmış ve ölçülen değerler sertifikalı referans madde değerleri ile karşılaştırılarak uygulanan metodun doğruluğu bulunarak geri kazanım değerleri hesaplanmıştır. Yapılan tüm işlemlere ilişkin hesaplamaların sonuçları özet halde Tablo 6.24'te verilmiştir.

Tablo 6.24. Uygulanan ağır metal çözme yöntemin doğruluğunun belirlenmesi ve geri kazanım değerleri (%)

CRM GBW07309 Sediment, Toprak				
Ağır Metaller	SRM'nin Analiz Sonucu Bulunan Değerleri (ppb)	SRM Katalog Değeri (ppb)	Bağıl Hata (%)	Geri Kazanım (%)
Cd ²⁺	1,129 ± 0,124	1,04	8,54	92,13
Ni ²⁺	132,157 ± 7,090	128	3,25	96,85
Pb ²⁺	100,658 ± 4,510	92	9,41	91,40
Sb ³⁺	3,407 ± 0,920	3,24	5,16	95,09

NIST SRM 1570a Ispanak Yaprağı				
Ağır Metaller	SRM'nin Analiz Sonucu Bulunan Değeri (ppb)	SRM Katalog Değeri (ppb)	% Bağıl Hata	Geri Kazanım (%)
Cd ²⁺	2,9625 ± 0,2600	2,876	% 3,01	97,08
Ni ²⁺	2,3025 ± 0,2689	2,142	% 7,49	93,03

Bitki ve toprakta yapılan çözme işleminin doğruluğunun ortaya konulması açısından yapılan işlemlerde toprak için geri kazanımların genel olarak % 91'in üzerinde olduğu en yüksek geri kazanım değerinin ise Ni'de % 96,85 olarak belirlendiği görülmüştür. Bitki için yapılan çözme yönteminin doğruluğuna bakıldığında Cd'da % 97,08 seviyesinde bir geri kazanımın olduğu, Ni'de ise %93,03 oranında bir geri kazanımın sağlandığı hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere toprak ve bitki için yapılan geri kazanımların ve uygulanan yöntemin ortalama olarak % 94 seviyesinin üzerinde ve yöntemin doğruluğunun güvenilir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

7. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ağır metal kirliliği özellikle son yıllarda artan sanayileşme ile birlikte trafik yoğunluğu ve kimyasal gübre kullanımının giderek artmasına bağlı olarak tarım topraklarında karşılaşılan bir sorun olarak kendini göstermeye başlamıştır. Topraktaki ağır metal kirliliğinin giderek artması insan aktivitelerinin veya toprağın kendi yapısının bir formundan kaynaklanabilmektedir. Bu anlamda topraklardaki ağır metal kirlilik düzeylerinin giderek artması tarımsal ürün verimi, gıda güvenliği ve insan sağlığını da doğrudan etkilemektedir.

Yapılan bu araştırmada tarım topraklarında karşılaşılan ağır metal (Cd, Ni, Pb, Sb) kirlilik düzeylerinin yonca bitkisinin kökleri yardımıyla doğal yollarla topraktan uzaklaştırılmasına yönelik sonuçlara yer verilmiştir. Genellikle yapılan bu tür çalışmalarda topraktaki ağır metallerin alımının daha kolay olarak sağlanması açısından EDTA, DTPA, EDDHA, aminoasit, humik ve fulvik asit gibi şelatörlerin kullanılmaktadır. Bu tür şelatörlerin kullanımı hem maliyetli hem de uygulama zorluğu gibi daha birçok sorunların meydana gelmesine yol açmaktadır. Yürütülen bu çalışmada uygulama kolaylığı sağlanması ve ekonomik yönden de daha avantajlı olması açısından toprağa direk yonca bitkisi ekerek topraktaki ağır metal kirliliğinin bitki köklerinin yardımıyla alımının sağlanması ve hiçbir şelatör desteği olmadan yonca bitkisi köklerinin topraktaki ağır metal birikimini uzaklaştırmada ne kadar başarılı olacağı ortaya konulmuştur.

Saksılarda sera ortamında yetiştirilen yonca bitkisinin ekimini yapıldığı toprakda ise herhangi bir harç karışımı (kum, torf vb.) kullanılmamış olması uygulamanın tarla koşullarını temsil etmesi açısından önemli bir yaklaşım olmuştur.

Denemede kullanılan toprağın pH değerinin nötrü yakın olması kökler yardımıyla topraktan alımın kolaylıkla sağlanabilmesi açısından son derece önemlidir. Toprak pH'sı topraktaki anyon ve katyon adsorpsiyonunu etkileyen en önemli parametrelerden biri olup topraktaki bazı besin maddelerinin kil yüzeyine yapışmalarına etki eder [71, 72].

Toprağın organik madde miktarına bakıldığında % 0,364 seviyesinde olduğu bu durumda toprak organik madde içeriği bakımında çok düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Topraktaki organik madde miktarı toprak mikroorganizma aktivitesini, besin madde ve topraktaki kirleticilerin alımını ciddi olarak etkilemektedir [72]. Bu bağlamda çalışmada bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprağın pH düzeyi ağır metal alımını engelleyecek düzeyde olmayıp ağır metal emilimi konusunda herhangi bir olumsuz etki oluşturmamaktadır.

Bu çalışmanın yapılan diğer doğal yöntemlerle topraktan ağır metal giderimi çalışmalarından en önemli farklarından bir tanesinin de uygulamada sağladığı kolaylıklar ve ekonomik olması ve bunun yanında topraktan ağır metallerin alımını kolaylaştıran herhangi bir şelatör kullanılmamış olmasıdır.

Çalışma sonunda farklı derişimlerde Cd uygulanan saksılardan yonca bitkisinin kökleri yardımıyla aldığı ağır metal miktarı toplam 4 biçim dönemi sonunda 1000 ppm uygulanan saksılardaki Cd ağır metalinin % 26,56'sı, 2000 ppm uygulanan saksılardan % 15,92'si, 4000 ppm'den % 8,03'ü ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki Cd miktarının % 4,30'u uzaklaştırılmıştır. Farklı derişimlerde Ni uygulaması yapılan saksılardan bitki kökleri ile topraktan 4 dönem sonunda alınan toplam Ni oranlarına bakıldığında; 1000 ppm uygulanan saksılardaki toplam Ni miktarının % 21,38'i, 2000 ppm de % 11,66'sı, 4000 ppm uygulamalarından % 6,24'ü ve 8000 ppm Ni uygulanan saksılardaki toplam Ni miktarının % 3,44'ü alınabilmiştir.

Bu konuya benzer olarak başka araştırmacılar tarafından yonca bitkisinde farklı ağır metallerin alımı üzerine laboratuvar ortamında yapılmış olan bir çalışmada her biri 0, 5, 10, 20 ve 40 ppm derişimlerin de 3 tekkerrürlü olarak Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn ağır metalleri yonca bitkisi için oluşturulan bir besi yerinde tohumlara uygulanmış ve tohumdan çıkış sağlandıktan 2 hafta sonrada bitkiler besi yerinden alınarak toplanmıştır. Bitkide yapılan analizlerde Cd alımının uygulanan dozla birlikte artış gösterdiği 5 ppm uygulamalarında 6122 mg/kg, 20 ppm'de 6710 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Ni miktarlarına bakıldığında ise 5 ppm uygulanan derişimlerden elde edilen yonca bitkisinin yeşil aksamlarında 740 mg/kg alım olduğu, 40 ppm uygulamaların da ise bu oranın 4036 mg/kg'a yükseldiği görülmüştür [58].

Buradan da görüleceği üzere yonca bitkisi kullanılarak topraklardan ağır metal gideriminin sağlanması uygulamada da tavsiye denebilir bir durum olarak görülmektedir. Özellikle uygulanan ortamdaki ağır metal miktarının artması yonca bitkisinde kökler yardımıyla alınan ağır metal birikiminin artmasına yol açtığı hem bu tez çalışmasında hem de benzer çalışmalardaki sonuçlarla paralellik gösterdiği sonucunu ortaya koymaktadır.

Pb'nun farklı derişimlerinde yapılan uygulamalarda ise, 1000 ppm uygulanan saksılarda toplamda dört dönem sonunda bitki kökleri ile topraktan alınan Pb miktarının % 2,85'i, 2000 ppm uygulanan saksılarda % 2,26'sı, 4000 ppm uygulamalarındaki saksılarda % 1,44'ü ve 8000 ppm Pb uygulanan saksılardaki toplam Pb miktarının % 0,86'sının bitki kökleri ile topraktan giderimi sağlanmıştır.

Yine çalışma kapsamında uygulanan diğer bir ağır metal ise Sb olup farklı derişimlerde uygulanan Sb'nin topraktan doğal yollarla giderimine bakıldığında; 1000 ppm uygulanan saksılardan toplamda dört biçim dönemi sonunda uzaklaştırılan Sb oranının % 1,44 olduğu, 2000 ppm uygulanan saksılardaki oranın % 1,08 olduğu görülmüştür. 4000 ppm uygulaması yapılan saksılarda ise toplam uygulanan Sb miktarının % 0,59'u ve 8000 ppm Sb uygulanan saksılardaki toplam Sb miktarının ise % 0,35'i yonca bitkisi kökleri yardımıyla topraktan uzaklaştırılarak doğal artımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada dikkat edilen bir sonuçta yonca bitkisi kökleri ile araştırmaya konu olan ağır metallerin topraktan alım miktarlarında özellikle Cd ve Ni miktarının kolaylıkla alındığı ancak Pb ve Sb miktarlarının alımında ise bitkinin bu ağır metalleri almasının diğerlerine oranla daha zor olduğu görülmüştür.

Sera ve tarla koşullarında kolza (*Brassica napus*) bitkisinin Cr, Cu, Pb ve Zn metallerini bünyesinde biriktirme ve tölere edebilme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesine ilişkin yapılan bir çalışmada metallerin birikme sırasının Cr>Zn>Cu>Pb şeklinde olduğu belirlenmiştir [35]. Yonca bitkisi ile topraktan ağır metal alımının araştırıldığı bu tez çalışmasında araştırma bulgularında yer verilen sonuçlara göre topraktan ağır metal alım oranlarının sırasıyla toplam tüm biçim dönemleri bazında bakıldığında Tablo 6.23'te verilen değerlerde dikkate alınarak Cd>Ni>Pb>Sb olarak sıralandığı görülmüştür.

Özellikle topraktan Pb ve Sb alımının diğer Cd ve Ni alımına oranla daha zor olduğu buna benzer yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Cd, Ni, Pb ve Sb ağır metal kirliliği rastlanan veya maruz kalmış tarım topraklarında araştırma kapsamında kirlilik yükü seviyelerinde yonca bitkisinin topraktan ağır metal gideriminin doğal yollarla sağlanması açısından kullanılması önerilmektedir. Doğal arıtımda topraktaki ağır metal alımını kolaylaştıran şelatörlerin kullanılması hem maliyetin artmasına hem de uygulamadaki zorluklarla karşılaşılmasına yol açacaktır.

Bu anlamda herhangi bir şelatör desteği sağlanmadan direk yonca bitkisinin araştırma kapsamında uygulanan derişimler de veya bu derişimlere yakın ağır metal kirlilik düzeyleri rastlanan tarım topraklarında kullanılarak doğal arıtım sağlanması tavsiye edilmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de doğal arıtım sonucunda bitki kökleri ile topraktan alınan ağır metallerin bitki vejetatif aksamlarında biriktiği bu bağlamda ekimi yapılan yonca bitkisinin her biçiminde elde edilecek vejetatif aksam kütlelerinin toprağa karışımına izin verilmeden katı atık depolama sahalarına taşınmasıdır.

Bu çalışmanın verileri yonca bitkisinin çiftçi şartlarında ekim ve yetiştirme kolaylığı da dikkate alınarak araştırma bulgularından elde edilen sonuçların ışığında topraktaki ağır metal kirliliğinin tespit edildiği alanlarda doğal arıtım amaçlı kullanılmasına ışık tutacak nitelikte olduğu göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

1. Başcı, N., “Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakta Gideriminin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2009.
2. Morgan, R.P.C. “Soil Erosion and Conservation”, Longman.U.K, 1986.
3. Erol, Ç., Öz, C. Denton, B. “Advances in phytoremediation of heavy metals using plant growth promoting bacteria and fungi”, *MMG 445 Basic Biotechnology Journal*, 3:(1-5), 2007.
4. Kennedy, C. D., Gonsalves, F. A. N., “The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots”, *Journal of Experimental Botany*, 38, 800-817, 1987.
5. Karatepe, A., Bağdatlı, M. C., Bellitürk, K., “Nevşehir İlinde Yoğun Olarak Tarımsal Üretim Yapılan Alanlardaki Sulama Suyu Kaynakları İle Tarım Topraklarındaki Ağır Metallerin Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Ortamında Haritalanması” *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniv.*, NEÜBAP16F41 nolu *Bilimsel Araştırma Projesi*, 2017.
6. Çepel, N., “Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar”, *Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi*, İstanbul, 1997.
7. Glass, D.J., “U.S. and International markets for phytoremediation, 1999-2000”. *Glass Associates*, Needham, MA, 1999.
8. Anonymous, Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. 2009.
9. İnternet: “Antimon”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2018.
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/antimuan>
10. İnternet: “İnsanî Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik”, *Resmi Gazete*, 2007.
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.html>

11. Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven A., Timur, S., “Metallerin Çevresel Etkileri-I”, *Metalurji Dergisi*, d1(36), 2007.
12. Toröz, İ., “Çevre Eğitimi Ders Notları”, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 2009.
13. Sarma, H., “Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology”, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2): 118-138, 2011.
14. Florea, A., Büsselberg, D., “Occurrence, Use and Potential Toxic Effects of Metals and Metal Compounds”, *BioMetals*, 19: 419–427, 2006.
15. Habashi, F., “Handbook of Extractive Metallurgy”, Volume II, *Wiley-Vch*, Germany, 1997.
16. ATSDR, “Toxicological Profile for Antimony and Compounds”, 1992.
17. Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R.B. ve Mishra, S., “Effect of Toxic Metals on Human Health”, *The Open Nutraceuticals Journal*, 3: 94-99, 2010.
18. Guala, S. D., Vegaa, F. A., Covelo, E. F., “The Dynamics of Heavy Metals in Plant–Soil Interactions”, *Ecological Modelling*, 221, 1148-1152, 2010.
19. EPA, “Environmental Protection Agency, “Introduction to Phytoremediation”, Epa/600/R–99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p. 72, 2000.
20. Henry, J., “An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury”, *U.S. Epa, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office*. Report May–Aug p.51, 2000.
21. Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P., Hsu, F. C., “Phytoremediation of soil contaminated with organik pollutants”, *Adv Argon*, 56, 55–114, 1996.
22. Schnoor, J.L., “Phytoremediation of soil and groundwater, *Technical Evaluation Report 02-01*. Ground Water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA, USA, 2002.
23. Lasat, M.M., “Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanism”, *Journal of Environ Qual*, 31, 109 -120, 2002.

24. Raskin I., Smith R.D., Salt D.E., “Phytoremediation of metals using plants to remove pollutants from the environment”, *Curr. Opin. Birstechnol*, 8:221-226, 1997.
25. Blaylock M.J., Huang J.W., “Phytoextraction of Metals, Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment” (Raskin I., Ensley B.D., Ed.), *New York, Wiley*, p.53-70, 2000.
26. EPA, “Contaminants and remedial options at select metals-Contaminated Sites”, EPA/540/R-95/512.6, 1995.
27. Bert V., Girondelot B., Quatannens V., Laboudigue A., “A phytostabilisation of a metal polluted dredged sediment deposit Mesocosm experiment and field trial”, *Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on soil–water systems remediation concepts and Technologies*, (Uhlmann O., Annokkée G.J., Arendt F. eds), Bordeaux, p.1544-50. 2005
28. Newman, L. A., Reynolds, C. M., “Phytodegradation of organic compounds, Current Opinion in Biotechnology”, 15, 225-230, 2004.
29. Favas P.J.C., Pratas J., Varun M., D’Souza R., Poul M.S., “Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flore, Envornmental Risk Assessment of Soil Contamination”, (*Hernandez-Soriano M.C., Ed.*), *InTech Press*, s.485-517, 2014.
30. Bingöl A. M., “Bor ile Kirlenmiş Zeminlerin Yeşil Islah (phytoremediation) Yöntemi ile Temizlenmesi”, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Erzurum, 2008.
31. Bergqvist, C., Herbert, R., Perssonc, I. ve Greger, M. “Plants influence on arsenic availability and speciation in the rhizosphere, roots and shoots of three different vegetables”, *Environmental Pollution* 184, p.540-546, 2014.
32. Beccaloni, E., Vanni, F., Beccaloni, M., Carere, M., “Concentrations of arsenic, cadmium, lead and zinc in homegrown vegetables and fruits: Estimated intake by population in an industrialized area of Sardinia, Italy”, *Microchemical Journal*,107, 190-195, 2013.

33. Uygur, V., Dağhan, H., Köleli, N., Arslan, M., “P-S-Scmtii Geni Aktarılmış Tütün Bitkisinin Cu İle Kirlenmiş Topraklarda Fitoremediasyon Potansiyelinin Belirlenmesi”, *VI. Analitik Kimya Kongresi*, Antakya, 2009.
34. Chitra, K., Sharavanan, S., Vijayaragavan, M., “ Tobacco, Corn and wheat for phytoremediation of cadmium polluted soil”, *Resent Research in Science Technology*, 3 (2): 148-151, 2011.
35. Brunetti, G., Farrag, K., Rovira, P.S., Nigro, F., Senesi, N., “Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by Brassica napus from contaminated soils in the Apulia region, Southern Italy”. *Geoderma*, 160, 517– 523, 2011.
36. Erol, Ç., Öz, Cevahir, G., Yüksel, B., “Petrol Hidrokarbonları İle Kirlenen Toprakların Ayçiçeği (*Helianthus Annuus L.*) Kullanılarak Fitoremediasyonu”, *İstanbul Teknik Üniv. Fen Bil. Enst. Botanik ABD, Doktora Tezi*, İstanbul, 2010.
37. Drzewiecka, K., Borowiak, K., Mleczek, M., Zawada, I., Golinski, P., “Cadmium and lead accumulation in two littoral plants of five lakes in Poznan, Poland”, *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 52: (2), 59-68, 2010.
38. Malik, R.N, Husain, S.Z., Nazir, I., “Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, Pakistan”, *Pakistan Journal of Botany*, 42 (1), 291-301, 2010.
39. Göksün, V., “Tütün bitkisinin farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum derişimlerinde topraktan ağır metal alımının araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, MKÜ Fen Bilimleri Ens., Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı*, Hatay, 2009.
40. Purakayastha, T.J., Viswanath, T., Bhadraray, S., Chhonkar, P.K., Adhikari, P.P., Suribabu, A., “Phytoextraction of zinc, copper, nickel and lead from a contaminated soil by different species of Brassica”, *International Journal of Phytoremediation*, 10, 61-72, 2008.
41. Angelova, V., Ivanov, K., Ivanova, R., “Effect of chemical forms of lead, cadmium and zinc in polluted soils on their uptake by tobacco” *Journal of Plant Nutrition*, 27 (5), 757-773. 2007.

42. Vanlı, Ö., Yazgan M. S., “Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2007.
43. Duman, F., Çiçek, M., Sezen, G., “Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club-rush (*Schoenoplectus lacustris*) and common reed (*Phragmites australis*).”, *Ecotoxicology*, 16: 457-463, 2007.
44. Dawaki, M. U., Alhassan, J., “Irrigation and heavy metals pollution in soils under urban and peri-urban agricultural systems”, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 1(3), 2007.
45. Karataş, M., Güler, E., Dursun, Ş., Özdemir, C., Argün, M. E., “Konya Ana Tahliye Kanalının Çengilli Bölgesi Tarım Topraklarında ve Buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb Derişimlerinin Belirlenmesi”, *Selçuk Üniv. Fen Edebiyat Fak., Fen Dergisi*, s.29(91-99). 2007.
46. Fischerova, Z., Tlustos, P., Szakova, J., and Sichorova, K., “A Comparison of Phytoremediation Capability of Selected Plant Species for Given Trace Elements”, *Environ. Pollut.* 144: 93-100, 2006.
47. Wilde, E.W., Brigmon, R. L., Dunn, D. L., Heitkamp, M.A., Dagnan, D.C., “Phytoextraction of lead from firing range soil by Vetiver grass”, *Chemosphere*, 61(10):1451-1457, 2005.
48. Liu, Y., Zhu, Y. G., Chen, B. D., Christie, P., Li, X. L., “Yield and Arsenate Uptake of Arbuscular Mycorrhizal Tomato Colonized by *Glomus Mosseae* BEG167 in as Spiked Soil Under Glasshouse Conditions”, *Environment International* 31(6), p.867-873, 2005.
49. Ghosh, M., Singh, S.P.A., “Comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species”, *Environmental Pollution*, 113, 365-371, 2005.
50. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G., “Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil”, *Environmental Pollution*, 132, 21-27, 2004.

51. Demirezen, D., Aksoy, A., “Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey)”, *Chemosphere*, 56:685–696. 2004.
52. Başar, H., Gürel, S., Katkat, V. A., “İzmit Gölü Havzasında Değişik Su Kaynaklarıyla Sulanan Toprakların Ağır Metal İçerikleri” *Uludağ. Üniv. Zir. Fak. Dergisi.*, 18(1):, s.93-104, 2004.
53. Wenzel, W.W., Unterbrunner, R., Sommer, P., Sacco, P., “Chelate-assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus* L.) in outdoors pot and lysimeter experiments”, *Plant and Soil*, 249(1):83-96, Austria. 2003.
54. Madejon, P., Murillo, J. M., Maronon, T., Cabrera, F., and Soriano, M. A., “Trace Element and Nutrient Accumulation in Sunflower Plants Two Years After the Aznalcollar Mine Spill”, *The Science of the Total Environment* 307, 239-257, 2003.
55. Spirochova, I. K., Punccharova J., Kafka, Z., Kubal, M., Soudek, P., Vanek, T., “Accumulation of heavy elements by in vitro cultures of plants, *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 3: 269-276, 2003.
56. Manios, T., Stentiford, E. I., Millner, P. A., “Removal of Heavy Metals from A Metaliferous Water Solution by *Typha Latifolia* L. Plants and Sewage Sludge Compost”, *Chemosphere*, 53(5):487-494, 2003.
57. Garbisu, C., Alkorta, I., “Phytoextraction: A Cost-Effective Plant-Based Technology for the Removal of Metals from the Environment”, *Bioresource Technology* 77:229-236, 2001.
58. Peralta, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons J. G., “Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.)”, *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 66:727–734, 2001.
59. Chen, H. M., Zheng, C. R., Tu, C. and Shen, Z. G. “Chemical Methods and Phytoremediation of Soil Contaminated with Heavy Metals”, *Chemosphere*, 41(1), pp. 229-234, 2000.

60. Salt D.E., Smith, R.D., Raskin, L., “Phytoremediation. Annu. Rev. Plant physiol”, *Plant Mol. Biol.* 49: 643-668, 1998.
61. Krauss, M., Diez, T. 1997. Uptake of Heavy Metals by Plants From Highly Contaminated Soils. *Agrobiological-Research.* 50:4, p.343-34, 1997.
62. İnternet: Resmi Gazete “Türk Standardı Enstitüsü, TS 266-2005, Sular - insanî Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” 2005.
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm>
63. Richards, L.A., “Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils”, *Dept. of Agriculture*, No. 60, U.S.A, 1954.
64. Oğuzer, V., “Drenaj ve Arazi Islahı”. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No.106, Ders Kitapları Yayın No.26, Adana, 1995.
65. Bouyoucos, G.J., “A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil”, *Argon. J.* 43;434-438, 1951.
66. Nelson, D.W., Sommers, L.E., “Organic Matter, pp, 574-579. Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties In: (Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney eds.)”, 2nd Ed., ASA SSSA Publisher, Agronomy. No: 9 Madison, Wisconsin, USA, 1982.
67. Jackson. M. L. “Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private’ Limited, New Delhi, USA, 1967.
68. Anonymous, “U.S. Soil Survey Staff, *Soil Survey Manual.*. U.S. Dept. Agr. Handbook 18, USA. 1951.
69. Anonymous, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, *Agr. Handbook*, No:60, USA, 1954.
70. Ayyıldız, M., “Sulama Suyu Kalitesi ve Sulamada Tuzluluk Problemleri” *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ders Kitabı Yayın No: 636, No: 199, Ankara, 1976.
71. Riser-Roberts, E., “Remediation of petroleum contaminated soils: biological, physical and chemical processes”, *Boca Raton, FL., Lewis Publishers*, 542, 1998.

72. McPherson, A., “Monitoring Phytoremediation of petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils in a Closed and Controlled Environment”, *A thesis Degree of Masters of Science in the Department of Civil and Geological Engineering University of Saskatchewan, Saskatoon, 2007.*
73. Rether, A., “Entwicklung and Charakterisierung Wasserlöslicher Benzoylthioharnstofffunktionalisierter Polymere zur Selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwassern und Prozesslösungen”. *Doktora Tezi. Münih Teknik Üniversitesi. (2002).*



ÖZGEÇMİŞ

Tekirdağ, Çorlu ilçesinde 1979 tarihinde doğan Bağdatlı, üç çocuklu bir ailenin en büyük evladıdır. Babasının asker kökenli olmasından dolayı ilk, orta ve lise öğrenimlerini sırasıyla Yozgat, Erzincan ve Uşak illerinde tamamlamıştır. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünü 1998 yılında kazanarak 2002 yılında bölümden mezun olmuştur. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini kazanmıştır. Bir sene İngilizce hazırlık eğitiminin akabinde ailesinin de Konya'ya yerleşmesiyle eğitimine Selçuk Üniversitesin de devam etmeye karar vermiştir. Atatürk Üniversitesinde aldığı hazırlık eğitiminin akabinde 2003 yılında Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında tekrardan Yüksek Lisans eğitimini kazanmış ve 2006 yılında ilgili Anabilim Dalından mezun olmuştur. Yüksek Lisansının akabinde 2006 Eylül ayında Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında Doktora eğitimini kazanmıştır. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında doktora eğitimimi tamamlamak üzere ilgili Enstitünün Doktora programına yatay geçiş yaparak 2008 yılı Kasım ayında bölüme Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalından 2013 yılında Doktorasını tamamlayan Bağdatlı, 2014 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümüne Yardımcı Doçent olarak atanmıştır. Araştırmacı aynı zamanda Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı ile Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dallarında da Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir. Bağdatlı, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sürekli Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü ve Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Yönetim Kurulu Üyeliği görevlerini yapmış ve halen Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkan yardımcılığı ile Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı Başkanlıkları görevlerini yürütmektedir.

Adres : Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Telefon : 0 384 228 10 00- 15068
Belgegeçer: 0 384 437 25 84
e-posta : cuneytbagdatli@gmail.com