

**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE BAKIR BİRİKİMİNİN GİDERİMİ: SOĞAN
(*ALLIUM CEPA* L.) ÖRNEĞİ**

HÜLYA GEDİK

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sevinç YEŞİLYURT

2022

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE BAKIR BİRİKİMİNİN GİDERİMİ: SOĞAN
(*ALLIUM CEPA* L.) ÖRNEĞİ

HÜLYA GEDİK

ORCID: 0000-0002-8631-2288

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Doç. Dr. Sevinç YEŞİLYURT

EKİM-2022

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE BAKIR BİRİKİMİNİN GİDERİMİ: SOĞAN (*ALLIUM CEPA* L.) ÖRNEĞİ

Hülya GEDİK

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sevinç YEŞİLYURT

Toprak metal kontaminasyonu, dünya çapında giderek artan sayıda etkilenen alan ve metallerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle büyük bir endişe kaynağıdır. Biyobozunur olmamaları ve toksisiteleri nedeniyle, daha fazla metal kontaminasyonunu önlemek ve gezegendeki binlerce kontamine alanı iyileştirmek çok önemlidir. Bu sorunlarla mücadele etmek için çevre dostu, kolay uygulanabilir ve maliyeti düşük bir yöntem olarak bilinen fitoremediasyon yöntemi yaygın olarak tercih edilmekte ve bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, önemli bir besin kaynağı olan soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin, yetiştiriciliği, ülkemizdeki durumu değerlendirilmiş ve bakır (Cu) ağır metalinin fitoremediasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneme Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında soğan (*Allium cepa* L.) bitkisi kullanılarak, 1 bitki x 3 tekerrür x 4 farklı doz (0-30-60-120 mg kg⁻¹ CuSO₄.5H₂O) bakır uygulaması ile “Tesadüf Blokları Deneme Deseni”ne göre yürütülmüştür. Deneme sonucunda, uygulanan en yüksek bakır içeriği 120 mg kg⁻¹ uygulanan saksılarda yetiştirilen soğan bitkilerinin kök bölgesinde (26,25 mg kg⁻¹) birikim yaptığı tespit edilmiştir. Bitkinin üst aksamındaki ise en yüksek birikim, 30 mg kg⁻¹ doz uygulanan saksılarda 19,16 mg kg⁻¹ bakır olarak bulunmuştur. Bu çalışma sonunda, soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin Cu ağır metalinin temizlenmesinde fitoremediasyonun alt dallarından fitoekstraksiyon yöntemi için 30 mg kg⁻¹ Cu dozu için uygulanabilir bir bitki olduğu ve diğer Cu dozları için (60 ve 120 mg kg⁻¹) fitostabilizasyon yönteminin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakır, Soğan (*Allium cepa* L.), Fitoremediasyon, Toprak kirliliği, Ağır metal, Fitoekstraksiyon

ABSTRACT

PHYTOREMEDIATION METHOD AND REMOVAL OF COPPER ACCUMULATION: EXAMPLE OF ONION (*ALLIUM CEPA* L.)

Hülya GEDİK

Department of Soil Science and Plant Nutrition

MSc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevinç YEŞİLYURT

Soil metal contamination is the main concern because of the growing number of affected areas around the world and the harmful effects of metals on the environment and living things. Because of the heavy metals' non-biodegradability and toxicity, it is crucial to prevent further metal pollution and rehabilitate the thousands of polluted areas on the earth. In order to fight these problems, the phytoremediation method, which is known as an environmentally friendly, easily applicable, and cost-effective method, is widely preferred and many studies are carried out on this subject. In this study, the cultivation of the onion (*Allium cepa* L.) plant, which is an important food source, and its situation in our country were evaluated and the usability of phytoremediation for copper (Cu) heavy metal was investigated. The experiment was carried out in Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, using onion (*Allium cepa* L.) plant, 1 plant x 3 replications x 4 different doses (0-30-60-120 mg kg⁻¹ CuSO₄.5H₂O) copper. The trial was carried out according to the "Random Blocks Trial Design". As a result of the experiment, it was determined that the onion plants grown in pots with the highest applied copper content of 120 mg kg⁻¹ accumulated copper in the roots (26,25 mg kg⁻¹). The highest accumulation in the above-ground part of the onion was found to be 19.16 mg kg⁻¹ copper in pots where a 30 mg kg⁻¹ dose was applied. At the end of this study, it was concluded that the onion (*Allium cepa* L.) plant can be used in phytoextraction for 30 mg kg⁻¹, which is one of the phytoremediation methods, in removing Cu heavy metals from soils. In addition, in removing Cu heavy metals from soils can be used in phytostabilization, one of the phytoremediation methods, for other doses (60 and 120 mg kg⁻¹).

Keywords: Copper, Onion (*Allium cepa* L.), Phytoremediation, Soil pollution, Heavy metal, Phytoextraction

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
TEŞEKKÜR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.1.1 Farklı Kaynaklardan Oluşan Toprak Kirliliği	2
1.1.1.1 Tarımsal kaynaklı toprak kirliliği.....	2
1.1.1.1.1 Tarım ilaçları kaynaklı toprak kirliliği.....	3
1.1.1.1.2 Gübreleme kaynaklı toprak kirliliği.....	4
1.1.2 Toprak Kirliliği Giderimi	5
1.1.2.1 İzolasyon immobilizasyon teknolojileri	6
1.1.2.2 Mekanik ayırma teknolojileri	6
1.1.2.3 Pirometalurjik teknolojiler	6
1.1.2.4 Elektrokinetik teknolojiler.....	6
1.1.2.5 Toprağı su/sıvı ile yerinde (in-situ) temizleme teknolojileri	7
1.1.2.6 Toprak yıkama teknolojileri	7
1.1.2.7 Biyoremediasyon.....	7
1.1.2.8 Fitoremediasyon	8
1.1.2.8.1 Fitoekstraksiyon.....	9
1.1.2.8.2 Fitostabilizasyon	10
1.1.2.8.3 Fitovolatilizasyon.....	10
1.1.2.8.4 Fitodegradasyon.....	10
1.1.2.8.5 Rizodegradasyon.....	10
1.1.2.8.6 Rizofiltrasyon.....	10
1.1.2.8.7 Hidrolik kontrol	10
1.1.2.8.8 Vejetatif örtü sistemi.....	11
1.1.2.8.9 Kıyı tampon şeritleri	11
1.1.3 Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) Bitkisi	11
1.1.3.1.1 İklim özellikleri.....	12
1.1.3.1.2 Toprak istekleri	13
1.1.3.1.3 Gübreleme.....	13

1.1.3.2 Dünya’da soğan bitkisi.....	14
1.1.3.3 Türkiye’de soğan bitkisi.....	15
1.1.3.3.1 Batı Marmara Bölgesi.....	18
1.1.3.3.2 Doğu Marmara Bölgesi.....	18
1.1.3.3.3 Ege Bölgesi.....	19
1.1.3.3.4 Batı Karadeniz Bölgesi.....	20
1.1.3.3.5 Doğu Karadeniz Bölgesi.....	21
1.1.3.3.6 Batı Anadolu Bölgesi.....	21
1.1.3.3.7 Orta Anadolu Bölgesi.....	22
1.1.3.3.8 Akdeniz Bölgesi.....	23
1.1.3.3.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi.....	23
1.1.3.3.10 Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi.....	24
1.1.3.3.11 Ortadoğu Anadolu Bölgesi.....	25
1.1.3.4 Soğan bitkisinde fitoremediasyon çalışmaları.....	25
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	29
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
2.1 Materyal.....	31
2.1.1 Denemede Kullanılan Bitki.....	32
2.1.2 Denemede Kullanılan Kirletici.....	33
2.1.3 Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	34
2.2 Yöntem.....	35
2.2.1 Denemenin Yürütülmesi.....	35
2.2.2 Toprağa Bakır (Cu) Ağır Metalinin Uygulanması.....	35
2.2.3 Hasat ve Bazı Agromorfolojik Ölçümler.....	35
2.2.4 Bitki Analizleri.....	36
2.2.5 Toprak Analizleri.....	37
2.2.5.1 pH analizi.....	38
2.2.5.2 EC analizi.....	38
2.2.5.3 Kireç analizi.....	38
2.2.5.4 Organik madde analizi.....	38
2.2.5.5 Tekstür analizi.....	38
2.2.5.6 Makro element analizi (P, K, Mg, Ca).....	38
2.2.5.7 Mikro element analizi (Fe, Mn, Zn, B).....	38
2.2.5.8 Cu bitki besin elementi analizi.....	38
2.2.6 İstatistiksel Analiz.....	39
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	40

3.1 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Agro- morfolojik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler.....	40
3.2 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Toprak üstü Aksamındaki Cu İçeriğinin Değişimi	41
3.3 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Kök Aksamındaki Cu İçeriğinin Değişimi.....	43
3.4 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Toprak İçeriğindeki Cu Değişimi	45
3.5 Bakır (Cu) Toksisitesinin Makro Element İçeriklerine Etkisi	46
3.5.1 Toprak Üstü Aksamdaki Makro Element İçeriğine Etkisi	47
3.5.2 Kök Aksamındaki Makro Element İçeriğine Etkisi.....	48
3.5.3 Topraktaki Makro Element İçeriğine Etkisi	50
3.6 Bakır (Cu) Toksisitesinin Mikro Element İçeriklerine Etkisi.....	51
3.6.1 Toprak Üstü Aksamdaki Mikro Element İçeriğine Etkisi	52
3.6.2 Kök Aksamındaki Mikro Element İçeriğine Etkisi	53
3.6.3 Topraktaki Mikro Element İçeriğine Etkisi.....	55
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Soğanın gelişim evrelerinde ihtiyaç duyduğu sıcaklık değerleri.....	13
Çizelge 1.2. Soğan bitkisinin Dünya’da hasat edilen alan (ha), verim (hg ha ⁻¹) ve üretim miktarı (ton) değerleri.....	15
Çizelge 1.3. Soğan bitkisinin Türkiye’de hasat edilen alan (ha), verim (hg ha ⁻¹) ve üretim miktarı (ton) değerleri.....	16
Çizelge 2.1. Soğan bitkisi içeriğinde bulunan besin maddeleri, vitaminler ve mineral maddeler.....	32
Çizelge 2.2. Deneme toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 3.1. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisine artan dozlarda Cu ağır metali uygulaması sonucunda elde edilen agro-morfolojik veriler.....	40
Çizelge 3.2. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg ⁻¹).....	42
Çizelge 3.3. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin kök aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg ⁻¹).....	44
Çizelge 3.4. Topraklarda bitkiler için yararlı Cu içeriğinin değerlendirilmesi.....	45
Çizelge 3.5. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin yetiştirildiği toprak içeriğindeki Cu ağır metali (mg kg ⁻¹).....	45
Çizelge 3.6. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında toprak üstü aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	47
Çizelge 3.7. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında kök aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	49
Çizelge 3.8. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında topraktaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	50
Çizelge 3.9. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	52
Çizelge 3.10. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında kök aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	54
Çizelge 3.11. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında yetiştirildiği topraktaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹).....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisi.....	12
Şekil 1.2. Türkiye’de kuru soğan üretimi haritası	17
Şekil 1.3. Batı Marmara Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	18
Şekil 1.4. Doğu Marmara Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	19
Şekil 1.5. Ege Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	20
Şekil 1.6. Batı Karadeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	20
Şekil 1.7. Doğu Karadeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	21
Şekil 1.8. Batı Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	21
Şekil 1.9. Orta Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri	22
Şekil 1.10. Akdeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri....	23
Şekil 1.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri.....	24
Şekil 1.12. Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri.....	24
Şekil 1.13. Ortadoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan (da) ve üretim miktarı (ton) değerleri.....	25
Şekil 2.1. Deneme planı.....	31
Şekil 2.2. Bitki toprak üstü ve kök aksamının etüvde kurutulması.....	36
Şekil 2.3. Hasat sonrasında hava kuru ortamda bekletilen bitki toprak üstü, toprak ve kök örnekleri.....	37
Şekil 2.4. Hava kuru ortamda bekletilen toprak örnekleri.....	37
Şekil 3.1. Kontrol saksılarındaki, 30 mg kg ⁻¹ , 60 mg kg ⁻¹ ve 120 mg kg ⁻¹ Cu uygulaması yapılan saksılardaki bitkilerin hasat sonrası görüntüleri	41
Şekil 3.2. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg ⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir.....	43

Şekil 3.3. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin kök bölgesinde Cu ağır metali içeriği (mg kg ⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	44
Şekil 3.4. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin kök bölgesinde Cu ağır metali içeriği (mg kg ⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	46
Şekil 3.5. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin toprak üstü aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	48
Şekil 3.6. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin kök aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı gruplar istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	49
Şekil 3.7. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin yetiştirildiği topraktaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı gruplar istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	51
Şekil 3.8. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı gruplar istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	53
Şekil 3.9. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin kök bölgesindeki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı gruplar istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	55
Şekil 3.10. Soğan (<i>Allium cepa</i> L.) bitkisinin yetiştirildiği topraktaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg ⁻¹), farklı gruplar istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir	57

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde Oranı
°C	Santigrat Derece
µg	Mikrogram
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Ar	Argon
As	Arsenik
ATP	Adenozin Trifosfat
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
cm	Santimetre
Co	Kobalt
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
da	Dekar
Fe	Demir
ha	Hektar
Hg	Cıva
K	Potasyum
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
O ₂	Oksijen
P	Fosfor
Pb	Kurşun
Se	Selenyum

KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	Tek Yönlü Varyans Analizi
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Bakır (II) sülfat
EDTA	Etilendiamin Tetraasetik Asit
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
ICP-OES	Endüktif Plazma Spektroskopisi
pH	Asitlik Alkalilik Derecesi
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
SPAD	Klorofil Değeri
SPSS	Sosyal Bilimler İstatistik Programı
TF	Translokasyon Faktörü

TEŞEKKÜR

Tez çalışma dönemimde bilgi birikimi ve tecrübeleri ile destek olan ve yol gösteren değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Sevinç YEŞİLYURT'a teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muazzez GÜRGAN ESER'e (Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Biyoloji Bölümü) teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitim dönemimde yanımda olan çok değerli arkadaşım Seda PAMAY'a desteğinden dolayı teşekkür ederim. Bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen annem Ayşe GÖRÜNMEZ, babam Yaşar GÖRÜNMEZ ve kardeşlerime, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakarlık ve desteklerinden dolayı eşim Fatih GEDİK, kızım Melike GEDİK ve oğlum Ömer Faruk GEDİK'e sonsuz teşekkür ederim.

Hülya GEDİK

Biyolog

1. GİRİŞ

Modern toplumda sanayi ve tarımın gelişmesiyle birlikte çevreye daha fazla toksik kimyasal salınmaktadır. Bunların arasında ağır metaller, çevre ve gıda güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Topraklar ve sular ağır metallerin yoğun olarak bulunduğu ortamlardır. Sanayi, tarım ve ev içi faaliyetlerin tümü ağır metalleri toprak ve su kütlelerine bırakmaktadırlar. Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamayan ve farklı ortamlar arasında geçiş yapabilen metallerdir. Genellikle atmosferde, yağmur aracılığı ile toprağa ve suya bırakılabilen aerosoller halinde bulunurlar. Topraktaki ağır metaller yeraltı sularına da sızabilmektedir. Benzer şekilde suda bulunan bu ağır metaller sulama yoluyla da toprağa girebilir. Ağır metallerin çevresel ortamlarda birikmesi ve transferi, besin zincirine girme riskini artırarak ekolojik güvenlik ve insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturabilmektedir (Shen vd., 2022).

Toprağın ve suyun organik veya inorganik atıklarla kirlenmesi çevre ve insan sağlığı için önemli sorunlarına yol açmaktadır. Son yirmi yılda, bitki bazlı çevresel iyileştirme (yani fitoremediasyon), uygun bir temizleme teknolojisi olarak geniş çapta uygulanmaktadır ve yoğun bir bilimsel araştırma alanı olarak araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir. Fitoremediasyon yönteminde, yeşil bitkiler aracılığı ile çevrede bulunan kirleticiler uzaklaştırılmakta ya da zararsız hale getirilmektedir (Lee, 2013).

Ağır metaller, krom (Cr), kurşun (Pb), cıva (Hg), nikel (Ni), arsenik (As), bakır (Cu), çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) gibi yoğunlukları, atom ağırlıkları veya sayıları yüksek olan metalik elementler grubudur. Nispeten yüksek yoğunlukta ($>5 \text{ g/cm}^3$) var olduklarında büyük ölçüde inorganik kimyasal kirleticiler oluşturmaktadırlar (Wuana ve Okieimen, 2011). Metal iyonları, besin zincirine karışarak ya da su kaynakları aracılığı ile ekosisteme dağılmakta ve canlı varlıklarda biyolojik olarak birikmektedir. Bitki ve hayvanların sağlığını tehdit etmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde antropojenik faaliyetler artmakta ve orantılı olarak zorlu bir problem olan ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır (Oladoye, Olowe ve Asemoloye, 2022).

Allium bitkileri, fitoşelatin, tiyosülfinat ve sülf oksit sentezinin temel bir öncüsü olarak fitoşelatinler ve sistein ile benzer bir metabolik yola sahip olan birçok farklı sülfürik bileşiğin kaynağı olarak bilinmektedir. Birkaç *Allium* türü gıda ve baharat bitkileri olarak kullanıldığından, bunların ağır metal alımı ve dağılımının yanı sıra gıda zincirlerindeki potansiyel risklerin değerlendirilmesi de oldukça önemlidir (Soudek vd., 2009).

Wierzbicka (1999), *Allium cepa* ve 22 bitki grubu (türler, çeşitler, popülasyonlar) tarafından kurşun toleransının kapsamını karşılaştırmıştır. *A. cepa*'nın yüksek toleransı soğanlı türlerle kıyaslanabilir düzeyde olduğunu tespit etmiştir. Mozafar vd. (2002), İsviçre'de iki farklı toprakta yetişen *Allium porrum* bitkisinin Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Sn ve Zn metallerini biriktirdiğini rapor etmiştir. *Allium cepa*'nın Cs birikimi gerçekleştirdiği de yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir (Bystrzeewska-Piotrowska ve Urban, 2004). Kadmiyum, bakır ve kurşunun *Allium cepa* ve *Allium sativum* kök hücrelerinin biriktiği rapor edilmiştir (Marcano, Carruyo, Del Campo ve Montiel, 2002; Liu ve Kottke, 2004).

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Farklı Kaynaklardan Oluşan Toprak Kirliliği

Toprak kirliliğinin incelenmesi, tarım arazilerinin kirlenmesinin hem insanların hem de hayvanların yaşamları üzerindeki büyük etkisi nedeniyle, çok sayıda araştırmacı ve çevreyle ilgilenenler için çok önemlidir. Toprak bileşimindeki kimyasal ve fiziksel değişikliklere yabancı cisimlerin girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, büyük miktarlarda pestisit ve kimyasal gübre kullanımı, asit yağmurlarının yağması, fabrikalardan ve diğerlerinden gelen katı ve sıvı atıkların boşaltılması, toprak verimliliğinin ve organik maddelerin kaybına katkıda bulunmaktadır (Al-Tai, 2021).

Fabrikalar çoğu yerleşim bölgelerinin ve nehirlerin yakınında bulunmaktadır. Ayrıca yanardağlar, yangınlar ve madencilik, toprak kirliliğine ve organik maddesini ve verimliliğini kaybetmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Pestisitler, fungusitler ve kimyasal gübreler toprağı ve tarım ürünlerini etkilemektedir. Tarım arazilerini sulamak için arıtılmamış atık suların kullanılması, zararlı böceklerin ve bitkilerin büyümesi yoluyla toprak kirliliğine neden olmaktadır. Toprak kirliliği, kimyasal ve fiziksel bileşimde bir değişikliğe yol açan yabancı maddelerin toprağına girmesi olarak da tanımlanabilir. Bu genellikle pestisitlerin ve gübrelerin kullanımından ve toprağın pH'ını değiştiren asit yağmurundan kaynaklanmaktadır (Badran, 1988; Jamal, 2019).

1.1.1.1 Tarımsal kaynaklı toprak kirliliği

19. ve 20. yüzyıllarda bitki özleri insektisit, fungusit ve herbisit olarak kullanılmıştır. Pestisit kullanımındaki artış 1930'larda sentetik kimya ile gerçekleşmiştir. Bu dönemde bitki koruma amacıyla arsenik ve kükürt bileşikleri gibi inorganik kimyasallar da uygulanmıştır.

İkinci Dünya Savaşı'nın başlangıcında, insektisit olarak kullanılan diklorodifenil trikloretan (DDT), aldrin ve dieldrin gibi organik kimyasallar başta olmak üzere çok sayıda pestisit sentezlenirken, herbisit olarak 2-metil-4-klorofenoksiasetik asit (MCPA) ve 2,4 - diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) kullanılmıştır. 1945'ten sonra, haşereleri kontrol etmek ve tarımsal üretimin verimini sağlamak için birçok insektisit, fungusit, herbisit ve diğer kimyasalların tanıtılmasıyla karakterize edilen agrokimyasal alanda hızlı bir gelişme gerçekleşmiştir (Van den Berg vd., 2012; Raffa ve Chiampo, 2021).

1.1.1.1.1 Tarım ilaçları kaynaklı toprak kirliliği

Tarım ilaçları insanlara veya hayvanlara çeşitli hastalıkları bulaştıran böcek ve mantarları öldürmek ve bunlarla mücadele etmek için kullanılan zehirli bileşiklerdir. Ayrıca, ekinleri etkileyen hastalıkların kontrolüne büyük ölçüde katkıda bulunan malzemeler olarak kabul edilirler. Bununla birlikte, kullanımları tarımsal zararlıların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır (Baya,2008)

Böcek öldürücüler ve mantarlar tarafından yapılan kirlilik, yirminci yüzyılın ikinci yarısının başında toprak fiziksel kirliliğinin ve tarımsal üretimin en önemli biçimlerinden biridir. Bitkileri etkileyen zararlıları ve hastalıkları kontrol etme aracı olarak kullanılmıştır. 1920'de, geniş ekili alanlara püskürtmek için uçakların kullanılması, bunların dünyanın farklı bölgelerine büyük ölçüde yayılmasına sebep olmuştur. Bu tarımsal ilaçlar, tarım bitkilerini etkileyen haşereler, böcekler ve çeşitli hastalıkları insanlara ve hayvanlara bulaştıran parazitler ile enfeksiyon risklerini azaltmada oynamaktadırlar. Ekinleri ve tarımsal bitkileri enfekte edebilen yabancı otların yanı sıra milyonlarca bitki böceği ve hastalığı vardır. Bununla birlikte, tarım ilaçlarının konsantrasyonunun aşırı kullanımı ve bilgi eksikliği, insan ve hayvan sağlığına, bitkiye ve tarım toprağına çok fazla zarar vermektedir. Bu nedenle, birçok uluslararası kuruluş, özellikle DDT olarak bilinen eski bir tarım ilacı olmak üzere, bu ilaçların birçoğunun kullanımını sınırlamak için uyarılar ve talepler belirlemektedir (Fadlallah, 2001).

Tarım ilacı olarak bilinen pestisitler; boyaların, seramiklerin ve arsenik trioksit de dahil olmak üzere 'Paris yeşili' olarak adlandırılan bakır stearat üretiminde kullanılmaktadırlar. Siyahımsı kahverengi bir toz halinde olan çinkonun birçok markası vardır. Fare ve sıçanlara karşı kovucu olarak evlerde, tarlalarda ve çiftliklerde yaygın olarak kullanılır ve bu zehirle kirlenmiş yiyecekleri yiyerek insan zehirlenmesine yol açabilmektedir. Midede bulunan hidroklorik asit ile reaksiyona giren bu pestisit, toksik bir gaz olan fosfit gazı oluşturmakta ve zehirlenmeye neden olmaktadır (Al-Yasiri, 2019).

Organik atıklar, gübreler, organomineraller ve mineraller, mahsuller için gerekli olan besinleri içerir ve bitkisel üretimin artmasına katkıda bulunur. Bununla birlikte, bunların kullanımı, fraksiyonlarının dağılımını değiştiren ve bitkilere ve çevreye toksisite riskini artıran, böylece sürdürülebilir kalkınma hedeflerine karşı çalışan bakır ve çinko birikimine de yol açabilir. Ancak killi topraklarda gübre uygulamalarının etkisi ve yıllar içinde artan Cu ve Zn içeriğinin ürün verimliliği üzerindeki etkileri net olarak bilinmemektedir. Yapılan bir çalışmada, domuz gübresinin kullanımının değişebilir fraksiyondaki Cu ve Zn içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumun da bitkilerde toksisiteyi güçlendirebileceği ve toprak altı suyunun kirlenme potansiyelini artırabileceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, Cu ve Zn'nin artan biyoyararlanımı, mahsul verimliliğinde bir kayba neden olmamış, bunun yerine kuru seri üretimi ve mahsul verimini artırmıştır (Ferreira vd., 2023).

1.1.1.1.2 Gübreleme kaynaklı toprak kirliliği

İnsanlar, toprak verimliliğini artırmak ve farklı tarımsal ürünlerin üretimini artırmak için farklı türde tarımsal gübre kullanmaya başvurmuşlardır. Kimyasal bileşiklerden yapılan birçok gübre türü vardır. Azot ve azotlu gübreler, fosfatlı ve potasyumlu gübreler sebze ve meyvelerin zararlı kimyasal bileşiklerle kirlenmesine neden olan en önemli türlerdir. Sonuç olarak, besin zincirleri yoluyla insan vücuduna geçerek çocuklarda anemiye, yetişkinlerde ise mesane kanseri gibi hastalıklara neden olmaktadır. Bu gübreler yoğun yağışlarda gözeneksiz bir tabaka oluşmasına neden olarak bitki köklerini olumsuz etkilemektedir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddelerinin bir kısmını topraktan alınımına neden olmaktadır. Miktarı bitkinin ihtiyacını aştığında toprağı çevreleyen çevre unsurlarına ciddi zararlar vermektedir (Baya, 2008; Fadlallah, 2001).

İnsanların tarımsal üretimde kullandığı tarımsal gübrelerin iki ana türe ayrıldığı bilinmektedir: Hayvan, kuş ve insan atıklarından üretilen organik gübreler ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu bazı kimyasal elementlerin üretilmesinden kaynaklanan kimyasal gübreler (azot - fosfor – potasyum). Aslında temel organik madde, humus, aşırı kullanım ve özellikle kimyasallardan yoksun topraklarda tarımsal üretimi artırmada tarımsal gübrelerin önemine rağmen, tarım ortamının bileşenleri, bitki, hayvan, toprak ve insan üzerinde olumsuz etkileri vardır. Birçok kimyasal gübre bileşimi, kolayca bertaraf edilemeyen kararlı bileşimlerde hazırlanır. Etkileri fosfor bileşikleri olarak toprakta 5-50 yıla kadar uzun süre kalır. Bu, toprak üzerindeki etkilerinin uzun süre uzayacağı anlamına gelir (Fadlallah, 2001).

Bakır ve çinko, kil mineralleri (CuMin ve ZnMin) ve toprak organik maddesi (CuOM ve ZnOM) ile ilişkili fraksiyonlar ile teşhis edilebilen mineral partiküllerin ve organik kütlenin fonksiyonel gruplarına yüksek afinite ile adsorbe edilerek iç küre kompleksleri oluşturmaktadırlar. Cu ve Zn'nin geri kalanı, daha düşük bağlanma enerjisinde tutulan fraksiyonlar halinde dağıtılabilmektedir, örneğin, daha yüksek kararsızlık ve dolayısıyla bitkiler için daha büyük toksisite potansiyeli sunan çözünür ve değişebilir fraksiyonlar olarak toprakta bulunabilmektedirler (Ferreira vd., 2023).

1.1.2 Toprak Kirliliği Giderimi

Toprak kirliliğinin gideriminde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar, kirleticinin bulunduğu bölgenin kullanıma kapatılması ve kirleticinin olduğu gibi bırakılması, bölgedeki kirleticilerin immobilize edilerek çevredeki diğer bölgelere yayılımının engellemek, kirli toprağın bölgeden uzaklaştırılarak bertaraf edilmesi ve toprağı *in-situ* veya *ex-situ* olarak temizlemek olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarım alanlarında kirleticisi unsurların uzaklaştırılarak toprağın yeniden kullanılabilir hale getirilmesi ekonomik açıdan da oldukça önemlidir.

Kirli toprakların temizlenmesinde farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler bulunmaktadır. Kullanılacak yöntemin çeşidi, toprak yapısına, kirleticisi unsurlara ve topraktaki yoğunluğuna göre değişim gösterebilmektedir. Daha önceki yıllarda toprağın temizlenmesi bölgeden uzaklaştırılıp yerine yeni ve temiz toprağın yerleştirilmesi ile gerçekleştirilse de günümüzde çoğunlukla doğrudan o bölgede uygulaması yapılabilen yöntemler tercih edilmektedir (Kocaer ve Başkaya, 2003).

Toprak kirliliğine sebebiyet veren ön önemli unsurlardan olan ağır metaller (kurşun, arsenik, kadmiyum, bakır, cıva, nikel, krom ve çinko) inorganik kirleticiler grubunda yer almaktadır. Bu kirleticiler, tarım ilaçlarının kullanımı, egzoz gazları, kimyasal gübreleme, atık çamurlar, kimyasal atıklar ve açık maden işletmeciliği aracılığı ile çevreye yayılmaktadır. Canlılar için önemli olan su, hava ve toprak ortamlarına girerek olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle, bu kirleticilerin giderilmesi önem kazanmaktadır (Tacıroğlu, Kara ve Sak, 2016). Kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılan bazı yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

1.1.2.1 İzolasyon immobilizasyon teknolojileri

Bu teknoloji, topraktaki kirlilik oluşturan maddelerin hareketliliğini kısıtlamak amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Immobilizasyon, toprakta çözünmeyen ya da zor hareket eden toksisitesi düşük maddeler ve toprağa eklenen materyaller ile toprakta bulunan kirletici unsurların diğer çevrelere geçişini en aza indirmek için kullanılan bir yöntemdir. Farklı malzemelerden (çimento, çelik, harç ve bentonit) yapılan bariyerler ile kontamine olmuş bölge kapatılarak kirleticilerin yatayda ve düşeyde hareketi engellenmektedir. Maliyetinin yüksek olması sebebiyle geniş alanlarda kullanımı önerilmemektedir. Ayrıca bu yöntem sadece kirliliğinin yayılmasını engellediği için kirlilik giderimine uygun olduğu düşünülmektedir (Seven, Can, Darende ve Ocak, 2018; Sönmez ve Kılıç, 2021).

1.1.2.2 Mekanik ayırma teknolojileri

Santrifüj ile ayırma prensibine bağlı, büyük ve temiz partiküller ile küçük ve kirli olan partiküllerin birbirinden ayrıştırılması ile gerçekleştirilen bir prosestir. Metallerin manyetik özellikleri ve kirleticilerin yüzey karakterizasyonu kullanılarak ayrıştırma gerçekleştirilmektedir. Geniş alanlarda kullanımı pek uygun görülmesi de bu fiziksel ayırma metodlarının belirli formlardaki metal kirliliklerinin gideriminde diğer yöntemlerle birlikte uygulanabilir olduğu düşünülmektedir (Kocaer ve Başkaya, 2003; Taciroğlu, Kara ve Sak, 2016).

1.1.2.3 Pirometalurjik teknolojiler

Bu yöntem ile, yüksek sıcaklık fırınları (200-700°C) ile kontamine olmuş topraktaki metaller buharlaştırma ile uzaklaştırılmaktadır. Buharlaştırma işleminden sonra metaller immobilize edilmektedir. Özellikle cıva ağır metali için uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Diğer ağır metallerde (Pb, As, Cd, Cr gibi) erime işlemi için ön işlemler uygulanması gerekmektedir (Kocaer ve Başkaya, 2003).

Bu yöntem kirliliğin %5 ile %20 arasında değiştiği ve geri kazanımın değerli olduğu alanlarda kullanılmaktadır (Taciroğlu, Kara ve Sak, 2016).

1.1.2.4 Elektrokinetik teknolojiler

Kirleticileri yüklü türleri toprak içerisinde immobilize etmek için elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilen bir yöntemdir. Elektrotlar arasına doğru akım düşük yoğunluklu olarak verilmektedir. Bu uygulama, ince yapı ve geçirgenliği yüksek topraklardan

kirleticilerin ekstrakt edilmesinde oldukça etkilidir. Yöntemin uygulanabilirliğini, topraktaki kirleticinin yapısı, miktarı gibi faktörler etkilemektedir. Bu yöntemin avantajı *in-situ* olarak kullanılması ve maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca geniş alanlarda kullanıma uygundur (Kocaer ve Başkaya, 2003; Taciroğlu, Kara ve Sak, 2016; Sönmez ve Kılıç, 2021).

1.1.2.5 Toprağı su/sıvı ile yerinde (in-situ) temizleme teknolojileri

Toprakta bulunan kirleticilerin su ya da bir sulu çözelti ile topraktan uzaklaştırılması ile gerçekleştirilen fiziksel bir yöntemdir. Bu yöntem sadece suda çözünebilen metaller için etkili bir yöntemdir. Diğer metallerin uzaklaştırılmasında toprak pH'ının uygun seviyelere getirilmesi için farklı çözeltilerin de eklenmesi gerekmektedir. Kirleticilerin suda çözünmesi sağlanarak topraktaki hareketliliğini artırarak uzaklaştırılması kolaylaştırılmaktadır. Ayrıca geniş tarım alanlarında kullanımı uygun görülmemektedir (Kocaer ve Başkaya, 2003; Taciroğlu, Kara ve Sak, 2016).

1.1.2.6 Toprak yıkama teknolojileri

Su bazlı bir arıtım teknolojisi olan toprak yıkama yönteminde kazılmış topraktaki kirleticilerin uzaklaştırılması için kimyasal- fiziksel ekstraksiyon ve ayırma işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemde kirleticiler yok edilmemekte, konsantre bir hale getirilerek hacmi azaltılmaktadır. Toprak yıkama teknolojisinin geniş tarım alanlarında kullanımının uygun olmadığı bildirilmiştir. Toprakta ıslah çalışmaları için sonraki işlemlerin maliyetini azaltmaktadır (Kocaer ve Başkaya, 2003; Taciroğlu, Kara ve Sak, 2016).

1.1.2.7 Biyoremediasyon

Biyoremediasyon terimi yaşam anlamına gelen ve canlı organizmalara atıfta bulunan "bios" ve bir sorunu çözmek anlamına gelen "remediate" kelimelerini bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Biyoremediasyon yöntemi, kirli yeraltı suyu ve toprak gibi çevre ile ilgili bir problemi çözmek amacıyla biyolojik organizmaların kullanılmasıdır. Biyoremediasyon, çevresel kirleticileri azaltmak veya kirliliği önlemek için canlı mikroorganizmaların kullanılmasıdır. Başka bir deyişle, kirleticileri çevreden uzaklaştırarak ortamın eski ve doğal haline geri gelmesi ve ortaya çıkabilecek kirliliklerin engellenmesi için uygulanan bir yöntemdir (Sasikumar ve Papinazath 2003).

Biyoremediasyon, basitçe, kirlenmiş bir ortamın dekontaminasyonunun biyolojik bir süreci olarak tanımlanabilmektedir. Ortam karasal, sulu veya her ikisi olabilir.

Biyoremediasyon, mikroorganizmaların çeşitli metabolik yeteneklerinden yararlanarak kirleticileri mineralizasyon, karbon (IV) oksit ve su üretimi veya dönüşüm yoluyla zararsız ürünlere dönüştürmek için mikrobiyal biyokütle ile kirlenmiş ortamları temizlemenin bir yolu olarak da tanımlanabilir (Sardrood, Goltapeh ve Varma, 2013).

Biyoremediasyon yönteminde mikroorganizmalar bünyelerine aldıkları kirleticileri metabolik faaliyetleri ve büyüme için kullanmaktadır. Bu yöntemde amaç mikroorganizmalar için uygun koşulların sağlanmasıdır. Biyoremediasyon iki farklı şekilde uygulanabilmektedir: Atıkların bulunduğu bölgeye besin aktarımı yapılarak toprakta bulunan mikroorganizmalar aktif hale getirilmesi ve toprağın kazılması işleminden sonra toprağa bu işlem için uygun bakterilerin takviye edilmesidir. Biyoremediasyon yönteminde çevresel koşulların uygun olması ya da bakteriler için uygun koşullar sağlanarak optimize edilmesi gerekmektedir. Sıcaklık, pH, başta azot ve fosfor olmak üzere besin ortamı ve oksijen miktarı gibi şartlar uygun olmalıdır (Kocaer ve Başkaya, 2003;Uğurlu ve Duysak, 2019)

Biyoremediasyon ile ilgili yapılan bir çalışmada, çinko (Zn), kurşun (Pb) ve bakır (Cu) ağır metallerini içeren maden yatağı topraklarından alınan bakteri örneklerinde incelemeler yapılmıştır ve biyoremediasyon kapasiteleri incelemiştir. Ağır metal biriktirme potansiyelleri yüksek olan üç farklı bakteri (*Pseudomonas luteola*, *Paenibacillus polymyxa* ve *Pseudomonas stutzeri*) kültür ile çoğaltılarak tek tek ve kombinasyon hallerinde ağır metalleri biriktirme davranışları incelenmiştir. Araştırma sonucunda *P. polymyxa* ve *P. luteola* bakterilerinin ayrı olarak Cu ağır metalini biriktirdikleri, *P. luteola* ve *P. polymyxa* bakterilerinin kombinasyon olarak uygulanmasında ise Zn ağır metalinin biriktirdikleri tespit edilmiştir. Pb ağır metalinin varlığı ise *P. polymyxa* ve *P. luteola* bakterilerinin birlikte bulunduğu ortamda görülmüştür (Sönmez ve Kılıç, 2021).

1.1.2.8 Fitoremediasyon

Çeşitli doğal süreçler ve antropojenik (endüstriyel) faaliyetler nedeniyle toprakta ağır metal birikimi hızla artış göstermektedir. Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamayan, çevrede kalan ve bitkiler yoluyla besin zincirine girebilme potansiyeline sahiptir elementlerdir. Ağır metallerin kontaminasyonu toksisite yaratmaları sebebiyle insanlar ve ekosistemdeki diğer bütün canlılar için büyük bir tehdit olarak görülmektedir. Topraklardaki kontaminasyonun giderilmesi bu sebeple oldukça önemlidir. Fitoremediasyon etkinliğini artırmak için, bitkilerde

ağır metal birikimi ve toleransının altında yatan mekanizmaların daha iyi anlaşılması gerekmektedir (Yan vd., 2020).

Son yıllarda yaşanan kentleşme, hızlı sanayileşme ve yoğun tarım olgusu, evsel atıkların, arıtma çamurlarının, maden atıkları ve atıkların kontrolsüz bir şekilde bertaraf edilmesi ve aşırı kimyasal gübre kullanımını nedeniyle hem şehirleri çevreleyen tarım arazilerinde hem de kırsal kesimde önemli miktarda ağır metal birikmesine neden olmuştur. Bazılarının (Cd, Pb, Hg) küçük de olsa herhangi bir miktarda toksik etki gösterdiği, diğerlerinin (Zn, Cu, Mn, Mo, Ni, Co) kabul edilebilir seviyelerin üzerinde toksisiteye neden olduğu ve zamanla bozulmayan ağır metallerin birikimine yol açtığı bilinmektedir. Mikrobiyal aktiviteyi ve kirlenmiş toprakların verimliliğini azaltarak mahsul verimini olumsuz etkilemektedirler (Cioica vd., 2019).

Fitoremediasyon, toprak, su ve çevredeki kirleticileri stabilize etmek, transfer etmek veya parçalamak için hiper akümülatör bitkileri ve bunların rizosferik mikroorganizmalarını kullanan yeşil bir stratejidir. Bu teknoloji verimli, ucuz ve çevreye uyumlu olduğu için tercih edilmektedir. Bitkiler, hızlı büyüme ve yüksek biokütle sergilediklerinde ve kontamine topraklarda yetiştirildiklerinde toksisite belirtileri olmaksızın, sürgünlerinde yüksek miktarlarda ağır metalleri özümseyebildikleri ve biriktirebildikleri zaman ağır metallere karşı toleranslı ve/veya hiper akümülatörler olarak sınıflandırılmaktadır (Nedjimi, 2021).

Toprak koşullarına, kirleticilere ve kullanılan bitki türlerine göre farklı tiplerde fitoremediasyon metodları bulunmaktadır: fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon, rizofiltrasyon, fitovolatilizasyon, rizodegradasyon, hidrolik kontrol, vejetatif örtü sistemi ve kıyı tampon çeşitleri. Bu fitoremediasyon yöntemleri aşağıda başlıklar halinde kısaca açıklanmıştır (Haq vd., 2020).

1.1.2.8.1 Fitoekstraksiyon

Metallerin, metal akümülatör bitkiler tarafından topraktan emilerek hasat edilebilir kısımlarında biriktirmesine fitoekstraksiyon denir. Metalin rizosferdeki biyoyararlanımı büyük ölçüde bitkilerden ve mikrobiyal faaliyetlerden etkilenmektedir (Haq vd., 2020).

1.1.2.8.2 Fitostabilizasyon

Fitostabilizasyon, bitkilerin, azaltılan çevresel kirleticileri stabilize ederek azaltma işlemidir. Fitostabilizasyon, topraktan toksik metallerin dekontaminasyonunu sağlamanın yoludur (Haq vd., 2020).

1.1.2.8.3 Fitovolatilizasyon

Fitovolatilizasyon da Hg, Se ve As gibi toksik metaller atmosferde daha az toksik ve uçucu formlara dönüşür. Yeraltı suyu, toprak, tortular ve çamurlar genellikle bu teknoloji ile giderilir (Haq vd., 2020).

1.1.2.8.4 Fitodegradasyon

Fitodegradasyon yönteminde, toprak içeriğinde bulunan organik kirletici maddeler, bitkide artan mikrobiyal hareketler sonucunda biyokimyasal işlemler ile parçalanmaktadır (Pedron vd., 2021).

1.1.2.8.5 Rizodegradasyon

Köklerde büyüyen mikroorganizmaların rizosferdeki kirleticileri parçalamasıdır. Rizodegradasyon genellikle karasal ortamlarda meydana gelmektedir. Toprakta bulunan mikroorganizmalar, rizosferdeki hidrokarbonların biyolojik olarak degradasyonunu gerçekleştirmektedir. Bu yöntemde, bitki-mikrobiyal etkileşim ön plandadır (Farraji vd., 2020; Ganesan vd., 2020).

1.1.2.8.6 Rizofiltrasyon

Su ortamında bulunan bitkilerde gerçekleştirilen bu yöntemde, bitki kökleri ile kirli su temizlenmektedir. Hem karasal hem de sucul bitkilerin tarafından kullanılabilen bir yöntemdir. Ayrıca köklerle alınan kirleticiler sürgünlere aktarılmamaktadır (Haq vd., 2020; Pedron vd., 2021).

1.1.2.8.7 Hidrolik kontrol

Hidrolik kontrol ile gerçekleştirilen kirlilik gideriminde ağaçlar pompa gibi davranarak yeraltı suları içerisinde bulunan kirleticileri kökleri yardımıyla alarak toprak üstü aksamalara taşımakta ve bu şekilde ortamı temizlemektedir. Kavak gibi bazı ağaçlarda topraktaki suyu alma kapasitesi oldukça yüksektir. Bu sayede kökleri ile kirleticilerin yeraltı suyuna karışmalarını

doğal hidrolik pompalar ile en aza indirgemekte ve aldığı suyu buharlaştırarak kirleticileri uzaklaştırmaktadır (Yurdakul, 2015).

1.1.2.8.8 *Vejetatif örtü sistemi*

Yoğun tarımsal faaliyetler sonrasında zarar gören alanların tekrar bitki örtüsü ile kullanılabilir hale getirilmesinde vejetatif örtü sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler alanda bulunan atıkların üzerinde ya da kirlenmiş alanlarda ve çamur olan alanlarda bir süre sonra oluşmaktadır. Bakımı kolay ve uzun süreli kullanılabilen ve su kaybını azaltan, su tutma yeteneğini arttıran bir sistemdir. Örtü olarak kullanılan bitkiler ile alanda meydana gelebilecek erozyon, sızma engellenmekle beraber topraktaki kirleticilerin bozunmasına yardımcı olmaktadır. Kirletici etmenlerin hareketliliğini kısıtlayarak sabitlemektedir. Bozunmadaki en önemli etmenler, bitki kök çevresi, bitkinin su alımı ve bitki metabolizmasıdır. Vejetatif örtü sistemlerinde kirli alanlar için uygun bitki topluluğunun yetiştirilebilmesi için uzun süren bir bakım gerekmektedir (Yurdakul, 2015).

1.1.2.8.9 *Kıyı tampon şeritleri*

Akarsu kıyılarında bulunan ve sudan fazlasıyla etkilenen topraklar tampon şerit olarak tanımlanmaktadır. Bu sığ akarsu kıyılarında çim, çiçekler, çalılar ve ağaçlardan meydana gelen bitki örtü sistemi bulunmaktadır. Bu bitki örtü sistemi tampon olarak adlandırılmaktadır ve bu bitkilerle fitoremediasyon gerçekleşmektedir. Kıyı tampon şeritlerinin oluşturulmasının amacı nehre doğrudan giriş yapan ya da yeraltı suyu kaynaklı kirleticilerin girişini engellemek ve iyileştirmektir (Yurdakul, 2015).

1.1.3 **Soğan (*Allium cepa* L.) Bitkisi**

Allium cepa L., ekonomik açıdan en önemli ekili *Allium* türüdür. Önemi, geniş bir kültür yelpazesinin beslenmesinde etkili olması ve en kalabalık ülkelerde meydana gelen en büyük toplam üretim sahip olması ile yansıtılmaktadır (Havey, 1993). Eski çağlardan beri gıda ve tıbbi bitki olarak değer görmektedir. Yaygın olarak yetiştirilmektedir ve çoğu kültür tarafından bilinen ve dünya çapında tüketilen bir sebze mahsulüdür. Alçak enlemlerde yetiştirilen kısa süreli bir bahçe bitkisidir. Aroması, tadı ve içeriğindeki aroma bileşenlerinin tıbbi değerleri sebebiyle çoğunlukla “mutfağın kraliçesi” adıyla da anılmaktadır. Baharat olarak körielerde, çeşni olarak salatalarda ve ayrıca diğer sebzelerle birlikte pişirilmiş olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda farklı işlenmiş gıdalar şeklinde de (turşu, toz ve macun gibi) kullanılmaktadır (Pareek, Sagar, Sharma ve Kumar, 2018).



Şekil 1.1. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisi

Soğan, organosülfür bileşikleri, fenolik bileşikler, polisakkaritler ve saponinler dahil olmak üzere çeşitli fitokimyasallar içerir. Sistein sülfoksitler, kuersetin ve kuersetin glukozitler dahil fenolik ve kükürt içeren bileşikler, soğanın başlıca biyoaktif bileşenleridir. Birikimli çalışmalar, soğan ve biyoaktif bileşiklerinin antioksidan, antimikrobiyal, anti inflamatuvar, obezite önleyici, diyabet önleyici, anti kanser, kardiyovasküler koruyucu, nöroprotektif, hepatorenal koruyucu, solunum koruyucu, sindirim sistemi koruyucu, üreme koruyucu ve immün modülatör özellikleri gibi çeşitli sağlık fonksiyonlarına sahip olduğunu ortaya koymuştur (Zhao vd.,2021).

Soğan, yaklaşık 5000 yıldır dünya çapında en az 175 ülkede yetiştirilmektedir. Eski Mısırlılar, küresel soğanı evrenin bir sembolü olarak görüyorlardı. Adının "bir" anlamına gelen Latince 'unus'tan alındığı düşünülmektedir (Burnie, Forrester, Greig, Guest ve Harmony, 1999). Soğan hakkında bilinen ilk yazılı rapor Sümerlerden gelmekte ve MÖ 2600-2100 yıllarına kadar uzanmaktadır. Büyük doktor Hipokrat, soğanı idrar söktürücü ve müshil olarak önermiştir. Ayrıca soğanı zatürre tedavisi için ve harici olarak kokuşmuş yaraları iyileştirmek için de kullanmıştır (Koch ve Lawson, 1996).

1.1.3.1.1 İklim özellikleri

Soğan gelişiminin farklı evrelerinde farklı sıcaklıklara ihtiyaç duymaktadır. Bu sıcaklık verileri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Soğanın gelişim evrelerinde ihtiyaç duyduğu sıcaklık değerleri (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Evre	Sıcaklık değer aralığı
Çimlenme ve sürme dönemi	12-13°C
Kök ve yaprak gelişimi dönemi	13-15°C
Baş bağlama dönemi	20-22°C
Baş olgunlaşma dönemi	24-27°C

Soğanlar, gün uzunluğu yani ışıklanma ihtiyacına göre 8-10 saat/gün; erkenci (kısa gün), 10-12 saat/gün; orta erkenci (orta gün) ve 13-15 saat/gün; geçici (uzun gün) olarak üçe ayrılmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

1.1.3.1.2 Toprak istekleri

Hafif bünyeli, su geçirgenliği yüksek, pH değeri 6-7 arasında bulunan ve organik madde içeriği bakımından zengin olan topraklarda baş gelişimi iyi olmaktadır. Soğan bitkisi su stresine veya tuz stersine karşı oldukça hassas bir bitkidir. Bitkinin çıkış zamanında toprakta fazla oranda gübre bulunması toprak tuzluluğunu artırmaktadır. Soğan sodyum (Na) ve bor (B) toksisitesine de oldukça hassastır ve sulama sularında yüksek miktarda bor ve sodyum bulunması bitkiye zarar vermektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2008).

1.1.3.1.3 Gübreleme

Azotun mevcudiyeti, protein ve nükleik asidin önemli bir vazgeçilmez bileşeni olduğu için büyüyen bitkiler için önemlidir. Benzer şekilde fosfor, nükleik asitlerin, fosfolipitlerin ve çeşitli enzimlerin vazgeçilmez bir bileşenidir. Bitki sistemi içinde enerji transferi için de gereklidir ve çeşitli metabolik faaliyetlerinde yer alır. Potasyum bitkiye canlılık ve hastalıklara karşı direnç kazandırır ve ürün verimliliğinde önemli bir rol oynar. K'nın bitkilerde fotosentez, asimilatların yer değiştirmesinin artırılması, protein sentezi, su dengesinin korunması ve enzim aktivitelerinin teşvik edilmesi dahil olmak üzere sayısız fizyolojik ve biyokimyasal süreçteki

temel rolü iyi bilinmektedir. Soğanın yeterli K içeriği, mahsulün depolama kalitesi için de önemlidir. Potasyum rengi, parlaklığı ve kuru madde birikimini iyileştirmenin yanı sıra soğanın kalitesini de korumaktadır (Dorais, Papadoulos ve Gosselin, 2001; Marschner, 2012; Jat, Khandelwal ve Chopra, 2022).

Doğru gübrelemenin yapılması için ilk ve en önemli koşul toprak analizlerinin gerçekleştirilerek toprağın ihtiyacının belirlenmesidir. Soğan yetiştiriciliği için de öncelikle toprak analizi yapılmalıdır. Sonrasında topraktaki besin maddelerinin varlığına göre gübreleme programı oluşturulmaktadır. Uygulanacak miktarı, zaman ve nasıl uygulanacağı belirlenen gübre tek seferde ya da bölünerek soğanın köküne ve toprak yüzeyine uygulanmaktadır. Gübre sulama sistemi ile eritilerek ya da katı olarak, soğanın yaprağından veya topraktan uygulanmaktadır. Soğan ekildiği alana bağlı olarak azot (5-20 kg da⁻¹), fosfor (8-10 kg da⁻¹) ve potasyum (15-20 kg da⁻¹) tüketmektedir (Karaman, 2012; T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2008).

1.1.3.2 Dünya 'da soğan bitkisi

Soğan (*Allium cepa* L.), *Amaryllidaceae* familyasına ait, dünyanın en önemli ticari baharat bitkilerinden biridir. Ayrıca soğanda kendine has kokusu, aroması ve tadından sorumlu olan uçucu yağ ve kükürt bileşikleri bulunmuştur. Sağlıklı gıda geliştirmedeki ilginç duruma dayanarak, soğanın ve ekstraktının fonksiyonel bir ajan olarak özellikleri daha önce birçok kez gösterilmiştir. Dünyanın en büyük soğan üreten ülkeleri Çin, Hindistan, ABD, Türkiye, Japonya, İspanya, Brezilya, Polonya ve Mısır'dır (Dossa, Miassi ve Banzou, 2018).

Soğan, dünya çapında yüksek oranda yetiştirilen ve tüketilen gıda ürünlerinden biridir ve Hindistan, küresel üretimin %22,81'ini oluşturan en büyük üreticilerdendir. Hint mutfağının ayrılmaz bir parçasıdır ve önemli miktarda ürün ihraç edilmektedir, ancak soğanın bozulabilir doğası uzun süre depolamayı engellemektedir. Güney Asya ülkelerinde yüksek talep gören arpacık soğanı büyük bir ihracat potansiyeline sahiptir (Bhosale, Perumal, Varghese, Vincent ve Ramachandran, 2021).

Soğan bitkisinin üretim, verim ve hasat edilen alan miktarı değerleri Çizelge 1.2'de gösterilmiştir. Çizelgede verilen değerlere göre, soğan bitkisinin hasat edildiği alan miktarı her yıl artış göstererek 5.478.651 ha alana ulaşmıştır. Üretim miktarı değerleri de hasat edilen alanların artışı ile paralel olarak artmıştır. FAOSTAT verilerine göre 2020 yılında 104.554.458 ton soğan üretimi gerçekleştirilmiştir. Verim değeri ise 2019 yılında en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Çizelge 1.2. Soğan bitkisinin Dünya’da hasat edilen alan (ha), verim (hg ha⁻¹) ve üretim miktarı (ton) değerleri (FAOSTAT, 2022).

	2016	2017	2018	2019	2020
Hasat edilen alan (ha)	5.076.328	5.144.037	5.146.725	5.152.420	5.478.651
Verim (hg ha⁻¹)	187.042	188.141	188.234	193.155	190.840
Üretim miktarı (ton)	94.948.864	96.780.284	96.878.757	99.521.435	104.554.458

Soğan küresel olarak yetiştirilir ve dünya çapında tüketilir. Yıllık toplam kuru soğan üretimi 88,5 milyon ton olarak tahmin edilmiştir. Dünyanın en büyük soğan üreticisi, toplam üretime yaklaşık %28 katkıda bulunan Çin'dir ve onu Hindistan (%19) ve ABD (%4,5) izlemektedir. Soğan, sebze yetiştiricileri için gelir yaratmada ve kırsal toplulukta istihdam yaratmada ve Etiyopya dahil olmak üzere birçok gelişmekte olan ülkede milyonlarca insanın gıda güvenliğine katkıda bulunmada büyük rol oynamaktadır (Erkalo, Nebiyu ve Daba, 2022).

1.1.3.3 Türkiye’de soğan bitkisi

Soğan üretiminde ülkemiz Dünyada önemli bir yere sahiptir. FAOSTAT verilerine bakıldığında, 2017 yılında Türkiye Dünyada üretilen 9.78 milyon ton soğanın %22.23’ünü ürettiği görülmektedir. Buna rağmen, son yıllarda soğan ve diğer bazı tarımsal ürünlerdeki fiyat artışı ülkemizdeki üretimin yeterliliğini ve fiyatlandırılmasını tartışılır hale getirmiştir. Soğan üretimi de bu konunun odağında yer almıştır (Güvenç, 2019; FAOSTAT, 2022). Çizelge 1.3’te ülkemizde son yıllarda gerçekleştirilen soğan üretim miktarı (ton), hasat edilen alan (ha) ve elde edilen verim (hg ha⁻¹) değerleri verilmiştir.

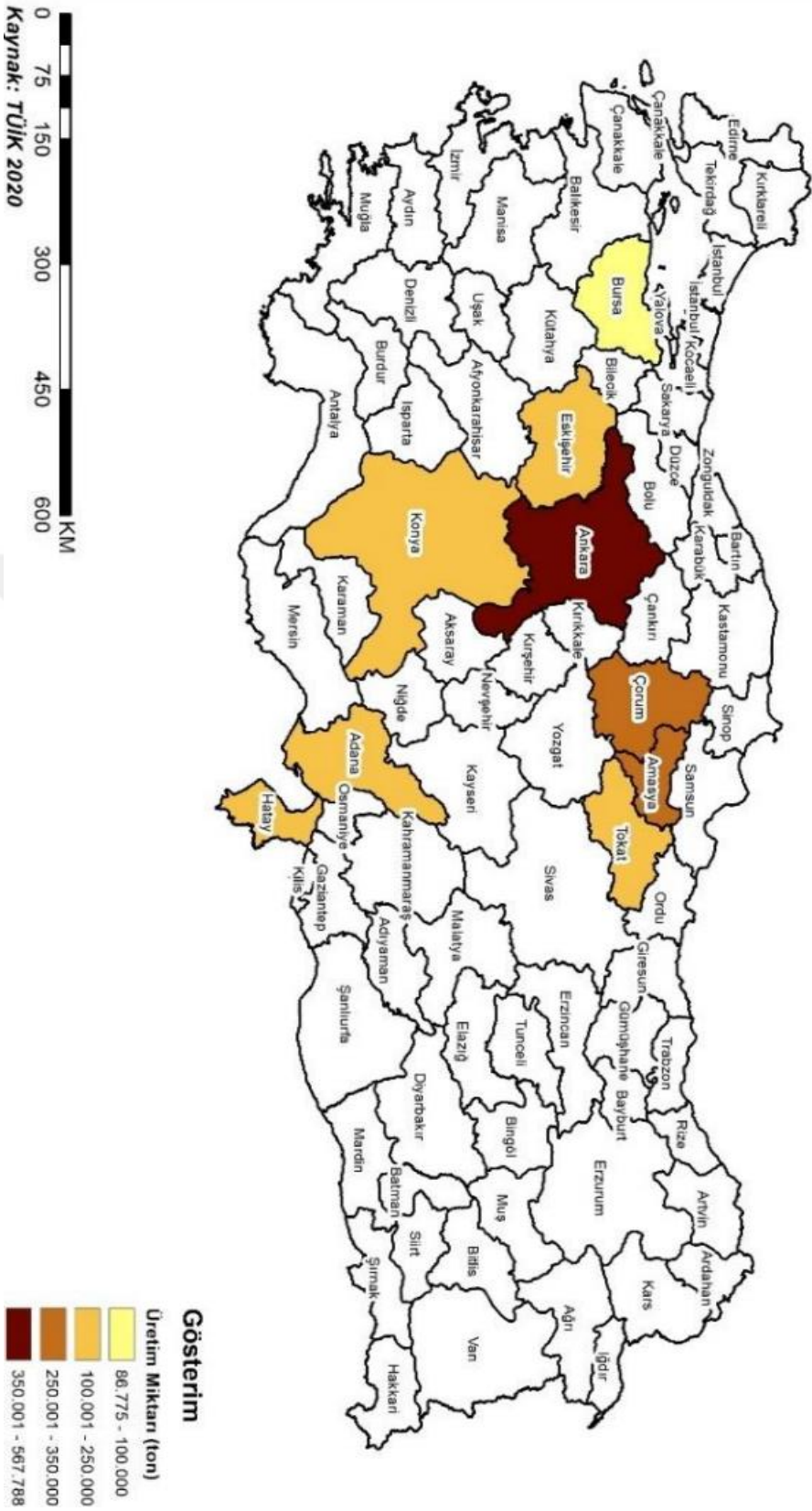
Çizelge 1.3. Soğan bitkisinin Türkiye’de hasat edilen alan (ha), verim (hg ha⁻¹) ve üretim miktarı (ton) değerleri (FAOSTAT, 2022).

	2016	2017	2018	2019	2020
Hasat edilen alan (ha)	67.379	67.945	60.694	68.478	70.275
Verim (hg ha⁻¹)	314.724	320.246	318.103	321.271	324.440
Üretim miktarı (ton)	2.120.581	2.175.911	1.930.695	2.200.000	2.280.000

Ülkemizde soğan üretim miktarı illere göre değişiklik göstermekle birlikte en çok üretim yapılan ilimiz Ankara’dır. Türkiye’de illere göre kuru soğan üretim miktarı ve ekili alan miktarı illere göre değişmektedir. Soğan üretiminde ön plana çıkan diğer illerimiz ise, Amasya, Adana, Eskişehir, Hatay ve Çorum’dur. Yıllar içerisinde ekili alan miktarı ve üretim miktarı değişiklik göstermiştir. Amasya ilinde ekilen alan ve üretim miktarı son beş yılda en yüksek seviyeye (sırasıyla, 81.584 da ve 334.856 ton) 2020 yılında ulaşmıştır. Ankara ve Çorum illerinde ekilen alan ve üretim miktarı değerleri 2021 yılında en üst seviyeye ulaşmıştır. Ankara için ekilen alan 165, 767 da ve üretim miktarı 835, 269 ton olarak tespit edilmiştir. Çorum için ise, ekilen alan ve üretim miktarı değeri sırasıyla 105. 739 da ve 295. 503 ton olarak belirlenmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022).

Ülkemizde kuru soğan üretimi artmaktadır. Amasya, Ankara ve Çorum illeri soğan üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Ülkenin soğan üretiminde kendine yeterlilik yüzdesi %114,2’ye yükselmiştir. Geçtiğimiz yıl üreticilere 27,80 TL/da tarımsal destek verilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a) Şekil 1.2’de ülkemizde kuru soğan üretimi yapan iller gösterilmiştir.

KURU SOĞAN ÜRETİM HARİTASI

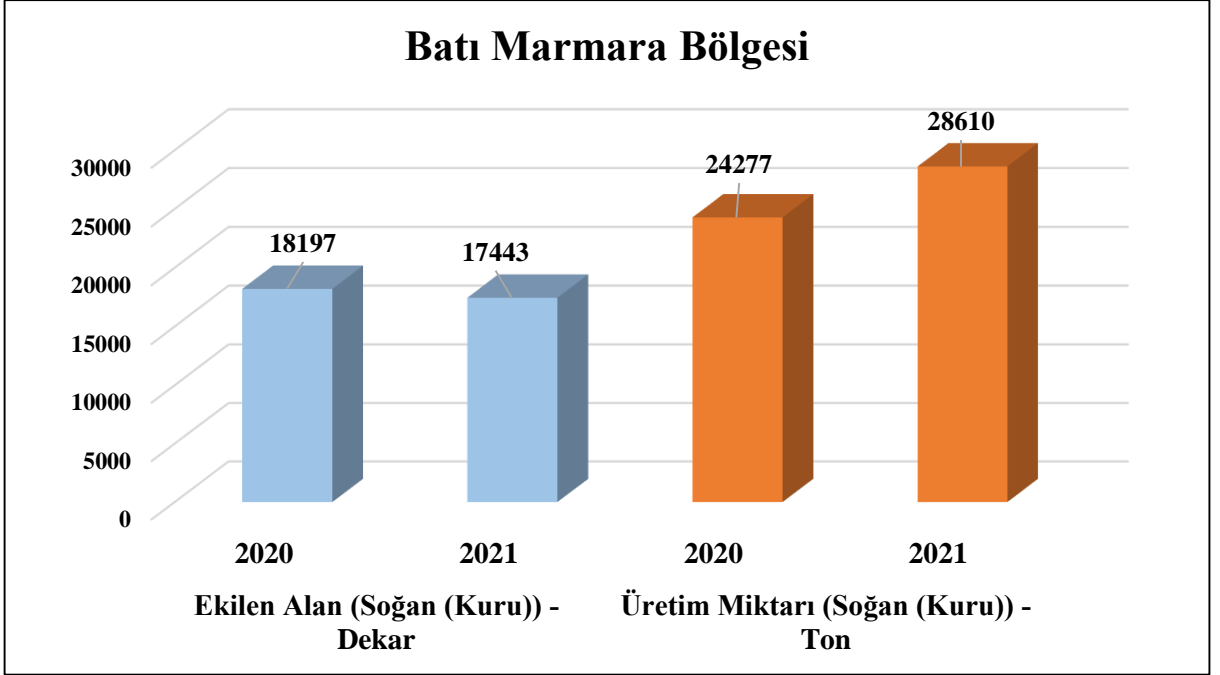


Şekil 1.2. Türkiye kuru soğan üretim haritası (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a)

Türkiye İstatistik Kurumu'nun belirlediği Türkiye'de İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırmasına (İBBS) tarımsal istatistik bölge ekili alan ve üretim miktarı değerleri alt başlıklar halinde sırasıyla verilmiştir.

1.1.3.3.1 Batı Marmara Bölgesi

Batı Marmara Bölgesi, Balıkesir, Kırklareli, Tekirdağ, Çanakkale ve Edirne illerini içermektedir. Şekil 1.3'te üretim ve ekilen alan değerleri gösterilen bu bölgede gerçekleştirilen soğan üretiminin 2020 ve 2021 yıllarındaki miktarı karşılaştırıldığında, 28.610 ton kuru soğan üretimi ile 2021 yılı ön plana çıkmaktadır. Bu yıllar içerisinde ekilen alan miktarı ise azalarak 18.197 dekar alandan 17.443 dekar alana düşmüştür (TÜİK, 2022). Bu durumun sebebi çiftçinin daha bilinçli tarımsal faaliyetlerde bulunması ve doğru gübreleme ile bitkisel üretimde verimi arttırmaları olabileceği düşünülmektedir.

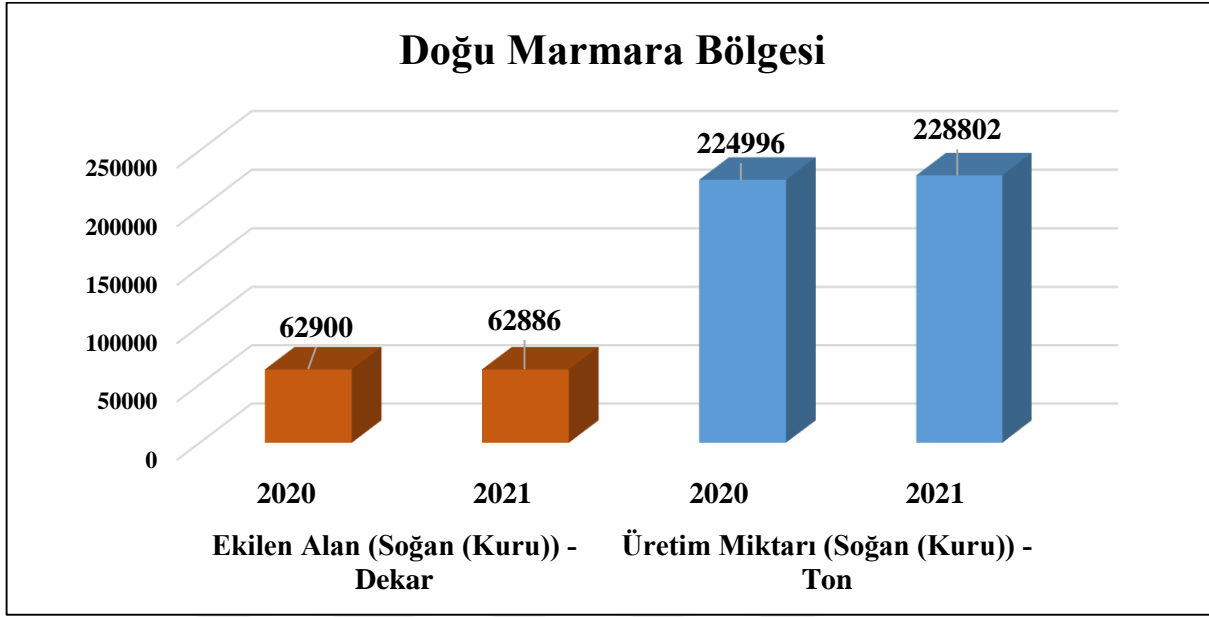


Şekil 1.3. Batı Marmara Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.2 Doğu Marmara Bölgesi

İBBS'ye göre bu bölge, Yalova, Sakarya, Eskişehir, Bursa, Bolu, Kocaeli, Bilecik ve Düzce illerini içermektedir. Eskişehir soğan üretiminde ilk sıralarda yer almaktadır (TÜİK, 2022). 2021 yılında Doğu Marmara'da ekilen alan 62.886 da ve üretim miktarı 228.802 ton'dur (Şekil 1.4). Doğu Marmara Bölgesi'nde de ekilen alan miktarı son iki yıl içerisinde azalma gösterirken üretim miktarı değerleri artış göstermiştir. Az alandan daha fazla ürün üretebilmek

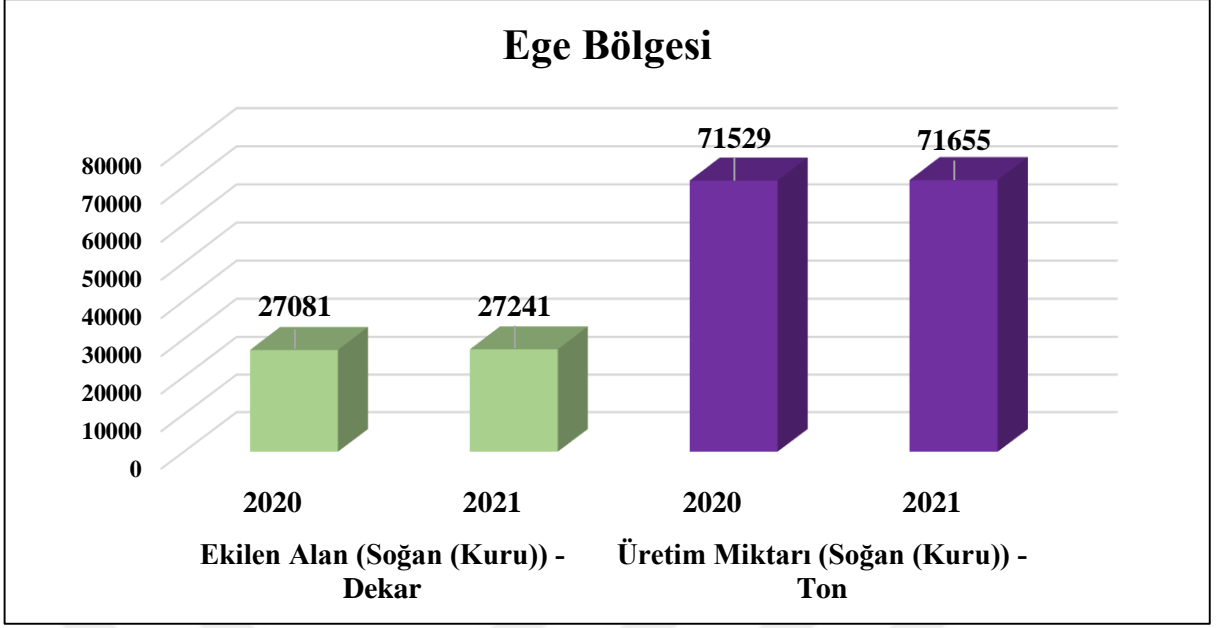
için yapılan çalışmalar, sulama ve gübreleme programları yardımı ile bu olumlu sonuçların alındığı düşünülmektedir.



Şekil 1.4. Doğu Marmara Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.3 Ege Bölgesi

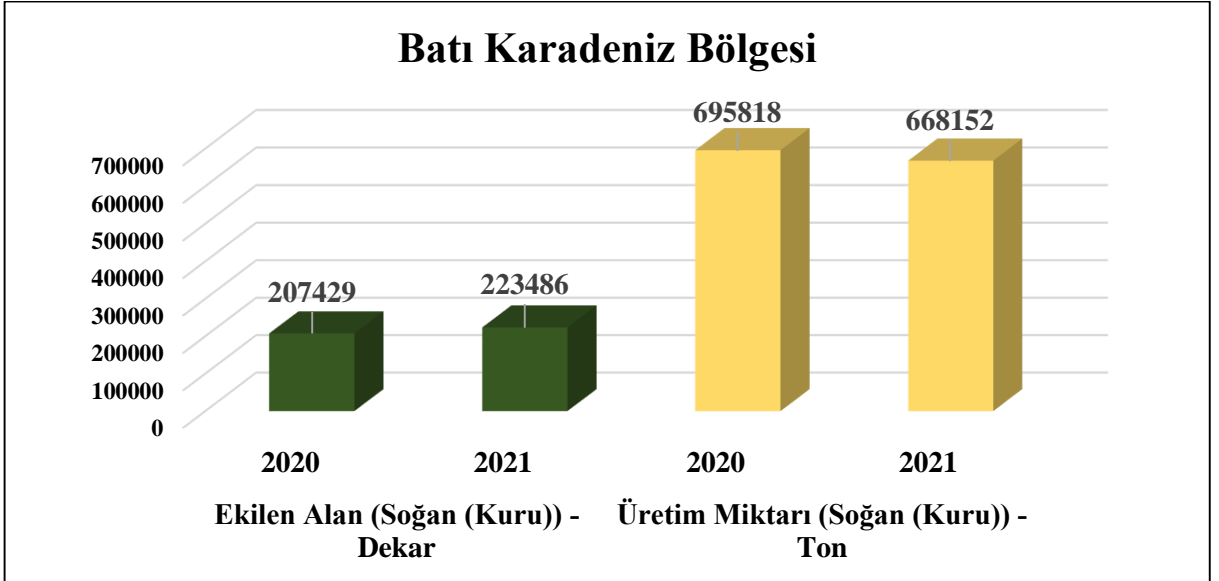
İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırılması (İBBS)'ye göre, bu bölgede Muğla, Aydın, Manisa, Afyonkarahisar, Denizli, Kütahya, Uşak ve İzmir illeri bulunmaktadır. Bu bölgede kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri birbirine paralel olarak değişim göstermiştir (Şekil 1.5) ve son iki yıl içerisinde artmıştır. Ekilen alan miktarı Batı Marmara Bölgesi'ne kısmen yakın değerlerde olsa da üretim miktarı değerleri arasında büyük bir fark vardır.



Şekil 1.5. Ege Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.4 Batı Karadeniz Bölgesi

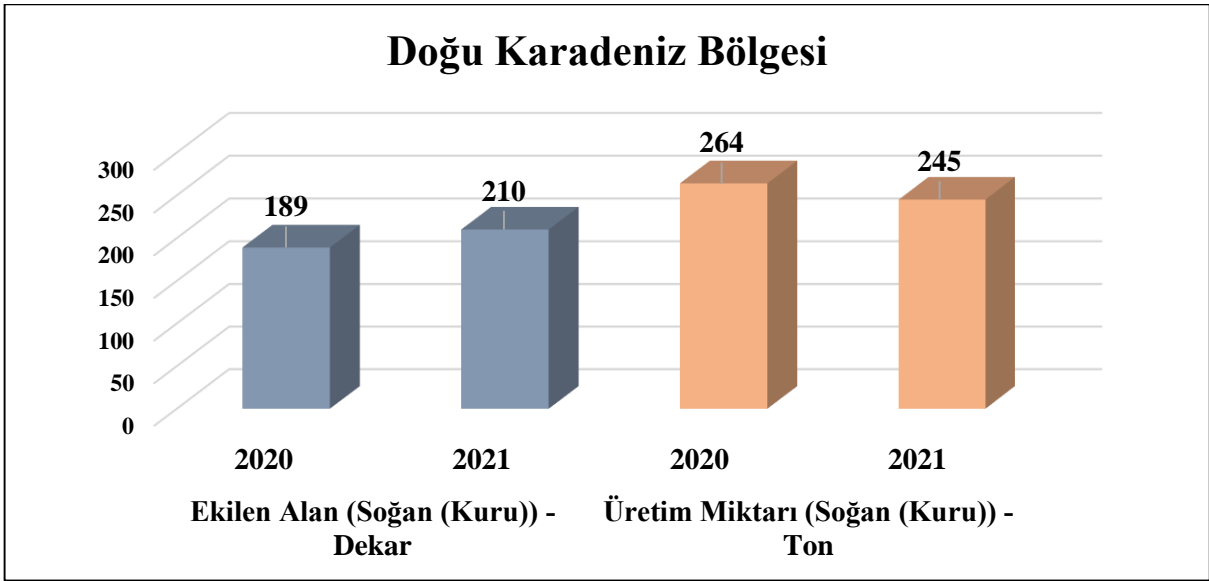
Batı Karadeniz Bölgesi, Amasya, Sinop, Karabük, Çankırı, Kastamonu, Samsun, Bartın, Çorum, Tokat ve Zonguldak illerini kapsamaktadır. Çorum ve Amasya illeri soğan üretiminde önemli bir paya sahip iki ilimizdir ve bunun etkisi Şekil 1.6’da da görülmektedir. Şekil 1.6 incelendiğinde, soğan ekili alan miktarının son yıllarda 223.486 da alana ulaştığı görülmektedir. Kuru soğan üretim miktarı son iki yılda azalış göstererek 695.818 ton’ dan 668.152 ton değerine gerilemiştir (TÜİK, 2022).



Şekil 1.6. Batı Karadeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.5 Doğu Karadeniz Bölgesi

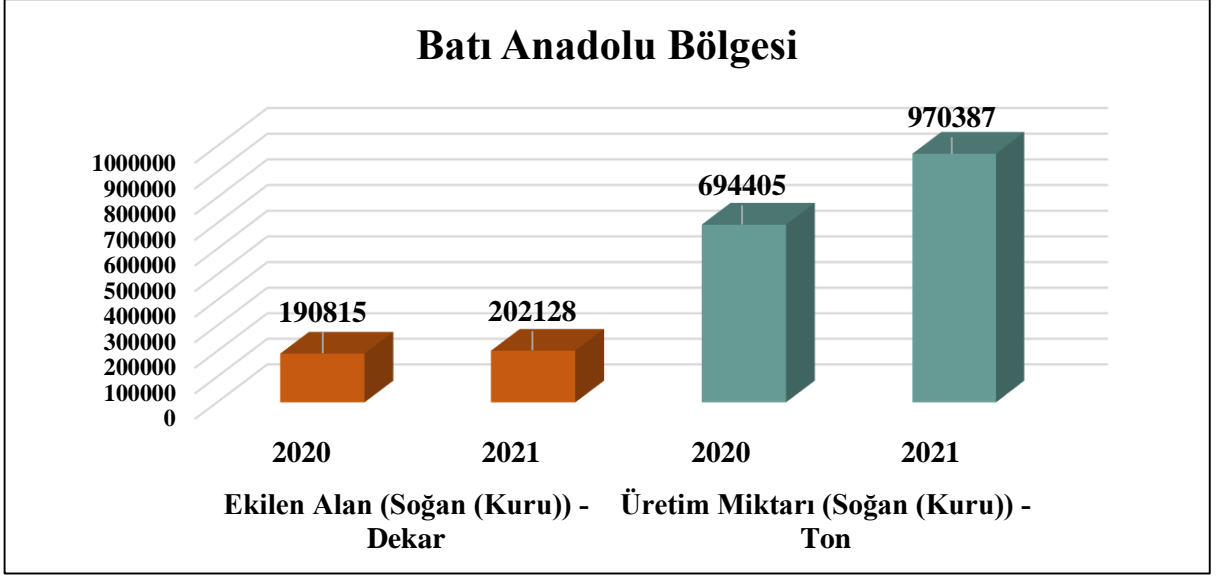
Doğu Karadeniz Bölgesi, Rize, Giresun, Artvin, Ordu, Gümüşhane ve Trabzon illerinden oluşan istatistiki bölgeyi tanımlamaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin hem tarımsal hem de ekonomik olarak tercih ettiği bitki türlerinin daha farklı olması, bu bölgede soğan ekilen alanları verimliliği kısıtlamıştır. Şekil 1.7 incelendiğinde, ekilen alan miktarında bir artış olsa da üretim miktarında azalma meydana gelmiştir. Soğan bitkisinin su stresine karşı hassas olması ve bu bölgenin ülkemizde en fazla yağış alan bölge olması, soğan bitkisinin yetiştiriciliğinin bu bölgede yaygın olmamasını ve verimdeki düşüşleri destekler niteliktedir.



Şekil 1.7. Doğu Karadeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.6 Batı Anadolu Bölgesi

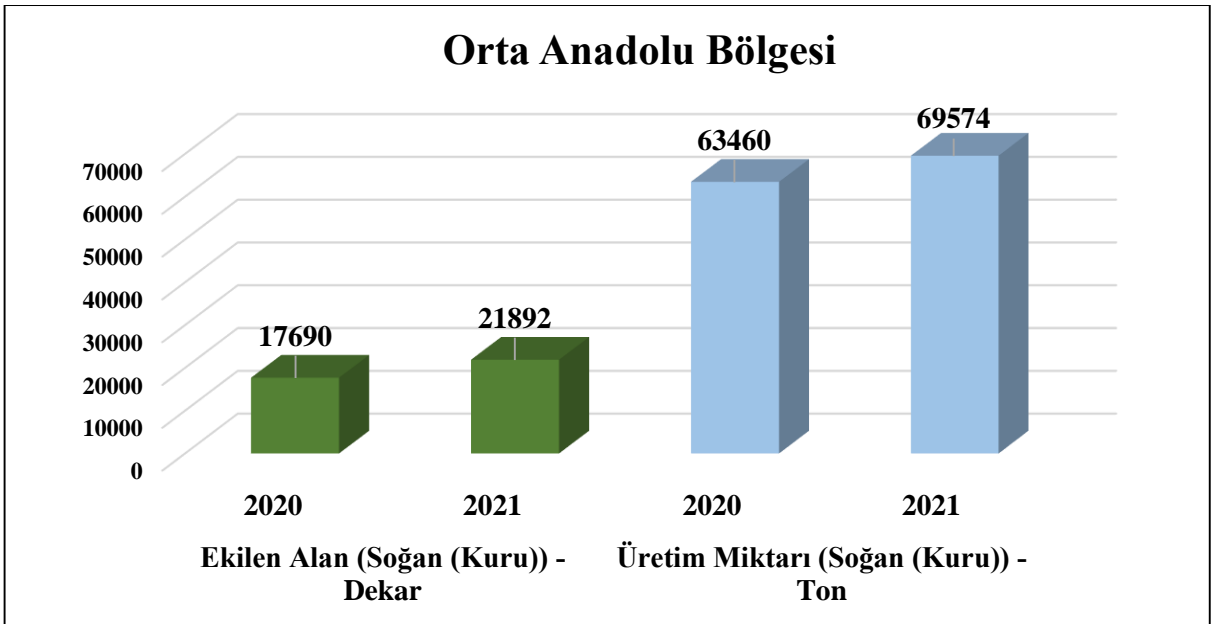
Tarımsal İstatistiki Bölge Sınıflandırılması (İBBS)'na göre ayrılmış olan bir diğer bölge de Batı Anadolu Bölgesi'dir. Bu istatistiki bölge, kuru soğan üretimin en fazla olduğu il Ankara ile Konya ve Karaman illerini içermektedir. Şekil 1.8 incelendiğinde hem ekilen alan hem de üretim miktarı değerleri oldukça yüksektir ve son iki yılda artış göstermiştir. Oransal olarak bakıldığında ekilen alanlarda meydana gelen artış miktarı, üretimdeki artış miktarından daha azdır. Bu durum birim alandan yüksek verimle üretim gerçekleştirildiğini göstermektedir.



Şekil 1.8. Batı Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.7 Orta Anadolu Bölgesi

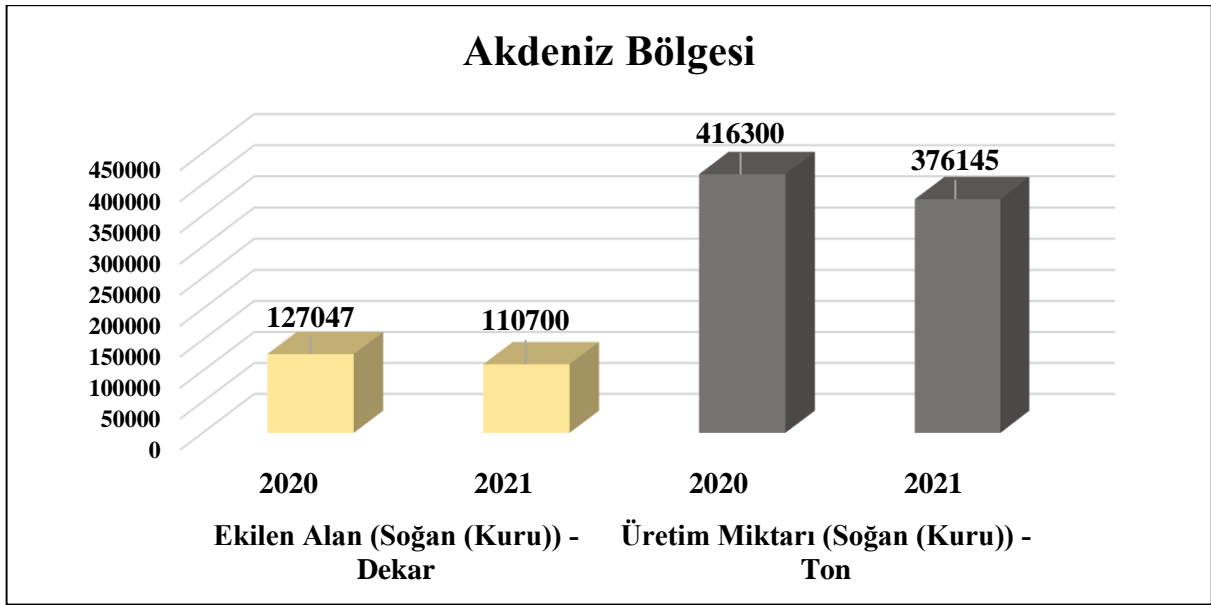
Kırıkkale, Sivas, Kırşehir, Aksaray, Nevşehir, Kayseri, Niğde ve Yozgat illeri bu bölgede yer almaktadır. Son yıllarda bu bölgede soğan ekilen alanı artmıştır ve aynı şekilde üretim miktarı da artış göstermiştir. Şekil 1.9' a göre ekilen alan 2020 yılında 17.690 da ve üretim miktarı 63.460 ton olarak kaydedilmiştir. 2021 yılında ise bu değerler sırasıyla 21.892 da ve 69.574 ton değerlerine ulaşmıştır (TÜİK, 2022).



Şekil 1.9. Orta Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.8 Akdeniz Bölgesi

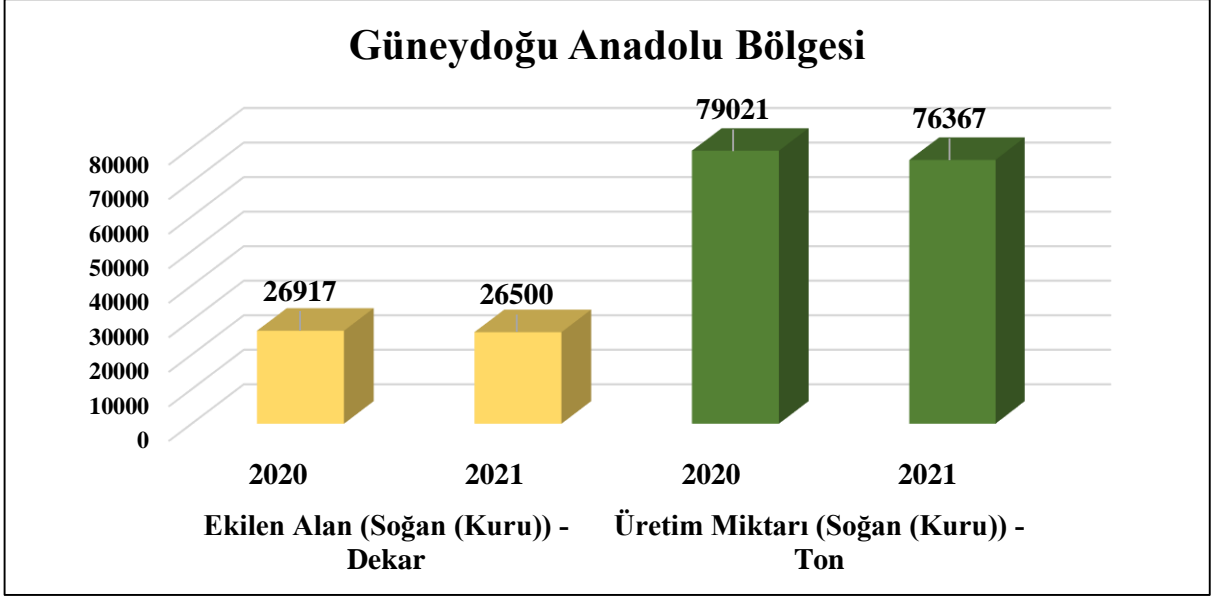
Akdeniz Bölgesi, Osmaniye, Isparta, Antalya, Burdur, Kahramanmaraş, Adana, Mersin ve Hatay illerini kapsamaktadır. Bu iller arasında Hatay, soğan üretiminde önemli bir paya sahiptir. Şekil 1.10 genel olarak Akdeniz Bölgesi'ndeki ekili alan ve üretim miktarı değerlerine bakıldığında, bu bölgedeki soğan üretiminin azaldığı görülmektedir. Ekilen alanlardaki azalmanın çiftçinin ekonomik olarak getirisi daha yüksek başka tarımsal ürünlere yönelmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 1.10. Akdeniz Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Kilis, Siirt, Mardin, Adıyaman, Diyarbakır, Batman, Şırnak, Gaziantep ve Şanlıurfa illeri bu istatistiki bölge sınırları içerisinde yer almaktadır. Soğan tarımına olan ilgi bu bölgede son yıllarda azalmıştır. Hem ekilen alan miktarında hem de üretim miktarında azalma meydana gelmiştir (Şekil 1.11). Ekilen alan miktarı, 26.917 da alandan 26.500 da alana düşmüştür. Üretim miktarı ise 79.021 ton soğandan 76.367 ton değerine gerilemiştir (TÜİK, 2022).



Şekil 1.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.10 Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi

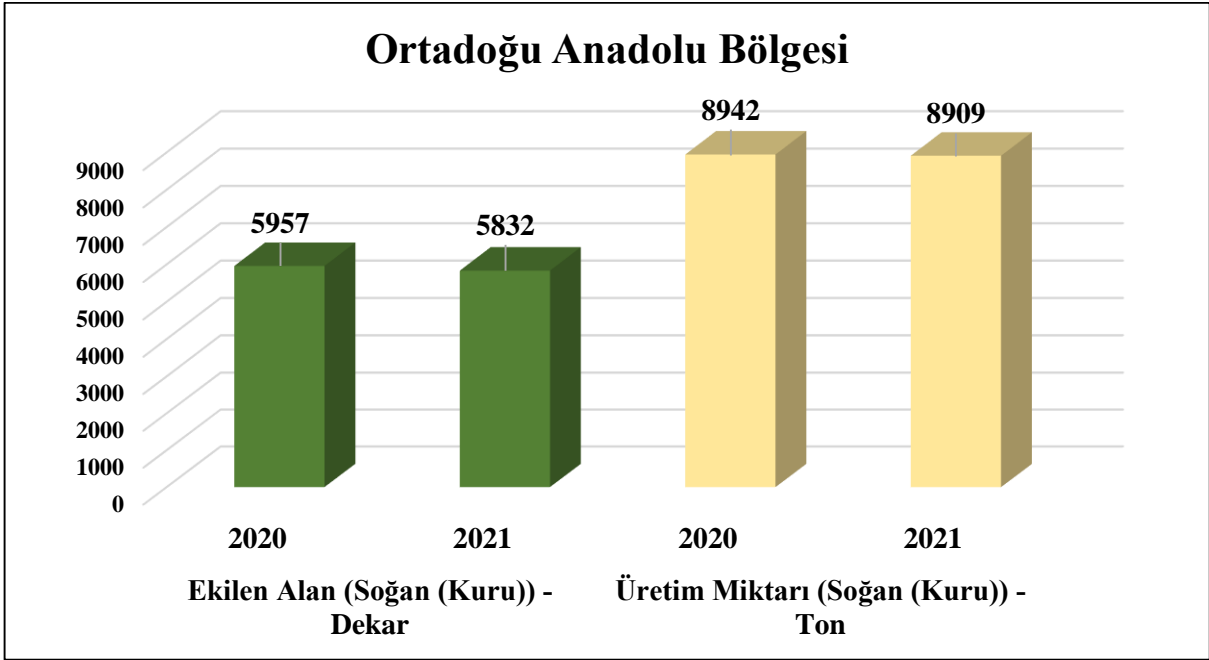
Ardahan, Ağrı, Bayburt, Iğdır, Erzincan, Kars ve Erzurum illeri Kuzey Anadolu Bölgesi'nde yer alan illerdir. İklimsel olarak karasal iklimin egemen olduğu bu illerde özellikle kış mevsiminde çok düşük sıcaklıkların görülmesi bitkileri olumsuz etkilemektedir. Soğan bitkisi Ocak-Mart aylarında ekimi gerçekleştirilen bir bitkidir. Şekil 1.12 değerlendirildiğinde, soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 1.12. Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.3.11 Ortadoğu Anadolu Bölgesi

Bu bölge, Hakkari, Tunceli, Muş, Malatya, Van, Bitlis, Bingöl ve Elazığ illerini içermektedir. Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'ne göre soğan üretiminde daha fazla paya sahiptir ancak son yıllarda az da olsa ekilen alan ve üretim değerlerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 1.13) (Şengül, Eslemian ve Eren, 2013).



Şekil 1.13 Ortadoğu Anadolu Bölgesi kuru soğan ekilen alan ve üretim miktarı değerleri (TÜİK, 2022)

1.1.3.4 Soğan bitkisinde fitoremediasyon çalışmaları

Allium cepa ve *Daucus carota*'nın topraktan ve yenilebilir ve yenmeyen farklı kısımlarından toksik metaller belirlenmiştir. Sonuçlar, topraktan sebzelere önemli bir metal hareketi olduğunu göstermiştir. Farklı sebzelerin farklı metal emme ve alım mekanizmaları vardır. *Allium cepa* ve *Daucus carota* gibi sebzelerin yetiştirilmesinden önce topraktaki ağır metal seviyeleri çinko > bakır > nikel > antimon > kobalt > mangan > arsenik > kadmiyum > kurşun > krom düzeyinde tespit edilmiştir. Çinko, bakır ve mangan gibi temel metaller ve temel olmayan metaller nikel, kobalt, arsenik, kadmiyum, antimon, krom ve kurşun dahil olmak üzere on sayıda ağır metal araştırma için seçilmiştir. Örnekler, *Allium cepa* ve *Daucus carota* sebzeleri ekim öncesi, ekim sonrası, yenen ve yenmeyen kısımları olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, topraktan sebzelerin farklı kısımlarına kadar tüm zincirde önemli metal hareketi göstermiştir. Toprak örneklerinin analizi yapılmıştır ve bitki örtüsünden sonra metal konsantrasyonunda önemli bir azalma olduğu belirlenmiştir. *Allium cepa* ve *Daucus Carota*'nın

farklı bölgelerindeki ağır metallerin sonuçları, sebzelerin yenilebilir kısmına yaklaşıldığında toksik metal hareketinin otomatik olarak durdurulduğu tespit etmiştir (Ahmad ve Ansari, 2020).

Çeşitli metal iyonları/metal nanoparçacıklar (NP'ler) hem bitkiler hem de hayvanlar için toksik olmasına rağmen, bazıları besin ve büyüme hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Gümüş nanoparçacıklara (Ag-NP'ler) maruz kalan bitkiler hem faydalı hem de zararlı etkiler göstermiştir. Ag-NP'lerin tüm konsantrasyonları, belirli bir bitki için etkili değildir, çünkü herhangi bir fazlalık, temel besinlerin geçişini engelleyebilmektedir. Bitkilere uygulanan Ag-NP'ler, genel büyüme ve gelişmelerini artırabilmektedir. Ag-NP'lerin yenilebilir bitkilerin (*Cucurbita pepo*, *Allium cepa*, lahana ve marul) ve sebzelerin kütlesini azalttığı, ancak birçok durumda tohumların çimlenmesini de indüklediği fark edilmiştir (Siddiqi ve Husen, 2022).

Kanalizasyon suyuna maruz kalan *Allium cepa* L. (soğan) bitki köklerinin akümülyasyon kapasitesini ve atık suyun *A. cepa* ve *Artemia salina* için akut toksik değerini değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Değerlendirmeler bitkiler toplandıktan hemen sonra ve soğan köklerinin temasından 24 saat sonra yapılmıştır. Elde edilen fizikokimyasal veriler, arıtılmış atık sudaki nitrojen (N) ve fosfor (P) seviyelerinde bir düşüş olduğunu göstermiştir. *A. cepa* sitotoksikite testi, kanalizasyon suyu uygulanan soğanlarda mitotik hücre bölünmesinde azalamaya neden olmuştur. Veriler soğan bitkisinin fitoremediasyondaki verimliliğini, etkinliğini ve canlılığını araştıran daha fazla çalışma yapılması önerilmiştir (Bertan, Baumbach, Tonial, Pokrywiecki ve Düsman, 2020).

Selenyum ve azotun yenilebilir soğanın bazı büyüme ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla 2017 yılında Razi Üniversitesinde tesadüf blokları deneme deseni kullanılarak üç tekrarlı faktöriyel deneme yapılmıştır. Çalışmada, birinci faktör, azotlu gübrenin (hektar başına 500 kg üre içeren toprak testine göre), kontrol, ekim sırasında toplam gübreleme, ekim sırasında yarı gübreleme, ekim sırasında üçüncü gübreleme olmak üzere altı seviyede ve farklı gelişim evrelerinde olmak üzere, üç selenyum seviyesi (0, 10 ve 50 mg L⁻¹ sodyum selenat) uygulaması yapılmıştır. En yüksek verim (21.44 kg/m²) ve taze ağırlık (251.83 g/soğan) olarak belirlenmiştir. Selenyumun soğanda verim, taze ağırlık, soğan uzunluğu ve çapı ve toplam flavonoid üzerinde olumlu etkisi olmuştur. Bu nedenle sodyum selenat ile nitrojen kullanımı soğanın soğan kuru ağırlığı (84.73 g/soğan) ve nitrojen kullanım verimliliği (1 kg/mg kuru ağırlık) gibi büyüme ve fizyolojik özelliklerini iyileştirmede önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, soğan üretimi için ekim sırasında 500 kg/ha üre uygulaması, soğan başlangıcı ve soğan oluşumunda her aşamada üçte bir oranında eşit olarak

bölünmüş uygulama yapılması ve soğan üretimi için 50 mg/L sodyum selenat uygulanması önerilmiştir (Veisialiakbari, Amerian ve Khoramivafa, 2020).

Bir araştırmada, iki ağır metalin (bakır ve çinko) soğan (*Allium cepa* L.) üzerindeki fitotoksik etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, bakırın 1,04 mg/L konsantrasyonlarında soğanın (*Allium cepa* L.) büyümesi üzerinde bakırın zararlı etkilerinin göz ardı edilemeyeceğini ve muhtemelen bir tehdit olabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, yoğun antropojenik aktivitelerin olduğu bölgelerde bakır ve çinkoya maruz kalmanın sık sık meydana gelmesi durumunda, *Allium cepa* L. bitkisinin toksik maddelerin önemli konsantrasyonunu emebilmesi ve günlük olarak önemli miktarda bu mahsulü tüketen insanlar üzerinde toksik etkiler göstermesi insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır (Ogeleka ve Nwudu, 2019).

Soğan, kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) ve kanola (*Brassica napus* L.) bitkileri ile kurşun (Pb) elementinin fitoremediasyon yöntemi ile arıtma çamurundan uzaklaştırılması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bitkilerin biriktirme kapasitelerini de test etmek için şelat eklemeleri yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarında bitkilerin şelat ilavesi ile gelişimlerinin ve kuru ağırlık miktarlarının değişiklik gösterdiği ve bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında Pb içeriği karşılaştırıldığında en yüksek birikimin kök bölgesinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek akümülyasyon soğan ve kinoa bitkilerinde olmuştur. Hiperakümülatör bir bitki olduğu bilinen kanola bitkisine şelat uygulaması yapıldığında hiperakümülatör özellik göstermediği görülmüştür (Kılıç ve İpek, 2019).

Özyürek (2016)'nın yaptığı bir çalışmada, *Lycopersicon esculentum* (domates), *Capsicum annuum* (biber), *Phaseolus vulgaris* (fasulye), *Allium cepa* (soğan) bitkilerinden, deneme arazisindeki su kaynaklarından ve bitkilerin yetiştirildiği araziden alınan toprak örneklerinde çinko, demir, bakır, kurşun, nikel, kadmiyum ve krom içerikleri ICP- OES ile tespit edilmiştir. Çalışma sonunda soğan bitkisinin yetiştirildiği toprak örneği içeriğinde 4,7427 µ/g ve 4,0840 µ/g çinko içeriği belirlenmiştir. Bazı sebzelerde de Fe içeriği sınır değerinin üzerinde seyretmiştir (Özyürek, 2016).

Besin elementlerinin konsantrasyonu, sebzelerin önemli bir kalite özelliğidir ve çeşitler arasındaki birikimdeki farklılıklar, ağır metallerin düşük birikim mekanizması hakkında ipuçları sağlayabilir. 25 adet soğan çeşidinde Cd'nin besin elementlerinin birikimi üzerindeki etkilerini araştırmak için dört kadmiyum (Cd) konsantrasyonu (1.0, 2.5 ve 5.0 mg/kg) altında saksı kültürü deneyleri düzenlenmiştir. Yalancı gövde ve yapraklarda Cd ve besin elementleri

arasında önemli pozitif korelasyonlar ($p < 0.05$) meydana gelmiştir. Sonuçlar, Cd ve besin elementleri arasında ve çeşitler arasında besin elementlerinin birikimi üzerinde sinerjik bir etki olduğunu göstermiştir. Ek olarak, Cd'nin alımı ve translokasyon süreci, soğandaki Mn ile yakından ilişkilendirilmiştir (Li, Zhou, Sun ve Ren, 2016).

Slovak Cumhuriyeti'nde yürütülen çevresel çalışmada, seçilen ağır metallerin (Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd) toprakta ve soğanda (*Allium cepa* L.) içeriğine ve ayrıca ağır metaller arasındaki olası korelasyonlara dayalı olarak soğan kalitesine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar, izlenen bazı bölgelerde ölçülen değerlerin, 220/2004 sayılı Kanun (Slovak Cumhuriyeti'nde geçerlidir) tarafından verilen sınır değerlerle ve Avrupa Komisyonu tarafından önerilen eşik değerlerle karşılaştırıldığında aşıldığını göstermiştir. Toplam kadmiyum içeriği değerleri 1.15 ila 1.34 mg kg⁻¹ aralığında ve kurşunun mobil formunun içeriği 0.19 ila 1.09 mg kg⁻¹ aralığında bulunmuştur. Soğanların tüm numunelerinde (Klasov yöresinde yetişen hariç) kurşun içeriği de aşılmış ve değerler 0,05 ile 0,21 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir (Bystrická vd., 2015).

Priya ve ark. (2014), iki yaygın bitki olan *Brassica juncea* (hardal) ve *Allium cepa* (soğan bitkisi) kullanılarak atık suyun arıtıldığını bildirmiştir. Standart kadmiyum içeriği *Brassica juncea* için 0,017, 0,009 ve 0,0088 µg L⁻¹ ve *Allium cepa* için 0,023, 0,012 ve 0,009 µg L⁻¹ değerlerinde bulunmuştur. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, fitoremediasyon mekanizmasında bu iki farklı bitki kullanılarak Jaipur'daki iki farklı yerde toplanan atık su arıtımında kullanılabilmesi belirtilmiştir (Priya, Tiyasha ve Bhagat, 2014).

Çevre temizliği için özel olarak seçilmiş ve tasarlanmış metal biriktirme bitkilerinin kullanımı, bitkilerin toprak organizmaları ile kirleticileri çıkarabildiği veya zararsız ve çoğu zaman değerli biçimlere dönüştürebildiği sistem "fitoremediasyon" teknolojisi olarak adlandırılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, bitkiler katı çamur ve kanalizasyon arıtma tesisinden toplanmıştır. Yaklaşık 6-10 ayrı numune birlikte karıştırılmış ve analiz için ortalama bir numune belirlenmiştir. *Mentha spicata* ve *Allium cepa* kök ve sürgünlerindeki ağır metal konsantrasyonunun karşılaştırmalı çalışması, bunların yüksek ağır metal biriktirme kapasitelerini göstermiştir. Kanalizasyon arıtma tesisinde, *Mentha spicata* ve *Allium cepa* köklerinde Cd, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonu sırasıyla 0.833 ila 1.88 arasında, 6.84 ila 7.96 arasında, 25.3 ila 21.56 arasında ve <0.05 mg kg⁻¹ olacak şekilde değişmiştir. Bitkilerin sürgünlerindeki Cd, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonu ise sırasıyla 0.43 ila 1.96 arasında, 6.20 ila 32.6 arasında, 26.7 ila 24.43 arasında ve <0.05 mg kg⁻¹ olacak şekilde değişmiştir. Bu nedenle

yukarıda belirtilen bitki türleri toprak ve çamurlardan ağır metalleri temizlemek için kullanımı uygun görülmüştür (Prasann, Biswapati ve Padmanabh, 2011).

Allium bitkileri, fitoşelatin, tiyosülfinat ve sülfoksit sentezinin temel bir öncüsü olarak fitoşelatinler ve sistein ile benzer metabolik yola sahip birçok farklı sülfürik bileşiğin kaynağı olarak bilinmektedir. Birkaç *Allium* türü gıda ve baharat bitkileri olduğundan, ağır metal alımları ve dağılımı hakkındaki bilgilerin yanı sıra gıda zincirlerindeki potansiyel risklerin değerlendirilmesi büyük bir endişe kaynağı olarak görülmektedir. Hidroponik olarak yetiştirilen *Allium sativum* bitkisinin kadmiyumu biriktirdiği bildirilmiştir. 0.01 M Cd' ye maruz kalan bitkilerin, kontrollere göre 1826 kat daha fazla Cd içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Soudek vd., 2009).

Fitoremediasyon ile ilgili bir çalışmada, *Allium fistulosum* (yeşil soğan) ve *Pteris cretica* cv *Mayii* (ay ışığı eğrelti otları) araştırılmıştır. Yeşil soğanlar kurşun içeren toprağa ekilmiştir ve bitkiler tarafından kurşun alımını arttırmak için şelatlama maddeleri kullanılmıştır. Şelatlayıcı reaktiflerin yokluğunda kurşun alımının düşük olduğu bildirilmiştir. Etilendiamintetraasetik asit (EDTA), yeşil soğan saplarındaki kurşun konsantrasyonunu önemli ölçüde artırmıştır (Cho, Bolick ve Butcher, 2009).

Allium cepa'da 137Cs birikimi Bystrzejska-Piotrowska ve Urban (2004) tarafından rapor edilmiştir. En yüksek birikim köklerde tespit edilmiştir.

Wierzbicka (1999), *Allium cepa* ve 22 bitki grubunun (türler, çeşitler, popülasyonlar) kurşun toleransının kapsamını karşılaştırmıştır. *A. cepa*'nın yüksek seviyede tolerans gösterdiğini belirlemiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Sürdürülebilir tarımın temeli olan toprakların sürdürülebilir verimliğinin sağlanması için başta tarımsal faaliyetlerden gübreleme ve tarımsal ilaçların kullanılması hem toprak sağlığını hem bitki sağlığını hem de insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Birçok yolla ağır metal ile kirlenen tarım topraklarının kirliliğinin gideriminde fiziksel, kimyasal, biyolojik olmak üzere birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin geniş alanlarda uygulanabilirliği mümkün değildir. Ekonomik ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilmemektedir. Bu nedenle son yıllarda yeni bir teknoloji olan yeşil ıslah olarak ülkemizde de yaygınlaşan fitoremediasyon ekonomik uygulanabilir ve cazip bir yöntem olarak tercih

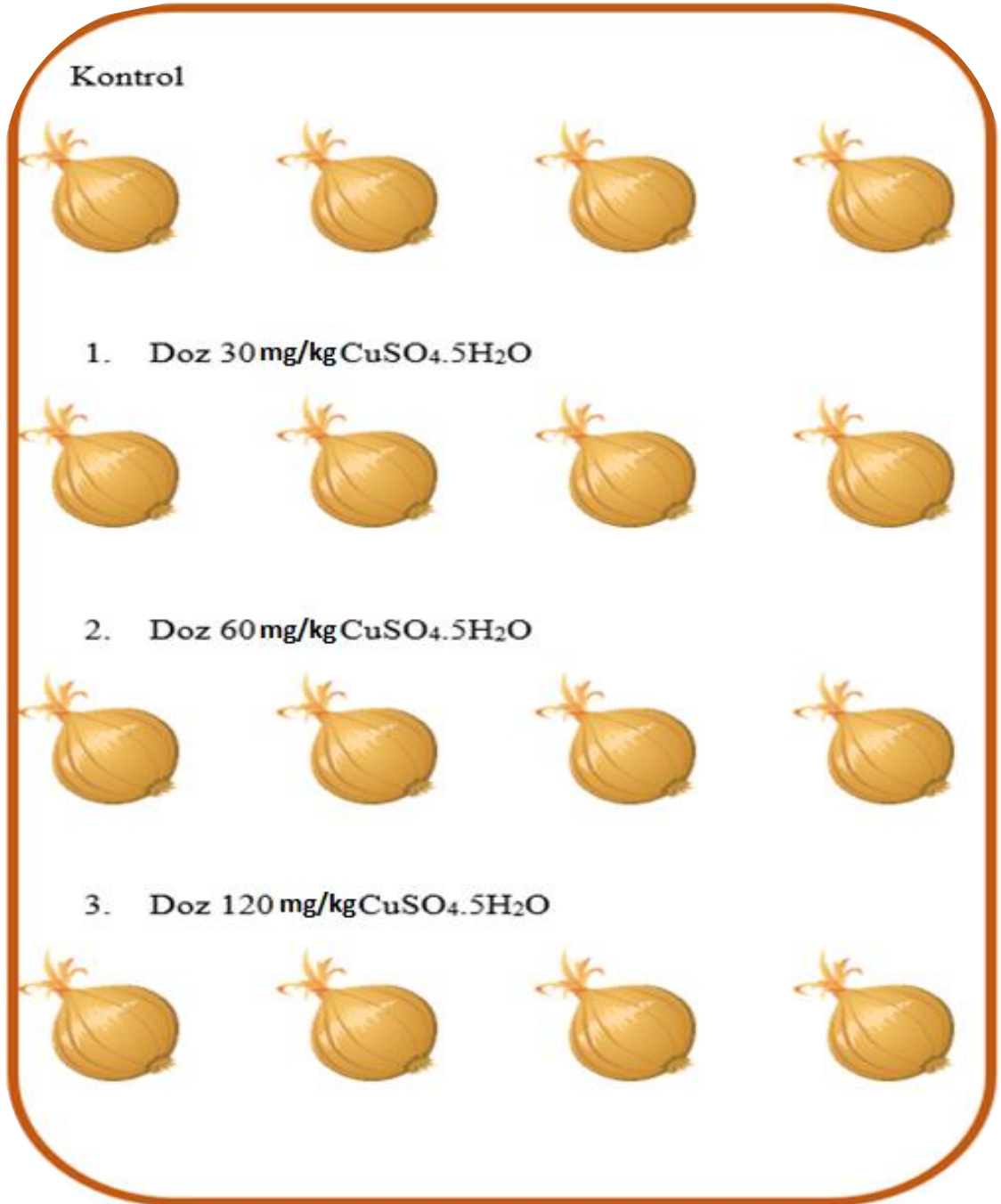
edilmeye başlanmıştır. Bununla birlikte ülkemizin bulunduğu coğrafi konum dolayısıyla aynı anda farklı iklimlerin görüldüğü ve buna bağlı olarak da çok çeşitli tarımsal ürünlerin yetiştirilebildiği topraklara sahiptir. Bu nedenle toprak kirliliği gideriminde yeni bir teknoloji olan fitoremediasyon yönteminin kullanımında önemli bir parametre olan hiperakümülatör bitkiler belirlenmesi yöntemin aktif olarak kullanımında kolaylık sağlayacaktır.

Bu çalışmada, dünyada ve ülkemizde önemli bir besin kaynağı olan, başta gıda ve sağlık endüstrisi olmak üzere birçok alanda kullanılabilen soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin önemi, yetiştiriciliği ve Türkiye'deki durumu değerlendirilerek bu bitkinin ağır metalleri biriktirme ve fitoremediasyonda kullanımı ve bakır (Cu) kirleticisi karşısında nasıl davrandığı değerlendirilmiştir. Tarımsal alanlarda ortaya çıkan ağır metal kirliliği problemi için uygulanabilir bir yöntem olan fitoremediasyon yöntemi ile bu bitkide ve bu toksik düzeylerde araştırmada kullanılan bakır kirleticisi ile daha önce kullanılmaması, bu araştırmadan elde edilecek sonuçların ve verilerin diğer çalışmalara kaynaklık etmesini sağlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Materyal olarak soğan (*Allium cepa* L.) bitkisi kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında, saksılara konulan toprakta yetiştirilen bu bitkide, kirletici olarak bakır (Cu) ağır metali uygulanmıştır. Bitkiler deneme süresince düzenli olarak tarla kapasitesine göre sulanmıştır. Deneme planı Şekil 2.1'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2.1. Deneme planı

2.1.1 Denemede Kullanılan Bitki

Allium, *Amaryllidaceae*, *Liliaceae* ve ayrı bir aile olan *Alliaceae* ailelerine ait monokotiledon bir cinistir. (Havey, 1993). Soğanlar iyi bilinen ve içeriği yüksek flavonoid kaynaklarıdır. Flavonoidler, organosülfür bileşikleri ve fruktanlar olmak üzere çok önemli fitokimyasal bileşikler içermektedir. Bunların insan sağlığı üzerinde yararlı olduğu düşünülmektedir. Soğanlar, güçlü antioksidanlar olan flavonoidlere ve organosülfür bileşiklerine büyük katkı sağlamaktadır (Pareek, Sagar, Sharma ve Kumar, 2018). Soğanda bulunan vitamin, mineral madde ve besin maddeleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Soğan bitkisi içeriğinde bulunan besin maddeleri, vitaminler ve mineral maddeler (Bayar, 2019)

Besin Maddeleri (g/100)						
	Kuru madde	Enerji (Cal)	Su	Protein	Yağ	Toplam şeker
Baş soğan	9-20	42-47	80-91	1-2,11	0,1-0,2	8,9-10
Vitaminler (mg/100 g)						
	Vit-A	B1	B2	Nincin	Vit-C	
Baş soğan	50	0,03-0,05	0,04-0,07	0,02-0,05	9-28	
Mineral Maddeler (mg/100 g)						
	Ca	Fe	Mg	P	K	S
Baş soğan	20-32	0,2-0,5	14-15	44-45	40-130	70

Ekili soğan (*A. cepa* L.), frenk soğanı (*A. schoenoprasum* L.), Japon salkım soğanı (*A. fistulosum* L.), pırasa (*A. ampeloprasum* L. var. *porrum*, syn. *A. porrum* G. Don).ve sarımsak (*A. sativum* L.) dahil olmak üzere 500'den fazla türün çeşitli taksonudur ve *Allium*'lar tarih öncesi çağlardan beri gıda, ilaç veya dini amaçlar için yetiştirilmektedir (Havey, 1993).

2.1.2 Denemede Kullanılan Kirletici

Bakır, temel bir mikro besindir. Periyodik tablonun XI grubuna ve IV. Periyoduna aittir. Cu, bitki ve hayvanlarda çeşitli metabolik ve fizyolojik süreçlerde rolünü bulur. Sitokrom oksidaz, nitrat redüktaz vb. gibi birçok enzimin temel bileşenidir. Oda sıcaklığında yoğunluğu 5 g cm^{-3} 'ün üzerindedir, bu nedenle ağır metal olarak sınıflandırılır. Toprağın pH, toprak türü, organik madde içeriği, kation değişim kapasitesi ve toprak dokusu gibi çeşitli özellikleri, Cu konsantrasyonunu ve topraktaki dağılımını etkiler. Topraktaki normal Cu konsantrasyonu 2.0 ile 100 mg kg^{-1} arasında değişir (Kumar vd., 2021).

Bakır toksisitesi sadece artan endüstriyel faaliyetlerle değil, aynı zamanda metal işleme, çamur kullanımı, elektro kaplama, metal madenciliği, boyalar, gübre, boyalar, fungusitler ve pestisitler (Bordo karışımı [$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$]) ile de çevreye yayılmaktadır (Vogelweith ve Thiéry, 2018).

Bakır yosun öldürücülerde ve Cu oksiklorür, Cu sülfat ve Cu hidroksitler gibi böcek ilaçlarında yaygın olarak kullanılan temel bir elementtir. Bakır sülfat, bitki hastalıklarına karşı kullanılan ilk kimyasal madde olarak kabul edilmektedir (Gad El-Hak ve Mobarak, 2019).

Bakır, antimikrobiyal özelliklerinden dolayı klinik endüstride anahtar bir metal olarak kabul edilir. Bu nedenle, Cu, nano parçacıkları da dahil olmak üzere, hastanelerde enfeksiyonların yayılmasını engellemek için tıpta ve klinik cihazlarda / uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Anjum vd., 2015).

Bakır, bitki büyümesi için hayati önem taşıyan mikro bitki besindir ve genellikle $5\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$ Cu, bitki dokularında bulunmaktadır. Bakır, CO_2 asimilasyonunda ve ATP üretiminde kilit bir işlev görür. Fotosentetik sistemin plastosiyanini ve elektron taşıma zincirinin sitokrom oksidazı gibi çeşitli proteinlerin ana bileşenidir. Bitkilerde kritik sınırların ötesinde Cu konsantrasyonu, bitki büyümesini etkiler, yaprak klorozunu teşvik eder ve sito-toksisiteye neden olmaktadır. Gıda bitkilerinde önerilen Cu değeri 30 mg kg^{-1} 'dır. Ayrıca bitkilerde Cu fazlalığı bitkiler için zararlı olan reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturarak oksidatif stresi değiştirir ve bunlar bitkilerde Cu toksisitesini azaltmada zorunlu işlev gören peroksit dismutaz ve peroksidaz tarafından atılır. Lipid peroksidasyonu yoluyla oksidatif stres, çok sayıda metabolik yolun bozulmasına neden olur ve temel makro moleküllere zarar vermektedir (Kumar vd., 2021).

2.1.3 Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprağın özellikleri, Çizelge 2.2’de verilmiştir. Toprak analizi sonuçları, deneme kurulmadan önce kirlenici uygulanmamış ana toprak örneğine aittir. Çizelge 2.1’deki veriler, araştırma alanındaki toprağın, orta kireçli ve killi tınlı bir toprak olduğunu göstermektedir. Soğan bitkisi hafif bünyeli, su geçirgenliği yüksek, pH değeri 6-7 arasında olan ve organik madde içeriği bakımından zengin olan topraklarda iyi gelişim göstermektedir. Bitkinin çıkış zamanında toprakta fazla oranda gübre bulunması toprak tuzluluğunu artırmaktadır ve bitki tuz stresine karşı hassastır (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2008). Denemede toprağın pH değeri ise analizler sonucunda 7,61 olarak belirlenmiştir ve hafif alkali olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.2. Deneme toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Lindsay ve Norwell, 1978; FAO,1990; Tovep 1991; Tuncay, 1994; Güneş vd., 2010)

	Birim	Ölçüm Sonuçları	Değerlendirme
pH		7,61	Hafif alkali
Tuz	%	0,06	Tuzsuz
Kireç	%	6,23	Orta kireçli
Tekstür	%	36,976 kum 36,52 kil 26,504 silt	Killi tınlı
Organik Madde	%	2,16	yetersiz
Toplam Azot (N)	%	0,11	Noksan
Fosfor (P)	mg/kg	20,16	İyi
Potasyum (K)	mg/kg	185,59	Yeterli
Kalsiyum (Ca)	mg/kg	7.576,11	Fazla
Magnezyum (Mg)	mg/kg	421,87	Yeterli
Demir (Fe)	mg/kg	5,37	Toksik
Bakır (Cu)	mg/kg	1,99	Toksik
Çinko (Zn)	mg/kg	1,30	Yeterli
Mangan (Mn)	mg/kg	40,70	Yeterli

2.2 Yöntem

Denemenin yürütülmesi ve ağır metal uygulamaları ile bitki ve toprak örneklerinin alınması ve gerçekleştirilen analizler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

2.2.1 Denemenin Yürütülmesi

Deneme Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'nin Ziraat Fakültesi'nde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Denemede kullanılan soğanlar ticari olarak alınmıştır. Topraklar 4mm elekten geçirilip kapasitesi 4 kg olan saksılara konulmuştur. Sonrasında 30, 60 ve 120 mg kg⁻¹ dozlarda kirleticiler saksılara uygulanarak topraklar bir ay boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra soğanlar saksılara uygun şekilde dikilmiştir. Bitkiler 2ay sonra hasat edilmiştir. Deneme "Tesadüf Blokları Deneme Deseni" 'ne uygun şekilde yürütülmüştür.

2.2.2 Toprağa Bakır (Cu) Ağır Metalinin Uygulanması

Denemede 1 bitki ve 1 kirletici (Cu) 3 tekerrürlü olarak uygulanmıştır ve her bitki için kontrol saksıları da dahil toplamda 12 saksı kullanmıştır. Saksılara bakır (CuSO₄.5H₂O) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ağır metalin topraktaki absorpsiyonu için 1 ay inkübe edilmiştir.

2.2.3 Hasat ve Bazı Agromorfolojik Ölçümler

Soğanlar gelişme periyodunun tamamlanmasının ardından hasat gerçekleştirilerek bütün saksılardaki soğan için toprak üstü aksam uzunluğu, klorofil değeri, bitki yaş ve kuru ağırlığı, bitki kök yaş ve kuru ağırlığı ölçülerek not edilmiştir. Klorofil içeriğinin ölçümünde klorofil metre cihazı (Minolta SPAD-502, Osaka, Japan) kullanılmıştır. Toprak üstü aksamdan alınan örnekler ve kök bölgesinden alınan örnekler önce hava kuru ortamda daha sonra 65 °C'de 48 saat boyunca etüvde (Şekil 2.2) kurutulmuştur (Kacar ve İnal, 2010).



Şekil 2.2. Bitki toprak üstü ve kök aksamalarının etüvde kurutulması (Orijinal, 2022)

Kurutma işlemi tamamlanan soğanlar aksamaları hassas terazide tartılarak istatistiksel analiz için not edilmiştir.

2.2.4 Bitki Analizleri

Soğan bitkisinin kök ve toprak üstü bölgelerinin önce hava kuru daha sonra etüvde 65 °C'de 48 saat boyunca kurutma işleminden sonra (Şekil 2.3) Cu ağır metalinin analizi ve diğer bitki besin elementlerinin analizi (makro-mikro) için NABİLTEM'e (Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) yönlendirilmiştir.



Şekil 2.3. Hasat sonrasında hava kuru ortamda bekletilen bitki toprak üstü, toprak ve kök örnekleri (Orijinal, 2022)

Azot bitki besin elementinin analizinde Gerhardt Kjeldathern yakma ve Gerhardt Vapodest 20 S disitilasyon cihazı kullanılmıştır. Örneklerdeki ağır metal içeriği ve makro-mikro besin elementleri de ICP-OES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir (Kacar ve İnal, 2010).

2.2.5 Toprak Analizleri

Bitki hasadı gerçekleştikten sonra saksılardan alınan örnekler diğer örnekler gibi hava kuru ortamda bekletilerek (Şekil 2.4) 2 mm'lik elekten geçirilip analizlere uygun hale getirilmiştir.



Şekil 2.4. Hava kuru ortamda bekletilen toprak örnekleri (Orijinal, 2022)

Deney öncesi Toprak kimliğinin belirlenmesi ve topraktaki Cu içeriğinin ve diğer makro-mikro bitki besin elementi analizleri T.C. Tekirdağ Ticaret Borsası Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

2.2.5.1 pH analizi

Ph değerinin elektrometrik analizi Sağlam (2012)'ye göre gerçekleştirilmiştir. Toprak-su karışımı 1:2,5 oranında oluşturulmuştur ve H⁺ iyonu için özel olan cam elektrodu kullanılmıştır.

2.2.5.2 EC analizi

Toprağın tuzluluk seviyesi 1:2.5'lik toprak-su karışımına elektrik iletkenlik cihazı (Wheatstone Bridge) konularak belirlenmiştir (Sağlam, 2012).

2.2.5.3 Kireç analizi

Topraktaki kireç miktarı volümetrik olarak Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Sağlam, 2012).

2.2.5.4 Organik madde analizi

Organik madde analizi Smith-Weldon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. (Sağlam, 2012).

2.2.5.5 Tekstür analizi

Toprak rneklerinin tekstür analizi Bouyoucos'un yöntemi ile tekstürel fraksiyonlar ortaya konulmuştur (Bouyoucos,1955).

2.2.5.6 Makro element analizi (P, K, Mg, Ca)

Topraktaki yarayışlı makro element içeriği DTPA yöntemine göre ICP-OES cihazı ile tespit edilmiştir (Lindsay ve Norvel, 1978).

2.2.5.7 Mikro element analizi (Fe, Mn, Zn, B)

Topraktaki yarayışlı mikro element içeriği ICP-OES cihazı ile DTPA yöntemine göre belirlenmiştir (Lindsay ve Norvel, 1978).

2.2.5.8 Cu bitki besin elementi analizi

Toprak rneklerindeki Cu içeriği, 0,005 M DTPA + 0,01 M CaCl₂ + 0,1 M TEA (pH 7,3) ile ekstrakte edildikten sonra (Lindsay ve Norvell, 1978) ekstraktaki yarayışlı Cu miktarı ICP-OES ile tespit edilmiştir.

2.2.6 İstatistiksel Analiz

Araştırma sonunda, veriler SPSS® Statistics 18 for Windows istatistik paket programı ile analiz edilmiştir. Farklı dozlarda uygulama yapılan ağır metalin bitkide oluşturduğu farklılıkları tespit etmek için elde edilen verilerde varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Elde edilen ortalama değerlerde önemlilik değerlendirmesi Duncan Multiple Range testine göre gerçekleştirilmiştir.



3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Agromorfolojik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

Denemede, soğan (*Allium cepa* L.) bitkisine bakır (Cu) ağır metali artan dozlarda (30, 60 ve 120 mg kg⁻¹) olarak uygulanmıştır ve bu ağır metalin bitkide birikimi ve bitki gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 3.1’de soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin, bitki yaş ve bitki kuru ağırlık, kök yaş ve kök kuru ağırlık, bitki boyu, kök boyu ve klorofil içeriği (SPAD) değerlerinin varyans analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisine artan dozlarda Cu ağır metali uygulaması sonucunda elde edilen agromorfolojik veriler

	Kontrol	30 mg kg⁻¹	60 mg kg⁻¹	120 mg kg⁻¹
Bitki Yaş Ağırlığı (gr)	29,49±4,98a	17,81±0,62b	20,80±1,33b	14,56±0,65b
Bitki Kuru Ağırlığı (gr)	2,046±0,17a	1,513±0,14b	1,70±0,08ab	0,84±0,04c
Kök Yaş Ağırlığı (gr)	154,98±10,44a	181,67±8,07a	156,50±4,33a	181,54±6,69a
Kök Kuru Ağırlığı (gr)	13,13±1,29a	10,82±0,61a	10,51±0,34a	12,27±0,87a
Bitki Boyu (cm)	42,83±1,48a	28,50±0,86b	32,33±1,85b	30,16±1,16b
Dal sayısı	22,00±1,52a	17,00±0,57b	18,33±0,88b	16,00±0,57b
Klorofil içeriği (SPAD birimi)	58,43±4,90a	53,66±0,89a	49,90±5,87ab	39,33±1,52b

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01’de önemi gösterir, öd: önemli değil.

Çizelge 3.1 değerlendirildiğinde bitki yaş ağırlığının, kontrol bitkisine kıyasla, artan dozlarda uygulanan Cu elementi ile azaldığı tespit edilmiştir. Dozlar arasında istatistiksel olarak bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bitki kuru ağırlığı ise her dozda farklı grupta yer aldığı ve kontrol bitkisi ile karşılaştırıldığında azaldığı görülmektedir. En düşük bitki kuru ağırlığı 120 mg kg⁻¹ Cu uygulaması yapılan bitkilerde elde edilmiştir. Kök yaş ve kök kuru ağırlıkları tüm uygulamalarda istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır ve bir farklılık tespit edilmemiştir.

Bitki boyu ve dal sayısı artan dozlarda Cu uygulaması ile azalmıştır. Bu özellikler bütün Cu uygulamalarında istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Bitki klorofil içeriği ise artan dozlarda Cu uygulaması ile azalmıştır. En düşük klorofil içeriği en yüksek doz 120 mg kg⁻¹ Cu uygulamasında tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu sonuçlara göre yüksek dozlarda uygulanan Cu ağır metalinin bitkide toksik etki göstererek bitkinin gelişimini engellediği söylenebilir.



Şekil 3.1. Kontrol saksılarındaki, 30 mg kg⁻¹, 60 mg kg⁻¹ ve 120 mg kg⁻¹ Cu uygulaması yapılan saksılardaki bitkilerin hasat sonrası görüntüleri (Orijinal,2022)

3.2 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Toprak üstü Aksamındaki Cu İçeriğinin Değişimi

Tehlikeli kimyasalların çevreye salınımı gün geçtikçe artmakta ve bu da ekosistemlerin dengesini etkilemektedir. Su kütlelerindeki ve tarım topraklarındaki ağır metaller ve diğer kirleticiler, metallerin mahsullerde birikmesine ve mahsullerin farklı kısımlarında birikmesine

neden olmaktadır. Bitkilerdeki yüksek ağır metal seviyeleri, metabolizmayı ve yedek gıda malzemelerinin büyüyen bölgelere taşınmasını ve sonraki kullanımlarını baskılamaktadır. Bazı esansiyel olmayan metaller bilinmeyen biyolojik veya fizyolojik fonksiyonlara sahiptir. Ancak toksik ağır metal iyonlarının bitkiler tarafından hiper birikimi, daha yüksek alım oranları, verimli translokasyon ve doku sistemlerinde özellikle büyüme bölgesine birikme gibi fizyolojik mekanizmalara bağlıdır (Abubacker ve Sathya, 2017).

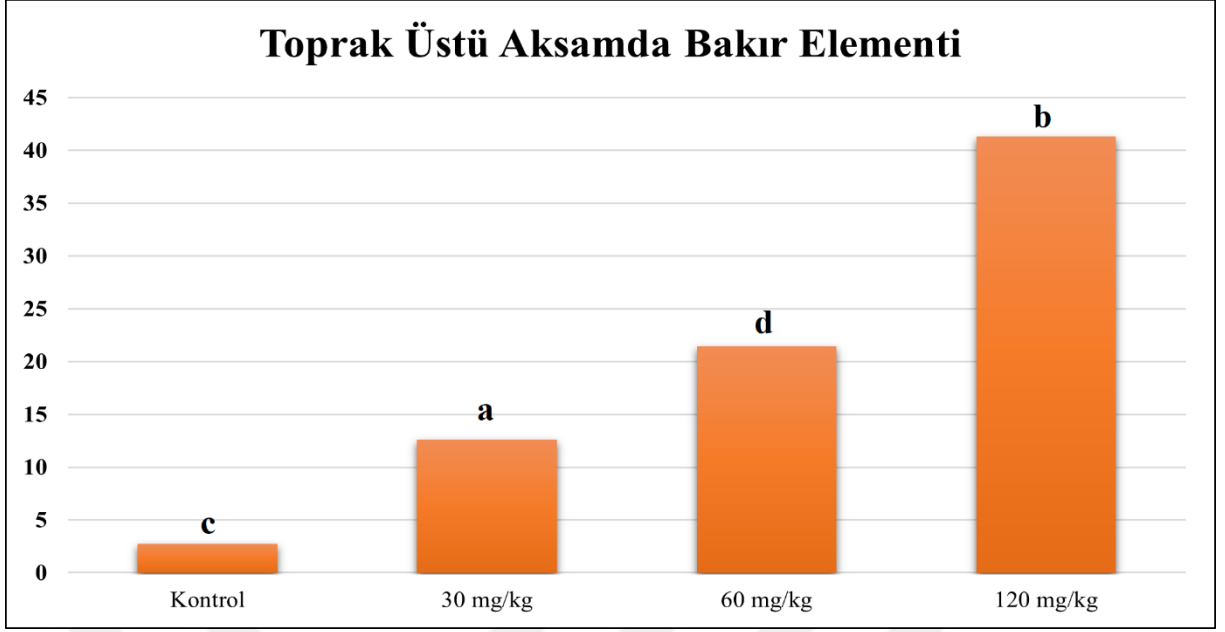
Çizelge 3.2’de ve Şekil 3.2’de artan dozlarda (kontrol (0 mg kg⁻¹), 30 mg kg⁻¹, 60 mg kg⁻¹ ve 120 mg kg⁻¹) uygulanan bakır (Cu) ağır metalinin bitkinin toprak üstü aksamındaki içeriği verilmiştir.

Çizelge 3.2. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg⁻¹)

	Kontrol	30 mg kg⁻¹	60 mg kg⁻¹	120 mg kg⁻¹
Cu	13,35±0,18c	19,16±0,03a	12,78±0,01d	17,55±0,01b

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01’de önemi gösterir, öd: önemli değil.

Bakır, bitki büyümesi için hayati önem taşıyan mikro besindir ve genellikle 5-30 mg kg⁻¹ Cu, bitki dokularında tatmin edici kabul edilmektedir (Kumar vd., 2021). Çizelge 3.2’ye göre, soğan bitkisinin fitoremediasyon uygulamalarında akümülatör bitki olarak kullanımı değerlendirildiğinde bitkinin toprak üstü aksamında bakır ağır metalinin biriktiği görülmektedir. Doz uygulaması olarak 30 mg kg⁻¹ uygulanan saksılarda Cu birikimi en yüksek seviyede tespit edilmiştir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur



Şekil 3.2. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Yapılan bir çalışmada, soğan bitkisinde bakır içeriği 20, 10 ve 5 mg/100 ml konsantrasyonları için 6.50 ± 0.50 , 2.83 ± 0.14 , ve 2.83 ± 0.14 değerleri tespit edilmiştir. Kontrol bitkisinde ise bakır içeriği 1.50 ± 0.00 olarak bildirilmiştir. Artan dozlarda bakır uygulaması ile bitkideki bakır içeriği de artmıştır (Abubacker ve Sathya, 2017).

Toprak içeriğinde Cu elementinin yüksek oranlarda bulunması toksisiteye neden olmakta ve Fe bitki besin elementinin alımını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden Fe eksikliğine bağlı olarak kloroz görülebilmektedir. Ayrıca, bitki kök ve sürgününde gelişim gerilemesi ve Mo bitki besin elementinin kullanımının kısıtlanması da diğer negatif etkilerdir (Kacar ve Katkat, 2010)

3.3 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Kök Aksamındaki Cu İçeriğinin Değişimi

Bitkilerin kök uçları, olgunlaşmamış hücreleri ve düşük yoğunluklu hücre duvarları nedeniyle ağır metalleri biriktiremez ve bunlar kirlenmiş topraktan metalleri alır ve daha sonra yer üstü kısımlarına aktarırlar. Bakır bitkiler için temel bir mikro besindir, ancak fazla miktarda bakır bitkiler üzerinde toksik etki yaratır. Fazla bakır miktarı nekroz ve kloroz, kök büyümesinin engellenmesi, yaprakta renk bozulması ve bodurlaşma gibi belirtiler gösterir. Bakır fazlalığı ve noksanlığı bitkideki çeşitli fizyolojik süreçleri etkileyerek bitki büyümesinde ve gelişiminde bozukluğa neden olabilir (Khan vd., 2020)

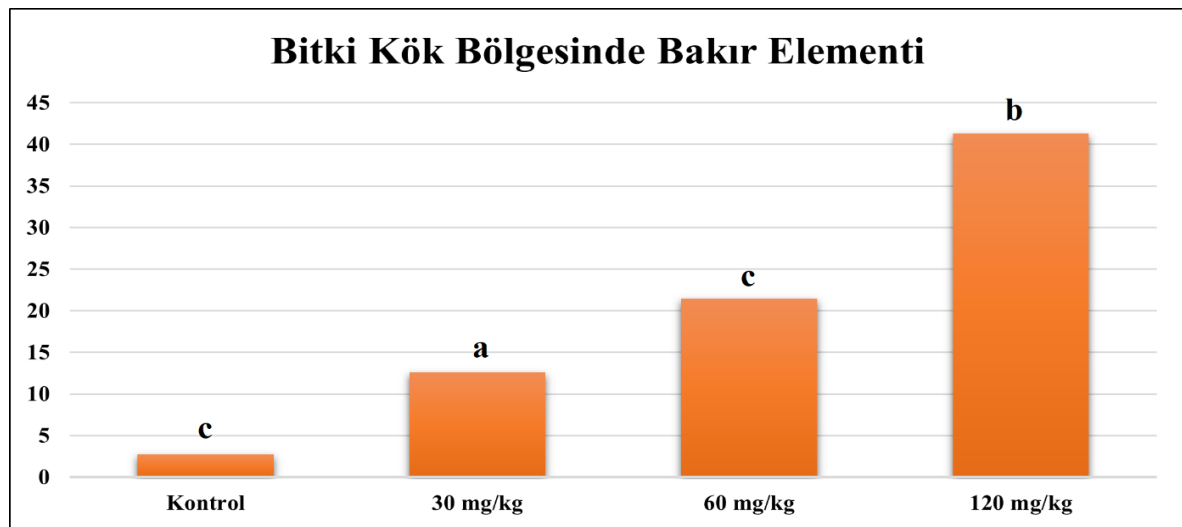
Ağır metallerin bitkiler üzerindeki toksisitesi, bitki türleri, spesifik metal, metal konsantrasyon, kimyasal form, toprak bileşimi ve pH ile ilişkilidir. Ağır metaller çevrede kolayca biyolojik olarak bozunabilmektedir ve bu nedenle ekolojik besin zinciri boyunca organizmalarda biyolojik olarak birikmektedir (Ogeleka ve Nwudu, 2019). Çizelge 3.3'te, yapılan deneme sonucunda soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kök bölgesinde tespit edilen Cu içerikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kök aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg⁻¹)

Ağır Metal	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
Cu	12,82±0,10c	26,65±0,08a	12,80±0,09c	26,25±0,07b

Değerler üç tekrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil.

Çizelge 3.3'teki veriler ve Şekil 3.3 değerlendirildiğinde, artan dozlarda uygulanan bakır içeriğinin toprak üstü aksamdan çok kök bölgesinde birikim gösterdiği görülmektedir. Bu veriler bitkinin fitoremediasyon çeşitlerinden bitkinin kök bölgesinde birikim yaptığı fitostabilizasyon yönteminde daha etkin kullanılabilir olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan bu sonuçlarda, kontrol bitkisi ve 60 mg kg⁻¹ doz bakır uygulaması yapılan bitkiler istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Diğer dozlar olan 30 ve 120 mg kg⁻¹ doz bakır uygulamalarında bitki kök bölgesindeki Cu içeriği istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ve bu değerler farklı gruplarda yer almışlardır. Bitki kök bölgesindeki Cu içeriği değerleri bitki toprak üstü aksamındaki değerler ile paralel olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bakır toksisitesi çoğunlukla bitki kök sistemlerinde açığa çıkmaktadır (Asri ve Sönmez 2006). Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin yabancı otlarla rekabet edememesi sebebiyle soğan ekiminde herbisitler ve gübreler kullanılmaktadır. Yüksek konsantrasyonda ağır metaller, sitoplazmik enzimlerin inhibisyonuna ve oksidatif strese sebep olması nedeniyle hücre yapılarına hasar vermektedir. Bazı araştırmalar soğan (*Allium cepa* L) kök uçlarında ağır metallerin mitotik indekste azalmaya neden olabileceğini, ortalama kök uzunluğunda, kök büyümesinde bakır toksisitesi sebebiyle azalma olduğunu ortaya koymuştur (Ogeleka ve Nwudu, 2019).

3.4 Artan Dozlarda Cu Metali Uygulanan Saksılarda Yetişen Soğan Bitkisinin Toprak İçeriğindeki Cu Değişimi

Topraklarda total Cu içeriğinin 100 mg kg^{-1} dan fazla olması ve bitki kuru madde içeriğinde 30 mg kg^{-1} dan fazla olması toksisiteye yol açmaktadır. Bitkilerde bakır ihtiyacı düşüktür ve bu nedenle ekstrakte edilebilir Cu içeriği yüksek olan topraklarda yetişen bitkilerde yaygın olarak bakır toksisitesine ve demir (Fe) noksanlığına rastlanmaktadır (Sommer, 1945; Asri ve Sönmez 2006). Lindsay ve Norvell (1978)'e göre topraklarda bitkiler için yararlı bakır içeriği değerleri verilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Topraklarda bitkiler için yararlı Cu içeriğinin değerlendirilmesi (Lindsay ve Norvell, 1978)

Cu (mg kg^{-1})	Değerlendirme sonucu
<0,2	Yetersiz
>0,2	Yeterli

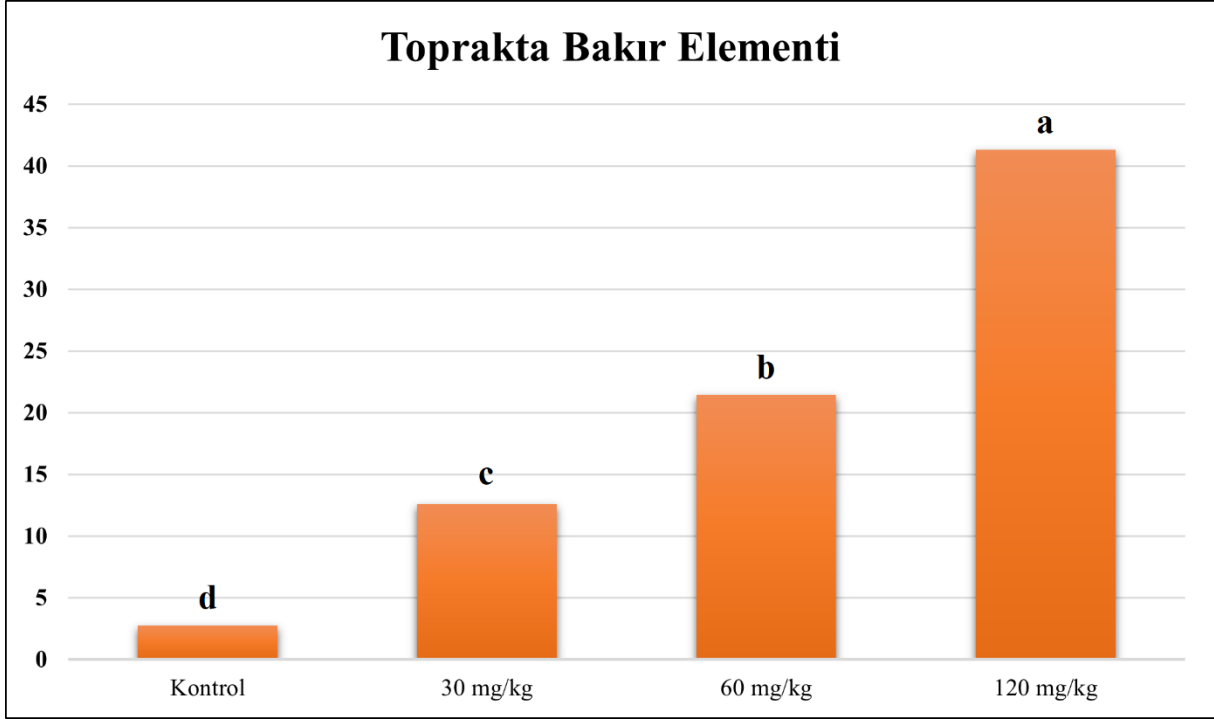
Çizelge 3.5'te ve Şekil 3.4'te, deneme sonucunda elde edilen verilere göre toprak içeriğinde tespit edilen Cu içerikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin yetiştirildiği toprak içeriğindeki Cu ağır metali (mg kg^{-1})

	Kontrol	30 mg kg^{-1}	60 mg kg^{-1}	120 mg kg^{-1}
Cu	2,74±0,00d	12,58±0,04c	21,43±0,08b	41,30±0,37a

Değerler üç tekerrür ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) $p < 0,01$ 'de önemi gösterir, öd: önemli değil.

Yukarıda verilen Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve denemede kullanılan toprak kimliğinin verildiği Çizelge 2.2 birlikte değerlendirildiğinde, topraktaki bakır içeriğinin yeterli düzeyde ($1,99 \text{ mg kg}^{-1}$) olduğu ve artan dozlarda uygulanan Cu elementi ile topraktaki bakır içeriğinin de artış gösterdiği görülmektedir. Topraktaki Cu elementi içeriğinin arttırdığı ve bitki kök ve toprak üstü aksamında biriken Cu elementi miktarlarına rağmen toprakta yüksek seviyede Cu içeriğinin kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamında Cu ağır metali içeriği (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

3.5 Bakır (Cu) Toksisitesinin Makro Element İçeriklerine Etkisi

Konsantrasyona ve bitki türüne/genotipine bağlı olarak ağır metaller, klorofil konsantrasyonunda azalma, nitrat redüktaz aktivitesinde azalma, beslenme bozukluğu ve sonuç olarak bitki büyümesinin azalmasıyla kendini gösteren toksisiteyi indükleyebilmektedir. Toksik Cu seviyelerinin bitkilerin mineral metabolizması üzerindeki olumsuz etkisi, kök sistemindeki besin alımı için yüzeyi azaltan morfolojik değişikliklerden kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla beslenme bozuklukları ile Cu ağır Şekil metalinin etkilediği bitki kök gelişimi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Cruz vd., 2022).

Bakır ağır metalinin toprak üstü aksamdaki, kök bölgesindeki ve toprak içeriğindeki makro elementler üzerindeki etkisi alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.5.1 Toprak Üstü Aksamdaki Makro Element İçeriğine Etkisi

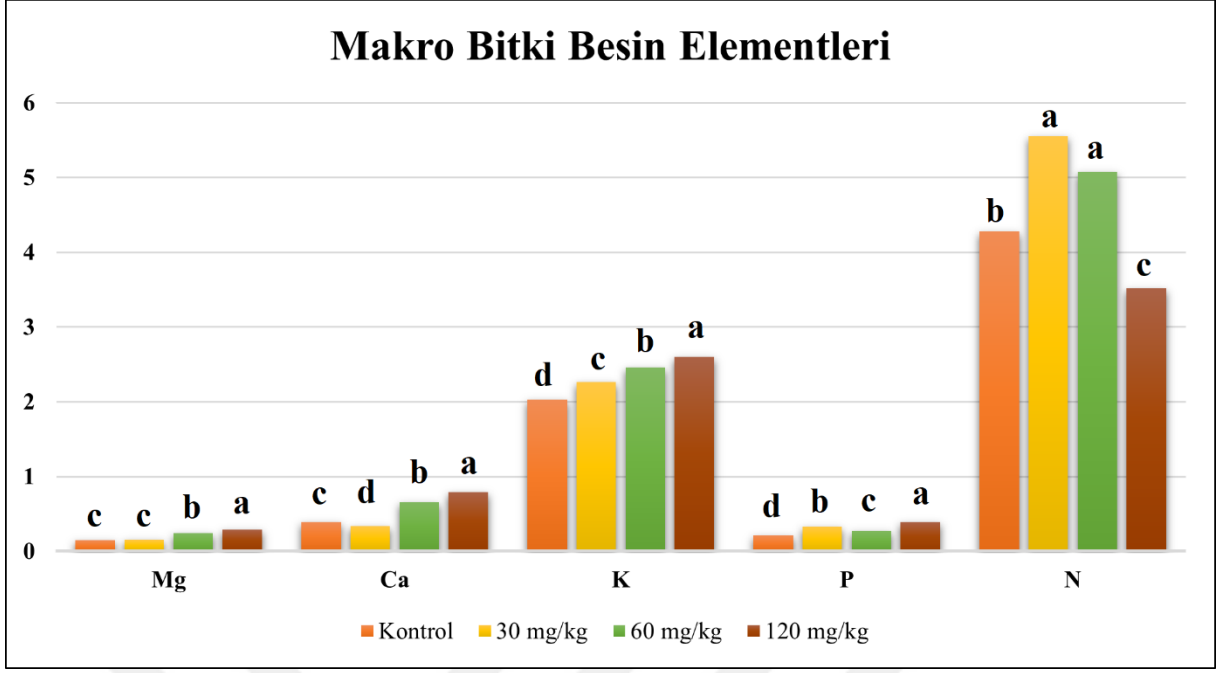
Denemede artan dozlarda (kontrol (0 mg kg⁻¹), 30, 60 ve 120 mg kg⁻¹) bakır (Cu) ağır metali uygulaması sonrasında bitkinin toprak üstü aksamındaki makro bitki besin elementleri içeriği Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında toprak üstü aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Makro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
N	4,27±0,05b	5,55±0,23a	5,07±0,07a	3,51±0,16c
P	0,20±0,00d	0,32±0,00b	0,27±0,00c	0,38±0,00a
K	2,02±0,00d	2,26±0,00c	2,46±0,02b	2,59±0,02a
Ca	0,39±0,00c	0,33±0,00d	0,65±0,00b	0,79±0,01a
Mg	0,15±0,00c	0,15±0,00c	0,24±0,00b	0,28±0,00a

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil.

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.5 değerlendirildiğinde, artan Cu elementi konsantrasyonu sonucunda bitkinin toprak üstü aksamında N bitki besin elementi içeriğinin 120 mg kg⁻¹ doz uygulamasında 3, 51 mg kg⁻¹ Cu içeriği ile en düşük seviyeye geldiği görülmektedir. Diğer makro bitki besin elementi içeriklerinde ise, artan dozlarda bakır uygulaması yapılan saksılar ve kontrol saksılarında yetişen bitkiler karşılaştırıldığında bir artış olduğu tespit edilmiştir. Tüm değerler %1 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.



Şekil 3.5. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bitkinin yeterince bakır elementi ile beslenmediği durumlarda, bitkinin gen yapraklarında sarılık, kahverengi lekelenmeler, bodurluk ve geç olgunlaşma gibi etkiler ortaya çıkmaktadır. Özellikle mantarların sebep olduğu hastalıklara karşı dirençsiz hale gelmektedirler. Ayrıca noksanlığında bitkide karbonhidrat içeriğinin azaldığı ve baklagilllerde nodül meydana gelmesinin yavaşladığı, daha az azotun fikse edildiği tespit edilmiştir (Bolat ve Kara, 2017).

3.5.2 Kök Aksamındaki Makro Element İçeriğine Etkisi

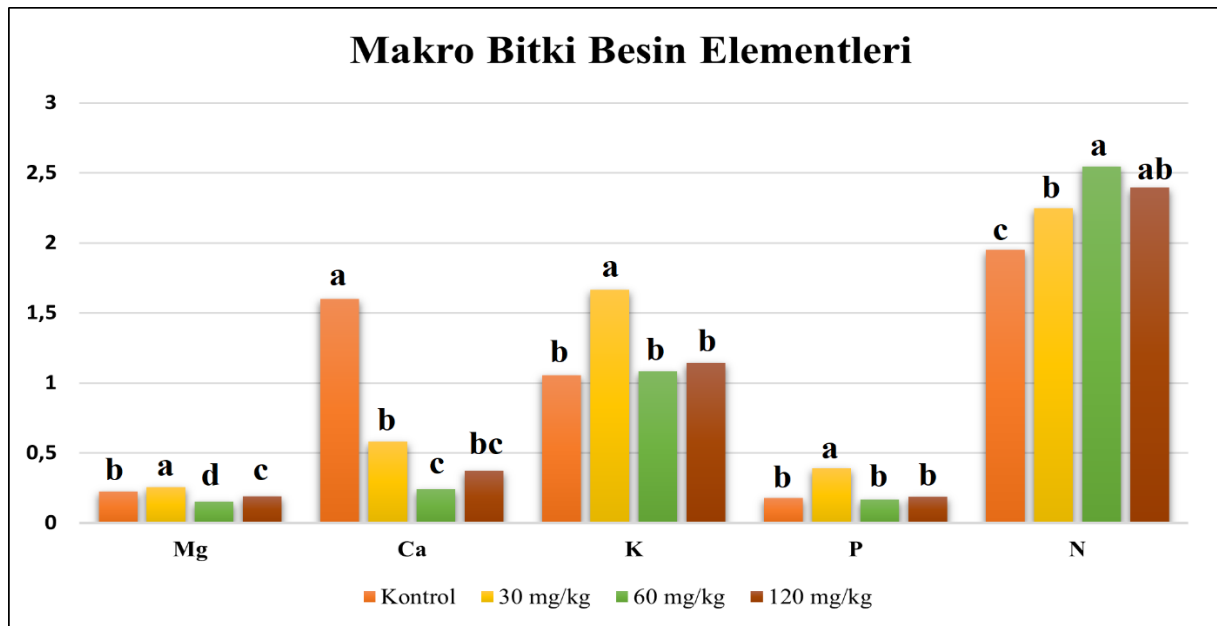
Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kontrol, 30, 60 ve 120 mg kg^{-1} Cu ağır metali uygulaması sonrasında bitkinin kök aksamındaki makro bitki besin elementleri içeriği Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında kök aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Makro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
N	1,95±0,01c	2,24±0,05b	2,54±0,04a	2,39±0,04ab
P	0,18±0,00b	0,39±0,00a	0,16±0,00b	0,18±0,00b
K	1,05±0,03b	1,66±0,00a	1,08±0,00b	1,14±0,00b
Ca	1,60±0,11a	0,58±0,01b	0,24±0,00c	0,37±0,00bc
Mg	0,22±0,00b	0,25±0,00a	0,15±0,00d	0,19±0,00c

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil

Çizelge 3.7 ve Şekil 3.6 değerlendirildiğinde, kök bölgesinde P, K ve Mg elementi konsantrasyonlarının en yüksek seviyeye 30 mg kg⁻¹ bakır uygulaması yapılan saksılarda ulaştığı görülmektedir. P ve K bitki besin elementleri verileri incelendiğinde 30 mg kg⁻¹ uygulaması hariç tüm uygulamaların istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir. Kalsiyum ve magnezyum içeriği ise bakır uygulamaları ile azalmış ve antagonist etki görülmüştür. Tüm değerler istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur.



Şekil 3.6. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kök aksamındaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Toprakta bulunan bazı mineral elementler bitkilerin Cu toksisitesine duyarlılığını etkilemektedir. Örneğin, mevcut fosfor seviyesindeki artışlar, topraktan ağır metallerin çökmesine yardımcı olabilmekte ve metallerin bitkilere ve diğer toprak organizmalarına erişimini azaltmaktadır. Önceki çalışmalar, kontamine topraklarda yetişen bitkiler için fosfor ilavesi üzerine sürgünlerde bakır taşınmasının azaldığını göstermiştir (Farias vd., 2013).

3.5.3 Topraktaki Makro Element İçeriğine Etkisi

Organik madde içeriği yüksek topraklarda, bakır elementinin bu maddelerce tutulması sebebiyle noksanlık ortaya çıkabilmektedir. Aynı zamanda, kumlu toprakların yıkanması da Cu elementi noksanlığına yol açmaktadır. Kurak topraklarda kalsiyum elementinin fazla bulunması, bazı mikro bitki besin elementlerinin yararlı formaya geçmesine neden olarak bitki tarafından alınabilirliğini engel olmaktadır.

Organik madde içeriğinin yüksek olduğu topraklarda bakır bitki besin elementi eksikliği görülebilmektedir. Bunun sebebi bakır bitki besin elementinin toprak içeriğinde bulunan organik maddelerce tutulmasıdır (Plaster, 1992; McCauley vd., 2009; Kacar ve Katkat, 2010). Kalsiyum elementi toprak içeriğinde normalden fazla seviyelerde bulunduğu, kurak topraklarda özellikle bazı mikro bitki besin elementleri ile antagonist ilişki içerisinde girerek bu elementlerin bitki tarafından alınmasını engellemektedir. Bu bitki besin elementlerine K, Fe ve P elementleri örnek verilebilir (Boşgelmez vd., 2001).

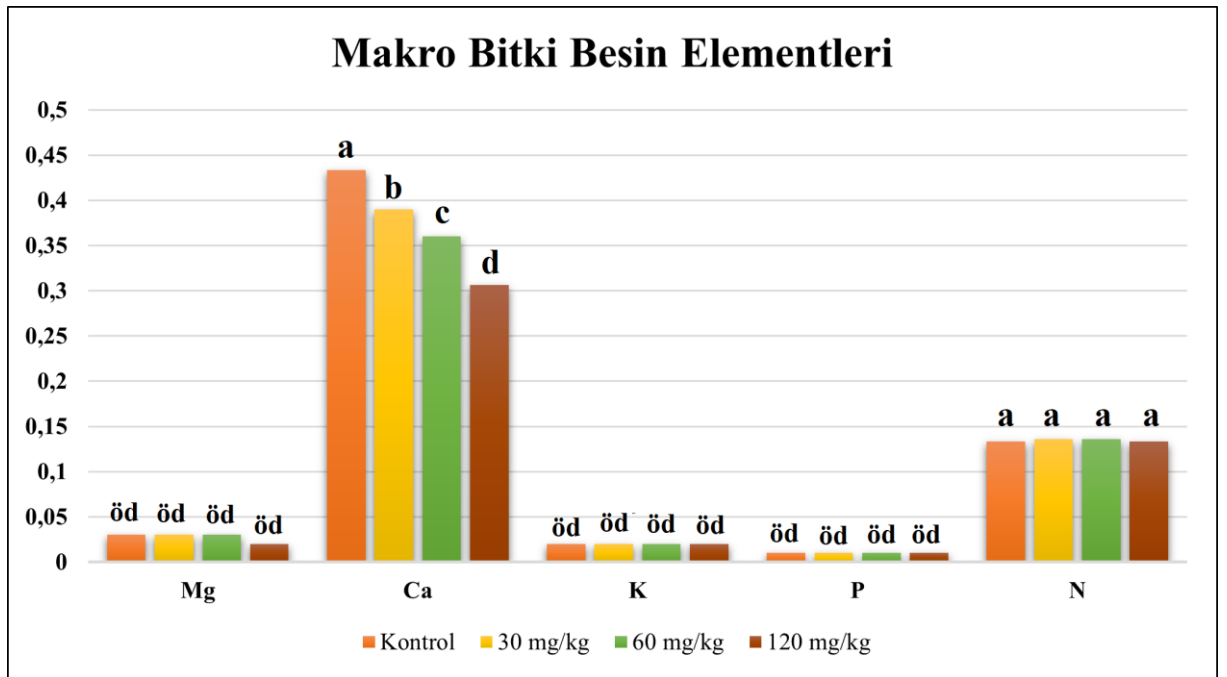
Çizelge 3.8. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında topraktaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Makro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
N	0,13±0,00a	0,13±0,00a	0,13±0,00a	0,13±0,00a
P	0,01±0,00öd	0,01±0,00öd	0,01±0,00öd	0,01±0,00öd
K	0,02±0,00öd	0,02±0,00öd	0,02±0,00öd	0,02±0,00öd
Ca	0,43±0,06a	0,390±0,05b	0,360±0,01c	0,30±0,06d
Mg	0,03±0,00öd	0,03±0,00öd	0,03±0,00öd	0,02±0,00öd

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil

Çizelge 3.8 ve Şekil 3.7 değerlendirildiğinde, Cu ağır metali uygulanan bitki topraklarındaki makro bitki besin elementi içerikleri, kontrol bitkisinin toprağındaki makro bitki besin elementlerinden P, K, Mg içerikleri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Azot içerikleri istatistiksel önemli olmakla birlikte dozlar arasında farklılığı olmadığı aynı gruba düşerek görülmektedir. Çizelge 2.2’de de görüldüğü gibi denemede kullanılan toprağın kalsiyum içeriğı yüksektir. Bu durum makro elementler ile antagonist etkileşim olduğunu düşünölmektedir.

Bir çalışmada, Cu fungusinin hem yüzey hem de yeraltı katmanlarında uygulanmasıyla toprakların kullanılabilir fosfor içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Boşgelmez vd., 2001).



Şekil 3.7. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin yetiştirildiğı topraktaki makro bitki besin elementi içerikleri (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bazı bakır elementleri, kalsiyum veya magnezyum gibi temel elementlerle toprağın kolloidal fraksiyonu tarafından tutulabilmektedir. Bununla birlikte, bakırın büyük bir kısmı, normal toprak asitliği aralığında diğer yaygın toprak katyonları tarafından kolayca yer değiştiremeyecek şekilde sabitlenmiştir (Walter, 1957).

3.6 Bakır (Cu) Toksisitesinin Mikro Element İçeriklerine Etkisi

Bakır ağır metalinin toprak üstü aksamdaki, kök bölgesindeki ve toprak içeriğindeki mikro elementler üzerindeki etkisi alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.6.1 Toprak Üstü Aksamdaki Mikro Element İçeriğine Etkisi

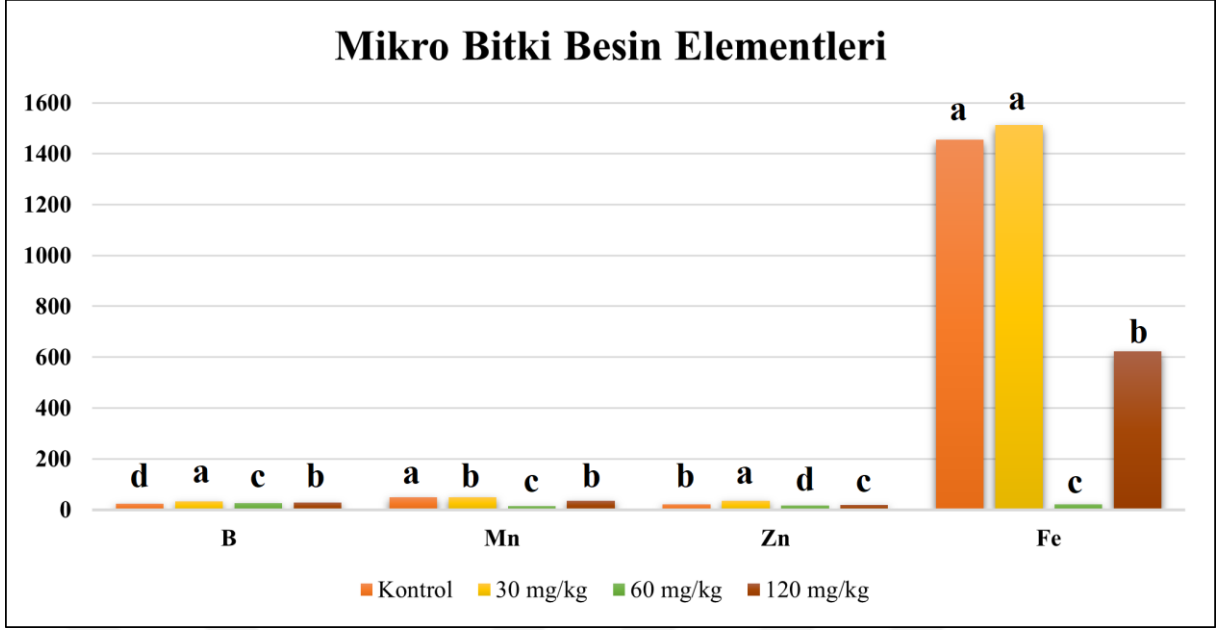
Toprak içeriğinde Cu içeriğinin artması durumunda, bitkide toksik etkiler ortaya çıkmaktadır. Bitkinin Fe bitki besin elementlerinin alımını zorlaştırdığı ve bitkide kloroza yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca, bitkinin kök ve toprak üstü aksamındaki gelişmede zayıflama olduğu da tespit edilmiştir. Cu elementinin toksik seviyelerde olması bitkinin molibden (Mo) elementini kullanımını da engellemektedir. (Boşgelmez vd., 2001; Kacar ve Katkat, 2010).

Çizelge 3.9. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Mikro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
Fe	71,86±1,36c	69,66±0,87c	195,60±4,05b	106,56±12,4a
Zn	23,96±0,12b	26,22±0,05a	20,84±0,08c	24,11±0,31b
Mn	59,46±0,67a	37,11±0,15d	43,31±0,02c	55,78±0,49b
B	34,51±0,01b	39,76±0,26a	34,44±0,09b	40,42±0,25a

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil

Çizelge 3.9 ve Şekil 3.8 değerlendirildiğinde, artan dozlarda uygulanan Cu ağır metalinin, bitki toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içeriklerini genel olarak olumlu etkilediği görülmektedir. Demir bitki besin elementi içeriği kontrol bitkisinde 30 mg kg⁻¹ bakır uygulaması yapılan bitkilerde istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Artan Cu uygulaması ile bitki toprak üstü aksamındaki Fe içeriği de artmıştır. Çinko (Zn) bitki besin elementi içeriğinde belirgin bir değişiklik olmamakla birlikte en yüksek Zn içeriği 30 mg kg⁻¹ bakır uygulamasında tespit edilmiştir. Kontrol bitkisi ve en yüksek doz uygulaması olan 120 mg kg⁻¹ uygulamasında Zn içeriği istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Demir elementinin fazlalığı, mangan (Mn) bitki besin elementinin alımını olumsuz etkilemiştir. Bor içeriği ise 30 mg kg⁻¹ ve 120 mg kg⁻¹ doz Cu uygulanan saksılarda istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken en yüksek B içeriği 120 mg kg⁻¹ doz Cu uygulamasında tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bitkinin yetiştirildiği topraklarda Zn metali konsantrasyonunun artması durumunda bitki gelişiminde olumsuzluklar görülmekte, P ve Fe elementlerinin alımı azalmaktadır. Fe elementinin fazla olması ise Cu, Zn, Mg ve Mn elementlerinin bitki tarafından alımını engelleyebilmektedir (Boşgelmez vd., 2001).

3.6.2 Kök Aksamındaki Mikro Element İçeriğine Etkisi

Bakır, toprak bileşenlerinin bağlanma yerleri için yüksek bir afiniteye sahiptir. Kil ve Fe veya Mn oksitlerin yüzeylerine adsorbe edilebilmekte, karbonatlar ve fosfatlarla birlikte çöktürebilmektedir. Cu iyonları ayrıca hücre duvarlarına ve bitki kök hücrelerinin dış zar yüzeyine de bağlanabilmektedir. Bu çeşitli katı ve bitki bileşenleri arasında Cu'nun dağılımı ve kimyasal hareketliliği bitkiler tarafından potansiyel olarak alınan Cu miktarını büyük ölçüde etkilemektedir (Carrillo-González, Simünek ve Adriano, 2006).

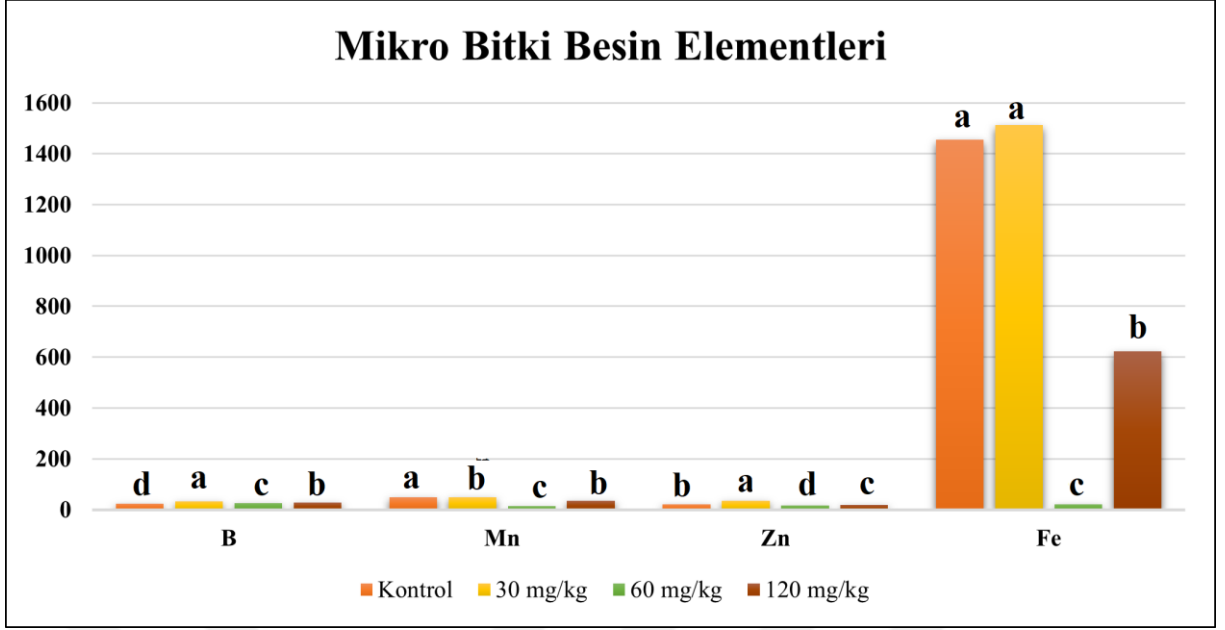
Çizelge 3.10. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında kök aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Mikro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
Fe	145,66±33,44a	151,46±2,67a	20,10±0,20c	62,83±8,03b
Zn	21,49±0,07b	33,58±0,27a	16,39±0,08d	17,96±0,01c
Mn	48,43±0,14a	49,56±0,38b	13,20±0,03c	34,11±0,27b
B	23,92±0,02d	32,33±0,21a	25,20±0,09c	28,12±0,25b

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) $p<0,01$ 'de önemi gösterir, öd: önemli değil

Çizelge 3.10 ve Şekil 3.9 değerlendirildiğinde, B bitki besin elementi hariç, bitki kök bölgesindeki mikro bitki besin elementi içeriklerinin kontrol bitkisine kıyasla azaldığı görülmektedir. Bu sonuç bitkinin toprak üstü aksamındaki mikro bitki besin elementi içerikleri ile paraleldir. Artan dozda Cu uygulaması ile mikro bitki besin element içeriklerinin kök bölgesinde azalırken bitkinin toprak üstü aksamında artması, bitkinin bu besin elementlerini bitkinin yeşil aksamına taşıdığını göstermektedir. Sonuçlar istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Toprak çözeltilisindeki yüksek bakır konsantrasyonları, bitki kökünde aynı bölgeler için rekabet nedeniyle çinkonun bitkiler tarafından kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Asidik pH'da, artan pH ile daha zayıf adsorpsiyon nedeniyle çözülmüş Cu miktarı artmaktadır; katı fazdaki organik maddeler ile çözülmüş organik karbon arasında rekabetçi adsorpsiyon ortaya çıkmakta ve toprak çözeltilisinde Cu konsantrasyonu ile sonuçlanmaktadır (Carrillo-González, Simünek ve Adriano, 2006).



Şekil 3.9. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kök bölgesindeki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bakır bitki besin elementi bitkilerin canlılığını devam ettirebilmeleri için gerekli olan klorofil üretimi, solunum ve protein sentezleri gibi metabolik faaliyetlerinde gereklidir. Enzimlerin aktive edilmesinde ve ETS (Elektron taşıma sistemi)'de yer almaktadır. Azotun fikse edilmesinde de görev almaktadır (McCauley vd., 2009). Bitkinin dış etkenlere karşı dirençli hale gelmesi ve bitkinin nem dengesini koruması konusunda da görev almaktadır (Plaster, 1992).

3.6.3 Topraktaki Mikro Element İçeriğine Etkisi

Bakır çoğunlukla toprakta, düşük çözünürlüğe sahip kararlı kompleksler olan iki değerlikli Cu^{2+} formlarında bulunmaktadır. Ancak aynı zamanda CuOH^+ ve CuCl^+ gibi tek değerli formlarda da bulunur (Eriksson, Dahlin, Nilsson ve Simonsson, 2011). Toprak çözeltisindeki bakır konsantrasyonu genellikle düşüktür, toprak çözeltisindeki Cu'nun %98'i organik maddeye bağlıdır (Kirkby, 1987). Bakır kompleksleri kil parçacıklarına, Fe oksitlere ve organik maddelere sert bir şekilde bağlanır (Eriksson, Dahlin, Nilsson ve Simonsson, 2011). Cu'nun sert bağlanması nedeniyle Cu çok hareketsizdir. Zn^{2+} gibi diğer katyonlarla karşılaştırıldığında, genellikle Cu'nun ne kadar hareketli ve bitki tarafından kullanılabilir olduğunu düzenleyen organik maddeye daha güçlü bağlanır. Toprak çözeltisindeki bakır konsantrasyonu artan pH ile azalır (Kirkby, 1987). Bakır noksanlığı, Cu^{2+} 'ı sert bağlayan turba topraklarında meydana gelir ve bu nedenle bitkide bulunan Cu, genel olarak Cu içeriği düşük

olan kumlu veya siltli topraklarda zayıftır. Buğday ve yulaf gibi tahıl bitkileri Cu eksikliğine örn. baklagiller (Marschner, 2012).

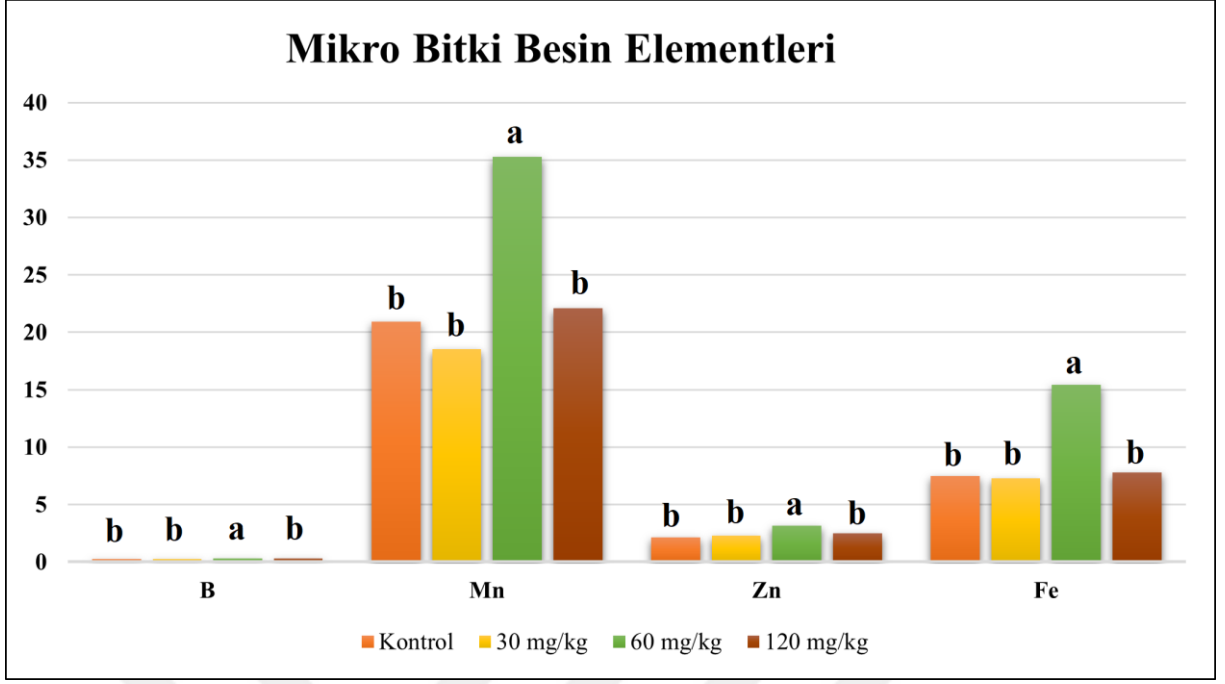
Çizelge 3.11. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde Cu ağır metali uygulaması sonrasında yetiştirildiği topraktaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg⁻¹)

Mikro elementler	Kontrol	30 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹	120 mg kg ⁻¹
Fe	7,48±0,04b	7,25±0,05b	15,43±1,14a	7,77±0,12b
Zn	2,13±0,01b	2,29±0,00b	3,17±0,20a	2,51±0,02b
Mn	20,92±0,03b	18,53±0,13b	35,24±2,26a	22,08±0,30b
B	0,24±0,00b	0,25±0,00b	0,32±0,01a	0,28±0,00ab

Değerler üç tekerrür ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir. Farklı harfler (a,b,c,d) p<0,01'de önemi gösterir, öd: önemli değil

Çizelge 3.11 ve Şekil 3.10 değerlendirildiğinde, toprak içeriğinde bulunan mikro bitki besin elementi içeriklerinin artan dozlarda Cu uygulaması ile değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kontrol bitkisi toprağı, 30 mg kg⁻¹, ve 120 mg kg⁻¹ bakır uygulaması yapılan topraklar istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Cu elementinin varlığı topraktaki besin elementlerinin yayırlılığını ve bitki tarafından alımını azaltmıştır. Cu uygulaması 60 mg kg⁻¹ olan topraklarda mikro bitki besin elementi içerikleri diğer uygulamalara ve kontrol bitkisine kıyasla daha yüksek miktarlarda tespit edilmiştir.

Bakır toprağı girdiğinde, organik maddeye, kil minerallerine ve hidratlı demir (Fe), alüminyum (Al) ve manganez (Mn) oksitlerine güçlü bir şekilde bağlanmakta veya bu besinlerin konsantrasyonunu azaltmaktadır. Fe, Mn ve Al elementleri toprakta bulunur ancak bitki tarafından alınamaz hale getirmektedir (Eriksson, Dahlin, Nilsson ve Simonsson, 2011).



Şekil 3.10. Soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin yetiştirildiği topraktaki mikro bitki besin elementi içerikleri (mg kg^{-1}), farklı harfler istatistiksel olarak farklı grupları ifade etmektedir

Bordo karışımı ($\text{CuSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2$) şeklinde bakır fungusitlerin sürekli uygulanmasıyla üzüm çiftliklerinin topraklarındaki bakır içeriği arttıkça çinko, manganez ve demir gibi mikro besinlerin içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Savithri, Biju, Poongothai, 2003).

Kakao plantasyonlarındaki toprakların bakır içeriğinin artırılmasının, bitkiler tarafından besin alımını etkileyebilecek bir besin dengesizliğine neden olan bitkide bulunan fosfor miktarını azalttığını bildirmiştir (Akinnesi, Asubiojo ve Amusan, 2006).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal kaynaklar, insanlık için çok değerli olan doğal olarak oluşan malzemelerdir. Bunlar arasında toprak ve su iki değerli kaynaktır. Bunlar insan uygarlığının belkemiğidir ve tüm tarımın istikrarının bağlı olduğu yerlerdir. Ne yazık ki, son yıllarda ciddi bozulma ve kirliliğe maruz kaldılar. Çeşitli antropojenik faaliyetler, toprak, su, hava ve toprak kirliliğine yol açan kaynakların yanlış kullanımının ana nedenidir. Çevre ve insan sağlığı sorunlarının büyük çoğunluğu bu kaynakların organik ve inorganik kirleticiler tarafından kirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Kaynak kirleticiler arasında fabrikalardan çıkan atıklar ve katı atıklar, tarım alanlarında aşırı tarım ilacı, böcek ilacı, gübre kullanımı ve maden cevherinin eritilmesi ve madenciliği nedeniyle metaller sayılabilir. Bu kirleticilerin toksik etkilerini azaltmanın tek yolu onların bir formdan diğerine dönüşmesidir. Çevreyi arındırmak için uygulanan sayısız yol vardır, ancak bunların çoğu ya maliyetlidir ya da büyük ölçekte tercih edilmez. Bazı yöntemlerin yan etkileri vardır ve bu da onları uzun vadede kullanım için uygunsuz hale getirir.

Toprakta ağır metal birikimi, toprak mikrobiyal popülasyonunu, süreçlerini ve aktivitesini etkiler. Ağır metallerin mikrobiyal popülasyon değişiklikleri ve enzimatik aktiviteler üzerindeki etkileri, ağır metallerin tipine ve kimyasal afinitelerine bağlıdır. Örneğin, kadmiyum (Cd) üreazları, proteazları ve bazik fosfatazları etkilerken ve bakır (Cu) b-glukosidazı kısıtlamaktadır (McCauley vd., 2009).

Ekosistem süreçlerini ve işlevlerini sürdürmek için toprak ve su kirleticilerinin iyileştirilmesi, bugün toplumumuzun karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biridir. Çevre kirliliğini gidermek için birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik yaklaşım kullanılmıştır, ancak bunların uygulamaları maliyet ve işçilik gereksinimleri, güvenlik tehlikeleri ve ekosistemlere yönelik riskler nedeniyle sınırlıdır. Alternatif bir teknik olan fitoremediasyon, etkili bir teknik olabilir ve popülerlik, kabul ve uygulama kazanmaktadır.

Artan dozlarda uygulanan Cu (bakır) elementi uygulamasına maruz kalan soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinde bitki yaş ve kuru ağırlığı azalarak sırasıyla 29,49 gr ve 2,04 gr değerlerinden 14,56 g ve 0,84 gr değerlerine gerilemiştir. Bu değerler 120 mgkg⁻¹ bakır uygulaması yapılan saksılarda elde edilmiştir. Kök yaş ve kuru ağırlıkları en düşük 60 mgkg⁻¹ bakır uygulamasında (sırasıyla, 156,50 gr ve 10,51 gr) tespit edilmiştir. Bitki boyunda artan dozlarda uygulanan ağır metal sonrasında azalma olmuştur ve bitki boyu 42,83 cm'den (kontrol bitkisi) 28,50 cm (30 mgkg⁻¹) değerine düşmüştür. Bitkideki dal sayısı ve klorofil içeriği de ağır metal miktarının

artmasına bağı olarak azalmıştır. Yapılan deneme sonucunda bitkinin toprak üstü aksamında artan dozlarda uygulanan Cu elementi ile bitkideki bakır elementi içeriğinin de arttığı belirlenmiştir. En yüksek Cu ağır metali içeriği 30 mg kg⁻¹ doz uygulaması yapılan saksılarda olduğu görülmüştür. Ancak bitki, kök bölgesinde daha çok Cu elementi biriktirmiştir. Bitki toprak üstü aksamında olduğu gibi en yüksek Cu içeriği yine 30 mg kg⁻¹ doz uygulaması yapılan saksılarda yetiştirilen soğanlarda tespit edilmiştir. Deneme öncesi yapılan analizlerde toprak içeriğinde toksik düzeyde (1,99 mgkg⁻¹) Cu içeriği bulunduğu, ancak toprağa yapılan Cu uygulamaları sonucunda topraktaki Cu içeriğinin daha da artış gösterdiği ve kontrol bitkisinden alınan toprak örneğinde 2,74 mgkg⁻¹ Cu içeriği tespit edilirken en yüksek doz uygulaması olan 120 mgkg⁻¹ doz Cu içeren toprak örneklerinde içeriğin 41,30 mgkg⁻¹ Cu seviyesine çıktığı görülmektedir.

Bakır elementinin, soğan bitkisinde diğer makro ve mikro bitki besin elementlerinin alınabilirliği üzerindeki etkisine bakıldığında, bitkinin toprak üstü aksamında Fe, B ve Zn mikro bitki besin elementlerinin içeriği kontrol bitkisi ile karşılaştırıldığında artış gösterirken, Mn bitki besin elementi içeriği azalmıştır. Makro bitki besin elementlerinin alımını ise olumlu yönde etkilemiştir, sinerjik etki göstermiştir. Kök bölgesinde ise, Fe, Zn ve Mn mikro bitki besin elementleri içeriği kontrol bitkisine kıyasla azalış gösterirken, B bitki besin elementi içeriği azalmıştır. Ca ve Mg içeriği de azalmış, azot ve potasyum içeriği artmıştır. Bu veriler değerlendirildiğinde bitkinin bazı bitki besin elementlerini toprak üstü aksama taşıırken bazılarını da kök bölgesinde biriktirdiği görülmektedir. Cu bitki besin elementinin artan doz uygulamaları ile bitkinin toprak üstü aksamında değil de kök bölgesinde biriktiği analiz sonuçlarında görülmektedir. Kök bölgesinde en yüksek birikim 120 mg kg⁻¹ doz uygulanan saksılarda 26,25 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Toprak üstü aksamda en fazla Cu içeriği ise 30 mg kg⁻¹ doz uygulamasında 19,16 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin Cu ağır metalinin temizlenmesinde fitoremediasyonun alt dallarından fitoekstraksiyon yöntemi için 30 mg kg⁻¹ Cu dozu için uygulanabilir bir bitki olduğu ve diğer Cu dozları için (60 ve 120 mg kg⁻¹) fitostabilizasyon yönteminin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abubacker, M.N. ve Sathya, C. (2017). *Allium cepa* L. kullanılarak Cr, Cu, Pb ve Zn ağır metallerinin genotoksik etkilerinin belirlenmesi [Genotoxic effect of heavy metals Cr, Cu, Pb and Zn using *Allium cepa* L.]. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, Vol: 14(3), 1181-1186.
- Ahmad, I. ve Ansari, T.M. (2020). GFAAS tarafından toprak ve bitkilerde (*Allium cepa* ve *Daucus carota*) toksik ağır metallerin değerlendirilmesi. [An assessment of toxic heavy metals in soil and plants (*Allium cepa* and *Daucus carota*) by GFAAS]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 10 (5).
- Akinnifesi, T.A., Asubiojo, O.I. ve Amusan, A.A. (2006). Nijerya'nın önemli bir kakao üretim alanının topraklarının fiziko-kimyasal özellikleri üzerinde fungisit kalıntılarının etkileri [Effects of fungicide residues on the physico-chemical characteristics of soils of a major cocoa producing area of Nigeria]. *Science of the Total Environment*, 366:876-879.
- Al-Taai, S. H. H. (2021). Toprak kirliliği- sebepleri ve etkileri. [Soil pollution - causes and effects]. *Earth Environ. Sci.* 790 012009.
- Al-Yasiri, K. (2019). El-Kifl çayı ile Avfi nehri arasında bulunan tarım topraklarının kirlenmesine etkileri. [Pesticides and their impact on contamination of agricultural soils located between Al-Kifl stream and Awfi river]. *Babylon University Journal for Human Sciences*. 5 pp.91,92,94,96.
- Anjum, N. A., Adam, V., Kizek, R., Duarte, A. C., Pereira, E., Iqbal, M. ve Ahmad, I. (2015). Toprak-bitki sisteminde nano ölçekli bakır - toksisite ve altta yatan potansiyel mekanizmalar. [Nanoscale copper in the soil-plant system - toxicity and underlying potential mechanisms]. *Environmental Research*, 138, 306–325. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.02.019>
- Asri, F.Ö. ve Sönmez, S. (2006). Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim, Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü Dergisi*, Cilt 23 (2): 36- 45.
- Badran, A. (1988) Çevre kirliliği, kaynakları ve çeşitleri. [Environmental pollution, its sources and types]. *Journal of Science and Technology*. 4 P.7.
- Baya, B. (2008). *Medea, Biskra'da çevre kirliliği ve kalkınma*. [Environmental pollution and development in Medea, Biskra] (Yüksek Lisans Tezi), Cezayir : Yüksek Öğrenim ve Bilimsel Araştırma Bakanlığı, Matouri Qatnya Üniversitesi, Beşeri ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Sosyoloji ve Demografi Bölümü.
- Bayar, M.R. (2019). *Diyarbakır'da yetiştirilen bazı yerli soğan (*Allium cepa* L.) genotiplerinin morfolojik karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Bertan, A. S., Baumbach, F. P., Tonial, I. B., Pokrywiecki, T. S. ve Düsman, E. (2019). *Allium cepa* L'nin ham kanalizasyon arıtımında fitoremediasyon potansiyelinin değerlendirilmesi [Assessment of phytoremediation potencial of *Allium cepa* L. in raw sewage treatment]. *Brazilian Journal of Biology*. doi:10.1590/1519-6984.214278.

- Bhosale, Y. K., Perumal, T., Varghese, S. M., Vincent, H ve Ramachandran, S. V. (2022). Fonksiyonel çerez üretimi için arpacık soğanı biyoatık (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) fraksiyonlarının kullanımı [Utilization of shallot bio-waste (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) fractions for the production of functional cookies]. *International Journal of Food Engineering*, 18: 1, 27-39. doi: 10.1515/ijfe-2021-0169.
- Bolat, İ. ve Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 218-228. doi: 10.24011/barofd.251313.
- Boşgelmez A, Boşgelmez İ. İ, Savaşçı, S. & Paslı, N. (2001). *Ekoloji – II (Toprak)*, Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara.
- Bouyoucos, G.J.(1955). “Toprakların mekanik analizini yapmak için hidrometre yönteminin yeniden kalibrasyonu”; [“Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soils”], *Agronomy Journal*, 4(9):434.
- Burnie, G., Forrester, S., Greig, D., Guest, S. & Harmony, M. (1999). *Botanik: 10.000’den fazla bahçe bitkisinin resmi A’den Z’ye* [Botanica: The illustrated A-Z of over 10,000 garden plants], 3rd edition.,74. Random House: New South Wales.
- Bystrická, J., Musilová, J., Tomáš, J., Tóth, T., Kavalcová, P. ve Šiatkovský, O. (2015). Farklı lokasyonlarda yetiştirilen seçilmiş soğan çeşitlerinde (*Allium cepa* L.) ağır metal alımı [Intake of heavy metals in selected varieties of onion (*Allium cepa* L.) grown in the different locations]. *Environmental Protection and Natural Resources*, 26: 3(65).
- Bystrzejewska-Piotrowska, G. ve Urban, P.L. (2004). Soğan bitkilerinde (*Allium cepa*) sezyum-137 birikimi ve translokasyonu [Accumulation and translocation of cesium-137 in onion plants (*Allium cepa*)]. *Environmental and Experimental Botany*, 51:3-7.
- Carrillo-González, R., J. Simunek, S. Sauvé, ve D. Adriano. (2006). Topraklarda eser element hareketliliğinin mekanizmaları ve yolları [Mechanisms and pathways of trace element mobility in soils]. *Advanced Agronomy*, 91, 113-180.
- Cho, Y., Bolick, J. ve Butcher, D.J. (2009). Yeşil soğan (*Allium fistulosum*) ile kurşunun fitoremediasyonu ve ay ışığı eğrelti otları tarafından arsenik bileşiklerinin alımı (*Pteris cretica cv Mayii*) [Phytoremediation of lead with green onions (*Allium fistulosum*) and uptake of arsenic compounds by moonlight ferns (*Pteris cretica cv Mayii*)]. *Microchemical Journal*, 91:6-8.
- Cioica, N., Tudora, C., Iuga, D., Deak, G., Matei, M., Nagy, E. M. ve Gyorgy Z. (2019). Ağır metallere kirlenmiş toprakların yerinde temizlenmesi için ekolojik bir yöntem olarak fitoremediasyon üzerine bir inceleme [A review on phytoremediation as an ecological method for in situ clean up of heavy metals contaminated soils]. E3S Web of Conferences, 112, 03024 TE-RE-RD. doi: 10.1051/e3sconf/201911203024.
- Cruz, F. J. R. , Ferreira, R. L. d. C. , Conceição, S. S. , Lima, E. U. , de Oliveira Neto, C. F. , Galvão, J. R. , Lopes, S. d. C. ve de Jesus Matos Viegas, I. (2022). Bitkilerde bakır toksisitesi: beslenme, fizyolojik ve biyokimyasal yönler. [Copper toxicity in plants: nutritional, physiological, and biochemical aspects]. In (Ed.), *Advances in Plant Defense Mechanisms*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105212>.

- Dorais, M., Papadoulos, A.P. ve Gosselin. A. (2001). Sera domatesi meyve kalitesi [Greenhouse tomato fruit quality]. *Horticultural Reviews*, 26:262-319.
- Dossa, F., Miassi, Y. ve Banzou, K. (2018). Kentsel ve kentsel çevre alanlarda soğan (*Allium cepa*) üretimi: Güney Benin'deki pazar bahçıvanları için bu faaliyetin finansal performansı ve önemi [Onion (*Allium cepa*) production in urban and peri-urban areas: Financial performance and importance of this activity for market gardeners in Southern Benin]. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*. 3(2)- CIACR.MS.ID.000159.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. ve Simonsson, M. (2011). Toprak bilimi [Marklára]. Lund, Studentlitteratur AB.
- Erkalo, M., Nebiyu A. ve Daba, G. (2022). Düşük girdili üretim sistemlerinde soğan (*Allium cepa* L.) soğan verimi, tavuk gübresi ve harmanlanmış gübrenin birlikte uygulanması [Onion (*Allium cepa* L.) bulb yield in low input production systems can be sustained through combined application of chicken manure and blended fertilizer]. *Journal of Plant Nutrition*, doi: 10.1080/01904167.2022.2068429.
- FAO. (1990). Mikobesin, değerlendirme ve ülke düzeyi: Uluslararası bir çalışma [Micronutrient, assesment and the country level: An International study]. *FAO Soils Bulletin* 63, Rome, Italy
- FAOSTAT, (2022). Bitkisel istatistik verileri. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fadlallah, S. (2001). Çevre kirliliği ve tarımsal ekonomik kalkınmaya etkisi. [Environmental pollution and its impact on agricultural economic development]. *Assiut Journal of Environmental Studies*. 20 PP.77-89.
- Farias, G.J., Antes, F.L.G., Nunes, P.A.A, Nunes, S.T., Schaich, G., Rossato, L.V., Miotto, A., Giroto, E., Tiecher, T.L., Dressler, V.L. ve Nicoloso, F.T. (2013). Bağ topraklarındaki fazla bakırın patates genotiplerinin mineral beslenmesi üzerine etkileri. [Effects of excess copper in vineyard soils on the mineral nutrition of potato genotypes]. *Food and Energy Security*, 2(1), 49-69.
- Farraji, H., Robinson, B., Mohajeri, P., ve Abedi, T. (2020). Fitoremediasyon: sucul ve karasal ortamları iyileştirmek için yeşil teknoloji. [Phytoremediation: green technology for improving aquatic and terrestrial environments.] *Nippon Journal of Environmental Science*, 1(1), 1002. <https://doi.org/10.46266/njes.1002>.
- Ferreira, G.W., Lourenzi, C.R., Comin, J.J., Loss, A., Giroto, E., Ludwig, P. M., Freiberg, A.J., Camera, D.O., Marchezan, C., Palermo, M.N., Scopel, G.,Thoma, A.L.S, Charopem, A.B., Moura-Bueno, J.M., Drescher, G.L. ve Brunetto, G. (2023). Mera ve toprak işlemez sistemlerde organik ve mineral gübre uygulamalarının ürün verimi, fraksiyonları ve Cu ve Zn kirlenici potansiyeli üzerine etkisi. [Effect of organic and mineral fertilizers applications in pasture and no-tillage system on crop yield, fractions and contaminant potential of Cu and Zn], *Soil & Tillage Research*, 225.
- Gad El-Hak, H. N. ve Mobarak, Y. M. (2019). Erkek sıçanların bakır oksiklorüre subkronik maruziyetinin nörotoksik etkisi. [The neurotoxic impact of subchronic exposure of male rats to copper oxychloride]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 52(October 2018), 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.12.015>

- Ganesan, S., Panda, S., Sinha, A., ve Chettri, A. (2020). *Fitoremediasyon: Ağır metallerin bitkiler kullanılarak ortamdan uzaklaştırılması için sürdürülebilir yaklaşım. [Phytoremediation: Sustainable approach for the removal of heavy metals from the environment using plants.] IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 955(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012096*
- Güneş, A., Kumar, R., Pek, T., Yüksel, M., ve Kabay, N. (2017). Yapay sulak alanlarda atık su rehabilitasyonunda kullanılan *Salvinia natans* ve *Lemna minor* bitki türlerinin su kalitesine olan etkileri [The water quality effects of *Salvinia natans* and *Lemna minor* plant which used for rehabilitation of wastewater on the water quality]. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(50), 79–86. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.65376>
- Güvenç, İ. (2019). Türkiye’de soğan üretimi, fiyat değişimi, dış ticareti ve rekabet gücü. *YYÜ Tarla Bilimleri Dergisi*, 29 (4): 634-640.
- Havey, M.J. (1993). Soğan [Onion]. *Genetic Improvement of Vegetable Crops*, 4:35–49. doi:10.1016/B978-0-08-040826-2.50008-4
- Haq, S., Bhatti, A. A., Dar, Z. A., ve Bhat, S. A. (2020). Ağır metallerin fitoremediasyonu: çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşım. [Phytoremediation of heavy metals : An eco-friendly and sustainable approach.] *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*, January, 215–230. doi: 10.1007/978- 3-030-35691-0
- Jamal, Q.J. (2019). Hava kirliliği: kavramlar ve etkiler [Air Pollution: concepts and effects]. *Journal of Scientific Prospects*. 11 pp.300-305.
- Jat, P.K, Khandelwal, S.K. ve Chopra, M. L. (2022). Besin maddeleri ve bitki büyüme düzenleyicilerinin soğan (*Allium cepa* L.) verim ve kalitesine etkisi. [Effect of nutrients and plant growth regulators on yield and quality of onion (*Allium cepa* L.)]. *The Pharma Innovation Journal*, 11(1): 1596-1599.
- Kacar, B. & İnal, A. (2010). *Bitki Analizleri* (2. Baskı), Nobel Yayınları No: 1241.
- Kacar, B. & Katkat, V. (2010). *Bitki Besleme*. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.
- Karaman, M.R. (2012). *Bitki Besleme* (Editör: M.R. Karaman),. Gübretaş Rehber Kitapları Dizisi:2, Ankara. ISBN:978-605-87103-2-0.
- Khan, Z. I., Safdar, H., Ahmad, K., Wajid, K., Bashir, H., Ugulu, I., ve Dogan, Y. (2020). Kanalizasyon suyu ile sulanan toprakta yetiştirilen kaba yemlerde bakır biyobirikimi ve yer değiştirmesi [Copper bioaccumulation and translocation in forages grown in soil irrigated with sewage water]. *Pakistan Journal of Botany*, 52(1), 111–119. [https://doi.org/10.30848/PJB2020- 1\(12\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020- 1(12)).
- Kılıç, D. D. ve İpek, A. (2019). Bazı tarım bitkileri kullanılarak arıtma çamurundan kurşun kirliliğinin şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 458-467.
- Kirkby, M. A. 1987. Bitki beslemenin temelleri, [Principles of plant nutrition], International Potash Institute..

- Kocaer, F.O. ve Başkaya, H.S. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8(1).
- Koch, H.P. & Lawson, L.D. (1996). *Sarımsak: Allium sativum L. ve ilgili türlerin bilimi ve tedavi edici uygulaması [Garlic: The science and therapeutic application of Allium sativum L. and related species]*. 2nd edition. Williams & Wilkins: Baltimore, Maryland.
- Kumar, V., Pandita, S., Singh Sidhu, G. P., Sharma, A., Khanna, K., Kaur, P. ve Setia, R. (2021). Bitkilerde bakır biyoyararlanımı, alımı, toksisitesi ve toleransı: kapsamlı bir inceleme. [Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: a comprehensive review]. *Chemosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>.
- Lee, J. H. (2013). Çevre kirliliği kontrolü için potansiyel olarak umut verici bir teknoloji olarak fitoremediasyona genel bir bakış [An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 18(3), 431–439. doi:10.1007/s12257-013-0193-8.
- Li, X., Zhou, Q., Sun, X. ve Ren, W. (2016). Kadmiyumun farklı gal soğanlarında (*Allium fistulosum* L) besin elementlerinin alımı ve translokasyonu üzerine etkileri. [Effects of cadmium on uptake and translocation of nutrient elements in different welsh onion (*Allium fistulosum* L.) cultivars]. *Food Chemistry* 194, 101-110.
- Lindsay, W. L. ve Norvell, W. A. (1978). Çinko, demir, manganez ve bakır için DTPA toprak testinin geliştirilmesi. [Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper]. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.
- Liu, D. ve Kottke, I. (2004). Elektron enerji kaybı spektroskopisi (EELS) ile *Allium sativum*'un kök hücrelerinde bakırın hücre altı lokalizasyonu [Subcellular localization of copper in the root cells of *Allium sativum* by electron energy loss spectroscopy (EELS)]. *Bioresource Technology*, 94:153-158.
- Marcano, L., Carruyo, I., Del Campo, A. ve Montiel, X. (2002). Kadmiyumun soğan *Allium cepa* L. meristematik hücrelerinin nükleoli üzerindeki etkisi: Bir ultrastrüktürel çalışma [Effect of cadmium on the nucleoli of meristematic cells of onion *Allium cepa* L: An ultrastructural study]. *Environmental Research Section A*, 88:30- 35.
- Marschner P. (2012). *Marschner'in yüksek bitkilerin mineral beslemesi [Marschner's mineral nutrition of higher plants]*. Third Edition. Academic Press, Elsevier.
- McCauley, A., Jones, C. ve Jacobsen, J. (2009). Besin yönetimi, besin yönetimi modülü 9. [Nutrient Management. Nutrient management module 9], Montana State University Extension Service Publication, 4449-9, p.1–16.
- Mozafar, A., Ruh, R., Klingel, P., Gamper, H., Egli, S. ve Frossard, E. (2002). Ağır metal ile kirlenmiş atış poligonu topraklarının köklerin mikorizal kolonizasyonu ve pırasa tarafından metal alımı üzerine etkisi [Effect of heavy metal contaminated shooting range soils on mycorrhizal colonization of roots and metal uptake by leek]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 79:177-191.

- Nedjimi, B. (2021). Fitoremediasyon: ağır metallerin dekontaminasyonu için sürdürülebilir bir çevre teknolojisi [Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination]. *SN Applied Sciences*, 3:286.
- Ogeleka, D. F. ve Nwudu, A. (2019). Soğanlarda (*Allium cepa* L.) potansiyel ekolojik kaygı (COPEC) kirleticileri olarak bakır ve çinkonun değerlendirilmesi [An appraisal of copper and zinc as Contaminants of Potential Ecological Concern (COPEC) on onions (*Allium cepa* L.)]. *Nigerian Journal of Chemical Research*, 24:1.
- Oladoye, P. O., Olowe, O. M. ve Asemoloye, M. D. (2022). Ağır metalle kirlenmiş toprakların fitoremediasyon teknolojisi ve gıda güvenliğine etkileri: Literatür taraması [Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature]. *Chemosphere*, 288:2. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132555.
- Olsen S.R. & Sommers L.E. (1982). *Toprak analiz yöntemleri. [Methods of soil analysis.] Part II. Chemical and microbiological properties*. Editors: Page, A.L., R.H. Miller, D.R. Keeney. Agronomy. No: 9 Madison, Wisconsin, USA.
- Özyürek, F. (2016). *Nevşehir’de farklı su kaynaklarıyla sulanan sebzelerde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) birikimi* (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, , Nevşehir.
- Pareek, S., Sagar, A. N., Sharma, S. ve Kumar, V. (2018). *Soğan (Allium cepa L.) [Onion (Allium cepa L.)]. Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health, Volume II, Second Edition*. Edited by Elhadi M. Yahia.
- Plaster, E. J. (1992). *Toprak bilimi ve yönetimi. [Soil science and management]*. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.
- Priya, S, Tiyasha ve Bhagat SK (2014). RIICO sanayi bölgesinin kanalizasyon suyunun artırılması için *Allium cepa* ve *Brassica juncea* kullanılarak fitoremediasyon için karşılaştırmalı bir analiz. [A comparative analysis for phytoremediation using *Allium cepa* and *Brassica juncea* for treatment of sewage water of RIICO industrial area], *Jaipur. Int J. Adv Sci Tech*, 1: 407–418.
- Prasann, K., Biswapati, M. ve Padmanabh, D. (2011). *Mentha spicata* ve *Allium cepa*’nın ağır metal temizleme kapasitesi [Heavy metal scavenging capacity of *Mentha spicata* and *Allium cepa*]. *Medicinal Plants- International Journal of Phytomedicines and Related Industries*. 3:4.
- Pedron, F., Grifoni, M., Barbaferri, M., Petruzzelli, G., Franchi, E., Samà, C., Gila, L., Zanardi, S., Palmery, S., Proto, A., ve Vocciante, M. (2021). Fitoremediasyonda yeni ışık: Lüminesan güneş yoğunlaştırıcılarının kullanımı. [New light on phytoremediation: The use of luminescent solar concentrators.] *Applied Sciences* (Switzerland), 11(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app11041923>.
- Raffa, C.M. ve Chiampo, F. (2021). Pestisitlerle kirlenmiş tarım topraklarının biyoremediasyonu: Bir inceleme. [Bioremediation of agricultural soils polluted with pesticides: A review]. *Bioengineering in Remediation of Polluted Environments*, 8 (7).
- Sağlam, M. T. (2012). *Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri*. Namık Kemal Üniversitesi, Yayın No: 2, Tekirdağ.

- Sardrood, B.P., Goltapeh, E.M ve Varma, A. (2013). Biyoremediatörler olarak mantarlar [Fungi as bioremediators], *Soil Biology* 32. doi: 10.1007/978-3-642-33811-3_1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013
- Sasikumar, C.S. ve Papinazath, T. (2003). *Çevre yönetimi: kirlenmiş çevrenin biyolojik olarak iyileştirilmesi [Environmental management: bioremediation of polluted environment]*. In: Bunch MJ, Suresh VM, Kumaran TV (eds) Proceedings of the third international conference on environment and health, Chennai, India, 15–17 Dec 2003. Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, Chennai, pp 465–469.
- Savithri, P., Biju, J. ve Poongothai, S. (2003). Hindistan'ın sıcak yarı kurak bölgesindeki topraklarda bakır fungusit spreylelerinin mikrobesein durumuna etkisi [Effect of copper fungicide sprays on the status of micronutrient in soils of hot semi-arid region of India]. *Coimbatore*, 641:003.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N. ve Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Shen, X., Dai, M., Yang, J., Sun, L., Tan, X., Peng, C., Ali, İ. ve Naz, İ. (2022). Ağır metallerin çevreden fitoremediasyonu üzerine eleştirel bir inceleme: Performans ve zorluklar [A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: Performance and challenges]. *Chemosphere*, 291:3.
- Siddiqi, K.S. ve Husen, A. (2022). Gümüş nanoparçacıklara bitki tepkisi: bir eleştiri incelemesi. [Plant response to silver nanoparticles: a critical review]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(7).
- Sommer, A.L. (1945). Bakır ve bitki büyümesi [Copper and plant growth]. *Soil Sci.* 60: 71-80.
- Soudek, P., Kotyza, J., Lenilusova, I., Petrova, S., Benesova, D. Ve Vanek, T. (2009). Hidroponik olarak yetiştirilen sarımsak (*Allium sativum* L.), soğan (*Allium cepa* L.), pırasa (*Allium porrum* L.) ve frenk soğanı (*Allium schoenoprasum* L.) içindeki ağır metaller. [Heavy metals in hydroponically cultivated garlic (*Allium sativum* L.), onion (*Allium cepa* L.), leek (*Allium porrum* L.) and chive (*Allium schoenoprasum* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7:(3,4).
- Sönmez, O. ve Kılıç, F.N. (2021), Toprakta ağır metal kirliliği ve uzaklaştırma teknikleri. [Heavy metal pollution in soil and removal methods]. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2): 493-507.
- Şengül, Ü., Eslemian, S. ve Eren, M. (2013). Türkiye’de istatistikî bölge birimleri sınıflamasına göre düzey 2 bölgelerinin ekonomik etkinliklerinin VZA yöntemi ile belirlenmesi ve tobit model uygulaması. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 21, ss. 75-99.
- Tacıroğlu, B., Kara, E.E. ve Sak, T. (2016). Toprakta ağır metal gideriminde solucanların kullanımı. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 201-207.
- T.C Milli Eğitim Bakanlığı, (2008). Bahçecilik-Soğan yetiştiriciliği. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.

- T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021). Organik soğan yetiştiriciliği. Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitü Müdürlüğü. Enstitü yayın no:110, Yalova.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2022a). Tarım Ürünleri Piyasaları , Kuru soğan. [Erişim adresi:<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2022-Ocak%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Rapor%C4%B1/Kuru%20So%C4%9Fan,%20Ocak-2022%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu%20--+.pdf>]. (Erişim tarihi: 02.10.2022).
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2022b).Ürün Masaları, Soğan Bülteni, 18. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/B%C3%BCltenler/OCAK%202022/Kuru%20So%C4%9Fan%20Ocak%20B%C3%BClteni.pdf>. (Erişim tarihi: 02.10.2022).
- TOVEP (1991). Türkiye toprakları verimlilik envanteri. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Tuncay, H. (1994). *Toprak fiziği uygulama kılavuzu*. E. Ü. Ziraat Fakültesi, Teksir No: 29, İzmir.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK), (2022). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: 02.10.2022).
- Uğurlu, E., Duuysak, Ö. ve Şereflişan, H. (2019, 27-29 Haziran). *Biyoremediasyon, Biyoremediasyon tekniklerinin sucul ortamda kullanımı*. 1. International Conference on Environment, Technology and Management, Niğde, Turkey.
- Walter, R. (1957). Bakır ve toprak gübrelenmesi. [Copper and soil fertility]. *Yearbook of Agriculture*, Erişim adresi: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43894781/PDF>
- Wierzbicka, M. (1999). *Allium cepa*'da kurşun toleransının diğer bitki türleri ile karşılaştırılması [Comparison of lead tolerance in *Allium cepa* with other plant species]. *Environmental Pollution* 104:41-52.
- Wuana, R. A. ve Okieimen, F. E. (2011). Kirilenmiş topraklardaki ağır metaller: İyileştirme için kaynaklar, kimya, riskler ve mevcut en iyi stratejilerin gözden geçirilmesi [Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation]. *ISRN Ecology*, 1–20. doi:10.5402/2011/402647.
- Van den Berg, H.; Zaim, M.; Yadav, R.S.; Soares, A.; Ameneshewa, B.; Mnzava, A.; Hii, J.; Dash, A.P. ve Ejoy, M. (2012). Vektörle bulaşan hastalıkları kontrol etmek için böcek ilaçlarının kullanımında küresel eğilimler [Global trends in the use of insecticides to control vector-borne diseases]. *Environ. Health Perspect*, 120, 577–582.
- Veisialiakbari, F., Amerian, M. ve Khoramivafa, M. (2020). Farklı azot ve selenyum düzeylerinin yenilebilir soğanın (*Allium cepa* L.) azot alımının verimliliği ve bazı morffzyolojik özelliklerine etkisi [Effect of different levels o nitrogen and selenium on efficiency of nitrogen intake and some morphphysiological characteristics of edible onion (*Allium cepa* L.)]. *Journal of Vegetables Science*, 3, 2:6.

- Vogelweith, F. ve Thiéry, D. (2018). Bakırın bir bağdaki yaprak eklem bacaklı topluluğu üzerindeki hedef dışı etkilerinin değerlendirilmesi [An assessment of the non-target effects of copper on the leaf arthropod community in a vineyard]. *Biological Control*, 127, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.08.011>
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S.N., Mohd Yusof, M.L., Ghosh, S. ve Chen, Z. (2020) Fitoremediasyon: Ağır metallerle kirlenmiş arazilerin yeniden bitkilendirilmesi için umut verici bir yaklaşım [Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land]. *Frontiers in Plant Science*. 11:359. doi: 10.3389/fpls.2020.00359.
- Yurdakul, İ. (2015). Kirlenmiş topraklarda ve sularda bitkisel iyileştirme teknikleri ve önemi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2: 55-62.
- Zhao, X-X., Lin, F-J., Li, H., Li, H-B., Wu, D-T., Geng, F., Ma, W., Wang, Y., Miao, B-H. ve Gan, R-Y. (2021). Soğanın (*Allium cepa*) biyoaktif bileşikleri, sağlık fonksiyonları ve güvenlik endişelerindeki son gelişmeler [Recent advances in bioactive compounds, health functions, and safety concerns of onion (*Allium cepa*)]. *Frontiers in Nutrition*, 8:669805. doi: 10.3389/fnut.2021.669805.