

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA
ÇAMURUNUN TARIMDA KULLANIM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

**Hazırlayan
Mustafa Kutay KARADAYI**

**Danışman
Prof. Dr. Osman SÖNMEZ**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA
ÇAMURUNUN TARIMDA KULLANIM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Mustafa Kutay KARADAYI**

**Danışman
Prof. Dr. Osman SÖNMEZ**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2025-13931 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mustafa Kutay KARADAYI

İmza

“Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mustafa Kutay KARADAYI

Danışman

Prof. Dr. Osman SÖNMEZ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD Başkanı

Prof. Dr. Adem GÜNEŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük ilgiyle bana rehberlik eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Osman SÖNMEZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Fatma Nur KILIÇ hocama, malzeme temin ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü ve arkadaşlarım Yusuf ABA, Nazım ÖZİNCE, Osman TOPCU, Nuri KANDIRMAZ, Tarık ALTUN, Fevzi Can GÜNDÜZ, Sude Nur ÖZCİHAN' a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak bu sürecin başından sonuna kadar yanımda olarak varlıklarıyla bana güç ve destek veren babam Osman KARADAYI, annem Ayşe KARADAYI, eşim Sena KARADAYI ve kardeşim Gökay KARADAYI 'ya, gelecekte bilime katkı sunacağına inandığım oğlum Hasan Kağan KARADAYI ve Göktuğ KARADAYI 'ya en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Mustafa Kutay KARADAYI

KAYSERİ, 2025

KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA ÇAMURUNUN TARIMDA KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa Kutay KARADAYI

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2025
Danışman: Prof. Dr. Osman SÖNMEZ**

ÖZET

Günümüzde atıksu arıtma çamurlarının depolanması ve bertaraf edilmesi önemli sorunlar arasında yer almış ve işletme maliyetlerinin büyük kısmını oluşturmakta olup bu sorunun azaltılması için ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir yöntemler değerlendirilmelidir. Bu tezde; Kayseri Merkez, Develi, Yahyalı, Bünyan ve Tomarza ilçelerinde yer alan ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinden arıtma çamurları toplanmış ve analizleri yapılmıştır. En yüksek işletme maliyeti ve atık çamur üretimine sahip olmasından dolayı Kayseri Merkez tesisten alınan arıtma çamurları denemede kullanılmak üzere seçilmiştir. Denemede farklı oranlarda arıtma çamuru (%7,5, %15, %20, %25, %50, %75) ve 15-15-15 gübresinden farklı dozlarda (%25, %50, %100) toprağa ilave edilerek sorgum bitkisinin gelişim potansiyelindeki rolü incelenmiş ve kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bulgulara göre arıtma çamuru uygulamalarının tümünde pH değeri anlamlı düzeyde düşüş göstermiş; EC, kireç ve organik madde düzeyleri önemli seviyede artış göstermiştir. Buna ek olarak, arıtma çamurunun toprağa eklenen oranının artmasının sorgum bitkisinin gelişimini olumsuz etkilediği ancak dozlar seyreltildiğinde sorgum gelişimini desteklediği, özellikle arıtma çamurunun dozunun azaltılmasının ve gübre ilavesinin birlikte etkisinin bitki ve kök boyu, sap çapı, bitki ve kök yaş ağırlığı, bitki ve kök kuru ağırlığı gibi parametreleri kontrol grubuna kıyasla önemli düzeyde etkilediği ($p<0,01$). En yüksek elde edilen bulgular; bitki boyunda A7,5-G50 grubunda 76,16 cm, kök uzunluğunda A7,5-G25 grubunda 35 cm, bitki ve kök yaş ağırlığı A7,5-G100 grubunda sırasıyla 66,79 g ve 41,07 g ölçülmüştür. Arıtma çamurları uygulama dozlarının uygun düzeyde seçilmesi durumunda bitki gelişimini destekleyeceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, sorgum, tarımsal sürdürülebilirlik, besleme stratejisi

DETERMINATION OF THE POTENTIAL USE OF KAYSERİ ADVANCED BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SLUDGE IN AGRICULTURE

Mustafa Kutay KARADAYI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2025

Supervisor: Prof. Dr. Osman SÖNMEZ

ABSTRACT

Today, the storage and disposal of wastewater treatment sludge is a major problem and accounts for a large portion of operating costs. Economically and environmentally sustainable methods should be evaluated to reduce this problem. In this thesis, sludge was collected from advanced biological wastewater treatment plants located in the districts of Kayseri Central, Develi, Yahyalı, Bünyan, and Tomarza, and analyses were conducted. Due to its high operational costs and sludge production, sludge from the Kayseri Central plant was selected for use in the experiment. In the experiment, wastewater sludge at different ratios (7.5%, 15%, 20%, 25%, 50%, 75%) and 15-15-15 fertilizer at different doses (25%, 50%, 100%) were added to the soil to investigate the role of wastewater sludge in the growth potential of sorghum plants and to evaluate its usability. According to the findings, pH values decreased significantly in all sewage sludge applications, while EC, lime, and organic matter levels increased significantly. Additionally, increasing the amount of sewage sludge added to the soil negatively affected sorghum plant development, but when the doses were diluted, it supported sorghum development. Specifically, reducing the dose of sewage sludge and adding fertilizer together significantly affected parameters such as plant and root height, stem diameter, plant and root fresh weight, and plant and root dry weight compared to the control group ($p < 0.01$). The highest findings were: plant height of 76.16 cm in the A7.5-G50 group, root length of 35 cm in the A7.5-G25 group, and plant and root fresh weight of 66.79 g and 41.07 g, respectively, in the A7.5-G100 group. It is believed that wastewater sludge application rates, when selected at appropriate levels, will support plant growth.

Keywords: Sewage sludge, sorghum, agricultural sustainability, fertilization strategy

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA ÇAMURUNUN TARIMDA KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ	
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv

1. BÖLÜM

GİRİŞ

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Atıksu Arıtma Tesislerinde Oluşan Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı Konusunda Yapılan Önceki Çalışmalar	4
--	----------

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Arıtma Çamurları.....	19
3.1.1.1. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	19
3.1.1.2 Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	23
3.1.1.3 Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	25
3.1.1.4. Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	27
3.1.1.5. Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	29
3.1.2. Toprak Materyali.....	31
3.1.3. Saksı Denemesinin Kurulması	33
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Toprak Analizleri.....	38
3.2.1.1. Toprak Tekstürü Analizi.....	38

3.2.1.2. pH ve EC Ölçümü	38
3.2.1.3 Kireç Analizi.....	39
3.2.1.4 Organik Madde Miktarı Analizi.....	40
3.2.1.5 Deneme Öncesi ve Hasat Sonrası Toprakta Mikro Element Analizi	41
3.2.2 Bitki Örneklerinin Analizleri.....	41
3.2.2.1. Bitki Örneklerinin Kök ve Toprak Üzeri Aksamalarının Kuru ve Yaş Ağırlıklarının Ölçülmesi.....	43
3.2.2.2 Bitki Örneklerinin Klorofil Miktarı Ölçümlerinin Yapılması.....	43
3.2.2.3. Hasat Sonrası Bitki ve Kök Örneklerinin Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi.....	44
3.2.3 Verilerin Analizi.....	44

4. BÖLÜM

BULGULAR-TARTIŞMA

4.1. Bulgular.....	45
4.1.1. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisi Boyu Üzerine Etkisi.....	45
4.1.2. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisinde Sap Çapı Ölçümü Üzerine Etkisi	46
4.1.3. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Sorgum Bitkisi Kök Uzunluğu Üzerine Etkisi	47
4.1.4. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgumda Bitki Yaş Ağırlıkları Üzerine Etkisi	48
4.1.5. Arıtma Çamuru ve Gübre İlavesinin Bitki Kuru Ağırlıkları Üzerine Etkisi	48
4.1.6. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgumda Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Etkisi	49
4.1.7. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi	50
4.1.8. Arıtma çamur ve Gübre Uygulamasının Yaprak Klorofil İçeriği Üzerine Etkisi.....	50
4.1.9. Hasat Sonrası Toprak Analizleri	51
4.1.9.1. Arıtma çamur ve Gübre İlavesinin pH Üzerine Etkisi.....	51
4.1.9.2 Arıtma Çamuru ve Gübre İlavesinin Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisi	52

4.1.9.3. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Kireç Değeri Üzerine Etkisi.....	53
4.1.9.4. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Toprak Organik Maddesi Üzerine Etkisi.....	53
4.1.9.5.1. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Değeri Etkisi	54
4.1.9.5.2. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonuna Etkisi	55
4.1.9.5.3. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi.....	55
4.1.9.5.4. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Konsantrasyonu Üzerine Etkisi.....	56
4.1.9.5.5. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Fosfor Değeri Etkisi.....	57
4.1.9.5.6. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Değeri Etkisi.....	57
4.1.9.5.7 Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Konsantrasyonu Etkisi	58
4.1.9.6.1 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Konsantrasyonuna Etkisi.....	59
4.1.9.6.2 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonu Etkisi.....	59
4.1.9.6.3 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi.....	60
4.1.9.6.4 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Değeri Etkisi	61
4.1.9.6.5 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma çamur Ve Gübre Uygulamalarının Ortalama P Değeri Etkisi.....	62
4.1.9.6.6. Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Değeri Etkisi.....	62
4.1.9.6.7. Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Değeri Etkisi	63

4.1.9.7.1. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Konsantrasyonuna Etkisi	64
4.1.9.7.2. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonuna Etkisi	64
4.1.9.7.3. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi	65
4.1.9.7.4. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Konsantrasyonuna Etkisi	66
4.1.9.7.5 Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama TP Konsantrasyonuna Etkisi	66
4.1.9.7.6. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Konsantrasyonuna Etkisi	67
4.1.9.7.7. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Konsantrasyonuna Etkisi	68
4.1.9.7.8. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cd Konsantrasyonuna Etkisi	69
4.1.9.8.2. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cr Konsantrasyonuna Etkisi	70
4.1.9.8.3. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cu Konsantrasyonuna Etkisi	71
4.1.9.8.4. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Ni Konsantrasyonuna Etkisi	72
4.1.9.8.5. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı P Konsantrasyonuna Etkisi	73
4.1.9.8.6. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Pb Konsantrasyonuna Etkisi	74
4.1.9.8.7. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Zn Konsantrasyonuna Etkisi	75
4.2. Tartışma	76

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	101

KISALTMALAR

Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
Cu	: Bakır
EC	: Elektriksel İletkenlik
g	: Gram
Hg	: Civa
Kg	: Kilogram
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.	KİBAAT İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi 20.06.2023 Tarihli Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları.....	21
Tablo 2.	KİBAAT İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi 06.07.2024 Tarihli Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları.....	22
Tablo 3.	KİBAAT Analizleri ve Yönetmelik Sınır Değerleri	23
Tablo 4.	Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları	25
Tablo 5.	Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları	27
Tablo 6.	Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları	29
Tablo 7.	Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları	31
Tablo 8.	Denemede Kullanılan Toprakların Analizi.....	31
Tablo 9.	Saksı Denemesi Desen Dağılımı.....	34
Tablo 10.	Arıtma Çamuru Miktar ve Yüzdesi	34
Tablo 11.	Gübre Miktarı ve Yüzdesi.....	34
Tablo 12.	Seyreltilen Arıtma Çamuru Oranları ile Saksı Denemesi Desen Dağılımı	37
Tablo 13.	Bitki Boyu Varyasyon Tablosu.....	90
Tablo 14.	Sap Çapı Varyans Tablosu.....	90
Tablo 15.	Kök Derinliği Varyans Tablosu	90
Tablo 16.	Bitki Yaş Ağırlık Varyans Tablosu	91
Tablo 17.	Bitki Kuru Ağırlık Varyans Tablosu	91
Tablo 18.	Kök Yaş Ağırlık Varyans Tablosu.....	91
Tablo 19.	Kök Kuru Ağırlık Varyans Tablosu.....	92
Tablo 20.	SPAD Varyans Tablosu	92
Tablo 21.	pH Varyans Tablosu	92
Tablo 22.	Elektriksel İletkenlik Varyans Tablosu.....	93
Tablo 23.	Kireç Varyans Tablosu	93
Tablo 24.	Organik Madde Varyans Tablosu	93

Tablo 25.	Kök Cd Varyans Tablosu.....	94
Tablo 26.	Kök Cr Varyans Tablosu	94
Tablo 27.	Kök Cu Varyans Tablosu.....	94
Tablo 28.	Kök Ni Varyans Tablosu	94
Tablo 29.	Kök P Varyans Tablosu	95
Tablo 30.	Kök Pb Varyans Tablosu	95
Tablo 31.	Kök Zn Varyans Tablosu	95
Tablo 32.	Bitki Cd Varyans Tablosu.....	95
Tablo 33.	Bitki Cr Varyans Tablosu	96
Tablo 34.	Bitki Cu Varyans Tablosu.....	96
Tablo 35.	Bitki Ni Varyans Tablosu	96
Tablo 36.	Bitki P Varyans Tablosu	96
Tablo 37.	Bitki Pb Varyans Tablosu	97
Tablo 38.	Bitki Zn Varyans Tablosu.....	97
Tablo 39.	Toprak Cd Varyans Tablosu	97
Tablo 40.	Toprak Cr Varyans Tablosu.....	97
Tablo 41.	Toprak Cu Varyans Tablosu	98
Tablo 42.	Toprak Ni Varyans Tablosu.....	98
Tablo 43.	Toprak P Varyans Tablosu	98
Tablo 44.	Toprak Pb Varyans Tablosu	98
Tablo 45.	Toprak Zn Varyans Tablosu	99
Tablo 46.	DTPA Cd Varyans Tablosu	99
Tablo 47.	DTPA Cr Varyans Tablosu.....	99
Tablo 48.	DTPA Cu Varyans Tablosu	99
Tablo 49.	DTPA Ni Varyans Tablosu.....	100
Tablo 50.	DTPA P Varyans Tablosu.....	100
Tablo 51.	DTPA Pb Varyans Tablosu.....	100
Tablo 52.	DTPA Zn Varyans Tablosu	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	KİBAAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°45'56"N 35°18'06"E)	20
Şekil 2.	KİBAAT AAT Çamur Susuzlaştırma ve Beltpres Ünitesi.....	21
Şekil 3.	Develi AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°20'45"N 35°27'03"E)	23
Şekil 4.	Develi AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi	24
Şekil 5.	Yahyalı AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°08'39"N 35°21'45"E)	26
Şekil 6.	Yahyalı AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi	26
Şekil 7.	Tomarza AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°26'40"N 35°49'55"E)	28
Şekil 8.	Tomzarza AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi	28
Şekil 9.	Bünyan AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°50'57"N 35°49'18"E)	30
Şekil 10.	Bünyan AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi.....	30
Şekil 11.	Toprak örneklerinin alındığı alan.....	32
Şekil 12.	Toprak Numunelerinin Alınması	32
Şekil 13.	Saksı Numunesi Kurulumu İçin Arıtma Çamuru ve Toprağın Hazırlanması	33
Şekil 14.	Saksı Denemesi Kurulumu.....	35
Şekil 15.	Uygulanan arıtma çamuru ve gübrenin bitki üzerindeki etkisi	36
Şekil 16.	Arıtma çamuru-gübre uygulamasının hasat öncesi görünümü.....	37
Şekil 17.	Deneme toprağında tekstür analizi	38
Şekil 18.	Deneme toprağında EC ve pH analizi	39
Şekil 19.	Deneme toprağında kireç analizi.....	40
Şekil 20.	Deneme toprağında organik madde analizi	40
Şekil 21.	Hasatı yapılan bitki ve aksamalarının yıkanması.....	41
Şekil 22.	Hasatı yapılan bitki ve aksamalarının kurulanması	42
Şekil 23.	Sürgün ve kök örneklerinin kurutulması ve öğütülmesi	42
Şekil 24.	Yaş ve kuru bitki ağırlıklarının alınması.....	43

Şekil 25.	Sorgum bitkisinin klorofil yoğunluğunun ölçümü	44
Şekil 26.	Kontrol, A0-G25, A7,5-G25, A15-G25 ve A20-G25 uygulamalarının sorgum bitkisinde bitki boy uzunluklarının kıyaslanması	45
Şekil 27.	Kontrol, A0-G100, A7,5-G100, A15-G100 ve A20-G100 uygulamalarının sorgum bitkisinde bitki boy uzunluklarının kıyaslanması	46
Şekil 28.	Arıtma çamuru ve gübre uygulamasının ortalama bitki boyuna etkisi	46
Şekil 29.	Arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının sorgum bitkisinde ortalama sap çapına etkisi.....	47
Şekil 30.	Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kök uzunluğuna etkisi	47
Şekil 31.	Arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama bitki yaş ağırlığına etkisi	48
Şekil 32.	Arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama bitki kuru ağırlığına etkisi	49
Şekil 33.	Arıtma çamur ve gübre uygulamasının ortalama kök yaş ağırlıklarına etkisi	49
Şekil 34.	Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kök kuru ağırlıklarına etkisi ...	50
Şekil 35.	Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama klorofil miktarına etkisi	51
Şekil 36.	Arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama pH üzerine etkisi	52
Şekil 37.	Arıtma çamuru ve gübre dozlarının ortalama elektriksel iletkenlik etkisi ...	52
Şekil 38.	Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kireç etkisi.....	53
Şekil 39.	Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama organik madde içeriğine etkisi	54
Şekil 40.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cd konsantrasyonu değişimleri	54
Şekil 41.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonuna etkisi	55
Şekil 42.	Hasat Sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu konsantrasyonunda değişimi.....	56
Şekil 43.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Ni konsantrasyonuna etkisi	56
Şekil 44.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama fosfor değerine etkisi.....	57

Şekil 45.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının bitki kökünde ortalama Pb değerine etkisi	58
Şekil 46.	Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama kök Zn konsantrasyonuna etkisi	58
Şekil 47.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Cd değerine etkisi	59
Şekil 48.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonu etkisi	60
Şekil 49.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu değerine etkisi	61
Şekil 50.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Ni değerine etkisi	61
Şekil 51.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama P değerine etkisi	62
Şekil 52.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Pb değerine etkisi	63
Şekil 53.	Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Zn değerine etkisi	63
Şekil 54.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cd konsantrasyonuna etkisi	64
Şekil 55.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonuna etkisi	65
Şekil 56.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu konsantrasyonuna etkisi	65
Şekil 57.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Ni konsantrasyonuna etkisi	66
Şekil 58.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama TP konsantrasyonuna etkisi	67
Şekil 59.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Pb konsantrasyonuna etkisi	68
Şekil 60.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Zn konsantrasyonuna etkisi	69

Şekil 61.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cd konsantrasyonuna etkisi.....	70
Şekil 62.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cr konsantrasyonuna etkisi.....	71
Şekil 63.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cu konsantrasyonuna etkisi.....	72
Şekil 64.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Ni konsantrasyonuna etkisi.....	73
Şekil 65.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı P konsantrasyonuna etkisi	74
Şekil 66.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Pb konsantrasyonuna etkisi	75
Şekil 67.	Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Zn konsantrasyonuna etkisi	76

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Canlıların yaşaması için su ve toprak hayati öneme sahiptir. Bütün canlı organizmaların faaliyetlerini devam ettirebilmesi için su ve toprak gereklidir. İnsanların hayatını devam ettirebilmesi için en önemli besin kaynağı olan su, insan vücudundaki sistemlerinin çalışmasında temel etkindir. Yaşam kaynağı olan su toksik maddelerin vücuttan atılmasında da önemli bir rol oynar. İnsan organizmasının büyük bir kısmı sudan meydana gelir. Dünyadaki suların yalnızca %2,5'i tatlı sudur. Bununla beraber suyun %70'i buzullarda, toprakta, atmosferde, yeraltı sularında bulunur ve kullanılamaz durumdadır. Dünya da ortalama kişi başına düşen su tüketimi $800 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ olduğu tahmin edilmektedir. Dünya da 2 milyar insan yeterli içme suyuna sahip olmamakla beraber 3,2 milyar insanın ise sağlıklı suya hasrettir. Yıllar geçtikçe su probleminin artacağı ve 2050 yılında dünyanın %40'ının su sıkıntısı çekeceği öngörülmektedir. Ülke su kaynakları bakımından su stresi yaşayan ülkeler arasında bulunmaktadır. Ülkelerin su zengini sayılabilmeleri için kişi başına düşen su miktarı $8000-10000 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ arasında olmalıdır. Ancak ülkemizde kişi başına $1430 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ seviyesindedir (Yıldız, 2004).

Su kaynaklarının sabit kalmasına rağmen nüfusun hızlı bir şekilde artması su kaynaklarının önemini her geçen gün arttırmaktadır. İklim değişikliği neticesinde su kaynaklarının tükenmekte olmasıyla beraber insanların geri dönüşüme, sürdürülebilir tarıma olan ilgisi artmıştır (Fahad ve ark., 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e; Aydemir ve ark. 2005). Günümüzde kirlenen suları, çevre ve doğal yaşamın zarar görmeyeceği bir forma sokabilmek için atıksu arıtma tesisleri kurulmuştur ve kurulmaya devam etmektedir. Atıksu arıtma tesisleri kanalizasyon kolektör hatları ile toplanan atıksuların tesise girişi ile temizlemeye başlamaktadır (Metcalf & Eddy, Inc. 2003).

Toprak ise birçok bitki ve hayvana yaşam alanı sağlayan, litosfer(taş küre) ile atmosferi birbirinden ayıran dünyamızın canlı bir parçasıdır (White, 2002). Toprak iklim koşulları,

güneş, yağmur, rüzgâr gibi faktörlerin etkisiyle kayaların yüzyıllar içerisinde çok ufak parçalara ayrılması ile oluşmaktadır (Jenny, 1941). İçerisinde ve üzerinde canlıları barındıran, bitkilerin durak yeri ve besin kaynağı olan toprak belirli oranlarda hava, su, organik madde ve mikroorganizma içerir. Toprağın elverişli yapısının korunması tarım için çok önemlidir. Bilinçli bir şekilde yapılan gübreleme, sulama, ilaçlama ve bunun gibi etkenler topraktan alınacak verimi maksimum seviyeye çıkaracaktır. Bitkilerin yetişmesi için toprağın %45'i mineral, %25'i hava, %25 su ve %5 organik maddeden oluşması ideal bir modeldir (Brady, 1990). Yanlış yapılan katı arıtma yönetimi ise toprağın verimini düşürerek yıllar içinde verimsiz bir toprak yapısına yol açacaktır. Günümüzde toprak verimini arttırmak için yapılan çalışmalar arasında atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurların toprakta kullanılması araştırılmaktadır (Kocaer ve ark. 2003). Arıtma çamurlarının bertarafında en çok kullanılan yöntem depolama yöntemidir (Aksu, 2008). İşletme maliyetinin yüksek olması ve oluşturduğu koku problemleri, depolama yönteminin dezavantajlarındandır. Arıtma çamurlarının içeriğindeki besin muhtevasının içeriği (özellikle ağır metaller) ve depolama maliyetlerinin yüksek olması bu çamurların tarımda kullanılabilirliğinin sorgulanmasına sebep olmuştur (Hanay ve Hasar, 2000; Grigatti, 2007; Akça ve Sönmez, 2023; Turan ve ark., 2022; Sonmez ve ark., 2008, 2016; Khan ve ark., 2019). Arıtma çamurları özellikle ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde giderilen azot ve fosfor elementlerini bünyesinde barındırmasından dolayı tarımda kullanım imkânları değerlendirilmektedir (Uzun ve ark, 2011). Bitkisel üretimin yapılması için kullanılan arıtma çamurları azot ve fosforun temin aşamasında büyük rol oynamaktadır. Bu besin elementlerinin temininin yanı sıra uygun dozlarda kullanıldığında toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını düzenleyebilmektedir (Ravindran ve ark, 2007). Arıtma çamurunun karakteristik özelliklerine göre içeriğinde bulunabilecek olan ağır metaller, deterjan, mikroplastikler ve ilaç kalıntıları içerebilmesinden dolayı dikkatli bir şekilde uygulama sonrası takibi yapılmalıdır. Arıtma çamurlarının ve kirlenmiş toprakların tarımda uygulaması yapılırken sınır değerlere yaklaşıldığında uygulama kesilmemesi halinde su kaynakları ve besin zincirine karışma ihtimali söz konusu olmaktadır (Hettiarachchi ve ark., 2003).

Bu çalışmanın amacı ise KİBAAT çamurlarının tarımda kullanım imkânlarının belirlenerek, atıksu arıtma tesislerinde, arıtma çamurlarının depolanma safhasında ortaya çıkan işletme maliyetlerinin arıtma çamurunun tarımda kullanılması ile azaltılması ve

bitki yetiştirilmesindeki gerekli besin elementlerinin arıtma çamurundan karşılanıp karşılanamayacağının belirlenmesidir.



2. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Atıksu Arıtma Tesislerinde Oluşan Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı Konusunda Yapılan Önceki Çalışmalar

Iticescu ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarda Romanya’da yapılan atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının, tarımda kullanılmasının depolama sahalarının üzerindeki baskıyı azaltması ve arıtma çamurunun oluşturduğu problemleri çözmeye yönelik en iyi teknolojik kombinasyonlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Yapılan çalışmada arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasının doğal besin alımı, toprak dokusunun iyileştirilmesi, kurutulmadan önce serildiğinde su alımına yardımcı olması gibi faydalarından bahsetmiş, ağır metaller, patojenik mikroorganizmalar ve virüslerin bulundurmasından dolayı da tehlike olabileceğini ifade etmiştir. Arıtma çamuru ile sadece belirli türlerin yetiştirilmesi gerektiğine vurgu yapmış ve yaygın olarak yetiştirilen bitkilerin mısır, ayçiçeği ve buğday olduğunu söylemiştir. Ayrıca arıtma çamurunun fiziksel ve kimyasal özellikleri takip edilmiş ve tarımda kullanılabilmesi için önerilerde bulunmuştur. Bununla beraber arıtma çamuru içerisindeki ağır metal muhtevası ilgili yönetmeliklerde çok sıkı bir şekilde kontrol edildiği göz önünde bulundurularak takip etmişlerdir. Romanya’nın Galati kentinde atıksu arıtma tesislerine yapılan yatırımlarla beraber ortaya çıkan arıtma çamuru problemlerinin azaltılması amacıyla bir yıl içerisinde iki defa, aralarında en az 6 ay süre olacak şekilde toprağa $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ şeklinde uygulanmıştır. Uygulama yapılırken $1,55\text{-}1,85 \text{ t ha}^{-1}$ kireçli katkı maddesi arıtma çamuruyla beraber kullanılmıştır. Arıtma çamuru kullanılmadan yapılan toprak analizinde ölçülen bazı değerlerde; azot indeksi %0,78, toplam azot %0,040, fosfor 43,2 ppm, potasyum 134 ppm sonuçlarına ulaşırken arıtma çamuru uyguladıktan sonra ulaştıkları değerler; azot indeksi %0,89, toplam azot %0,062, fosfor 57,2 ppm, potasyum 142 ppm şeklinde olmuştur. Arıtma çamuru uyguladıkları toprakların özelliklerinde iyileşme gözlemlediklerini ifade

etmişlerdir. Ayrıca arıtma çamurunun yapılan analizlerinde de ağır metal muhtevası olarak bakır, kurşun, nikel, civa, krom, çinko, kadmiyum içerikleri izlenmiş ve yürürlükteki mevzuat olan 86/278/EEC direktiflerine uygun olduğu belirlenmiştir. Galati atıksu arıtma tesisinden alınan çamurun ağır metal muhtevasının düşük olması ve içerdiği besin minerallerinden dolayı kimyasal gübrelerin yerine kullanılması hem maliyet hem de çevreye verdiği zarar bakımından daha uygun olarak görülmüştür. Arıtma çamuru pH bakımından incelendiğinde daha verimli olması açısından pH'nın 6,5 üzerinde işlem yapılmasının verimi arttıracak hususuna yer verilmiştir. Minerallerin ayrıştırılabilmesi için pH'nın 6,5 üzerinde olması tavsiye edilmiştir.

Uzun ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada arıtma çamurlarının tarımda kullanım olanaklarını incelemiş ve yapılan uygulamanın avantaj ve dezavantajlarının ortaya koymuşlardır. Ülkemizde üretilen arıtma çamurlarının %8,2'sinin tarımda kullanıldığından bahsetmişlerdir. Arıtma çamurunun türüne göre içerdiği azot %1,8-5,9 arasında olduğunu ve toprağa verilmesinden sonra NH_4 ün büyük bir kısmının nitrata (NO_3) dönüştüğünden dolayı tarımsal uygulamalarda yıllık azot hesabı yapılırken tarımsal ürünün ihtiyaç duyulan azot miktarının baz alınması gerektiğinden bahsetmiştir. Azot, arıtma çamurunun uygulanma zamanının belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri olduğu hususuna vurgu yapmıştır. Tarımda uygulanan arıtma çamurlarının içeriğindeki azot ve fosforun, bitki gelişimi için faydalı olduğunu ve organik madde içeriğiyle toprağın su tutma kapasitesini arttırarak ıslah olma aşamalarında önem arz ettiğini ortaya koymuştur. Bunlara ek olarak katyon değişiminin artması, erozyonun azalması, geçirgen ve gözenekli bir toprak yüzeyi oluşturmasının avantaj olduğundan bahsetmektedir. Ancak avantajlarının yanı sıra dezavantajlarının ise içerisinde bulunan patojenlerin halk sağlığı açısından risk teşkil edebileceğini ve kontrol edilebilen alanlarda, proje alanlarında bu uygulamaların yapılması gerektiğini ifade etmiştir.

Ekane ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada İsveç'te tarım arazilerinde kullanılan arıtma çamurlarının potansiyellerini, toplum üzerindeki algılarını, ekonomik ve sosyal etkilerini nitel olarak incelemişlerdir. İsveç'te oluşan yıllık arıtma çamuru 200.000 ton olmasından ve yaklaşık olarak bu arıtma çamurunun %34'ünün tarım alanlarında kullanılmasından dolayı bu çalışmayı yapmışlardır. Hedefleri ise İsveç'te toksik olmayan bir çevre yaratmak ve sürdürmek olduğunu ifade etmişlerdir. Bu hedefler kapsamında çiftçiler arasında yapılan araştırmalarda arıtma çamurunun ürün verimini arttırdığı, içeriğindeki

ağır metallerin bitki alımına engel olmadığı ancak içeriğinde bulunan mikro plastiklerin, her ne kadar %90'ının atıksu arıtımında giderilse bile geriye kalan kısmın arıtma çamurunda bulunmasından dolayı tarımda kullanıldığında, karasal ortama ulaştığından dolayı tedirginlik yaratmakta olduğundan bahsetmişlerdir. Çiftçilerle görüşülerek yapılan bu araştırmada bazı çiftçilerin arıtma çamurunun ürün verimini arttırdığını ancak insanlardaki psikolojik etkilerin satışlarının düşüreceği ve güven kaybı yaşayacağını düşündüğünden dolayı arıtma çamurunu tercih etmediklerini ifade etmişlerdir. Bazı çiftçiler ise tarımda kullanılan pestisit ve bunun gibi ilaçların da kullanıldığında da zararlı olabileceğini ancak verimi arttırdığı için kullandıklarından bahsetmiş ve arıtma çamurunun da verimi arttırdığı için kullanılmasının fayda sağlayacağını görüşlerinde bildirmişlerdir. Genel olarak çiftçi görüşlerinde kokudan ve insan dışkısı olarak görülmesinden dolayı bir tiksindi duygusunun hakim olduğunu ve çiftçilerin çoğunun arıtma çamurunu tarlaya yaymak konusunda isteksiz ve kararsız olduğuna vurgu yapmışlardır. İsveç hükümetinde ise tartışmaların devam ettiği, bazı kurumların arıtma çamurunun tarımda kullanımının tamamen kesilmesi ve kullanılmaması gerektiğini söylerken bazı yetkililer ise avantajlarından dolayı kontrollü kullanılmalıdır şeklindeki söylemlerini devam ettirmektedir şeklinde ifade etmişlerdir.

Şağban ve ark. (2019) Bursa'da enerji ve haberleşme kabloları üretimi yapan fabrikanın evsel atıksularının arıtıldığı paket arıtmanın evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurlarını(AÇ1), maya üretiminden kaynaklanan arıtma tesisinin arıtma çamurlarını (AÇ2) ve 40 çeşit üründe sebze ve meyve üretimi yapılan bir fabrikadan aldığı arıtma çamurlarının(AÇ3) toprak düzenleyici etkisini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında alınan toprak numuneleri 500 g'lık saksılara konularak oranı 100 t ha⁻¹ olacak şekilde arıtma çamurları uygulanmıştır. İnkübasyon süreleri 3,6 ve 12 ay olmuş ve bu sürenin sonunda toprak örneklerinde amonyum azotu, nitrat azotu, yarayışlı fosfor konsantrasyonları vb. gibi parametrelerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmalara başlamadan önce arıtma çamurlarının muhteviyatına bakılmış ve AÇ1 için organik karbon %30, toplam azot %4,7, amonyum azotu 390,9 mg kg⁻¹, nitrat azotu 78,63 mg kg⁻¹, toplam fosfor %0,9, yarayışlı fosfor 221,7 mg kg⁻¹, AÇ2 için organik karbon %17, toplam azot %2,24, amonyum azotu 49 mg kg⁻¹, nitrat azotu 56 mg kg⁻¹, toplam fosfor %1, yarayışlı fosfor 511,8 mg kg⁻¹, AÇ3 için organik karbon %6,39, toplam azot %5,11, amonyum azotu 954,4 mg kg⁻¹, nitrat azotu 44,79 mg kg⁻¹, toplam fosfor %0,5, yarayışlı

fosfor 186,7 mg kg⁻¹ olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı arıtma çamurları uygulanmasının 12 aylık sürecin sonunda kolay okside olabilen karbon içeriğinin, kontrol toprağında %1,6 olarak gözlemlerken AÇ1 ortamında %2,55, AÇ2 ortamında %2, AÇ3 ortamında %2,3 seviyelerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca nitrat azotunun da belirgin bir yükseliş sağlarken amonyum azotu büyük bir artış göstermediğinden bahsetmektedir. Arıtma çamuru uygulamasından sonra yarayışlı fosfor konsantrasyonunun 30 mg PO₄-P kg⁻¹ seviyelerinden 91 mg PO₄-P kg⁻¹ seviyelerine çıkmasına ek olarak pH değerini hafifçe düşürmüş ve iletkenlik değerinin arttırmasıyla evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurların bitki besin maddesi muhtevasının arttırdığı, organik maddelerin ve biyokimyasal faaliyetlerin ilerleme kaydettiği sonucuna ulaşmıştır.

Demirkan ve ark (2014) atıksu arıtma çamurunun yer açelyası türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisini incelediği çalışmada arıtma çamurlarının günümüzdeki en pratik ve en ekonomik bertaraf yönteminin tarımsal alanlarda kullanımı olduğundan bahsetmiş ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesinde yapılan çalışmada arıtma çamurlarının yer açelyası bitkisinde kullanarak bitkinin kök gelişimini ve çiçeklenme süreçlerini gözletlemiştir. Bir süs bitkisi olan yer açelyasına uyguladığı %25,%50,%75 oranlarındaki arıtma çamurlarının oranının artmasıyla doğru orantılı bir şekilde bitkideki kök ağırlığındaki artışı yaş ve kuru ağırlıklarında gözlemlemiştir. Bu çalışmada yönetmeliklerce izin verilen sınır değerleri aşmamak ve gerekli denetimlerin yapılması koşuluyla peyzaj alanlarında arıtma çamurunun kullanılmasına olanak tanınması gerektiğini vurgulamış olup toprakta müsaade edilen sınırları aşması durumunda ise uygulamanın durdurulması gerektiği kanaatine varmıştır.

Orman ve ark (2020) Antalya ili Hurma İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde oluşan arıtma çamurlarından humik asit oluşturularak yüksek organik içeriğinden faydalanılması için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma ile arıtma çamurlarının izin verilebilir ve güvenli şekilde kullanılması hedeflenmiş ve 600 g arıtma çamurundan 14 g humik asit elde etmiştir. Arıtma çamurundan elde ettiği humik asiti saksı içerisinde çim bitkisinde kullanmışlardır. Çimlere 0 kg da⁻¹, 50 kg da⁻¹, 100 kg da⁻¹, 150 kg da⁻¹ ve 200 kg da⁻¹ oranlarında uyguladığı humik asiti çimi ekmeden 15 gün önce saksılara karıştırmıştır. Saksılar ekilmeden önce eşit bir şekilde 15 gün sulanarak beklemeye bırakıldığını, denemenin 1 ay sürdürüldüğünden ve metrekareye 80 g olacak şekilde çim tohumu ekimi yapıldığını ifade etmektedir. Denemenin sonucunda ise çimlerin SPAD cihazı ile klorofil

ölçümü yapılmış ancak arıtma çamurundan humik asit uygulamasının %1 etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulamanın miktarı kullanılan humik asit miktarı arttıkça klorofil değerinde artış olmasına rağmen istatistiksel değerinin düşük olması sebebiyle önemli görülmemiştir. Bununla beraber yaş ve kuru ağırlıkları tartımları ve bitkilerin boy uzunlukları için aynı durum söz konusu olmuş ve istatistiksel olarak önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir.

Marin ve ark (2023) Romanya'nın İskenderiye beldesindeki atıksu tesisinden çıkan kentsel atıksuları tarımda kullanımını araştırmışlardır. Araştırma yapılırken buğday ve soya fasulyesi kullanmışlardır. Buğday ve soya fasulyesi ekili olan arazilerine 15 ton ha⁻¹ ve 20 ton ha⁻¹ dozlarında arıtma çamurunu uygulamışlardır. Uygulamaları sonucunda buğday ve soya fasulyesinin kök, sap ve tanelerinde ağır metal muhtevasını incelemişler ve yasal mevzuat sınırların dahilinde sonuçlara ulaşmışlardır. Bununla beraber ürünün uygulandığı toprak ile uygulanmadığı toprak üzerinde incelemelerini yapmışlar ve gübre olarak arıtma çamurunun uygulandığı toprağın veriminin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan tespitlerde arıtma çamurlarının gübre olarak kullanılma uygulamasının yapraklarında ağır metal ihtiva edebilecek olan ıspanak, marul gibi bitkilerde uygulanmaması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Toprağa 15 t ha⁻¹ ve 25 t ha⁻¹ uygulanan arıtma çamurunun soya fasulyesi üzerindeki etkileri ise; kurşun için kontrol varyantında 1,9 mg kg⁻¹ iken 15 t ha⁻¹ ve 25 t ha⁻¹ olarak uygulanan gübreli varyantta ise sırasıyla 2,2 mg kg⁻¹, 2,44 mg kg⁻¹ olarak sonuç aldıklarından bahsetmişlerdir. Soya fasulyesinin ağır metal içeriğinin yasal sınırlar içinde olmasına rağmen köklerindeki kadmiyum içeriğinin gövdesindeki kadmiyum içeriğinden yüksek olduğuna değinilmiştir. Soya fasulyesinde köklerde oluşan 15 t ha⁻¹ uygulanan varyantta kadmiyum 0,12 mg kg⁻¹ sonucuna ulaşırken gövdesinde ise 0,11 mg kg⁻¹ kadmiyum muhtevasına rastlamışlardır. Susuzlaştırma yapılarak uygulanan arıtma çamurlarının tarla testlerini de incelemişler ve mahsul alımında 15 t ha⁻¹ olarak uygulanan miktardan sonra 450 kg ha⁻¹ artış gözlemişlerdir. Bu artış 25 t ha⁻¹ olarak uygulanan miktarda ise %67 civarında artarak 750 kg ha⁻¹ olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları denemelerin ikinci yılında ise verim oranları gübrelenmemiş varyanta göre 15 t ha⁻¹ varyantın %26 daha yüksek olduğunu, 25 t ha⁻¹ uygulanan varyantta ise %26,25 daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Bachev ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada Bulgar tarımında atıksu arıtma çamurunun etkin kullanımını sağlamak amacıyla etkin kullanıma etki eden faktörlerin önemini belirlemek ve değerlendirmek istemişlerdir. Sofya ve Burgaz bölgelerinde yaptıkları çalışmalarında arıtma çamurunun tarımda kullanılmasıyla alakalı nitel analizler yapmışlardır. Yapılan çalışmada çiftçiler ile görüşmeler yapılmış ve arıtma çamurunun kullanılmasında yaşadığı problemlerin başında arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasıyla alakalı çalışmaların çiftçiler için yetersiz olduğundan bahsetmişlerdir. Ayrıca çiftçilerin kendi deneyimleriyle kazandığı bilgi ve becerilerini tedirginliklerinden dolayı paylaşmadıklarını gözlemlemişlerdir. Bu tedirginliklerin ise yeni çiftçilerinde arıtma çamuru kullanmasıyla oluşacak rekabetin gelir kaybı yaşatması, arıtma çamuruna uygun maliyetli erişimin zorlaşacağının düşünülmesi şeklinde ifade etmişlerdir. Bunlara ek olarak yapılan çalışmada çiftçiler mineral gübrelerin üretim maliyetlerinin % 40'ını oluşturduğunu belirterek bu gübrelerin arıtma çamurları ile yer değiştirmesini istemişler, sulama olmadığında verim farkı olmadığını ve sulamayla beraber hektar başına 6-7 ton arıtma çamuru kullandıklarında en iyi verimi mısır bitkisinden aldıklarını vurgulamışlardır.

Koutroubas ve ark. (2022) Yunanistan'ın Lepti-Orestida yerleşim bölgesindeki çiftçilerin tarlasında yaptıkları çalışmada arıtma çamurlarının tarla koşullarında mısır bitkisi üzerinde verim olarak nasıl bir etki gösterdiğini araştırmışlardır. Bu çalışma aynı zamanda arıtma çamurlarının azot birikimi ve toprak özelliklerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Arıtma çamurlarını 20 t ha^{-1} , 40 t ha^{-1} , 80 t ha^{-1} şeklinde tarlaya uygulayacak şekilde ayarlamışlar ve beraberinde $26 \text{ kg ha}^{-1} \text{P}$ ve 300 kg ha^{-1} muhteviyat içeren mineral gübreyle karşılaştırmalarını yapmışlardır. Arıtma çamuru ekimden 2 hafta önce toprak ile karıştırarak toprağa uygulamışlardır. Mineral gübrede ise azotun üçte biri üre olarak ve fosforun tamamı serpme olarak ekimden önce toprağa vermişlerdir. Azot gübresinin geriye kalan üçte ikisi ise amonyum nitrat olarak mısırın 8-9 yaprak oluşturmasıyla beraber üstten sulama yoluyla toprağa karışımı sağlanmıştır. Bitki örnekleri fizyolojik olarak olgunluğa ulaşmasıyla beraber sonuçları incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar bitki boyu uzaması yönünden bakıldığında kontrol numunesine göre mineral gübre ve 40 t ha^{-1} ve 80 t ha^{-1} arıtma çamuru eklenen numunelerin boylarında artma gözlemlemişlerdir. 20 t ha^{-1} uygulanan arıtma çamuru ise kontrol numunesine göre değişiklik göstermediğini ifade etmişlerdir. Tane verimini incelediklerinde ise mineral

gübre uygulanan parselde gübresiz parsele göre %95 artış olduğunu gözlemlemişlerdir. 20 t/ha uygulanan parselde bu artış daha da fazla olmuş ve %104 olarak hesaplanmış, 80 t/ha uygulanan parselde ise bu oran %226 civarında olmuştur. Yapılan çalışmada sonuç olarak arıtma çamurlarının mısır bitkisinin verimini arttırdığı, mineral gübrelere seçenек olabileceği vurgulanmasına rağmen uzun yıllar bu uygulamaların yapılması halinde daha çok araştırma yapılarak uygulanması gerektiği ifade edilmiştir.

Acharya Balkrishna ve ark. (2023) Hindistan'ın Haridwar şehrindeki arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarını organik tarım ürünleri üretmek için yaptığı çalışmada Jaivik Poshak ve Jaivik Prom adlı çiftlik gübresi içeren iki ürün normal kompost yerine arıtma çamuru ile karıştırılarak modifiyeli bir gübre oluşturmuşlardır. Bu karşılaştırmalar yapılırken 10 kg'lık arıtma çamuru 10 kg'lık çiftlik gübresi eşit oranlarda karıştırılarak araştırma yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre yerel kullanılan gübre için toplam organik karbon %15,24, toplam azot %0,96, C:N oranı 15,91, toplam fosfor %0,77, toplam potasyum %0,37, toplam NPK nütrient içeriği %2,1 şeklinde olmuştur. Arıtma çamuru ile kompostlanan gübrenin sonuçları ise toplam organik karbon %15,02, toplam azot %0,59, C:N oranı 25,45, toplam fosfor %1,01, toplam potasyum %0,16, toplam NPK nütrient içeriği %1,77 şeklindeki sonuçlara ulaştıklarını ifade etmişlerdir. Sonuçları incelediklerinde arıtma çamurundan karıştırılmış gübrenin elektrik iletkenliği ve pH'ı korumak için en iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca topraktaki alınabilir fosforda 5,81 kat, potasyum içeriğinde ise 8 kat artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Bunlara ek olarak kullanılabilir azot değerini kontrol denemesine göre 1,6 kat arttırarak domates tohumunun 16 gün içerisinde tamamen çimlenmesini sağladığından bahsetmişlerdir. Sonuç olarak ise arıtma çamurlarının, ağır metal içeriği gibi etkenleri gerekli sınırlar dâhilinde tutulmasıyla beraber çevrenin sürdürülebilirliği ve zenginleştirilmesine katkıda bulunacağını ifade etmiştir.

Silva ve ark. (2024) Brezilya'nın Sou Paulo şehrinde peltophorum dubium fidelerinde arıtma çamuru kullanımının bitki üzerindeki etkiledikleri incelemişlerdir. Yapılan çalışmada arıtma çamurunu okalıptüs bitkisinin yaprağı ile kompost yaptıktan sonra bitkiye değişik oranlarda uygulamışlardır. Uygulamaya başlarken gübre verilmemiş numune, standart fidelere verilen gübre oranı, standartların 2 katı olacak şekilde verilen gübre ve standardın 4 katı olacak şekilde oranları belirlediklerini ifade etmişlerdir. Haftada 2 kez 16.00 ve 16.30 da düşük basınç ve kapalı bir sistemde okalıptüs yaprağı ile

kompostlanan gübreyi bitkiye uygulamışlardır. Denemenin sonunda bitkinin kök, sap, yaprak, toprak üzeri kuru kütlesi, kök kuru kütlesi ve toplam kuru kütleyi elde edebilmek için 65 santigrat derecede 72 saat boyunca kurutmuşlardır. Sonuçlara ulaşabilmek için 0,001 g hassasiyetli olan hassas tartı kullanmışlardır. Bitki boyları standart gübrenlenmemiş numuneye göre okaliptüs bitkisi ile kompostlanmış arıtma çamurunun uygulandığı numunede daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı oranda ve 4 kat yüksek uygulanan gübre ve 1 kat yüksek uygulanan gübrenin 2 kat yüksek uygulanan gübreye göre bitkinin uzamasında zayıf kaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bitki boylarını ticari gübre(SC), şeker gübresi kamışı küsbeli arıtma çamuru (SSB) ve okaliptüs kompostlu gübre (SEB) uygulanan denemelerde de karşılaştırma yapmışlardır. Çıkan sonuçlara göre maksimum büyümelere bakıldığında SC 24 cm, SSB 20,5 cm, SEB(4x) 23,5 cm olarak ölçmüşlerdir. Gövde çapı varyasyonlarında ise arıtma çamurunun dozu arttıkça doğru orantılı şekilde gövde çapında da artış olduğunu belirtmişlerdir. Maksimum gövde çapını SC gübresinde 6,12 mm ile görülmüştür. SSB ve SEB gübrelerinde ise sıra ile 5,2 mm ve 6 mm değerleri gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bakıldığında SEB ile üretilen fideler SEB(4x) her ne kadar tutarsız performans gösterebilir de genel olarak en iyi sonuçları verdiklerini ifade etmişlerdir ve arıtma çamurlarının kimyasal gübrelerin azaltılması, ekonomik girdilerin azalmasından dolayı tercih edilebileceğini söylemişlerdir.

Ahmed ve ark. (2010) Mısır 'ın El-Behira kentinden alınan toprak ile arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunu kuruttuktan sonra 2 mm elekten geçirerek arpa bitkisinin üzerinde uygulama yapmışlardır. Her saksıya 25 tohum arpa dikilmiş ve çimlenmeden sonra 20 kez seyreltilerek saksılar sera ortamına nakletmişlerdir. Arıtma çamurunun diğer gübrelerle de karşılaştırılmasını yapabilmek için 5 çeşit deneme kurmuşlardır. Kontrol saksıları 1. Numunede değiştirilmemiştir, 2.numunede toprağa 40 ppm KH_2PO_4 ile, 3.numunede 30,60,90,120,240,480 ppm NH_4NO_3 ile, 4.numunede toprağa 40 ppm KH_2PO_4 , 15,30,60,120,240 ppm NH_4NO_3 ve 5, 10, 20, 40 ve 80 t ha^{-1} arıtma çamuru ile, 5.numune de ise toprağa 40 ppm verecek şekilde KH_2PO_4 uygulanmış ve arıtma çamurunu amonyum nitrat oranlarına benzer kullanılabilir miktarda N sağlamak için uygun görülen 10, 20, 40, 80, 160 ve 320 t ha^{-1} oranlarında toprağa eklemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre arıtma çamurunun uygulandığı denemelerde kontrol denemesine mahsul verimliliğinin arttığı bununla beraber toprak verimliliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yapılan arıtma çamuru uygulamasında özellikle 320 t ha^{-1} uygulanan

denemede kullanılabilir fosfor ve azot içeriğinin artışının en fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Arıtma çamurunun arpa bitkisinde potasyum değerleri üzerindeki etkilerinin çok küçük olduğunu da gözlemlemişlerdir. Bunlara ek olarak maksimum arıtma çamurunun uygulandığı denemedeki elektriksel iletkenliğin, kontrol denemesine göre 4,48 kat daha yüksek olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. Organik besin maddesi muhteviyatı yönünde yaptıkları sonuçlarda ise kontrol numunesi ve azot uygulamaları yapılan numunelerde pek farklılık gözlenmemesine rağmen arıtma çamuru uygulaması yapılan numunenin kontrol numunesine göre yüksek organik besin muhtevası içerdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Çimrin ve ark. (2000) kentsel arıtma çamurlarının tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılmasına ilişkin yaptıkları çalışmada mısır bitkisini kullanmışlardır. Yüzüncü Yıl Üniversitesi atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru ile Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi seralarında yapılan çalışmada saksı denemeleri kurmuşlardır. Kurulan denemelerde 4 adet mısır çeşidi 6 hafta süre ile yetiştirmişlerdir. Mısır bitkisinin potasyum ve azot gereksinimleri için saksılara 100 ppm azot ve 40 ppm potasyum vermişlerdir. Fosfor gübresi ihtiyacının ise 80 ppm olduğu düşünülerek bu fosforun bir kısmı arıtma çamuru ile bir kısmını ise triple süper fosfat (TSP) olarak karşıladıklarını ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada 6 farklı uygulama denemişlerdir. İlk uygulamada gübre uygulamamışlardır. İkinci ve diğer uygulamalarda arıtma çamuru oranını arttırmışlardır. İkinci uygulamada 20 ppm fosfor içeren arıtma çamuru ve 60 ppm triple süper fosfat, üçüncü uygulamada 40 ppm fosfor içeren arıtma çamuru ve 40 ppm triple süper fosfat, dördüncü uygulamada 60 ppm fosfor içeren arıtma çamuru ve 20 ppm triple süper fosfat, beşinci uygulamada 80 ppm fosfor içeren arıtma çamuru, altıncı uygulamada ise arıtma çamuru kullanılmadan 80 ppm triple süper fosfat kullanmışlardır. Deneme süresinin sonunda kök kuru ağırlıkları ve toprak üstü organ ağırlıklarını, fosfor, demir, mangan ve çinko konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. Ölçüm sonuçlarını değerlendirdiklerinde toplam bitki kuru ağırlığı en düşük %100 toprak olan gübre verilmemiş numunede 5,61 g saksı⁻¹ olurken en yüksek ise 60 ppm fosfor arıtma çamuru (AÇ) ve 20 ppm fosfor triple süper fosfat (TSP) kullanılan numunede 9,89 g saksı⁻¹ numunesinde görmüşlerdir. Toprak üzeri kuru akşamlarda ise en düşük sonuçlar 3,06 g saksı⁻¹ ile gübre verilmeyen toprakta görülürken en yüksek sonuçlar, bitki kuru ağırlığında olduğu gibi 60 ppm AÇ ve 20 ppm TSP olan numunede gözlemlediklerini

ifade etmişlerdir. Kök kuru ağırlığının tartımlarına bakıldığında ise yine 60 ppm AÇ ve 20 ppm TSP nin 2,85 g saksı⁻¹ sonucu ile en yüksek sonucu elde etmişlerdir. Bunlara ek olarak yaptıkları çalışmada denemeler ağır metal yönünden elde ettikleri sonuçlara göre AÇ çamuru eklenen numunelerin tanık numuneye göre daha çinko içeriğinin olduğunu tespit etmişlerdir. Şahit numunede 34 ppm çıkan çinko değerleri 60 ppm AÇ ve 20 ppm TSP içeren numunede 150,5 ppm çıkarken, sadece arıtma çamurunun kullanıldığı 80 ppm lik numune de ise 124,3 ppm Zn içeriğini gözlemlemişlerdir. Hasat sonucunda ise toprakta kalan yarayırlı fosfor içeriğinde ise şahit numuneye göre tüm numunelerin daha yüksek oranda yarayırlı fosfor içeriğinin olduğuna ulaşmışlardır. Yarayırlı fosfor değeri şahit numune de 5,52 ppm iken 80 ppm AÇ uygulanan numunede en yüksek değer ortaya 54,47 ppm ile ortaya çıkmıştır. Mesut Çimrin ve arkadaşları yaptıkları çalışmanın sonucunda mısır bitkisinin arıtma çamurunun 80 ppm AÇ kullanılan numune haricinde diğer numunelerin istatistiksel olarak önemsiz bulmuşlardır. Mısır bitkisinin arıtma çamuru ile fosfor ihtiyacının tamamının karşılanamadığını ancak çinko miktarının artmasının önemli katkılar verebileceğini ifade etmişlerdir.

Akın ve ark (2017) Çanakkale ili Kepez Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamurları ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesine ait açık alanda yaptıkları çalışmalarda süs lahanası bitkisinin arıtma çamuru ile yetiştirilebilme olanağını araştırmışlardır. Plastik kaplarla kullanılarak yapılan bu çalışmada % 0 arıtma çamuru + % 100 toprak (S1), % 25 arıtma çamuru + % 75 toprak (S2), % 50 arıtma çamuru + % 50 toprak (S3), % 75 arıtma çamuru + % 25 toprak (S4) ve % 100 arıtma çamuru + % 0 toprak (S5) yetiştirme ortamları oluşturmuşlardır. Süs lahanasının kök ağırlığı, bitki boyu, baş ağırlığı, gövde çapı, kök uzunluğu ölçümleri farklı oranlarda arıtma çamuru kullanıldıktan sonra yapılmış ve gelişimleri saptanmıştır. Yaptıkları analizler sonucunda gövde çapı, kök ağırlığı, kök uzunluğunda çıkan sonuçlarda farklı dozlardaki arıtma çamuru etkisinin önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir. Bu verilere ek olarak değerlendirilemez yaprak sayısı ve toprak yaprak sayısı bakımından S2 ve S5 ortamlarında diğer ortamlara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. S1 ortamında 1,5 adet, S3 ortamında 2,11 adet, S4 ortamında 1,83 adet olmak üzere en düşük değerlendirilemez yaprak sayıları gerçekleşirken en yüksek toprak yaprak sayıları S2 ve S5 ortamlarında gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Toplam yaprak sayısı S2 ortamında 40,42 adet sayılırken S5 ortamında 38,42 adet olarak saymışlardır. Süs lahanası bitkisinin

arıtma çamurları kullanılarak yetiştirilebileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda kış aylarında peyzaj alanında kullanılabilirliği olan bu bitkinin dışında, diğer mevsimlerde peyzajda kullanılabilen bitkilerde de arıtma çamuru uygulaması yapılmasının arıtma çamurlarının daha rahat bertaraf edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Topçuoğlu ve ark.(2003) toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisini araştırmak için çalışma yapmışlardır. Akdeniz Üniversitesi Atıksu Arıtma Tesisi ve GATAP Altyapı A.Ş. Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamurları 3 ay süre ile açık havada bekletilerek kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek toprağa uygulamışlardır. Arıtma çamurları 0 (0.seviye), 75 (1. seviye), 150 (2.seviye), 300 (3.seviye), 600 (4.seviye), 1200 (5.seviye) g/saksı şeklinde toplam ağırlık toprakla beraber 15 kg olacak şekilde saksılara uygulamışlardır. Domates bitkisi 6. salkıma gelene kadar çalışmalarının devam ettirmişler ve analizler 1.çiçek salkımındaki meyvelerin gelişimini tamamladıktan sonra alınan yaprak örnekleriyle yapmışlardır. Domates üzerindeki arıtma çamurlarının etkisini bir sonraki yetiştirme döneminde izleyebilmek için değiştirilmemiş saksılara deneme süresinde belirtilen oranlarda ilave arıtma çamuru eklenerek sonuçları toplu olarak değerlendirdiklerini ifade etmişlerdir. Domates bitkisinin yapraklarının içerdiği minerallerde kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında ise Akdeniz Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamurlarının uygulandığı domates bitkisinin yaprağındaki minerallerde azot muhteviyatı 0.seviyede 1. yıl %1 olan değerler 5. seviyede en yüksek sonucu vermiştir. Bu sonuca göre %93 artışla %1,93 olarak izlemişlerdir.2.yıla bakıldığında ise 0.seviyede %1,30 olan değer 5.seviyede %2,97 olmuştur. GATAP Altyapı A.Ş. Atıksu Arıtma Tesisinden alınarak kullanılan arıtma çamurunda da paralel şekilde 0. Seviyeden 5. Seviyeye kadar ilk senede artış gözlenmiştir. İlk sene 0. seviyede % 1,24 olan N değeri 5.seviyede %3,35 olarak gözlenmiştir. Domates bitkisinin yapraklarında fosfora bakıldığında ise 0. Seviyede %0,12 iken en yüksek % P sonuçları Akdeniz ve Gatap arıtma tesisleri için 5. Seviyede olmuştur. Akdeniz Atıksu Arıtma Tesisi bu değer için 5. Seviyede %0,16, GATAP Atıksu Arıtma Tesisi için %0,35 olmuştur. Potasyum değerlerinde ise Akdeniz Atıksu Arıtma Tesisinde 0.seviyede %1,92 5.seviyede ise en yüksek oran olmakla beraber %2,51,Gatap Atıksu arıtma tesisinde ise en yüksek oran 5. Seviyede %2,53 sonucu ile oluşmuştur. Bunlara ek olarak Akdeniz Atıksu Arıtma Çamurundan uygulanan arıtma çamurlarının kalsiyumda da en düşük 0. seviyede %2,05 en yüksek 5. seviyede %3,58, magnezyumda

en düşük 0. seviyede %0,40 en yüksek 5. Seviyede %0,86, Demir de en düşük 0.seviyede 79 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviyede 161 mg kg⁻¹, Çinko da en düşük 0.seviye de 21 mg kg⁻¹ en yüksek 70 mg kg⁻¹ sonuçlarına ulaştıklarını ifade etmişlerdir. Gatap Atıksu Arıtma Çamurundan uygulanan arıtma çamurlarında ise kalsiyumda da en düşük 0. seviyede %2,73 en yüksek 5. seviyede %3,93, magnezyumda en düşük 0. seviyede % 0,38 en yüksek 5. Seviyede %0,80, Demir de en düşük 0.seviyede 58 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviyede 132 mg kg⁻¹, Çinko da en düşük 0.seviye de mg kg⁻¹ en yüksek 33 mg kg⁻¹ sonuçlarına ulaştıklarını bildirmişlerdir. Ayrıca yapraklar üzerindeki Na, Mn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr muhteviyatlarına da bakıldığında sonuçlar şu şekilde ortaya çıkmıştır; Akdeniz Atıksu Arıtma Tesisinde Na için en düşük 0.seviye 615 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviyede 916 mg kg⁻¹, Mn için en düşük 0. Seviye 52 mg kg⁻¹, en yüksek 63 mg kg⁻¹, Cu için en düşük 4. Seviye 10 mg kg⁻¹ en yüksek 2. Seviye 17 mg kg⁻¹, Pb için en düşük 0.seviye 1 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviye 9 mg kg⁻¹, Ni için en düşük 0. seviye 0,4 mg kg⁻¹ en yüksek 5. seviye 1,2 mg kg⁻¹, Cd için en düşük 0. Seviyede 0,1 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviye 1,5 mg kg⁻¹, Cr için en düşük 0. seviye 0,1 mg kg⁻¹ en yüksek 3. seviye 0,3 mg kg⁻¹, Gatap Atıksu Arıtma Tesisinde ise Na için en düşük 0.seviye 540 mg kg⁻¹ en yüksek 5.seviyede 796 mg kg⁻¹, Mn için en düşük 0. Seviye 46 mg kg⁻¹ en yüksek 79 mg kg⁻¹, Cu için en düşük 2. Seviye 6 mg kg⁻¹ en yüksek 5. Seviye 18 mg kg⁻¹, Pb için en düşük 0.seviye 1 mg kg⁻¹ en yüksek 3. ve 4.seviye 11 mg kg⁻¹, Ni için en düşük 0. seviye 0,4 mg kg⁻¹ en yüksek 5. seviye 1,5 mg kg⁻¹, Cd için en düşük 0. Seviyede 0,1 mg kg⁻¹ en yüksek 3.seviye 2 mg kg⁻¹, Cr için en düşük 0. seviye 0,1 mg kg⁻¹ olmakla beraber diğer seviyelerde eşit ve 0,2 mg kg⁻¹ çıkmıştır. Bu veriler ile Akdeniz Atıksu Arıtma Tesisinden alınarak uygulanan arıtma çamuru N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni, Cd ve Cr muhteviyatına önemli etki yaptığı, Mg ve Mn muhteviyatına 1. yıl, Pb muhteviyatına 2. yıl önemli etki yaptığını gözlemlemişlerdir. GATAP Altyapı A.Ş. Atıksu Arıtma Tesisinden alınarak uygulanan arıtma çamurunda ise yaprakta N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb ve Cr içerikleri üzerine her iki yıl önemli etki yaparken, Ni ve Cd muhteviyatı 1. yıl önemli etki yapmıştır. Her iki tesisten uygulanan arıtma çamuru uygulamalarının 5. Düzeylerinde 2. yıl domates bitkilerinden gelişme sağlanamamış ve ürün oluşumu gözlenmediğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak arıtma çamuru uygulamasının tarım alanlarında kullanılmasının besin içeriği ve organik özellikleri bakımından faydalı olabileceği ancak uzun süreli uygulamalarda ortaya çıkan risklerin göz önünde bulundurulması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Bu risklerin başında yüksek tuzluluk ve ağır metal muhteviyatı geldiği

belirtilmiştir. Bununla beraber arıtma çamurlarının ücretsiz nakliyesinin yapılması gibi özendirici uygulamaların yapılması, yönetmeliklerde geçen sınır değerler hakkında bilgilendirici çalışmalarla beraber tarımda kullanımının sağlanması gerektiğini düşündüklerini ifade etmişlerdir.

Akat ve ark.(2014) Arıtma çamuru uygulamalarının limonium sinuatum 'Compindi White' çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine etkilerini incelediği çalışmasında Gökova-Akyaka Arıtma Su Arıtma Tesisinden arıtma çamurlarını almış ve farklı dozlarda (% 0, % 25, % 50, % 75, % 100) bitkiye uygulamıştır. İlk etapta çiçek sayısı, çiçek sapı uzunluğu, çiçek sapı kalınlığı ölçümlerini yapmışlardır. Çiçek sayısının en yüksek sonuçları verdiği ortam %50 arıtma çamuru %50 toprak olan ortam (D3) 18,25 adet/bitki şeklinde ifade ederken en düşük sonuçların ortaya çıktığı ortam ise arıtma çamurunun kullanılmadığı (D1) ortamı olmuş ve 11,50 adet/bitki sonucuna ulaşmışlardır. Çiçek sapı uzunluklarına baktıklarında ise en uzun çiçek sapını 57,51 cm ile %25 toprak %75 arıtma çamuru uygulanan ortamda (D4) elde ederlerken, 48,02 cm ile en düşük uzunluk D1 ortamında oluşmuştur. Çiçek sapı kalınlıklarına bakıldığında ise 13,15 mm ile % 100 arıtma çamuru uygulanan ortam (D5) da oluşurken en ince çiçek sapı kalınlığı, çiçek sapı uzunluğu ve çiçek sayısında olduğu gibi 9,64 mm ile D1 ortamında gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın devamında bitkinin kök gelişimi ve üst aksam özelliklerini incelemişlerdir. İnceleme sonuçlarına göre en yüksek yaprak sayısını 141,25 adet/bitki ile D3 ve D4 ortamından elde etmişlerdir. D1 ortamında ise 135,75 adet/bitki sonucuna ulaşmışlardır. Bitkinin üst aksam yaş ağırlığı D1 ortamında yetişen kontrol numunesinde 179,24 g iken D4 ortamındaki bitkinin yaş ağırlığı 266,65 g olduğunu ifade etmişlerdir. Bitkinin en düşük ve zayıf verileri genel olarak incelendiğinde D1 ortamında olmasına rağmen üst aksam kuru ağırlığı incelendiğinde 29,05 g ile D2 ortamında en düşük veriler ortaya çıkmıştır. Üst aksam kuru ağırlığın en yüksek çıktığı ortam ise 49,40 g ile D4 ortamında gerçekleşmiştir. Kök yaş ağırlığında ise 32,15 g ile en yüksek D2 ortamında, en düşük ise 27,43 g ile D4 ortamında oluşmuştur. Kök uzunluklarına baktıklarında ise en yüksek 16,75 cm ile D3 ortamında, en düşük kök 12 cm ile D5 ortamında gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bunlara ek olarak kök bitki besin elementlerini incelediklerinde ise arıtma çamurunun artmasına paralel olarak değerlerin yükseldiğini fark etmişlerdir. Magnezyum hariç tüm bitki besin elementlerinin içerikleri D4 ve D5 ortamında en yüksek sonuçları verdiğini ifade etmişlerdir. Bitkinin üst

aksamındaki besin elementlerinde, kökteki besin elementlerinde elde ettikleri sonuçlarla benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak verilerin geneline baktıklarında ise Gökova Akyaka Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilen arıtma çamurlarının kontrol numunesine kıyasla arıtma çamuru uygulanan numunelerin daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmekle beraber uzun yıllar arıtma çamurlarının kullanılmasının bazı bitki besin elementlerinin alımında kısıtlamalar olabileceğinden, D3 ortamının daha fazla yarar sağlayacağı sonucuna varmışlardır. Süs bitkisi yetiştirmede arıtma çamurlarının daha fazla kullanılması gerektiğini ve kullanılırken çeşitliliğin artırılmasının ülke ekonomisine faydalı bir bertaraf yöntemi olacağını vurgulamışlardır.

Çelebi ve ark.(2010) atıksu arıtma çamuru ile tesis edilen yeşil alanda ingiliz çimi (*Lolium perenne* L.)'nin performansının belirlenmesi için Van ilinde yaptıkları çalışmada standart çiftlik gübresi ile arıtma çamurunun farklı dozlarının uygulanmasıyla ortaya çıkan verimi değerlendirmişlerdir. Standart çiftlik gübresinin(ÇG5) kontrol olarak kullanıldığı bu çalışmada 3(AÇ1), 6(AÇ2), 9(AÇ3), 12(AÇ4) kg/da dozlarında arıtma çamuru kullanılarak bitkinin boyu, bitki ile kaplı alan, yabancı ot oranı, yeşil ot verimi ve çim kalitesi gibi parametreler değerlendirilmiştir. Deneme alanının alınan toprak numunesinin analiz sonuçlarına göre organik madde içeriği % 2.13, azot içeriği % 0.073, fosfor içeriği 6.30 mg kg⁻¹, potasyum içeriği 212,40 mg kg⁻¹ seviyesinde olduğu gözlenmiştir. Kontrol olarak kullanılan çiftlik gübresi 3 ton da⁻¹ oranında, arıtma çamurları ise 4 dozda (3, 6, 9 ve 12 ton da⁻¹) uygulanan parsellere serilerek ekimini yapmışlardır. Bitki boylarına bakıldığında en verimli sonuç, arıtma çamurunun AÇ2 ortamının uygulandığı numunede gözlediklerini ifade etmişlerdir. İlkbaharda gerçekleşen bu sonuca göre 13,6 cm ile en yüksek olan bu sonuç, yaz aylarında ise AÇ3 ortamında kullanılan arıtma çamurunda 13,6 cm ile gözlenmiştir. En düşük bitki boyu ise arıtma çamurunun AÇ1, AÇ2 ve ÇG5 parselinde ortalama 10,6 cm ile gözlenmiştir. Yeşil ot verimi açısından bakıldığında ise en yüksek yeşil ot verimi AÇ2 ortamında 454,1 kg da⁻¹ ile gerçekleşmiştir. En düşük verim yeşil ot verimi ise 158,3 kg da⁻¹ ile ÇG5 ortamında oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bitki ile kaplı alan açısından incelediklerinde ise AÇ3 ve AÇ4 ortamında %93,3 ile en yüksek sonuçlar ortaya çıkmıştır. Sonbahar mevsiminde en yüksek verim elde edilen ortam olan AÇ4 ortamının ilkbahar mevsiminde %35,8 ile en düşük sonucu vermiştir. İkinci yıl ise ilkbahar mevsiminde %91,7 ile AÇ4 ortamında düşük çıkan sonuçların yeniden yükseldiğini ifade etmişlerdir. Yabancı ot oranı açısından

bakıldığında ise %19,7 ile en yüksek yabancı ot oranı AÇ4 ortamında gözlemlenmiş ve diğer ortamlar arasında kayda değecek bir fark görölmemiştir. Renk olarak incelediklerinde ise puanlama sistemi yaparak sonuçları değerlendirmişlerdir. En yüksek renk değerlerine 8,8 puan ile AÇ3 ortamınla ulaşırlarken en düşük renk değeri ise sonbahar mevsiminde ÇG5 ortamında gözlenmiştir. İkinci yılda ise renk puanlamalarında ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde fark gözlemlenmemiş olup yaz döneminde AÇ2 ortamında 9 puan ile en yüksek renk puanı aldığı ifade edilmiştir. İkinci yıl en düşük renk puanı AÇ1 ve ÇG5 ortamında ortalama 6,15 puan ile gözlenmiştir. Çim kalitesi açısından bakıldığında ise ilk sene AÇ3 ortamında 8,3 puan ile ilkbaharda en verimli sonuç elde edilmiştir. İkinci sene ise 8,7 puan ile AÇ3 ortamında yaz mevsiminde en verimli sonuca ulaşmışlardır. Sonuç olarak bakıldığında elde edilen izlenimlere göre arıtma çamurunun en yüksek oranda uygulandığı AÇ4 ortamında bitkinin ilk sene geç büyüdüğü ancak daha sonradan içerisindeki amonyak azotunun azalmasıyla beraber büyüme ve gelişmenin hızlandığını ifade etmişlerdir. Arıtma çamuru kullanılan ortamda daha çok otlanın olduğu dikkat çekilmiş ve bunun sebebinin de arıtma çamurlarının alındığı ortamların yabancı ot tohumlarının bulaşma olanağının yüksek olduğu ortamlardan alınmasıyla alakalı olacağı düşünülmüştür. Bu sorun için ilerleyen dönemlerde sık ve derin biçim yapılmasının yabancı otları baskılayacağı ve azalacağından bahsetmişlerdir. Çim kalitesi ve renk puanlamasında özellikle yaz dönemlerinde arıtma çamuru kullanılan ortamların, çiftlik gübresi kullanılan ortama göre aradaki farkı pozitif şekilde açtığını ifade etmiş ve bu farkın arıtma çamurunun içerisinde bulunan azot muhteiyatının çiftlik gübresine göre daha fazla olmasından dolayı gerçekleştiğini düşündüklerini söylemişlerdir.

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Arıtma Çamurları

Bu çalışma kapsamında Kayseri bölgesinde bulunan Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ve Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan arıtma çamurları toplanmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan analizler ‘‘Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik’’ doğrultusunda incelenmiş ve incelemeler sonucunda Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (KİBAAT) arıtma çamuru kadmiyum değerlerinin standartların üzerinde çıkması ve diğer tesislere kıyasla arıtma yoğunluğunun fazla olmasından dolayı KİBAAT den alınan arıtma çamuru sorgun bitkisinin yetiştirilmesinde kullanılmıştır.

3.1.1.1. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri’nin 20 km kuzeyinde Boğazköprü mevkiinde bulunan, ortalama 110.000 m³gün⁻¹ kapasite toplamda 369.490 m² alan üzerine kurulan bu tesis Kayseri ilimizin en büyük ve işletmesi en maliyetli olan tesisidir. İşletme maliyetini arttıran en önemli etkenlerden bir tanesi ise çamur depolama için harcanan maliyettir. Azot ve fosfor giderimi de yapılan bu tesiste günlük yaklaşık 300 ton arıtma çamuru ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamurunun susuzlaştırılması belt presler vasıtasıyla yapılmaktadır. Susuzlaştırılan arıtma çamurunun kuruluk seviyesi %17 ile %23 arasında değişkenlik göstermektedir.



Şekil 1. KİBAAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°45'56"N 35°18'06"E)

Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru analizlerinde kurşun (Pb), bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), çinko (Zn), civa (Hg) ağır metal muhteviyatının yanı sıra organik madde, toplam azot, C/N oranı, fosfor (P), pH tayini, elektriksel iletkenlik, kuru kütle kızdırma kaybı (LOİ), nem tayini ve kuru madde tayini akredite bir laboratuvarında yaptırılmıştır.





Şekil 2. KİBAAT AAT Çamur Susuzlaştırma ve Beltpres Ünitesi

Tablo 1. KİBAAT İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi 20.06.2023 Tarihli Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	124,82
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	198,08
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	292,93
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	206,88
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	19,49
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	2250,43
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	18545,20
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	0,94
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	35,32
Toplam Azot	TS 8337 ISO 11261	%	6
C/N	Hesaplama	%	3,52
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		6,85
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	µmhos cm ⁻¹	2490
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	59,82
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	82,24
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	17,76

20.06.2023 tarihinde akredite laboratuvar tarafından yapılan analizler 10.07.2023 tarihinde sonuçlanmıştır. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği ağır metal muhteviyatı bakımından incelendiğinde Cd değerinin izin verilen sınır değerlerden yüksek bir değer çıkmıştır. Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb muhteviyatı bakımından ise izin verilen sınır değerler içerisindeki sonuçlara ulaşılmıştır (Tablo 3). Arıtma çamurunda izin verilen sınırların tarımda kullanıldığında etkisinin ne olacağını gözlemlemek için sorgum bitkisi seçilmiştir. Sorgum bitkisinin yetiştirilmesinde arıtma çamurunun etkisini görmek amacıyla 06.07.2024 tarihinde yeniden arıtma çamuru numunesi alınarak çıkan sonuçlar sorgum bitkisinin yetiştirilmesinde referans olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. KİBAAT İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi 06.07.2024 Tarihli Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	138,71
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	228,77
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	383,65
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	246,52
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	152,44
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	1,04
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	2,83
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	2,03
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	54,50
Azot	TS 8337 ISO 11261	%	6,28
C/N	Hesaplama	%	5,03
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		6,05
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	dS m ⁻¹	5,44
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	69,95
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	86,67
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	13,33

Tablo 3. KİBAAT Analizleri ve Yönetmelik Sınır Değerleri

PARAMETRELER	KİBAAT ANALİZ SONUÇLARI (mg kg ⁻¹)	Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik Sınır Değerleri (mg kg ⁻¹)
Kurşun (Pb)	138,71	750
Kadmiyum (Cd)	152,44	10
Krom (Cr)	383,65	1000
Bakır (Cu)	228,77	1000
Nikel (Ni)	246,52	300
Çinko (Zn)	2250,43	2500
Civa (Hg)	2,04	10

3.1.1.2 Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri ili Develi ilçesinde bulunan Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ortalama 9030 m³ gün⁻¹ atıksuyu arıtmakta olup günlük yaklaşık 6 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Kayseri ilinde bulunan en büyük 2. atıksu arıtma tesisidir ve biyolojik arıtmaya ek olarak azot ve fosfor giderimi de yapılmaktadır. Dekantör vasıtasıyla susuzlaştırma işlemi uygulanan bu tesiste susuzlaştırılan çamurun kuruluk seviyesi %22 civarında olmaktadır.



Şekil 3. Develi AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°20'45"N 35°27'03"E)



Şekil 4. Develi AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi

Develi AAT den alınan arıtma çamuru 'Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği ağır metal muhteviyatı bakımından incelenmesi için numune alınmış ve numune sonuçları yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4. Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	43
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	73,93
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	17,87
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	19,72
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	0,44
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	353,72
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	19708,40
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	0,71
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	43,61
Toplam Azot	TS 8337 ISO 11261	%	6
C/N	Hesaplama	%	4,17
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		7,11
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	µmhos cm ⁻¹	3080
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	67,89
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	82,93
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	17,07

3.1.1.3 Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri ili Yahyalı ilçesinde bulunan Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ortalama 3921 m³ gün⁻¹ atıksuyu arıtmakta olup günlük yaklaşık 2 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi biyolojik arıtmaya ek olarak azot ve fosfor giderimi de yapılmaktadır. Belt presler ile arıtma çamuru susuzlaştırılması yapılmakta iken yenilenen teknolojiler ile beltpresler, dekantörler ile yenilenmiş ve dekantör vasıtasıyla susuzlaştırma işlemi uygulanmaktadır. Bu tesiste susuzlaştırılan çamurun kuruluk seviyesi %20-22 civarında olmaktadır.



Şekil 5. Yahyalı AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°08'39"N 35°21'45"E)

Yahyalı AAT den alınan arıtma çamuru, Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği ağır metal muhteviyatı bakımından incelenmesi için numune alınmış ve numune sonuçları yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6. Yahyalı AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi

Tablo 5. Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	117,09
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	94,15
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	29,79
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	27,54
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	2,18
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	532,84
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	13033
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	1,28
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	37,17
Toplam Azot	TS 8337 ISO 11261	%	4,71
C/N	Hesaplama	%	4,58
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		7,25
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	µmhos cm ⁻¹	2720
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	65,63
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	76,39
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	23,61

3.1.1.4. Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri ili Tomarza ilçesinde bulunan Tomarza Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ortalama 1036 m³/gün atıksuyu arıtmakta olup günlük yaklaşık 250 kg arıtma çamuru oluşmaktadır. Tomarza Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi diğer tesislerin aksine azot ve fosfor giderimi yapılacak şekilde tasarlanmamıştır. Gerekli görülmesi durumunda 2. kademe için yapılacak projede azot ve fosfor giderimi için ek yapılarla azot ve fosfor giderimi sağlanması düşünülmüştür. Tesiste oluşan çamur dekantör vasıtasıyla susuzlaştırılmakta olup, susuzlaştırılan çamurun kuruluk seviyesi %20-22 civarında olmaktadır.



Şekil 7. Tomarza AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°26'40"N 35°49'55"E)

Tomarza AAT den alınan arıtma çamuru, Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği ağır metal muhteviyatı bakımından incelenmesi için numune alınmış ve numune sonuçları yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8. Tomzarza AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi

Tablo 6. Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	16,89
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	69,85
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	23,23
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	51,33
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	<1
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	281,67
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	1,67
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	1,13
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	48,15
Toplam Azot	TS 8337 ISO 11261	%	6,74
C/N	Hesaplama	%	5,22
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		6,79
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	dS/m	3,76
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	81,77
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	84,58
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	15,42

3.1.1.5. Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri ili Bünyan ilçesinde bulunan Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ortalama 3500 m³/gün atıksuyu arıtmakta olup günlük yaklaşık 1 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi biyolojik arıtmaya ek olarak azot ve fosfor giderimide yapmaktadır. Dekantör vasıtasıyla çamur susuzlaştırma işlemi uygulanan bu tesiste susuzlaştırılan çamurun kuruluk seviyesi %20-22 civarında olmaktadır.



Şekil 9. Bünyan AAT ve Arıtma Çamurunun Alındığı Bölge (38°50'57"N 35°49'18"E)

Bünyan AAT den alınan arıtma çamuru, Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği ağır metal muhteviyatı bakımından incelenmesi için numune alınmış ve numune sonuçları yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 10. Bünyan AAT Çamur Susuzlaştırma ve Dekantör Ünitesi

Tablo 7. Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	ANALİZ METODLARI	BİRİMLER	ANALİZ SONUÇLARI
Kurşun(Pb) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	23,51
Bakır(Cu) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	100,71
Krom(Cr) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	45,25
Nikel(Ni) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	55,19
Kadmiyum(Cd) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	<1
Çinko(Zn) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	719,39
Fosfor(P) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	10625,50
Civa(Hg) Tayini	EPA3051A/EPA 6010 D	mg kg ⁻¹	0,20
Organik Madde Tayini	TS 8336	%	47,72
Toplam Azot	TS 8337 ISO 11261	%	6,71
C/N	Hesaplama	%	4,12
pH tayini (Elektrometrik Metot)	TS ISO 10390		7,22
Elektriksel İletkenlik Tayini- Elektrometrik Metodu	TS ISO 11265	dS m ⁻¹	670
LOİ (Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini)	TS EN 12879	%	69,04
Nem Tayini	TS 9546 EN 12880	%	83,60
Kuru Madde Tayini	TS 9546 EN 12880	%	16,40

3.1.2. Toprak Materyali

Toprak numuneleri Erciyes Üniversitesi ERUTAM arazisinden 38°42'54"N 35°32'44"E koordinatından tesadüfi örnekleme yapılarak 0-30 cm derinliğinden alınmıştır (Şekil 11) (Şekil 12). Alınan toprak örneğinin deneme öncesi bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için laboratuvarında analizleri yapılmıştır. Toprak pH'sı hafif alkali, EC' si az tuzlu, kireç değeri orta kireçli ve organik madde düzeyi düşük bulunmuştur (Tablo 7).

Tablo 8. Denemede Kullanılan Toprakların Analizi

Özellik	Değer	Kaynak
pH (1:2.5)	7,66 ± 0,02	(McLean, 1982)
EC (µS cm ⁻¹)	169,76 ± 2,75	(Rohoades, 1982)
Tekstür Sınıfı	Tınlı Kum	(Bouyoucos, 1951)
Kireç (%CaCO ₃)	6,49 ± 0,01	(Nelson, 1996)
Organik madde (%)	0,95 ± 0,01	(Nelson ve Sommers, 1996)



Şekil 11. Toprak örneklerinin alındığı alan



Şekil 12. Toprak Numunelerinin Alınması

3.1.3. Saksı Denemesinin Kurulması

Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilen arıtma çamuru, saksı denemelerinde kullanılmak üzere öncelikle kurutulmuş ve daha sonra tokmak yardımıyla ezilerek homojen küçük parçalara ayrılmıştır. Ardından arıtma çamurları belirlenen oranlarda tartılarak toprak ile karıştırılıp saksılara doldurulmuştur.



Şekil 13. Saksı Numunesi Kurulumu İçin Arıtma Çamuru ve Toprağın Hazırlanması

Deneme 3 kg'lık saksılarda, %0, %25, %50 ve %75 arıtma çamuru doldurularak etiketlemeleri yapılmıştır. Saksılara 15:15:15 oranında azot, fosfor ve potasyum içeren gübre, %0, %25, %50 ve %100 oranlarında, uygulanarak tesadüfi deneme modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan deneme modelinde %100 gübre için saksı başına 1,2 g

gübre, %50 gübre için 0,6 gr gübre, %25 gübre için 0,3 g gübre kullanılmıştır. Toplam 48 adet saksı kullanılmış ve saksılara sorgum otu bitkisi ekilmiştir.

Tablo 9. Saksı Denemesi Deseni

Sorgum Otu Bitkisi					
Aritma Çamuru Dozları	G0 (Kontrol)	G25	G50	G100	Saksı Sayısı
A0 (Kontrol)	3	3	3	3	12
A25	3	3	3	3	12
A50	3	3	3	3	12
A75	3	3	3	3	12
Toplam Saksı Sayısı					48

A: Aritma çamuru, G:Gübre

Tablo 10. Aritma Çamuru Miktar ve Yüzdesi

Aritma Çamuru Dozları	Aritma Çamur Miktarı (g)	Toprak Miktarları (g)
%0	0	2000
%25	500	1500
%50	1000	1000
%75	1500	500

Tablo 11. Gübre Miktarı ve Yüzdesi

Gübre Dozları (15-15-15)	Gübre Miktarı (g)
%0	0
%25	0,3
%50	0,6
%100	1,2



Şekil 14. Saksı Denemesi Kurulumu

Deneme kurulumu yapıldıktan sonra çimlenmeye kadar düzenli sulamaları yapılarak bitki çıkışından sonra bitki su tüketimine göre sulamaları sağlanıp, kültürel bakımları yapılmıştır. İlk belirlenen arıtma çamuru uygulamasında sorgum bitkilerinde nadir çıkış gözlemlenmiş ve çıkış veren bitkilerin ise kısa bir süre içerisinde kuruduğu ve büyüme sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Bitkilerin çıkış vermeme sebebinin araştırılması esnasında tohum çimlenme testi, sulama kriterleri, sıcaklık ve bunun gibi etkenler kontrol edilmiş ve herhangi bir olumsuz durum gözlenmemiştir. Arıtma çamurunun içerisinde bulunan ağır metal konsantrasyonunun yüksekliği sorgum otunun büyüme ve gelişmesine engel olduğu düşünülerek dozları miktarları seyreltilerek deneme yeniden kurulmuştur.



Şekil 15. Uygulanan arıtma çamuru ve gübrenin bitki üzerindeki etkisi

Deneme 09.10.2024-24.02.2025 tarihleri arasında kurulup hasat edilmiştir. Arıtma çamuru dozları 24.02.2025 tarihinde %0, %25, %50 ve %75'ten %0, %7,5, %15 ve %20 oranlarına düşürülerek 15-15-15 gübresi belirlenen dozlarda yeniden uygulanmıştır. Bu çalışmada her saksıya 30 tohum ekilmiş ve çıkışa göre 25 bitkiye seyreltilmiştir.

Tablo 12. Seyreltilen Arıtma Çamuru Oranları ile Saksı Denemesi Desen Dağılımı

Sorgum Otu Bitkisi					
Arıtma çamur Doz	G0 (Kontrol)	G25	G50	G100	Saksı Sayısı
A0 (Kontrol)	3	3	3	3	12
A7,5	3	3	3	3	12
A15	3	3	3	3	12
A20	3	3	3	3	12
Toplam Saksı Sayısı					48



Şekil 16. Arıtma çamuru-gübre uygulamasının hasat öncesi görünümü

3.2. Yöntem

Sorgum bitkilerinin hasadı yapılarak, bitki ve toprak örnekleri seradan laboratuvara analizlerin yapılması için taşınmıştır. Yapılacak olan toprak analizleri için deneme toprağı 2 mm'lik elekten geçirilerek kurutma kâğıtlarının üzerinde serilmiştir. Bitki analizlerine ön hazırlık için örnekler toz ve toprak partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla çeşme suyundan geçirilmiş ve kurutma kâğıdına serilmiştir. Deneme toprağında; pH, EC, kireç ve organik madde, bitki örneklerinde; bitki ve kök boyu ölçümü, kök kuru ağırlığı, kök yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, bitki yaş ağırlığı, klorofil miktarı ve mikro element analizi yapılmıştır.

3.2.1. Toprak Analizleri

3.2.1.1. Toprak Tekstürü Analizi

Toprağın % kum, silt ve kil oranının ifadesi olan toprak tekstür sınıfını belirlemek için tekstür üçgeni kullanılmıştır (Bouycous, 1951).



Şekil 17. Deneme toprağında tekstür analizi

3.2.1.2. pH ve EC Ölçümü

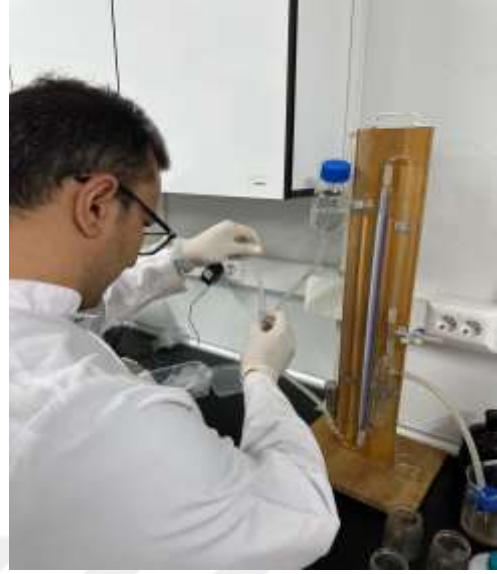
Deneme toprağının pH analizi, 20 gram toprak ile 50 mL saf suyun 1:2.5 oranında karıştırılmasıyla elde edilen süspansiyonda, H^+ iyonu konsantrasyonu pH metre ile potansiyometrik yöntemle belirlenmiştir (McLean, 1982). Aynı şekilde, toprak çözeltisinin elektriksel iletkenliği de 20 gram toprak ve 50 mL saf su karışımı kullanılarak kondüktivimetre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 18).



Şekil 18. Deneme toprağında EC ve pH analizi

3.2.1.3 Kireç Analizi

Topraktaki kireç (kalsiyum karbonat) içeriği, Scheibler kalsimetresi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde, 0.5 gram toprak örneği 1:3 oranında seyreltilmiş HCl çözeltisi ile reaksiyona sokulmuş; kalsiyum karbonatın asitle parçalanması sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO_2) gazının hacmi, kapalı bir sistemde ölçülerek kireç yüzdesi hesaplanmıştır (Nelson, 1982; Şekil 19).



Şekil 19. Deneme toprağında kireç analizi

3.2.1.4 Organik Madde Miktarı Analizi

Toprak organik madde analizi, standart Walkley-Black yöntemi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Nelson ve Sommers, 1996). Bu yöntemde, toprakta bulunan organik karbon, potasyum dikromat ve sülfürik asit ile gerçekleştirilen ıslak oksidasyon yoluyla yükseltgenmiştir. Reaksiyon sonrasında ortamda kalan ve reaksiyona girmemiş potasyum dikromat miktarı, standart demir (II) sülfat çözeltisi ile titrasyon yapılarak belirlenmiştir. Elde edilen organik karbon miktarına dayanarak, topraktaki toplam organik madde içeriği hesaplanmış ve sonuçlar yüzdesel olarak ifade edilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Deneme toprağında organik madde analizi

3.2.1.5 Deneme Öncesi ve Hasat Sonrası Toprakta Mikro Element Analizi

0,2 g tartımı yapılan kuru bitki örnekleri mikrodalga tüplerine eklendikten sonra içerisine 5ml HNO₃, konsantre 1ml H₂O₂ eklenerek tüplerin kapağı kapatılmış ve cihaza yerleştirilmiştir. Bitkide yakma işlemi için mikrodalga 10 dk 120°C'ye çıkarak 10 dk 120°C'de beklemekte, 5 dk'da 180°C'ye çıkmakta, 20 dk sonrasında 180°C'de beklemektedir. Daha sonra mikrodalgada yakılan örnekler 15 ml'lik falkon tüplerine süzülüş, çizgilerine kadar saf su ile tamamlanmış ve analize hazır duruma getirilmiştir. Hazırlanan süzüklerin ICP-OES cihazı ile okunması gerçekleştirilmiştir (USPA, 2007).

3.2.2 Bitki Örneklerinin Analizleri

Deneme hasadı sonrasında, bitkilerin toprak üstü ve toprak altı kısımları, yüzeylerinde kalıntı kalmayacak şekilde saf su ile dikkatlice yıkanarak temizlenmiştir. Ardından, temizlenen bitki örnekleri kurutma kâğıtları üzerine serilerek fazla nemi giderilmiş ve ön kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 21). Yaş ağırlığa dayalı analizlerin tamamlanmasının ardından, numuneler kurutma işlemine alınmıştır. Kurutma öncesinde bitkiler kese kâğıtları içerisinde muhafaza edilmiş ve ardından 70 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, homojenizasyon sağlamak amacıyla öğütme makinesinde öğütülerek analizlere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 21. Hasatı yapılan bitki ve aksamalarının yıkanması



Şekil 22. Hasatı yapılan bitki ve aksamalarının kurulanması



Şekil 23. Sürgün ve kök örneklerinin kurutulması ve öğütülmesi

3.2.2.1. Bitki Örneklerinin Kök ve Toprak Üzeri Aksamalarının Kuru ve Yaş Ağırlıklarının Ölçülmesi

Bitki büyüme performansının değerlendirilmesi amacıyla yaş ve kuru ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerin kök ve sürgün kısımları, üzerlerinde kalan toprak ve yabancı maddelerden arındırılmak üzere saf su ile yıkanmış ve fazla yüzey nemi kurutma kâğıdıyla uzaklaştırılmıştır. Temizlenmiş örnekler, ayrı ayrı olacak şekilde hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 24) (Kaçar ve İnal, 2008).



Şekil 24. Yaş ve kuru bitki ağırlıklarının alınması

3.2.2.2 Bitki Örneklerinin Klorofil Miktarı Ölçümlerinin Yapılması

Hasat öncesinde, bitki örneklerinin yapraklarında klorofil yoğunluğu taşınabilir SPAD cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 25. Sorgum bitkisinin klorofil yoğunluğunun ölçümü

3.2.2.3. Hasat Sonrası Bitki ve Kök Örneklerinin Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi

Analiz öncesinde, her bir kuru bitki örneğinden 0.2 g tartılarak mikrodalga tüplerine aktarılmıştır. Her tüpe 5 ml konsantre HNO_3 (nitrik asit) ve 1 ml konsantre H_2O_2 (hidrojen peroksit) ilave edilmiş, ardından tüplerin kapakları sıkıca kapatılarak mikrodalga cihazına yerleştirilmiştir. Mikrodalga yakma işlemi sırasında cihaz; 10 dakika boyunca 120°C 'ye çıkıp bu sıcaklıkta bekledikten sonra, 5 dakikada 180°C 'ye ulaşmakta ve bu sıcaklıkta 20 dakika boyunca yakma işlemini sürdürmektedir. İşlem sonunda cihaz, soğutma fazına geçerek yakma işlemini tamamlamaktadır. Yakma işlemi tamamlanan numuneler, 15 ml'lik Falcon tüplerine süzülerek aktarılmış ve çizgilerine kadar saf su ile tamamlanmıştır. Böylece analiz için hazır hâle getirilen çözeltiler, elementel analiz amacıyla ICP-OES (Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry) cihazında ölçülmüştür (Mertens, 2005).

3.2.3 Verilerin Analizi

Verilerin analizinde Tesadüf Parselleri Deneme Deseni esas alınarak ve analizler JMP Pro 17.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tukey testleriyle grup farklılıkları %5 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir (Snedecor ve Cochran, 1967).

4. BÖLÜM

BULGULAR-TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisi Boyu Üzerine Etkisi

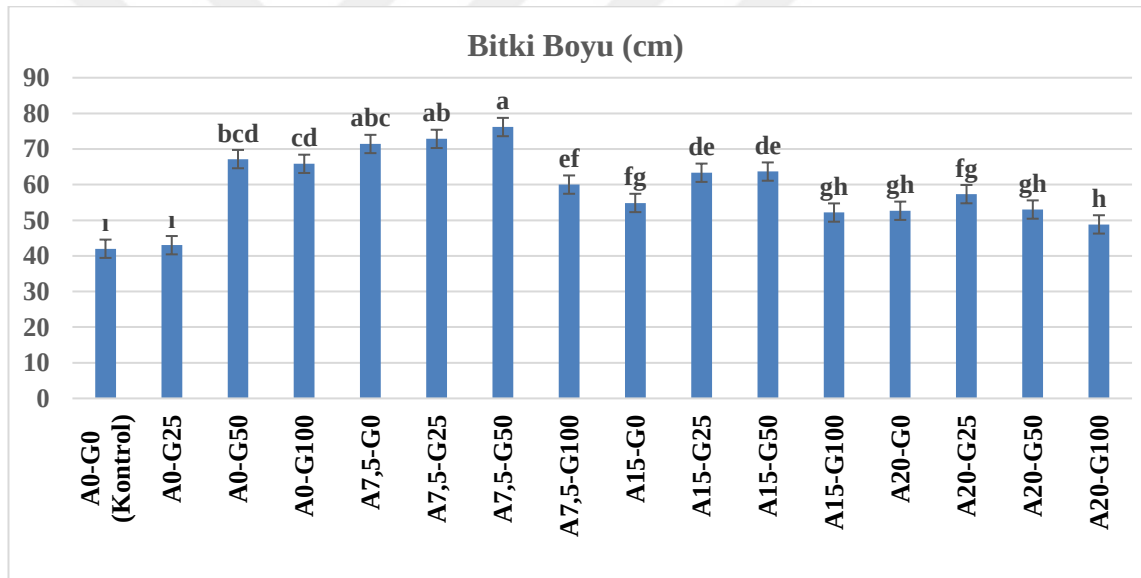
Deneme bulgularına göre; arıtma çamurunun kullanıldığı örneklerin genel olarak bitki boy ölçümlerinin daha yüksek çıktığı ancak arıtma çamuru uygulamasının dozunun %15 üzerine çıkmasıyla sorgum bitkisinde olumsuz etkiler gözlenmiştir. En yüksek bitki boyu A7,5-G15 bitkisinde 76,17 cm, en düşük bitki boyu ise kontrol grubunda 39,33 cm ölçülmüştür. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu bitki boyu üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla, A7,5-G50 grubunda bitki boyu %93,66 oranında arttığı belirlenmiştir.



Şekil 26. Kontrol, A0-G25, A7,5-G25, A15-G25 ve A20-G25 uygulamalarının sorgum bitkisinde bitki boy uzunluklarının kıyaslanması



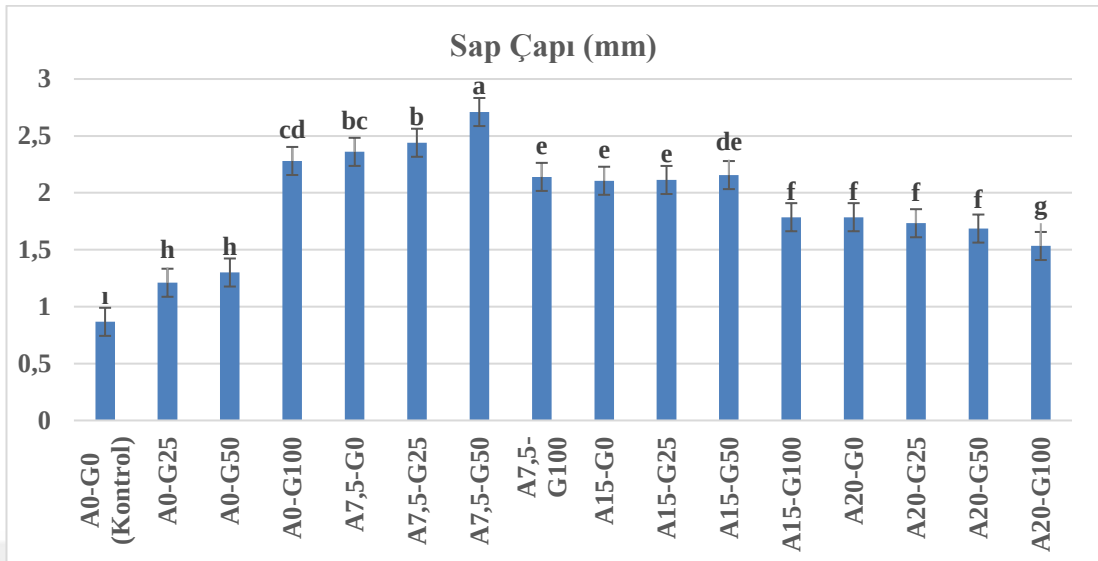
Şekil 27. Kontrol, A0-G100, A7,5-G100, A15-G100 ve A20-G100 uygulamalarının sorgum bitkisinde bitki boy uzunluklarının kıyaslanması



Şekil 28. Arıtma çamuru ve gübre uygulamasının ortalama bitki boyuna etkisi

4.1.2. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisinde Sap Çapı Ölçümü Üzerine Etkisi

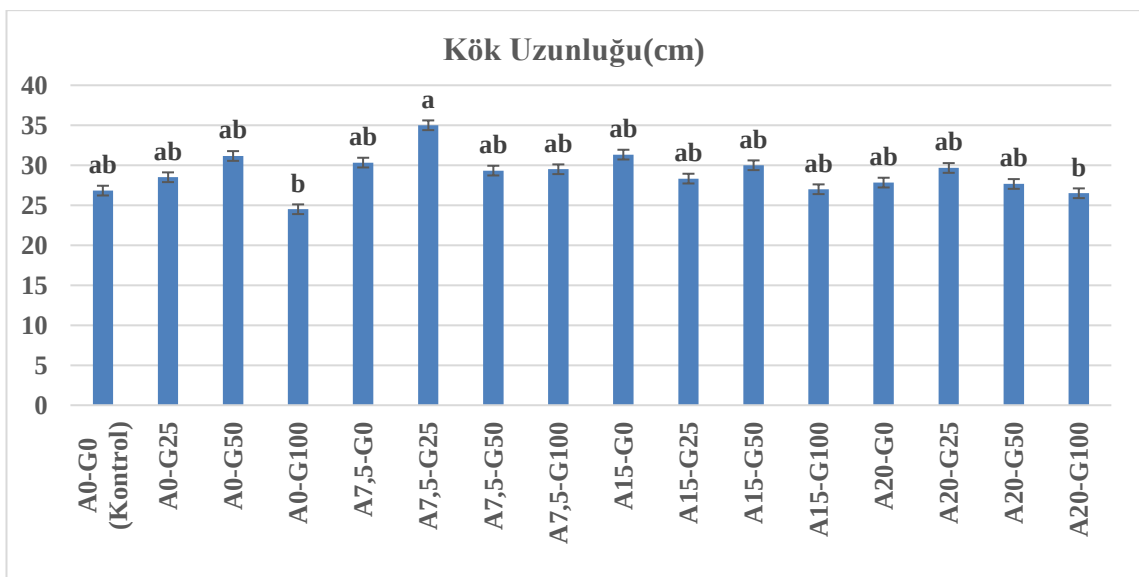
Bulgulara göre, sorgum bitkisinin sapı en yüksek A7,5-G50 grubunda 2,71 mm, en düşük A0-G0 grubunda 0,867 mm olarak ölçülmüştür. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu bitki sap çapı ölçümü üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A7,5-G50 grubunda bitki sap çapı %212,57 artmıştır.



Şekil 29. Arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının sorgum bitkisinde ortalama sap çapına etkisi

4.1.3. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Sorgum Bitkisi Kök Uzunluğu Üzerine Etkisi

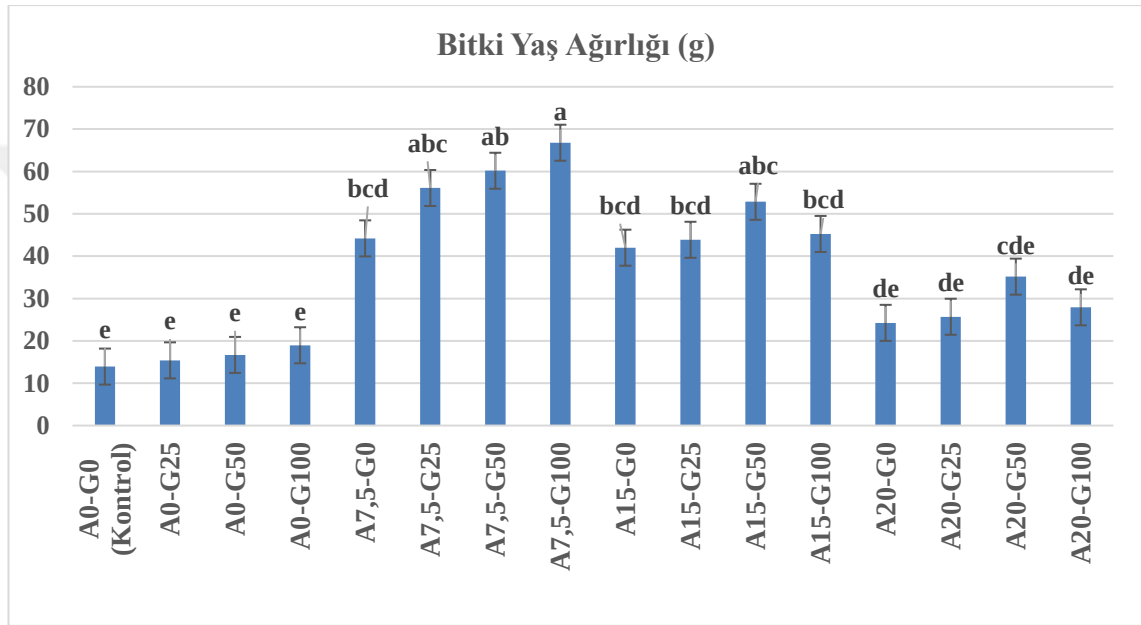
Hasat sonrası, bitki kök derinliği en yüksek 35 cm ile A7,5-G25 grubunda, en düşük kontrol grubunda 25,16 cm olarak ölçülmüştür. Arıtma çamur ve gübre bitki kök derinliği üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Kontrol grubuna kıyasla bitki kök derinliğinde A7,5-G25 grubunda %39,10'luk artış belirlenmiştir.



Şekil 30. Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kök uzunluğuna etkisi

4.1.4. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgumda Bitki Yaş Ağırlıkları Üzerine Etkisi

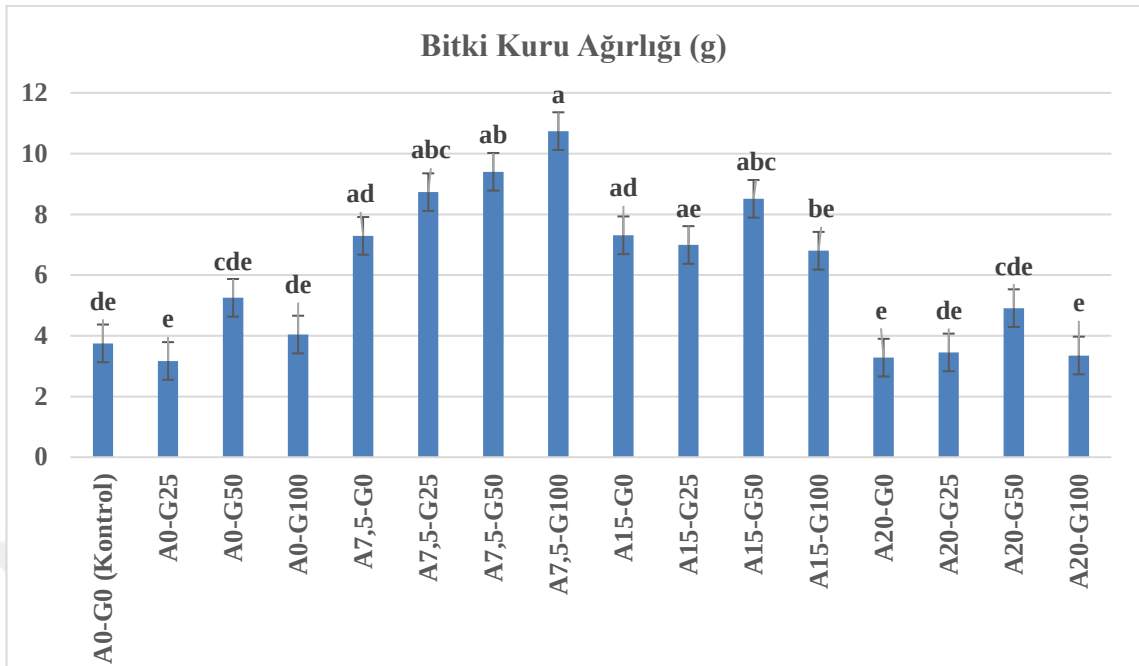
Bitkilerin yaş ağırlıkları ölçüldüğünde en yüksek A7,5-G100 grubunda 66,79 g, en düşük sonuçlar 13,92 g ile kontrol grubunda ölçülmüştür. Arıtma çamur ($p<0,01$) ve gübre ($p<0,05$) bitki yaş ağırlıkları üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubundan A7,5-G100 grubuna kıyasla %379,81 oranında arttığı belirlenmiştir.



Şekil 31. Arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama bitki yaş ağırlığına etkisi

4.1.5. Arıtma Çamuru ve Gübre İlavesinin Bitki Kuru Ağırlıkları Üzerine Etkisi

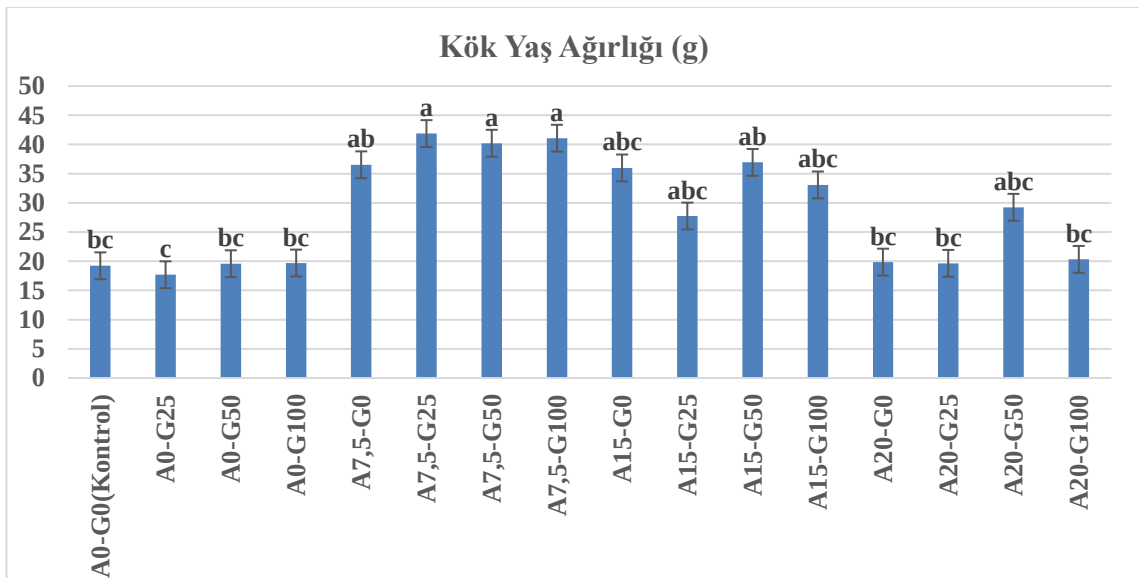
Bitki kuru ağırlığında en yüksek A7,5-G100 grubunda 10,74 g, en düşük A0-G25 grubunda 3,17 g ölçülmüştür. Arıtma çamur ($p<0,01$) ve gübre ($p<0,05$) bitki kuru ağırlıkları üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A7,5-G100 grubunda itki kuru ağırlığı %186,39 oranında artmıştır.



Şekil 32. Arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama bitki kuru ağırlığına etkisi

4.1.6. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgumda Kök Yaş Ağırlığı Üzerine Etkisi

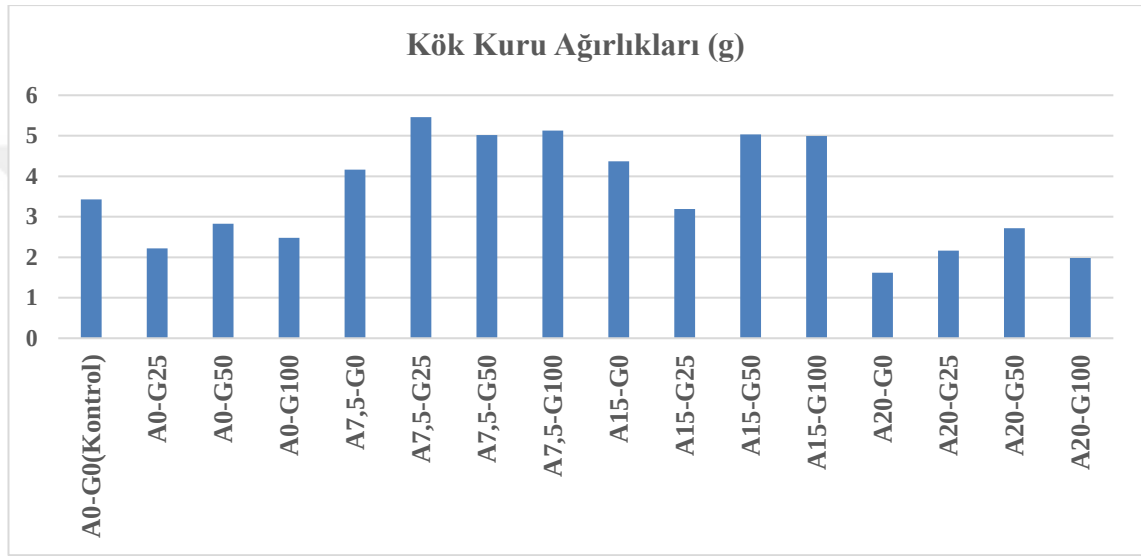
Kök yaş ağırlık ölçümlerinde en yüksek A7,5-G25 grubunda 41,87 g, en düşük ağırlık ise A0-G25 grubunda 17,69 g olarak belirlenmiştir. Arıtma çamur kök yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A7,5-G100 grubunda kök yaş ağırlığında %117,84'lik artış belirlenmiştir.



Şekil 33. Arıtma çamur ve gübre uygulamasının ortalama kök yaş ağırlıklarına etkisi

4.1.7. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Sorgum Bitkisinin Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi

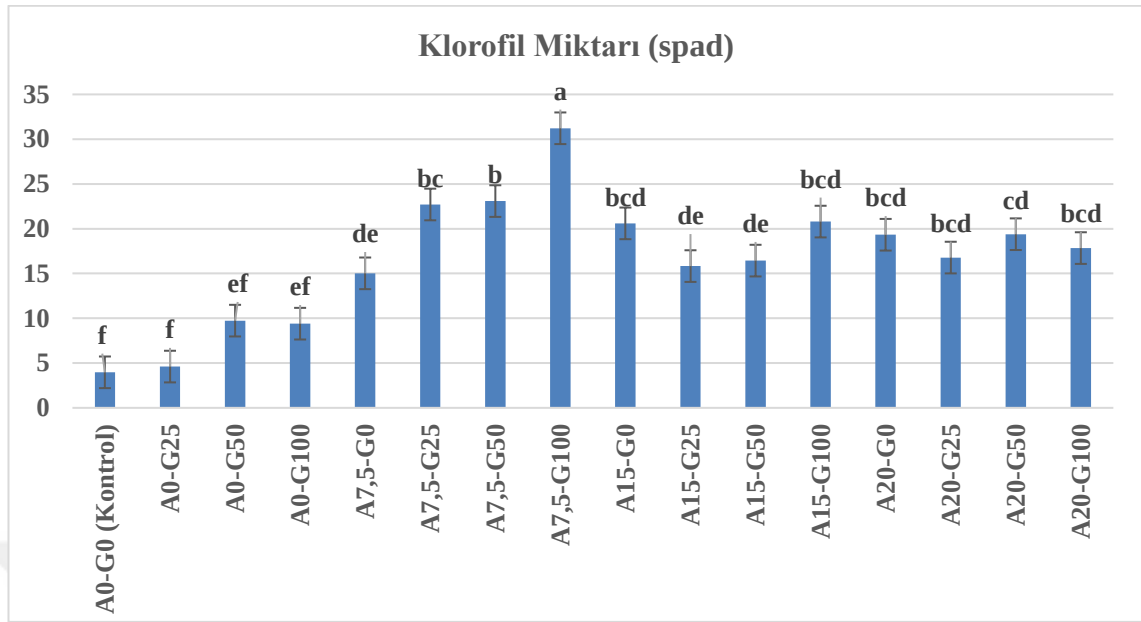
Hasat sonrası kök kuru ağırlığında en yüksek A7,5-G25 grubunda 5,46 g ölçülmüştür. En düşük ağırlık ise A20-G0 grubunda 1,62 g olarak belirlenmiştir. Arıtma çamur kök kuru ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla kök kuru ağırlığı A7,5-G25 grubunda %58,01 oranında artmıştır.



Şekil 34. Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kök kuru ağırlıklarına etkisi

4.1.8. Arıtma çamur ve Gübre Uygulamasının Yaprak Klorofil İçeriği Üzerine Etkisi

Sorgum bitkisinin yaprak klorofil içeriğinin (spad) ölçümünde en yüksek A7,5-G100 grubunda ortalama 31,22, en düşük A0-G0 grubunda 3,97 ölçülmüştür. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu yaprak klorofil içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A7,5-G100 grubunda yaprak klorofil içeriği %686,39 oranında arttığı belirlenmiştir.



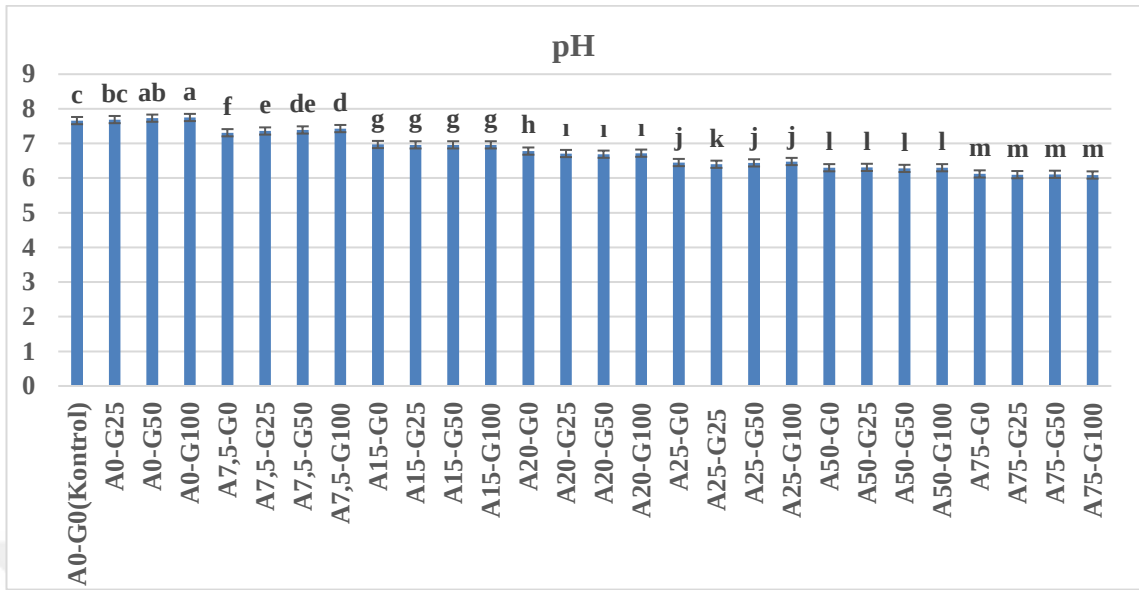
Şekil 35. Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama klorofil miktarına etkisi

4.1.9. Hasat Sonrası Toprak Analizleri

Hasat sonrası uygulama gruplarında pH, EC, kireç ve organik madde analizi yapılmıştır. Bu analizlerde seyreltilmiş uygulamalara ilaveten önceden kurulan bitki çıkışı olmayan gruplarında analizleri de yapılmıştır.

4.1.9.1. Arıtma çamur ve Gübre İlavesinin pH Üzerine Etkisi

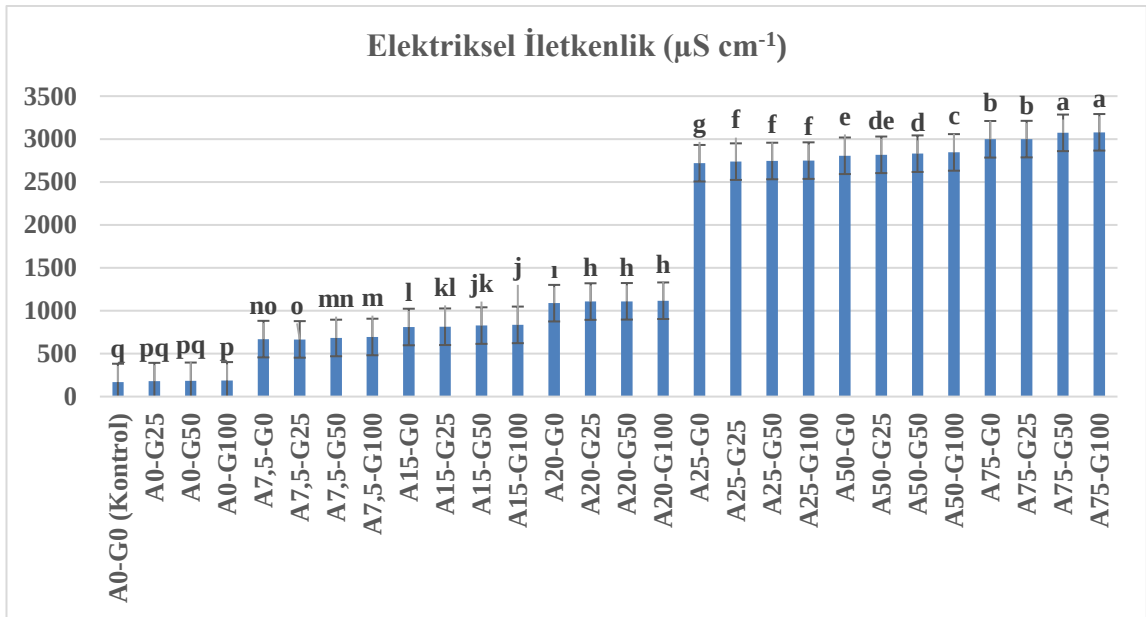
Yapılan çalışmada pH analizlerine bakıldığında en düşük pH değerinin A75-G100 grubunda 6,08 olarak ölçülmüştür. En yüksek pH değeri ise A0-G100 grubunda 7,75 olarak ölçülmüştür. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamur*gübre interaksyonu pH üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna göre A75-G100 grubunda %21,54 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 36. Arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama pH üzerine etkisi

4.1.9.2 Arıtma Çamuru ve Gübre İlavesinin Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisi

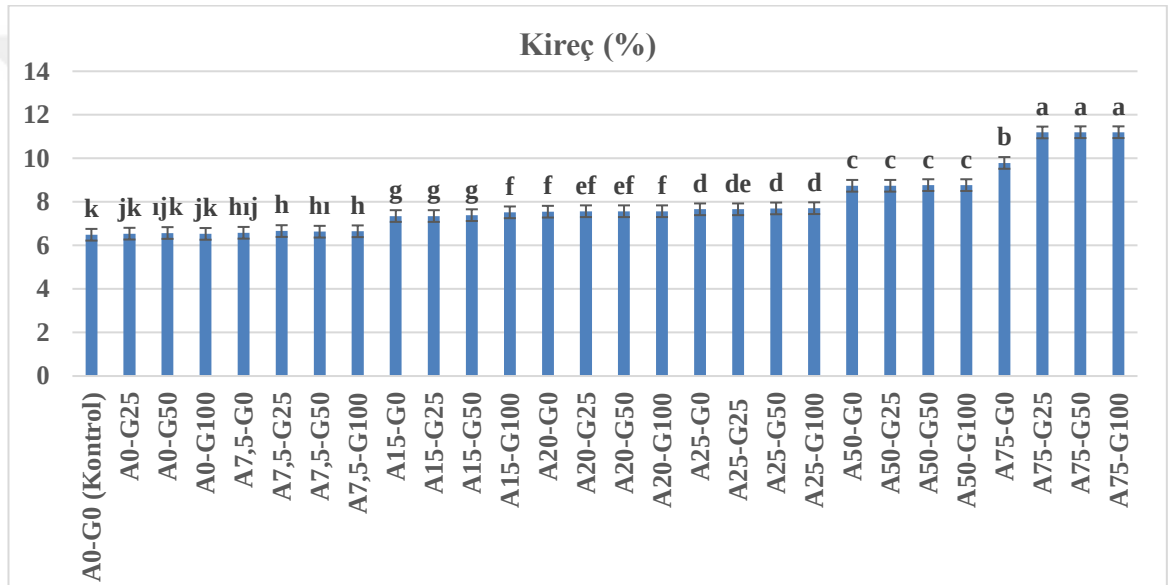
Elektriksel iletkenlik ölçümleri en yüksek değer A75-G100 grubunda $3078,56 \mu\text{S cm}^{-1}$, en düşük A0-G0 grubunda $169,76 \mu\text{S cm}^{-1}$ ölçülmüştür. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu elektriksel iletkenlik üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A7,5-G100 grubunda EC değerinde %1743,47 artış belirlenmiştir.



Şekil 37. Arıtma çamuru ve gübre dozlarının ortalama elektriksel iletkenlik etkisi

4.1.9.3. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Kireç Değeri Üzerine Etkisi

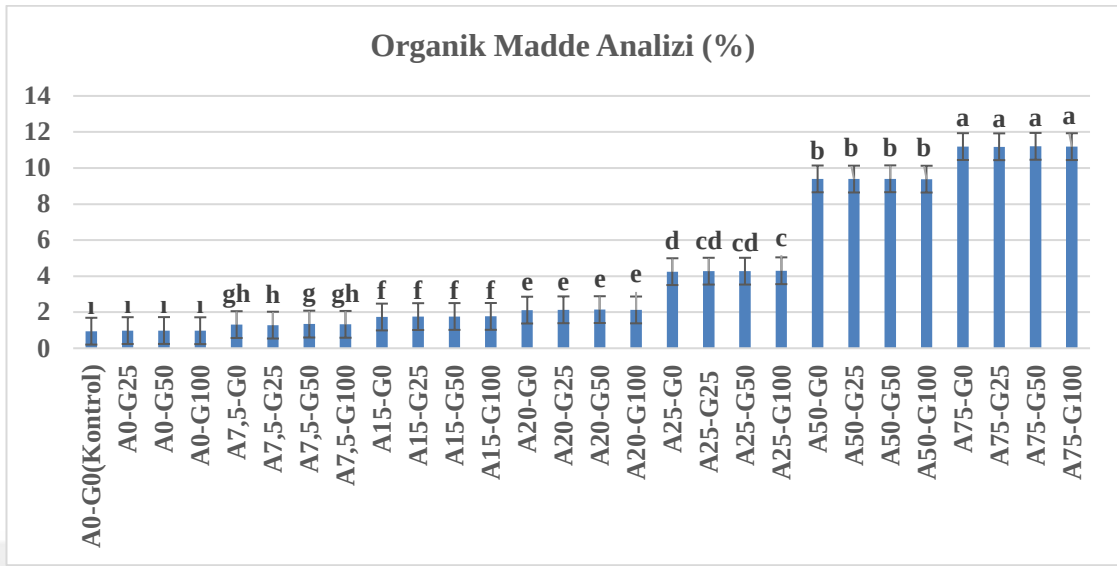
Arıtma çamuru ve gübre uygulamalarında uygulama dozunun artmasıyla % kireç düzeyinin arttığı belirlenmiştir. En düşük kireç düzeyi %6,49 ile kontrol grubunda, en yüksek A75-G50 grubunda %11,2 belirlenmiştir. Arıtma çamur, gübre ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu kireç değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla toprakta %kireç A7,5-G50 grubunda %72,57 artmıştır.



Şekil 38. Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama kireç etkisi

4.1.9.4. Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamasının Toprak Organik Maddesi Üzerine Etkisi

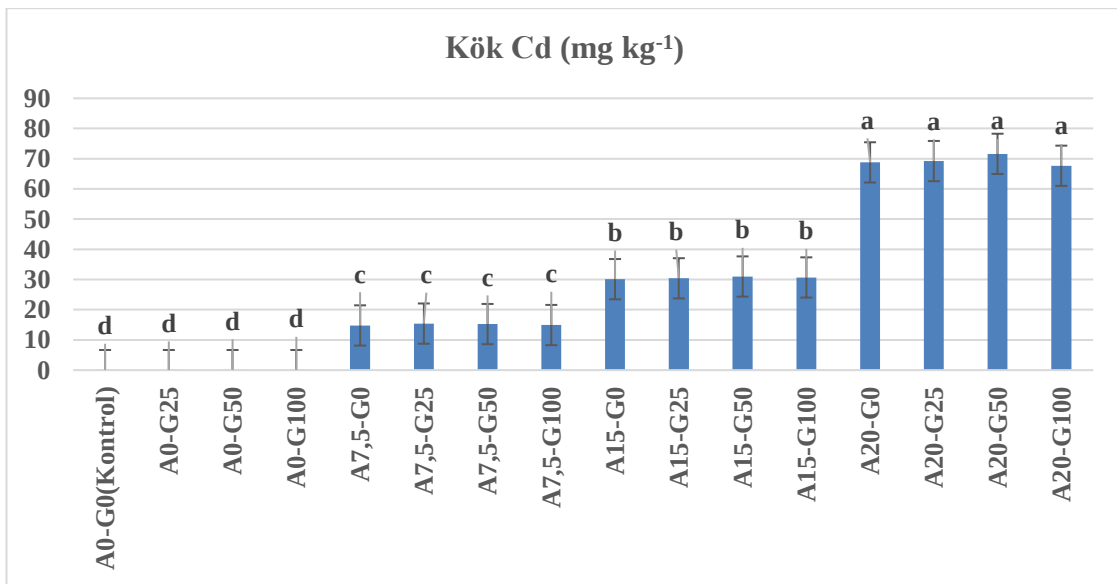
Hasat sonrası uygulama gruplarının toprak analizinde organik madde düzeyi en yüksek %11,19 A75-G50 grubunda, en düşük %0,95 A0-G0 grubunda belirlenmiştir. Arıtma çamur, gübre ($p<0,01$) ve arıtma çamuru*gübre interaksyonu ($p<0,05$) toprak organik maddesi üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla toprak organik madde düzeyi A7,5-G100 grubunda %1077,89 arttığı belirlenmiştir.



Şekil 39. Arıtma çamur ve gübre dozlarının ortalama organik madde içeriğine etkisi

4.1.9.5.1. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Değerine Etkisi

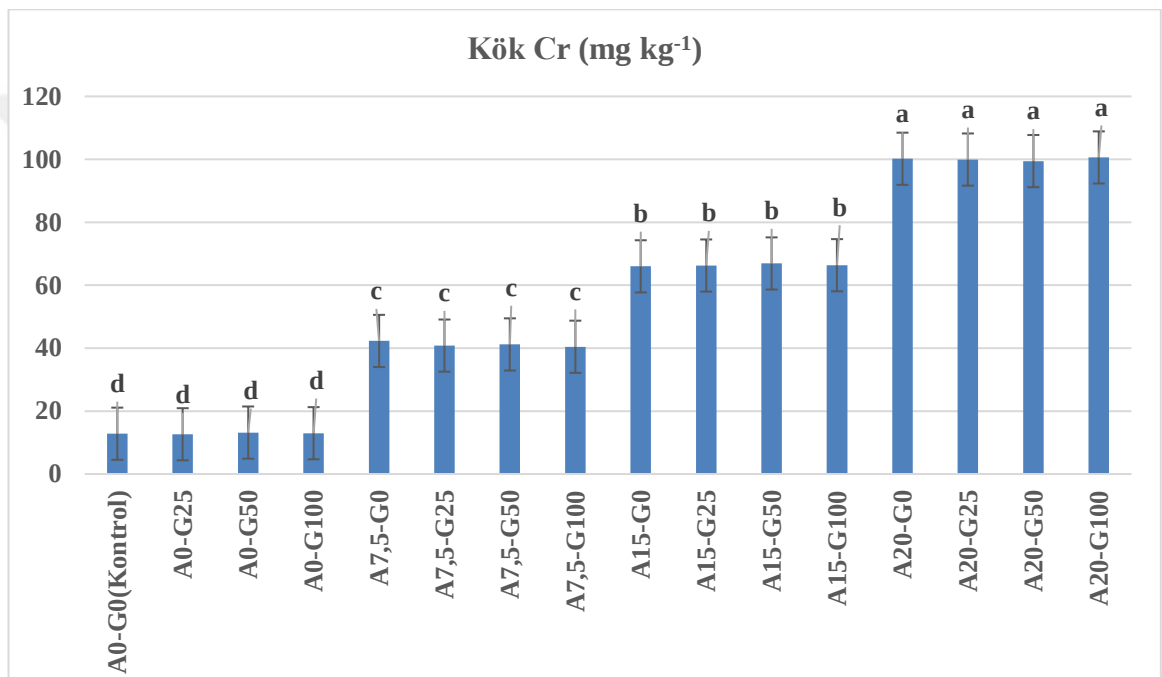
Arıtma çamur ve gübre uygulama gruplarında bitki kök Cd konsantrasyonu en yüksek A20-G50 grubunda $71,62 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük A0-G25 grubunda $0,0002 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamasının kök Cd değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla kök Cd konsantrasyonu A20-G50 grubunda %21702930 artış belirlenmiştir.



Şekil 40. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cd konsantrasyonu değişimleri

4.1.9.5.2. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonuna Etkisi

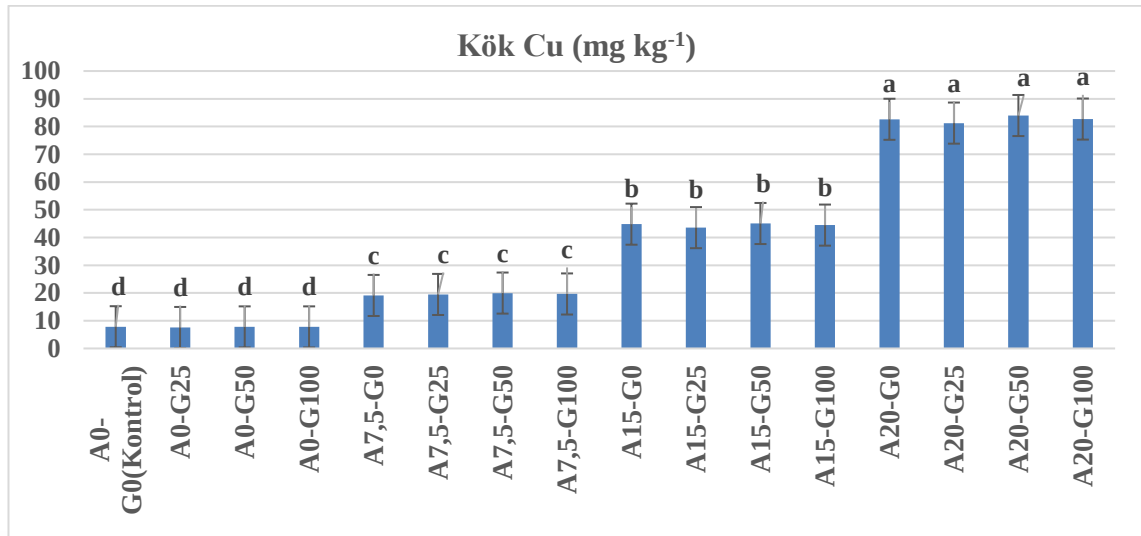
Arıtma çamuru ve gübre uygulamaları Cr değeri için en yüksek A20-G50 grubunda 100,6 mg kg⁻¹, en düşük A0-G25 grubunda 12,63 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının kökteki Cr konsantrasyonuna etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla kök Cr değeri A20-G50 grubunda %696,51 oranında artmıştır.



Şekil 41. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.5.3. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi

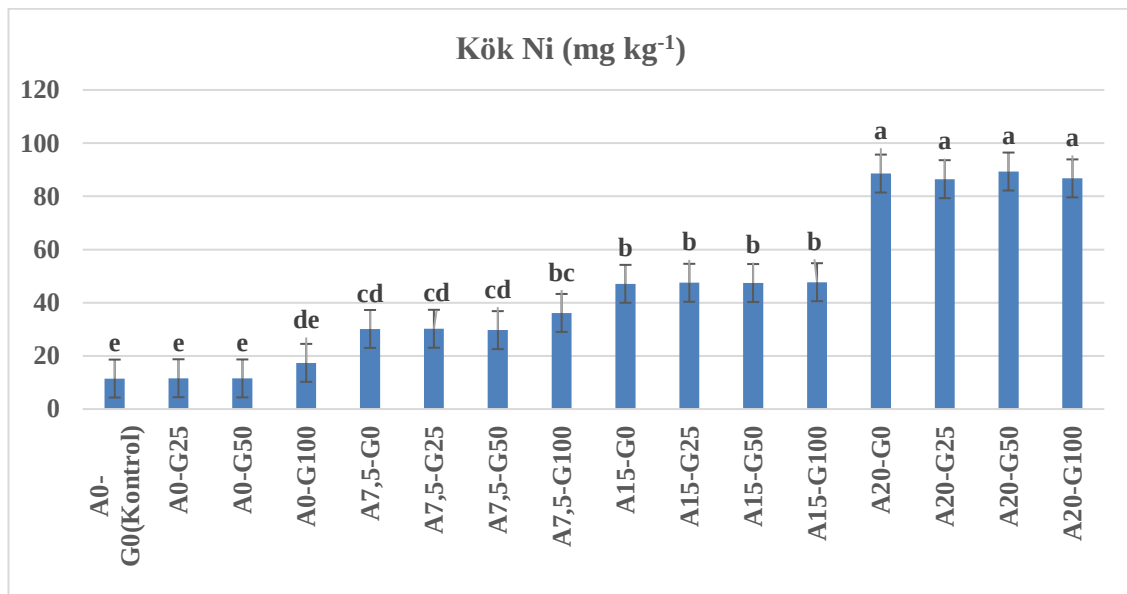
Hasat sonrası sorgumda kök Cu değeri en yüksek A20-G50 grubunda 83,6 mg kg⁻¹, en düşük A0-G25 grubunda 7,56 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının kök Cu değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla kök Cu değeri A20-G50 grubunda %972,41 artmıştır.



Şekil 42. Hasat Sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu konsantrasyonunda değişimi

4.1.9.5.4. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma Çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

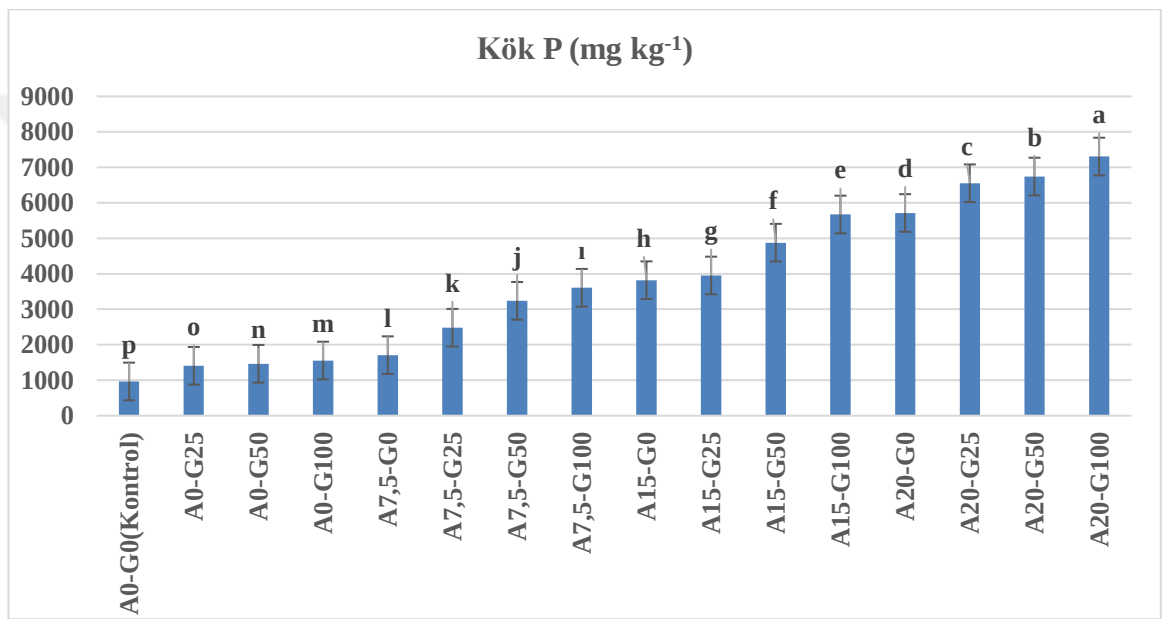
Hasat sonrası bitki kök Ni değeri en yüksek A20-G50 grubunda 89,32 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 11,47 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının kök Ni değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla kök Ni değeri A20-G50 grubunda %678,72 artmıştır.



Şekil 43. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Ni konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.5.5. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Fosfor Değerine Etkisi

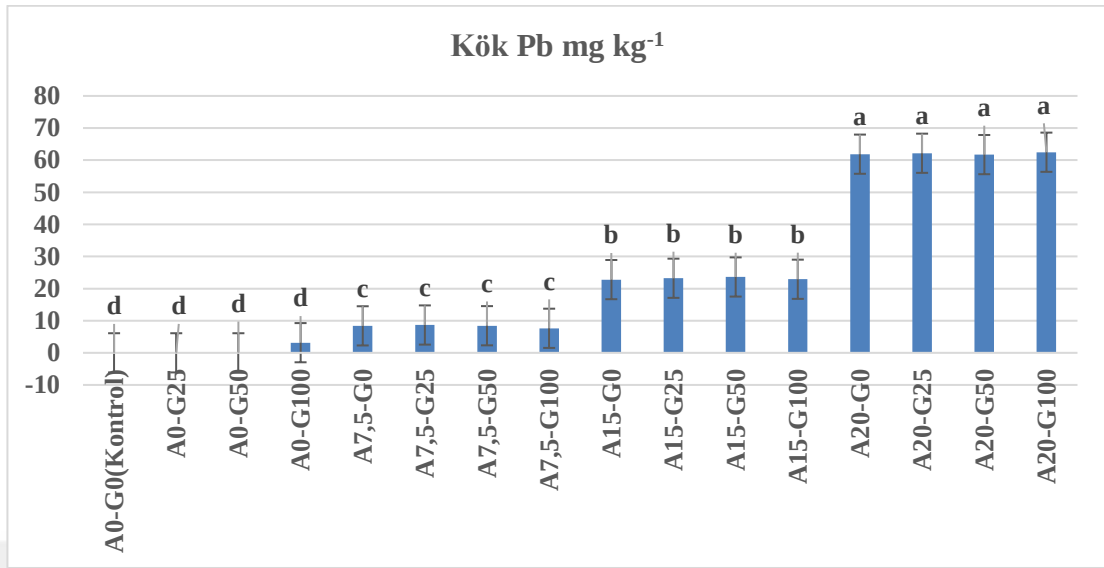
Arıtma çamuru ve gübre uygulamasının bitki kökündeki fosfor düzeyi en yüksek A20-G100 grubunda $7304,58 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $964,96 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru, gübre, arıtma çamur*gübre interaksyonu kök fosfor değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla kök fosfor düzeyi A20-G100 grubunda % 656,98 artmıştır.



Şekil 44. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama fosfor değerine etkisi

4.1.9.5.6. Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Değerine Etkisi

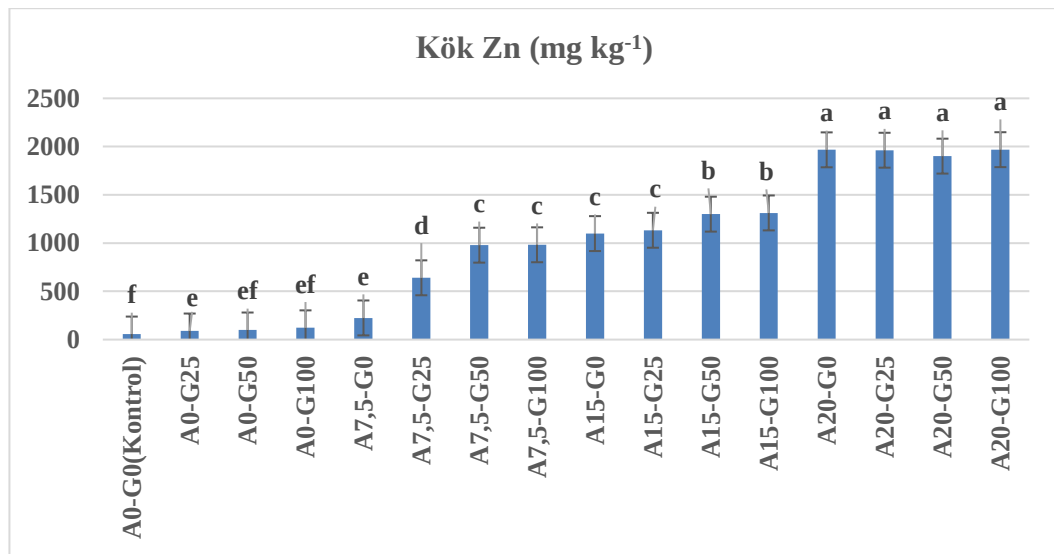
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki kökünde Pb konsantrasyonu en yüksek A20-G100 grubunda $62,47 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,00013 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru uygulamalarının bitki kök Pb değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla bitki kök Pb konsantrasyonu A20-G100 % 48053746 artmıştır.



Şekil 45. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının bitki kökünde ortalama Pb değerine etkisi

4.1.9.5.7 Hasat Sonrası Bitki Kökünde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Konsantrasyonu Etkisi

Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki kökünde Zn konsantrasyonu en yüksek A20-G100 grubunda 1968,15 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 57,67 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamuru, gübre, arıtma çamuru*gübre interaksyonu kök Zn değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla kök Zn konsantrasyonu A20-G100 grubunda % 331277 artmıştır.

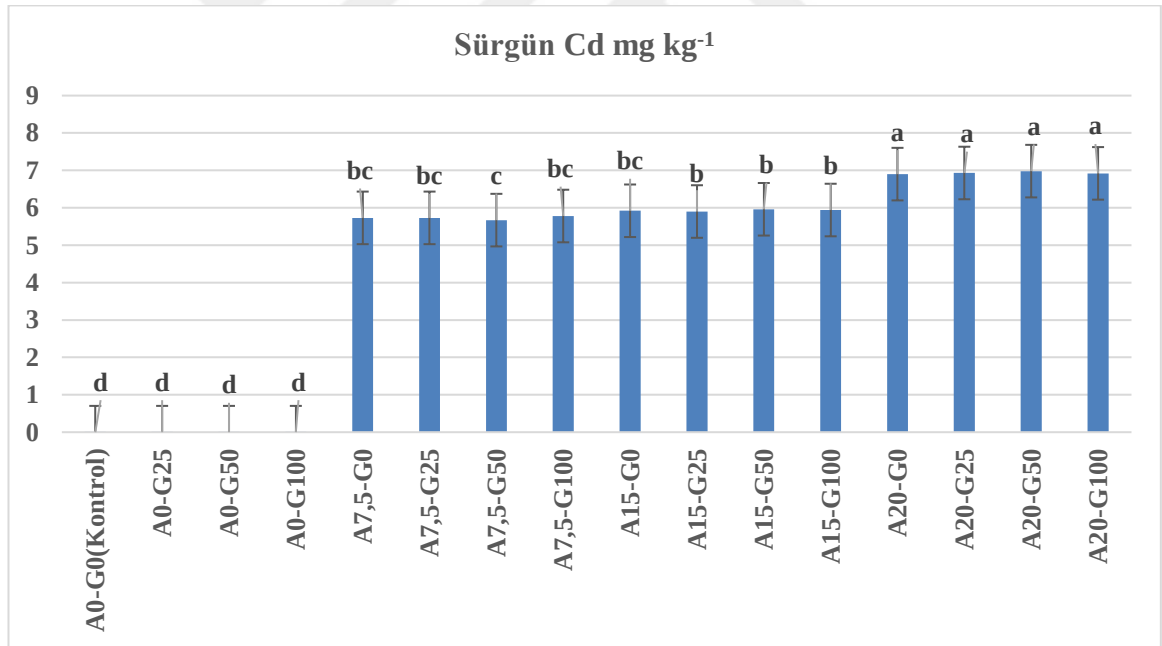


Şekil 46. Hasat sonrası bitki kökünde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama kök Zn konsantrasyonuna etkisi

Çakır ve ark (2018) mısır bitkisine arıtma çamuru uygulaması yaparak Zn, Cu, Pb, Ni, Cd miktarlarını incelemişlerdir. İnceleme sonucunda Zn, Ni miktarında düzenli artış gözlemlenmeleri yaptığımız çalışma ile paralellik göstermektedir. Ancak Pb, Ni, Cd, Cu değerlerinde düzenli bir artış olmaması ve aynı zamanda azalması sebebiyle yaptığımız çalışma ile paralellik göstermemektedir.

4.1.9.6.1 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Konsantrasyonuna Etkisi

Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Cd konsantrasyonu en yüksek A20-G50 grubunda $6,98 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,00016 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması kök Cd değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G50 grubunda sürgün Cd konsantrasyonu %4362400 artmıştır.

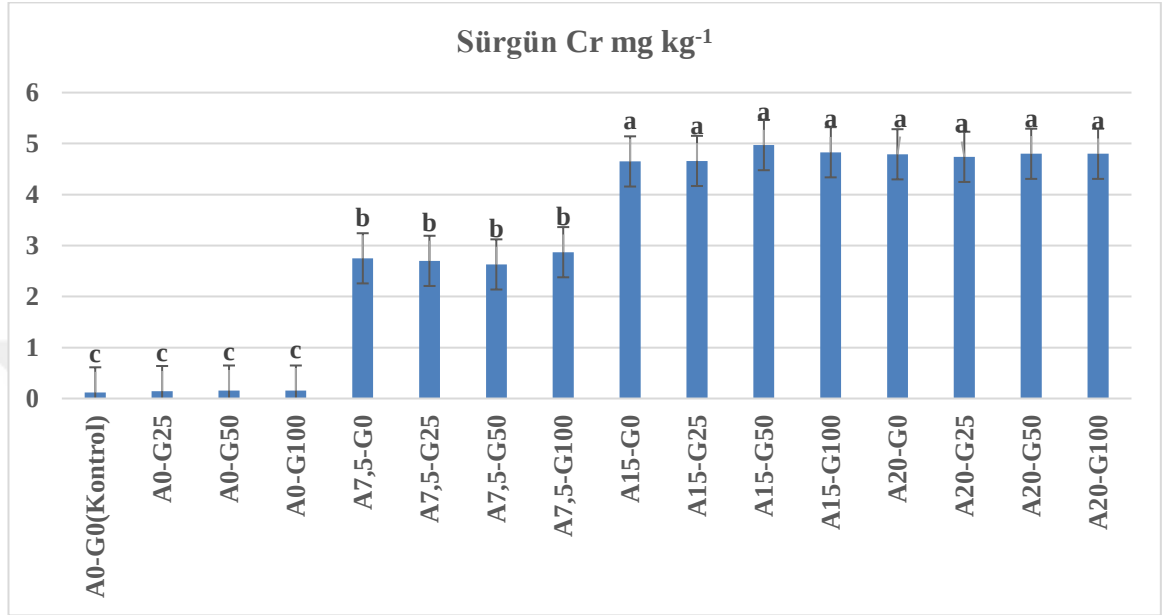


Şekil 47. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Cd değerine etkisi

4.1.9.6.2 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonu Etkisi

Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Cr konsantrasyonu en yüksek A15-G100 grubunda $4,97 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,12 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak

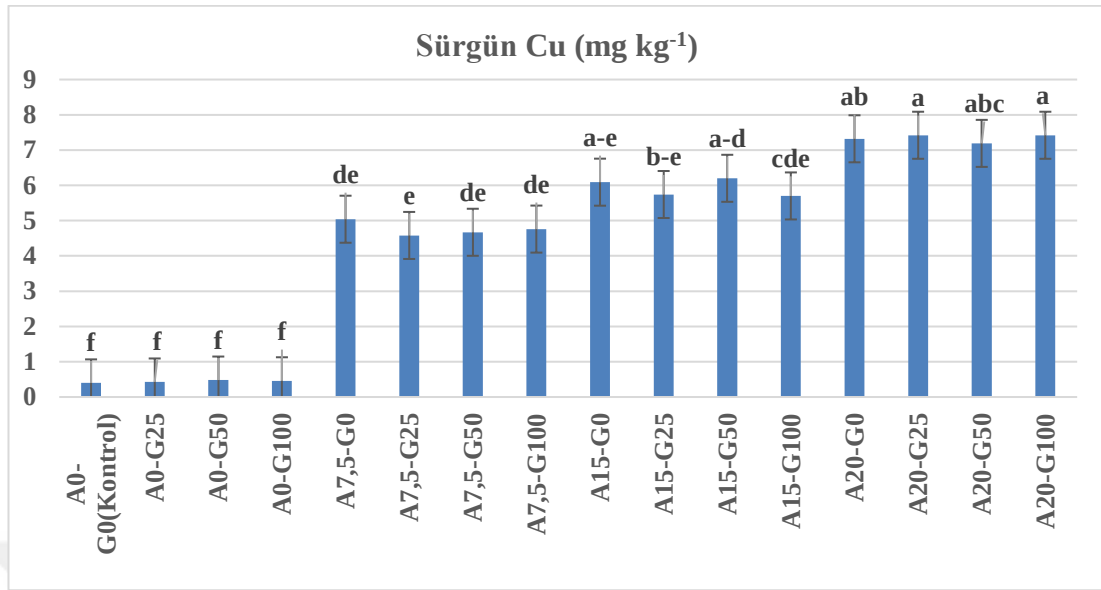
bulunmuştur. Arıtma çamur uygulamasının sürgün Cr değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A15-G100 grubunda sürgün Cr konsantrasyonu %4041,66 artmıştır.



Şekil 48. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonu etkisi

4.1.9.6.3 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma çamur ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi

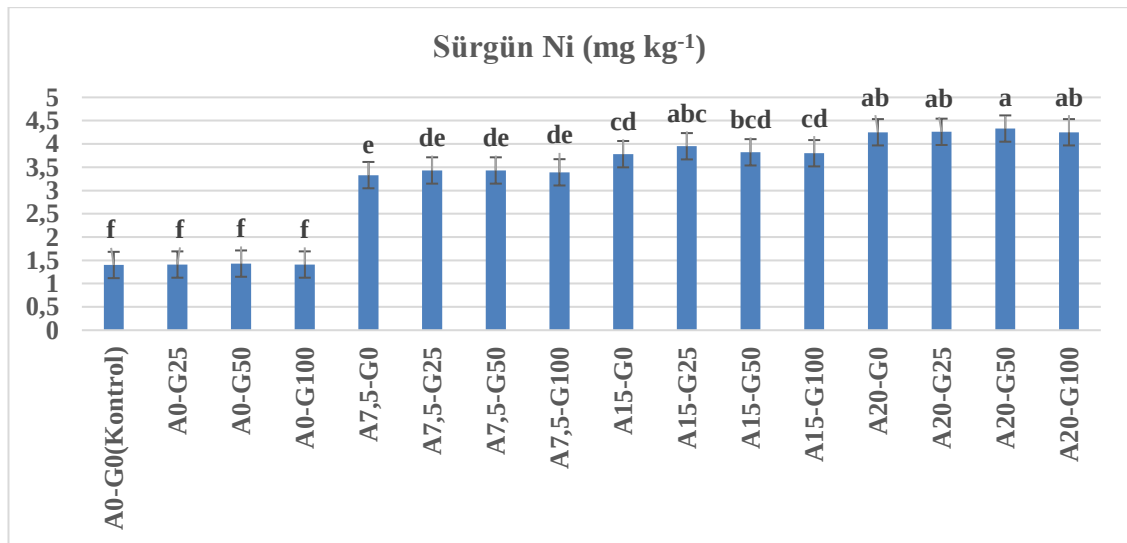
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Cu konsantrasyonu en yüksek A20-G100 grubunda $7,42 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulamasının sürgün Cu değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G100 grubunda sürgün Cu değeri %1,75 arttığı belirlenmiştir.



Şekil 49. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu değerine etkisi

4.1.9.6.4 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Değerine Etkisi

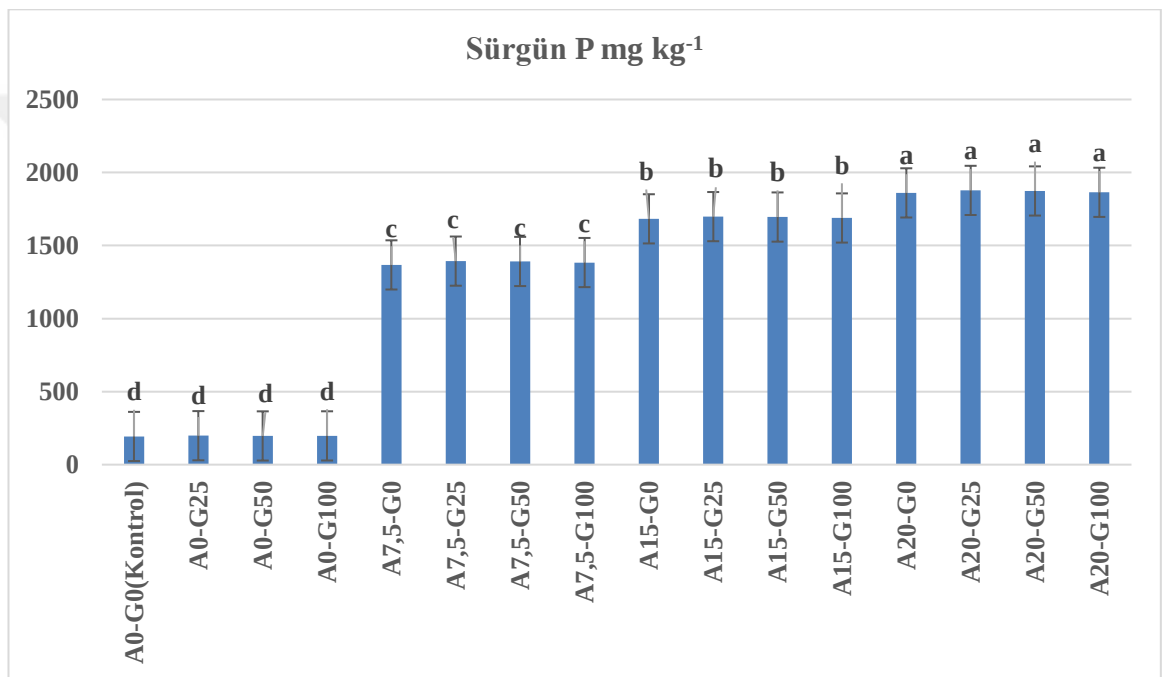
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Ni konsantrasyonu en yüksek A20-G50 grubunda $7,42 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması sürgün Ni değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G50 grubunda sürgün Ni değeri %209,28 artmıştır.



Şekil 50. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Ni değerine etkisi

4.1.9.6.5 Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma çamur Ve Gübre Uygulamalarının Ortalama P Değerine Etkisi

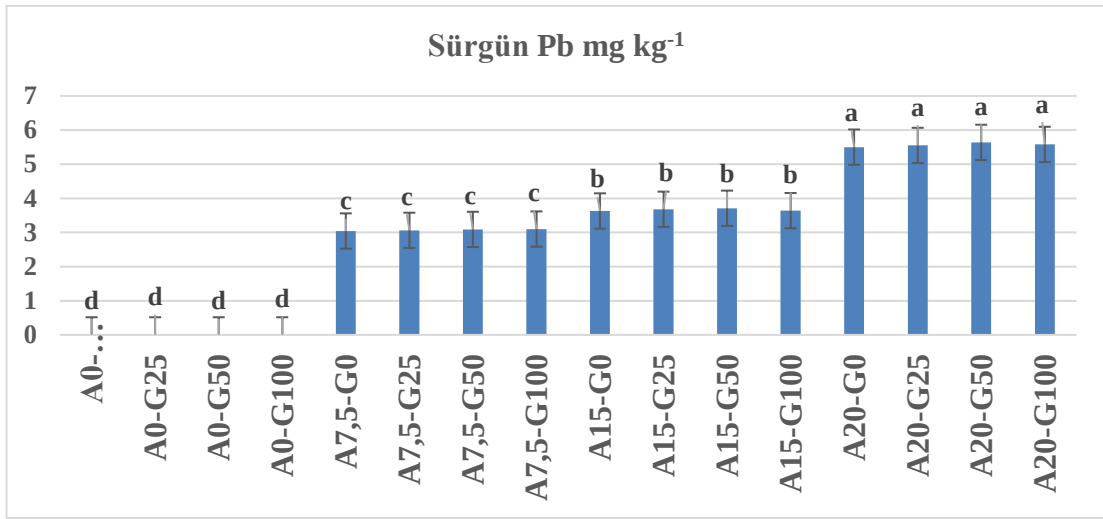
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgünlerinde TP konsantrasyonu en yüksek A20-G25 grubunda $1877,55 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $192,83 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması sürgün TP değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G25 grubunda sürgün P değeri %873,68 artmıştır.



Şekil 51. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama P değerine etkisi

4.1.9.6.6. Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Değerine Etkisi

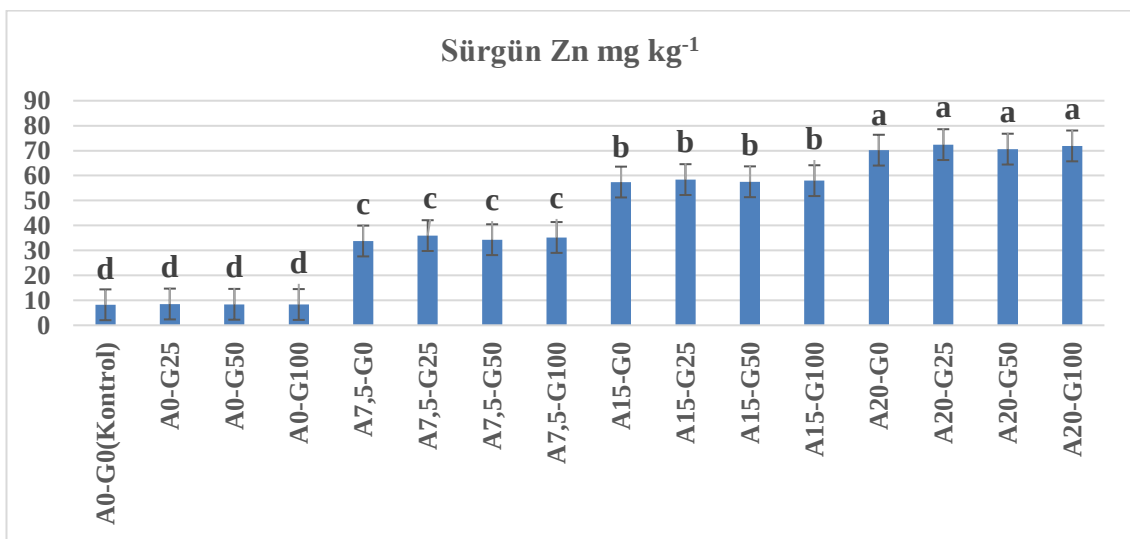
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Pb konsantrasyonu en yüksek A20-G50 grubunda $5,64 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,00013 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması sürgün Pb değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G50 grubunda sürgün Pb değeri % 4338361 artmıştır.



Şekil 52. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Pb değerine etkisi

4.1.9.6.7. Hasat Sonrası Bitki Sürgünlerinde Farklı Dozlarda Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Değerine Etkisi

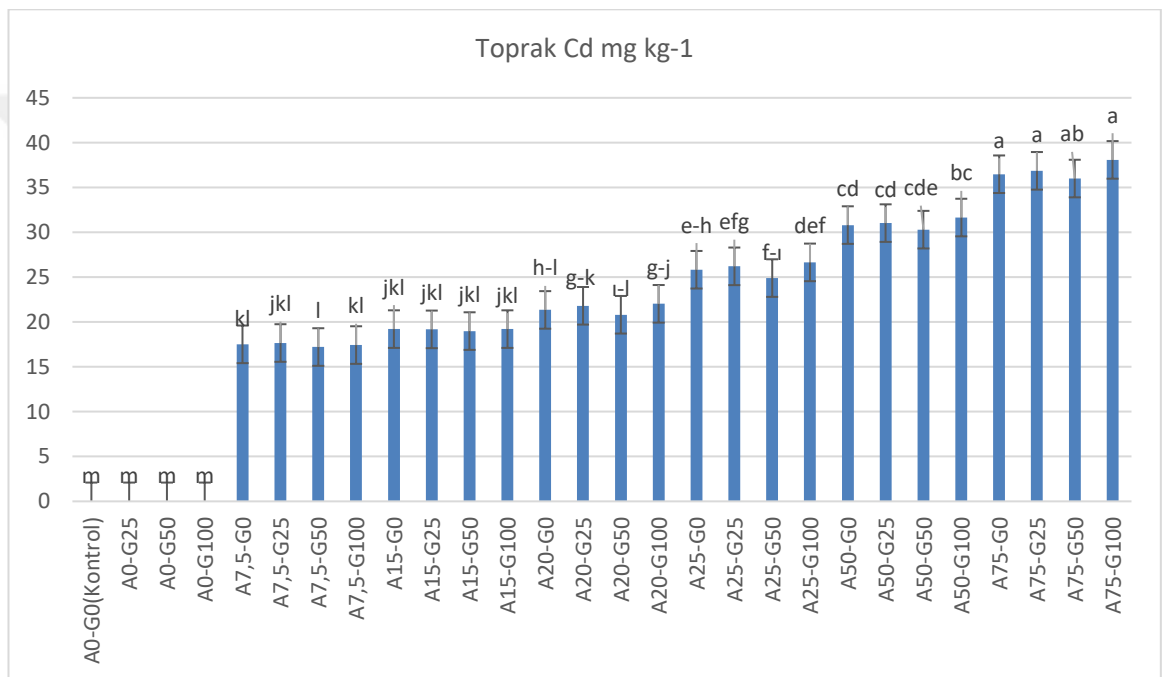
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları bitki sürgününde Zn konsantrasyonu en yüksek A20-G25 grubunda 72,41 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 8,22 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması sürgün Zn değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A20-G25 grubunda sürgün Zn değeri % 780,90 artmıştır.



Şekil 53. Hasat sonrası bitki sürgünlerinde arıtma çamur ve gübre uygulamalarının ortalama Zn değerine etkisi

4.1.9.7.1. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cd Konsantrasyonuna Etkisi

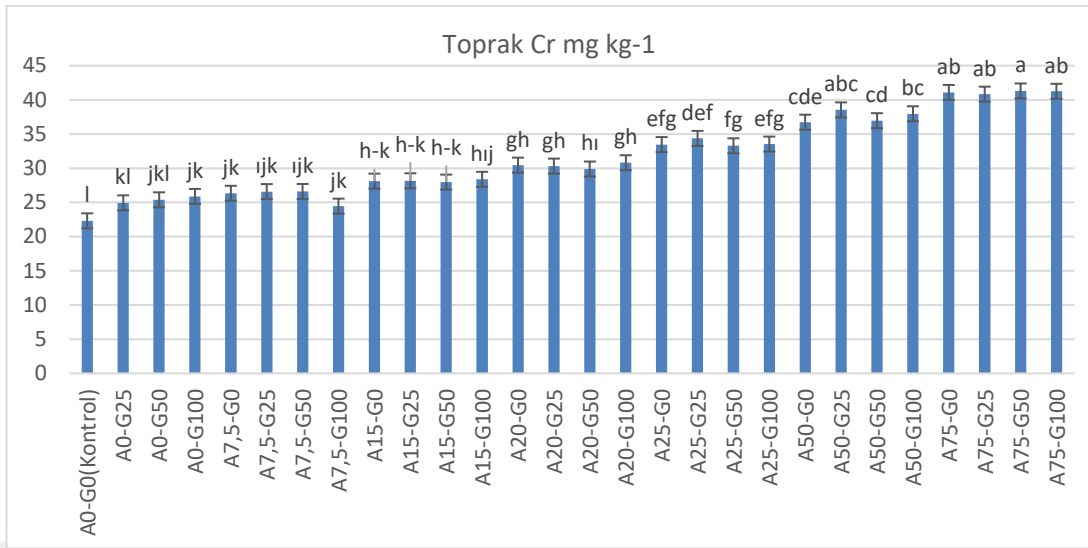
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağında Cd konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda $38,08 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,00016 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı Cd değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağında Cd değeri %23799900 artmıştır.



Şekil 54. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cd konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.2. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cr Konsantrasyonuna Etkisi

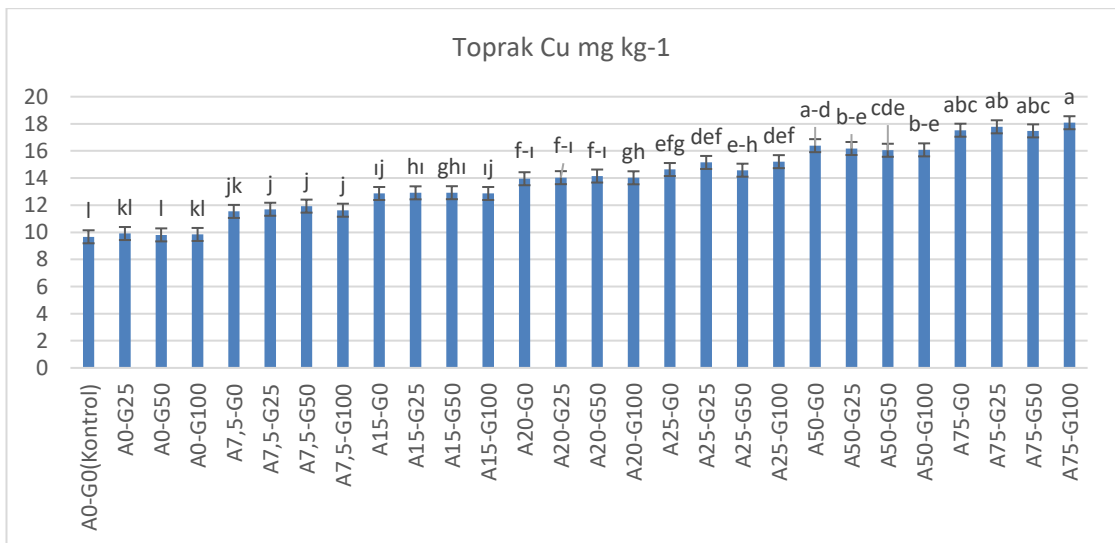
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağında Cr konsantrasyonu en yüksek A75-G50 grubunda $41,3 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $22,31 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p<0,01$) ve gübre ($p<0,05$) deneme toprağı Cr değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G50 grubunda deneme toprağı Cr değeri %85,11 artmıştır.



Şekil 55. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cr konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.3. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Cu Konsantrasyonuna Etkisi

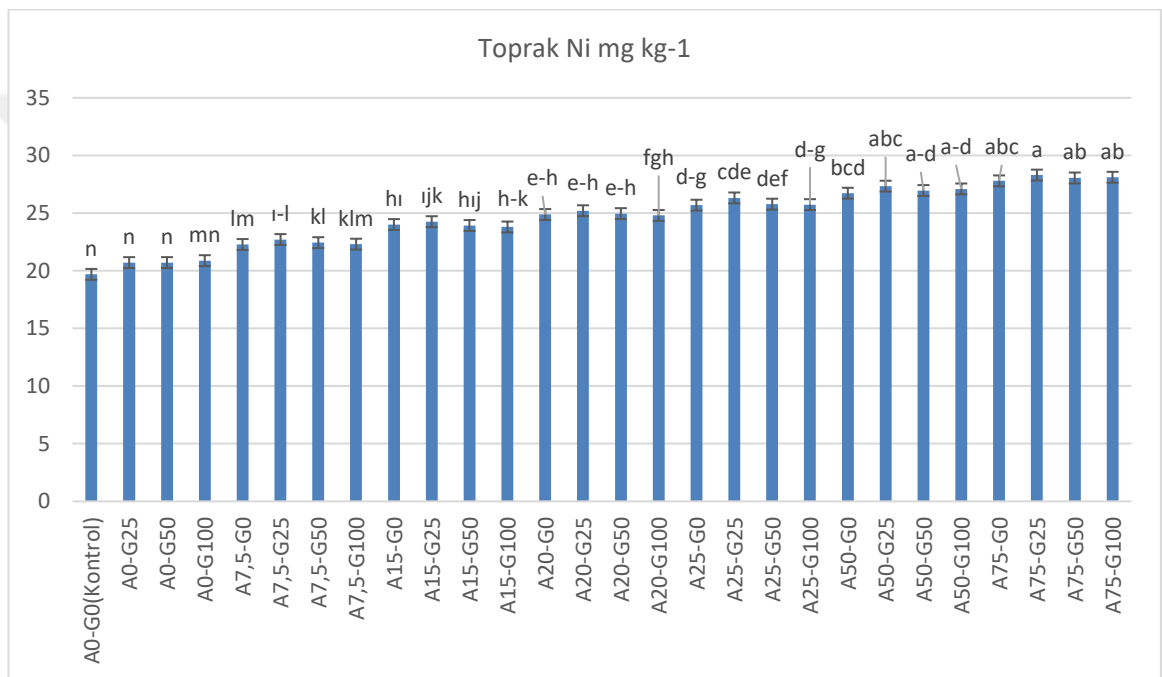
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağında Cu konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda 18,08 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 9,67 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı Cu değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı Cu değeri %86,97 artmıştır.



Şekil 56. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Cu konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.4. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Ni Konsantrasyonuna Etkisi

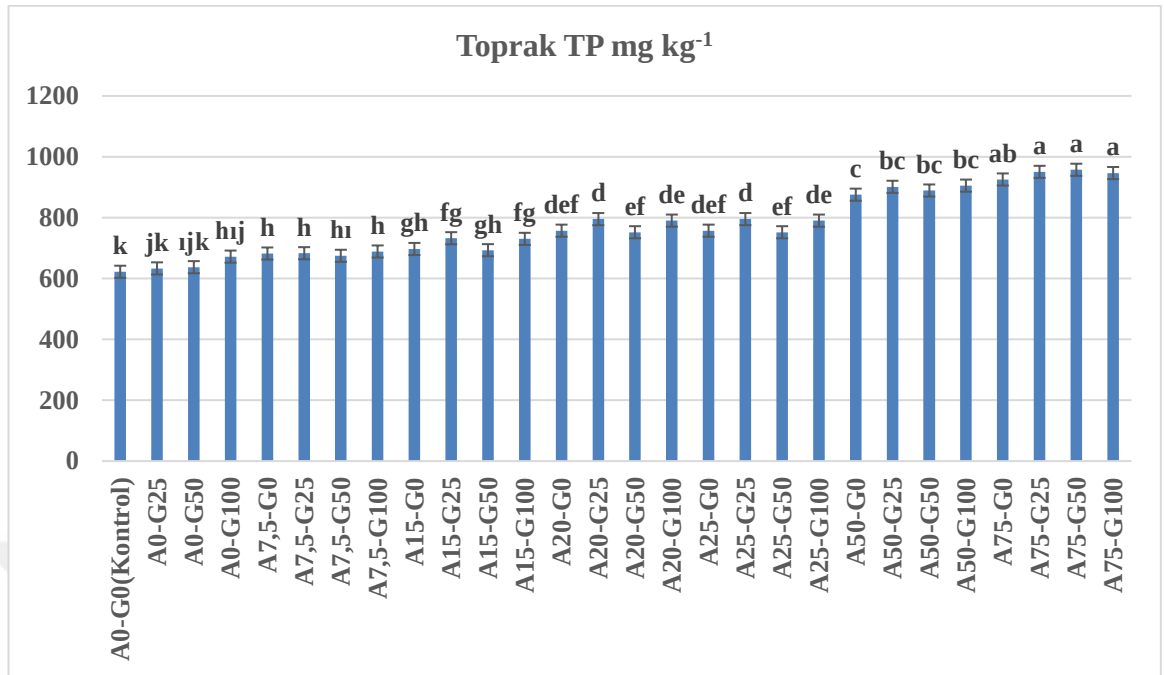
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağında Ni konsantrasyonu en yüksek A75-G25 grubunda $28,3 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $19,69 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p<0,01$) ve gübre ($p<0,05$) deneme toprağı Ni değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla deneme toprağı Ni değeri A75-G25 grubunda % 43,72 artmıştır.



Şekil 57. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Ni konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.5 Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama TP Konsantrasyonuna Etkisi

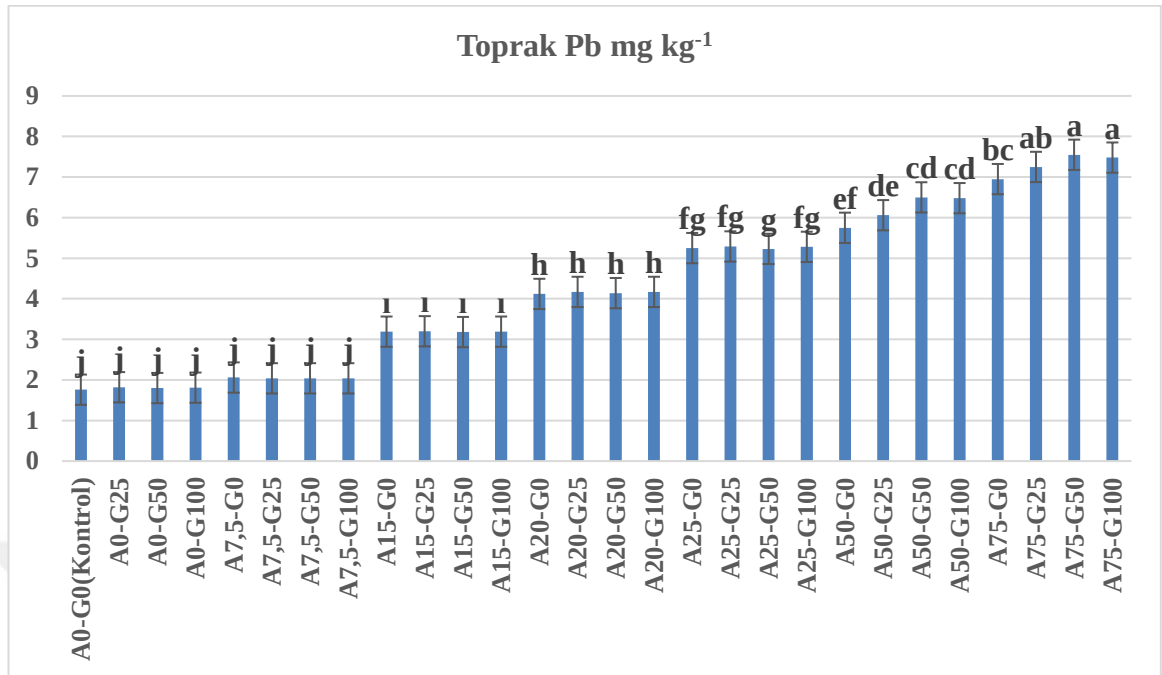
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağında TP konsantrasyonu en yüksek A75-G50 grubunda $957,34 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $622,16 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p<0,01$), gübre ve arıtma çamur*gübre etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G50 grubunda deneme toprağı P değeri %53,87 artmıştır.



Şekil 58. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama TP konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.6. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Pb Konsantrasyonuna Etkisi

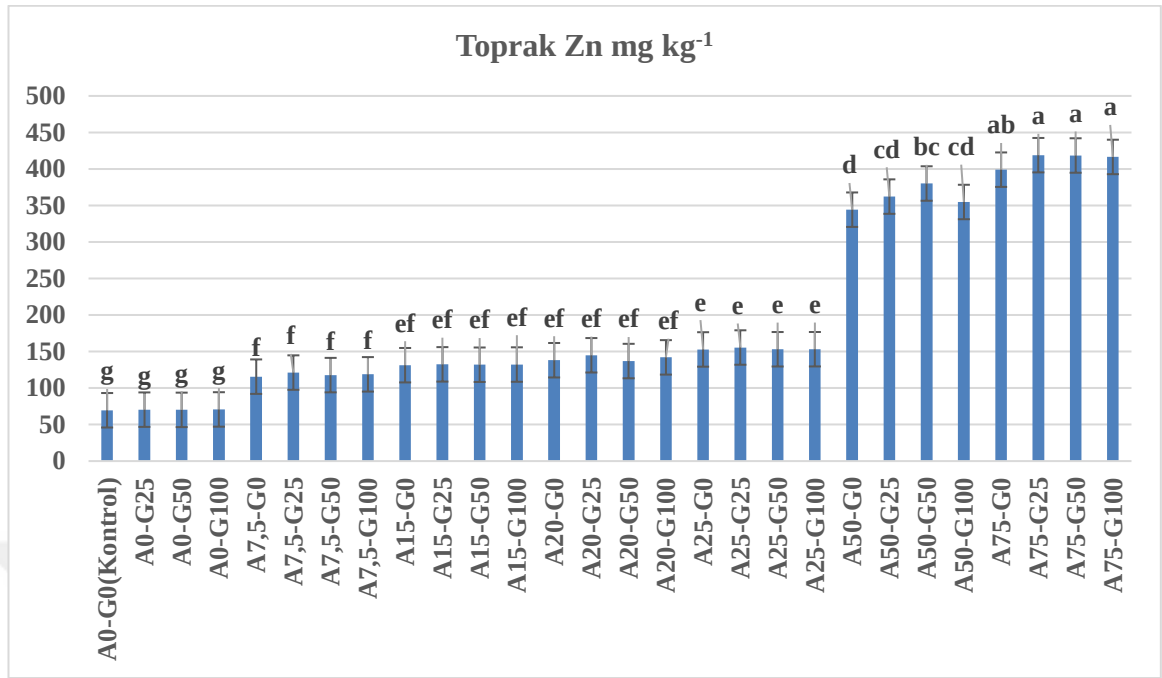
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı Pb konsantrasyonu en yüksek A75-G50 grubunda $7,55 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $1,76 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p < 0,01$), gübre ve arıtma çamur*gübre etkileşimi ($p < 0,05$) deneme toprağı Pb değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G50 grubunda deneme toprağı Pb değeri %328,97 artmıştır.



Şekil 59. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Pb konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.7. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Zn Konsantrasyonuna Etkisi

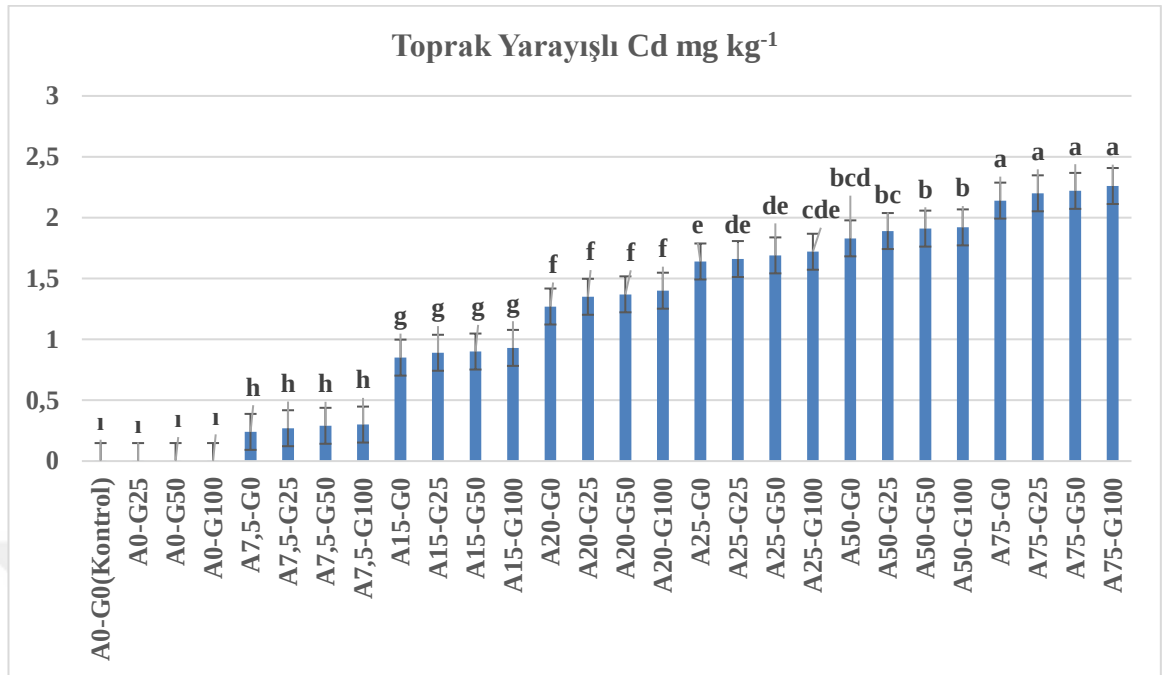
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı Zn konsantrasyonu en yüksek A75-G25 grubunda 418,89 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 69,6 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması (p<0,01) ve gübre (p<0,05) deneme toprağı Zn değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G25 grubunda deneme toprağı Zn değeri %501,85 artmıştır.



Şekil 60. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama Zn konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.7.8. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cd Konsantrasyonuna Etkisi

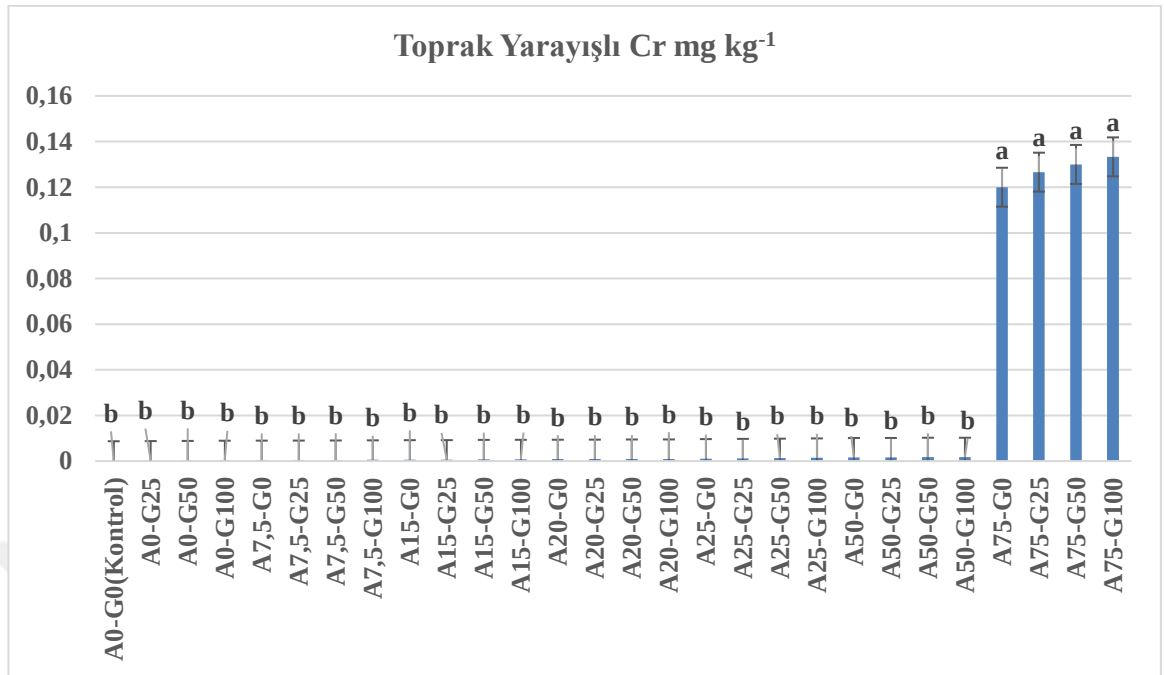
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Cd konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda $2,26 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,00013 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p < 0,01$) ve gübre ($p < 0,05$) deneme toprağı yarayışlı Cd değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı yarayışlı Cd konsantrasyonu değeri %1738361 artmıştır.



Şekil 61. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cd konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.2. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cr Konsantrasyonuna Etkisi

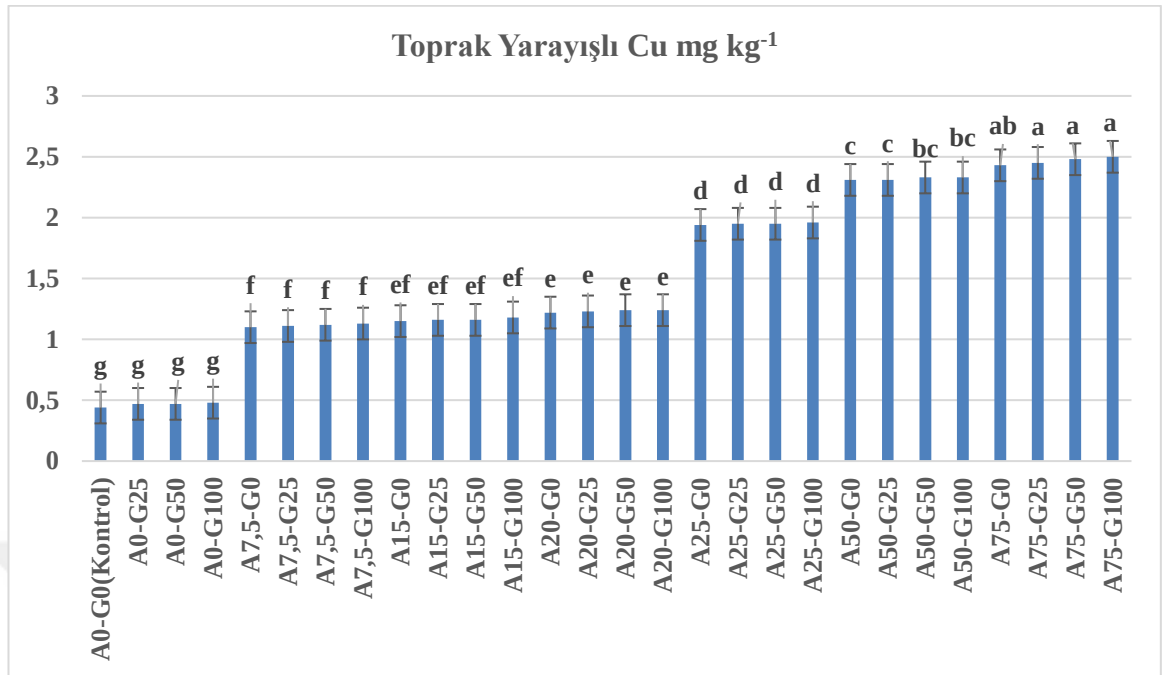
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Cr konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda 0,1333 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 0,00016 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı yarayışlı Cr değeri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı yarayışlı Cr konsantrasyonu değeri %83212 artmıştır.



Şekil 62. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cr konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.3. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Cu Konsantrasyonuna Etkisi

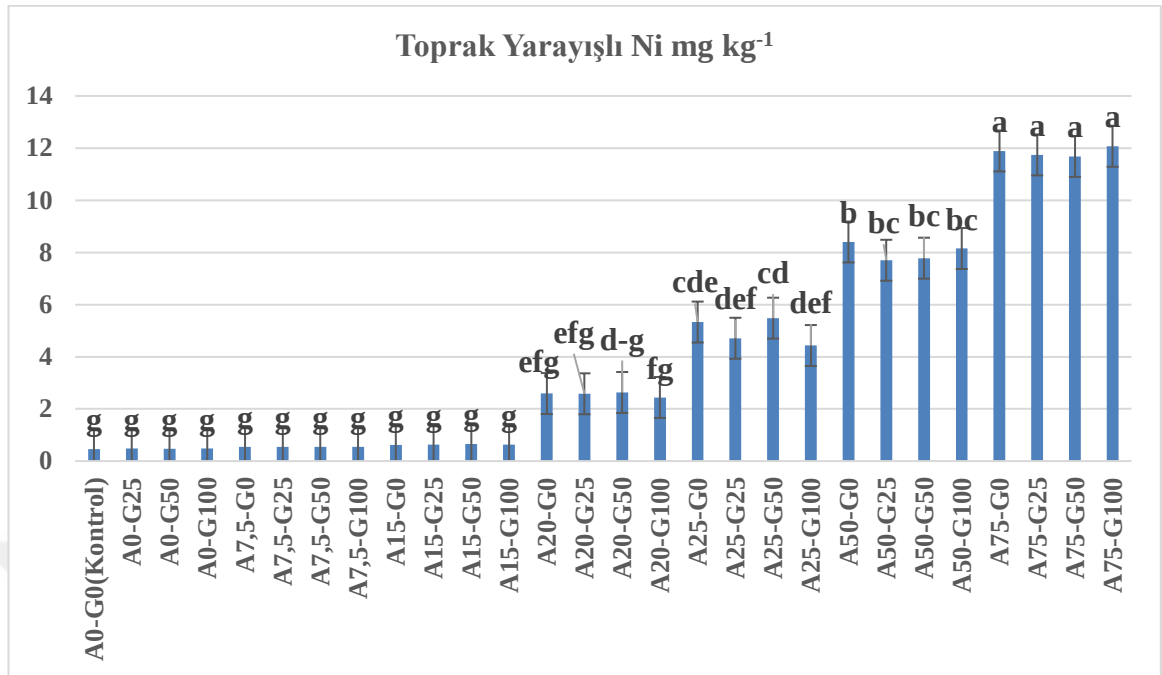
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Cu konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması ($p < 0,01$) ve gübre ($p < 0,05$) deneme toprağı yarayışlı Cu değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı yarayışlı Cu konsantrasyonu değeri %468,18 artmıştır.



Şekil 63. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Cu konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.4. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Ni Konsantrasyonuna Etkisi

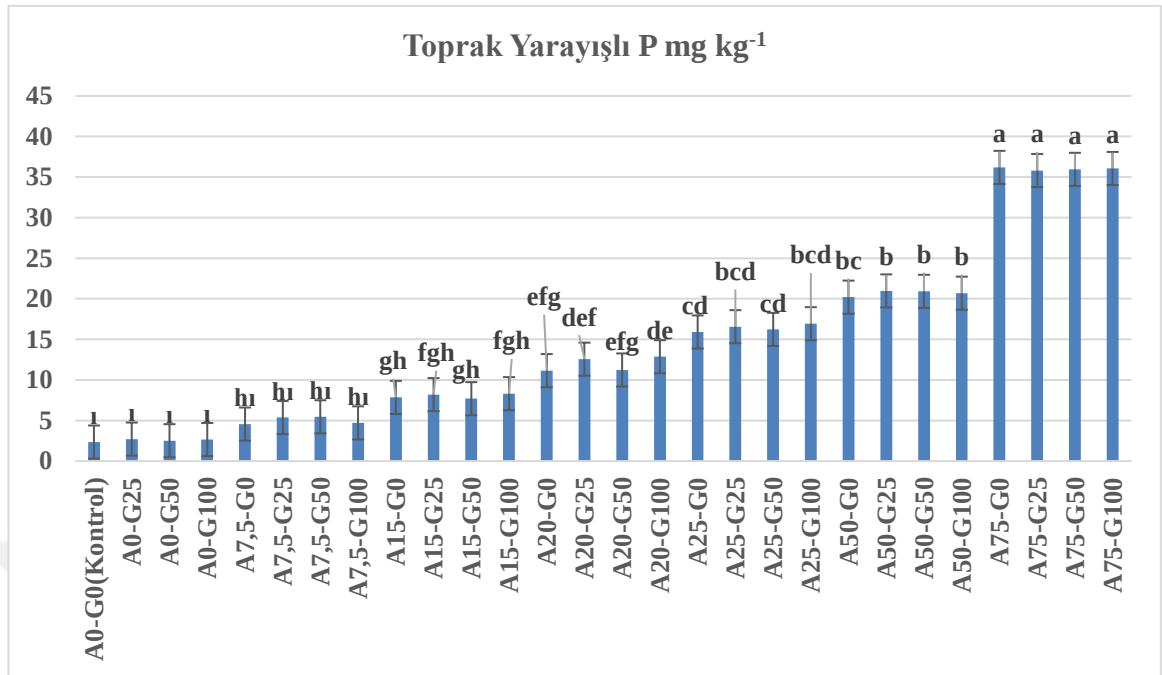
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Ni konsantrasyonu en yüksek A75-G0 grubunda 11,89 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 0,46 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı yarayışlı Ni değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla A75-G0 grubunda deneme toprağı yarayışlı Ni konsantrasyonu değeri %2.484,78 artmıştır.



Şekil 64. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışı Ni konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.5. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışı P Konsantrasyonuna Etkisi

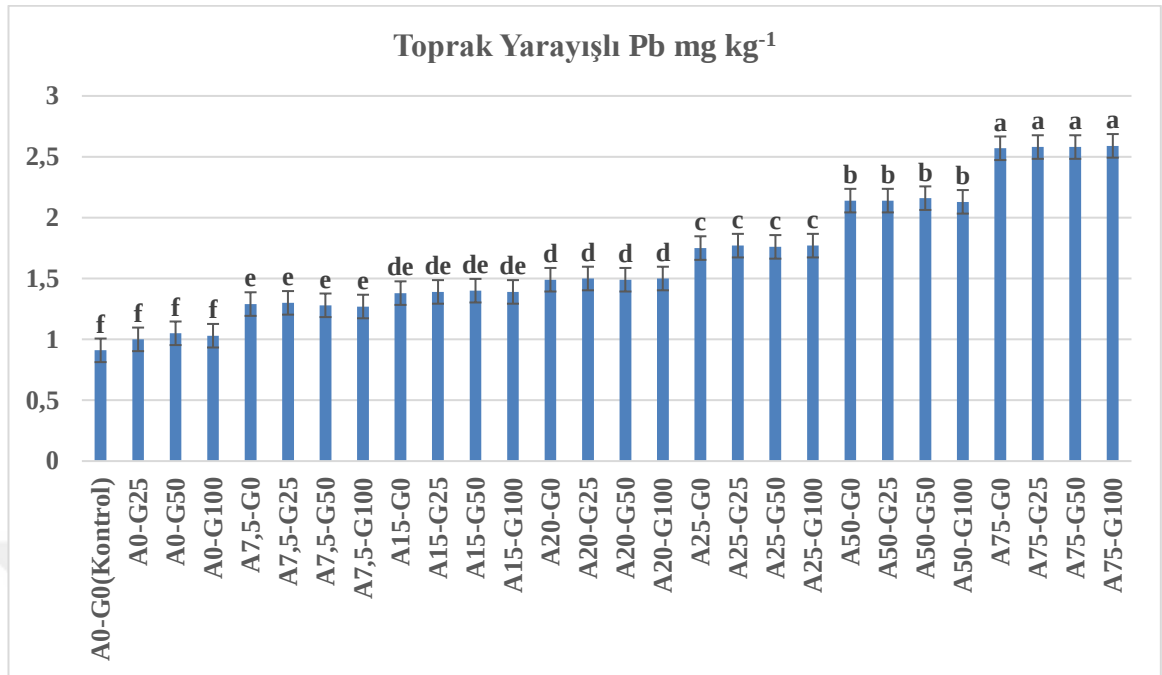
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışı P konsantrasyonu en yüksek A75-G0 grubunda 36,19 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 2,35 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı yarayışı P değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla A75-G0 grubunda deneme toprağı yarayışı P konsantrasyonu değeri %1.439,99 artmıştır.



Şekil 65. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı P konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.6. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Pb Konsantrasyonuna Etkisi

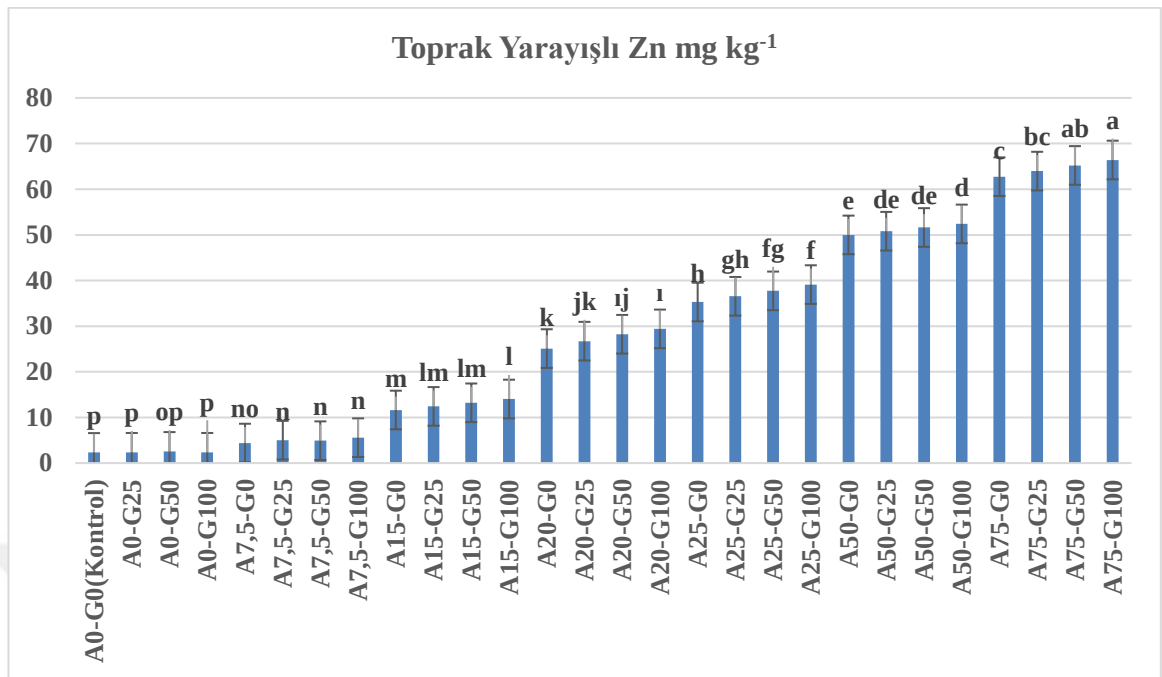
Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Pb konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda $2,59 \text{ mg kg}^{-1}$, en düşük kontrol grubunda $0,91 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması deneme toprağı yarayışlı Pb değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı yarayışlı Pb konsantrasyon değeri %184,61 artmıştır.



Şekil 66. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Pb konsantrasyonuna etkisi

4.1.9.8.7. Hasat Sonrası Deneme Toprağında Arıtma Çamuru ve Gübre Uygulamalarının Ortalama Yarayışlı Zn Konsantrasyonuna Etkisi

Arıtma çamur ve gübre uygulama grupları deneme toprağı yarayışlı Zn konsantrasyonu en yüksek A75-G100 grubunda 66,4 mg kg⁻¹, en düşük kontrol grubunda 2,34 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Arıtma çamur uygulaması, gübre, arıtma çamur*gübre interaksyonu deneme toprağı yarayışlı Zn değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,01). Kontrol grubuna kıyasla A75-G100 grubunda deneme toprağı yarayışlı Zn konsantrasyon değeri %2.737,60 artmıştır.



Şekil 67. Hasat sonrası deneme toprağında arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının ortalama yarayışlı Zn konsantrasyonuna etkisi

4.2. Tartışma

Çelebi ve ark. (2011) rizomlu kırmızı yumak bitkisinde 3, 6, 9 ve 12 ton da⁻¹ arıtma çamurunu uyguladığı çalışmasında yaz mevsiminde en yüksek bitki boyuna 12 ton da⁻¹ grubunda 16,9 cm, en düşük bitki boyuna ise kontrol grubunda 10,1 cm ile elde etmiştir. Kontrol grubuna kıyasla bitki boyu 12 ton da⁻¹ grubunda %67,32 artış göstermiştir. Yaptığımız çalışmada ise kontrol grubundan en yüksek bitki boyuna %80 artış olması yapılan çalışma ile paralellik gösterdiği düşünülmektedir.

Akat ve ark. (2014) *Limonium sinuatum* bitkisine % 0, % 25, % 50, % 75, % 100 oranlarında arıtma çamuru uyguladıkları çalışmasında %75 ve % 100 oranında arıtma çamuru bulunan uygulamanın çiçek sapı, yaprak sayısı, bitki yaş ağırlığı en verimli uygulama olduğunu bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada ise %25 ve üzerindeki arıtma çamuru uygulamasının sorgum otunun gelişimine engel olması sebebiyle yapılan çalışma ile paralellik göstermemektedir.

Çalışma ile benzer doğrultuda, Kharytonov ve ark., (2023) kanalizasyon çamurunun yetiştirilen tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* L.) bitkisinde, büyüme oranlarındaki artış nispeten küçük olup %4 (SS 20 t/ha) ile %18 (SS + F 60 t/ha) arasında değişmiştir.

Biyokütlerdeki artış özellikle 60 t/ha dozunun etkisi altında daha belirgin olmuş, SS denemesinde verim %14,5, SS + F uygulamasında ise %41 arttırdığını bildirmişlerdir. Eid ve ark. (2021) toprak kalitesi ve sorgum verimi üzerindeki etkisini araştırmak için *Sorghum bicolor*, atık çamuru ile (0, 10, 20, 30, 40, 50 g/kg) iyileştirilmiş toprakta kanalizasyon çamurunun 30 g/kg oranında uygulanması, *Sorghum bicolor* bitkisinin toplam biyokütle üretimini anlamlı düzeyde artırmış ve bu doz, önerilen en verimli seviye olarak belirlenmiştir. Biyokütlerdeki artış, özellikle kök, gövde ve yaprak gelişiminin hızlanmasıyla ilişkilendirilmiş; bu durum, kanalizasyon çamurunun organik madde ve besin elementi katkısıyla bitki gelişimini desteklediğini göstermiştir.

Demirkan ve ark (2014) arıtma çamurlarını yer açelyasına %25,%50,%75 oranlarında uygulamış ve kök yaş ve kuru ağırlığındaki ağırlıkların doğru orantılı şekilde arttığını gözlemlemiştir. Ancak sorgum bitkisine uygulanan arıtma çamurlarının %7,5 oranında, bitkinin kök yaş ve kuru ağırlıklarının en yüksek ortalama olduğu gözlemlenmiştir. Arıtma çamurunun %7,5 üzerinde kullanıldığında ise; bitki kök yaş ve kuru ağırlık ortalamaları %15 ve %20 oranlarında azalmış olup, %25 üzeri oranlarda ise bitki gelişim göstermemiştir. Bu sebeple yer açelyası ve sorgum bitkisi arasında gelişim açısından paralellik gözlenmemiştir.

Orman ve ark. (2020) arıtma çamurlarını çim üzerine humik asit olarak uyguladıkları çalışmalarında bitki üzerindeki klorofil miktarını kontrol grubunda 30,58 spad, en yüksek verim aldığı 200 kg HA da⁻¹ grubunda ise 68,08 spad ile ölçmüştür. Spad miktarında %122 artış gözlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada ise kontrol grubunda 3,97 spad, A7,5-G100 grubunda 31,22 spad ölçülmüştür. Kontrol grubundan A7,5-G100 grubuna oranla ortalama %686 artış gözlenmesi, iki çalışmada da artış olması sebebiyle paralellik göstermektedir. Ancak yapılan çalışmada en yüksek spad değerinin en yüksek humik asitin kullanıldığı oranda alınması, yaptığımız çalışmada ise A7,5 grubundan A20 grubuna yükselen dozajların, yükselen spad değerleri vermemesi sebebiyle paralellik göstermemektedir.

Iticescu ve ark. (2021) yaptığı çalışmada kullandığı arıtma çamurlarının topraktaki organik besin maddelerinin artışı ve pH değerinin 6,5 üzerinde olmasının verimliliği arttırdığını belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada bitkinin gelişimini sağladığı grup olan A0-A20 grubunda pH, 7,66-6,72 aralığındadır. Ancak bitkinin gelişme göstermediği A25-

A75 grubunda ise pH 6,5 altına düşerek 6,45-6,09 aralığında ölçülmüştür. Bu sebeple, Iticescu ve ark. yaptığı çalışma ile paralel sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Shaltout ve ark. (2021), sera koşullarında yürütülen farklı arıtma çamuru dozlarında yetiştirilen *Sorghum bicolor* bitkisinin dokularında metal birikiminin, özellikle köklerde daha yüksek olduğu ve bu birikimin toprak pH'ı ile negatif, organik madde içeriği ile pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, çalışmamızda gözlenen ağır metal birikiminin köklerde yoğunlaşması ve arıtma çamuru uygulamalarıyla toprak pH'ının azalırken organik maddenin artmasıyla paralellik göstermektedir. Ayrıca, biyokonsantrasyon faktörlerinin pH ile ters, organik madde ile doğru orantılı olması; arıtma çamurunun metal taşınımını toprak özelliklerine bağlı olarak şekillendirdiğini ortaya koymaktadır.

Ahmed ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada arıtma çamunu arpa bitkisine yaklaşık %10 oranında kullandığı çalışmada elektiriksel iletkenliğin, kontrol grubuna göre 4,48 kat yükseldiğinden bahsetmişlerdir. Yaptığımız çalışmada ise kontrol grubunun ortalama elektiriksel iletkenliği $180,63 \mu\text{S cm}^{-1}$ ölçülmüştür. A7,5 grubunda ise $678,22 \mu\text{S cm}^{-1}$ ile kontrole göre 3,75 kat yükseldiği, A15 grubunda ise $821,69 \mu\text{S cm}^{-1}$ ile kontrole göre 4,54 kat yükselen elektiriksel iletkenlik yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

Aşık ve ark (2004) yılında endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden aldıkları arıtma çamurlarının topraktaki organik madde miktarını arttırdığını söylemişlerdir. Arıtma çamurlarını %0,8-6,5 arasında oranlarla tarlada mısır bitkisi üzerinde kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre topraktaki organik madde içeriği kontrol grubunda ortalama %1,73 iken % 6,5 arıtma çamuru uygulanan grubun organik madde içeriği ortalama % 2,29 olarak ölçülmüştür. Organik madde içeriği yaklaşık %32 artış göstermiştir. Yaptığımız çalışmada ise organik madde içeriği kontrol grubunda ortalama %0,97, A7,5 grubunda ise ortalama organik madde içeriği ortalama %1,31 olarak ölçülmüş ve % 35 artış ile yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

Bulgularla benzer olarak, Kominko ve ark. (2022), arıtma çamuru ile organo-mineral gübrelerin agronomik verimliliğinin ve bitki biyokütlesinde olası ağır metal birikiminin değerlendirilmesini araştırdıkları çalışmada, endüstriyel bitkiler (kolza, mısır, ayçiçeği) için optimize edilmiş gübreler kullanılmıştır. Kontrol grubuna göre kolza için %75-138, mısır için %96-138 ve ayçiçeği için %23-54 oranında taze kütle artışına neden olduğunu,

kolza için gübre dozundaki artış, Ni içeriği hariç, bitkilerdeki ağır metal içeriğini önemli ölçüde etkilemediğini ifade etmişlerdir.

Ankush ve ark. (2021), farklı sulama tuzluluk seviyeleri [I₁: kanal suyu (0,35 dS/m), I₂: orta tuzluluk (8 dS/m), I₃: yüksek tuzluluk (10 dS/m)] ve beş gübreleme düzeyi [F₁: kontrol, F₂: yalnızca kanalizasyon çamuru (5 t/ha), F₃: arıtma çamuru + %50 önerilen kimyasal gübre (CF), F₄: arıtma çamuru + %75 CF, F₅: %100 CF] altında darı ve buğday yetiştirilmiştir. Sonuçlar, artan sulama suyu tuzluluğunun verimi önemli ölçüde düşürdüğünü (I₃'te %31-32 civarı) göstermiştir. Ancak, özellikle F₄ ve F₅ gübreleme uygulamaları en yüksek tane ve saman verimini sağlamıştır. Kanalizasyon çamuru uygulaması, toprakta ve bitkilerde ağır metal düzeyini artırsa da bu değerler toksik sınırların altında kalmıştır. Ayrıca arıtma çamuru kullanımı, kimyasal gübre ihtiyacını %25 oranında azaltma potansiyeli sunmuştur.

Küçükhemek ve ark. (2006), atıksu arıtma çamurlarının farklı dozlarda çim bitkisine uygulanması sonucu Zn, Ni, Cu, Cr ve Pb konsantrasyonlarının arttığını rapor etmişlerdir. Çalışmalarında en yüksek doz (120 t ha⁻¹) grubunda kontrol numunesine göre Zn'de %86,5, Ni'de %26,6, Cu'da %45,6, Cr'de %75 ve Pb'de %528 artış gözlemlemişlerdir. Bu bulgular, çalışmamızda A7,5 grubunda Zn, Ni, Cu, Cr ve Pb için gözlenen artışlarla paralellik göstermektedir. Özellikle A7,5 grubunda Zn, Ni, Cu ve Cr konsantrasyonlarındaki anlamlı artışlar, arıtma çamuru uygulamalarının toprak ve bitki metal birikimini artırabileceğini desteklemektedir. Ancak Küçükhemek ve ark.'nın Cd konsantrasyonlarını ölçememesi ve çalışmamızda Cd birikiminin doz artışıyla düzenli şekilde yükselmesi, iki çalışma arasında Cd açısından farklılık olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak bulgularımız, arıtma çamuru uygulamalarının metal birikimi üzerindeki etkilerini literatürle uyumlu şekilde doğrulamaktadır.

Bulgularla benzer olarak Ekane ve ark. (2021) İsveç'te arıtma çamurunun potansiyelini değerlendirmek amacıyla çiftçilerle yaptıkları araştırmada arıtma çamurunun ürün verimliliğini arttırdığını ifade etmişlerdir. Yaptığımız çalışma sorgum bitkisinin gelişiminde arıtma çamurunun belirli oranlarda kullanıldığında verimliliği artırması sebebiyle yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

Şağban ve ark. (2019) Bursa'da yaptıkları çalışmada evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin arıtma çamurlarını toprak düzenleyici etkisini değerlendirdiği çalışmasında

yarayışlı fosfor konsantrasyonunun 30 mg PO₄-P kg⁻¹ seviyelerinden 91 mg PO₄-P kg⁻¹ seviyesine geldiğinden, pH değerin hafif azaldığından, iletkenlik değerin arttığından bahsetmiştir. Bu sebeple yaptığımız çalışma ile paralellik göstermektedir.

Marin ve ark (2023) İskenderiye’de farklı dozlardaki arıtma çamurlarının soya fasulyesi üzerindeki etkilerini incelediği çalışmasında kökte tutulan kadmiyum miktarının 0,12 mg kg⁻¹ ile gövdede tutulan kadmiyum miktarından (0,11 mg kg⁻¹) fazla olduğunu bildirmiştir. Yaptığımız çalışmada ise köklerde tutulan kadmiyum miktarının, sürgünlerde tutulan kadmiyum miktarından fazla olması sebebiyle yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

Bulgularla benzer olarak Koutroubas ve ark. (2022) Yunanistan’da arıtma çamurlarını farklı dozlarda mısır bitkisine uygulamışlar ve mısır bitkisindeki tane veriminin 20 t ha⁻¹ da kontrole kıyasla %104 arttığı, 80 t ha⁻¹ da ise kontrole kıyasla %226 arttığından bahsedilmiştir. Yaptığımız çalışmada ise bitki sürgünlerinde oluşan sinerjik yapı sebebiyle yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir.

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kayseri ilinde bulunan Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis, Develi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis, Yahyalı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis, Bünyan İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis ve Tomarza İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamurlarının analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en yüksek işletme maliyetine sahip olması ve arıtma çamurunun içeriğindeki kadmiyum miktarının yüksek olması sebebiyle Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamuru denemede kullanılmıştır. Yapılan çalışma arıtma çamuru ve gübre uygulamalarının farklı oranlarda sorgum (*Sorghum bicolor*) bitkisi üzerinde oluşturduğu etkileri değerlendirmek amacıyla yürütülmüş; bitki gelişimi, biyokütle üretimi, toprak kimyasal özellikleri ve ağır metal birikimi gibi çeşitli parametreler ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, arıtma çamurunun belirli oranlarda kullanıldığında sorgum bitkisi üzerinde olumlu etkiler sağladığını, ancak uygulama dozlarının %25 %50 %75 kullanılmasıyla beraber bitkide gelişimin olmadığını göstermektedir. Bitki gelişim parametreleri açısından en yüksek bitki boyu, sap çapı, kök derinliği, yaş ve kuru bitki ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı ile yaprak klorofil içeriği, %7,5 arıtma çamuru ve %50 gübre uygulamasının yapıldığı A7,5-G50 ve A7,5-G100 gruplarında elde edilmiştir. Bu durum, arıtma çamurunun %7,5 oranına kadar olan uygulamalarının sorgumun morfolojik gelişimini desteklediğini açıkça ortaya koymuştur. Buna karşın, %15 ve üzeri dozlarda yapılan uygulamalarda bitki çıkışı ve gelişimi önemli ölçüde gerilemiş; bazı uygulama gruplarında ise bitki gelişimi tamamen durmuştur. Bu sonuç, yüksek doz uygulamaların fitotoksik etki oluşturabileceğini ve optimum dozun aşılmasıyla bitki gelişiminin olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir. Dolayısıyla, gelecekte yapılacak uygulamalarda arıtma çamurunun %7,5 düzeyini aşmayacak şekilde planlanması önerilmektedir. Verimle ilişkili parametreler incelendiğinde benzer eğilimler gözlenmiştir. Yaş ve kuru bitki ağırlığı ile yaprak klorofil içeriği en yüksek A7,5-G100

grubunda elde edilmiştir. Bu bulgular, biyokütle üretimi ve fotosentetik kapasitenin, arıtma çamuru ve gübrenin birlikte uygulanmasıyla sinerjik şekilde arttığını göstermektedir. Dolayısıyla, organik ve inorganik girdilerin entegre kullanımı hem toprak verimliliği hem de bitki büyümesi açısından olumlu sonuçlar doğurmuştur. Toprak özellikleri açısından değerlendirildiğinde, arıtma çamuru uygulamaları organik madde içeriğini, kireç düzeyini ve elektriksel iletkenliği önemli ölçüde artırmış, pH değerlerinde ise düşüşe neden olmuştur. Bu değişimler, arıtma çamurunun toprak yapısını fiziksel ve kimyasal açıdan dönüştürme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, pH düşüşü toprak asitleşmesini tetikleyebileceğinden, uygulama yapılan arazilerde bu parametrelerin düzenli aralıklarla izlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ağır metal birikimi açısından, özellikle A20-G50 grubunda Cd, Pb, Cu, Cr, Ni ve Zn konsantrasyonlarında dikkat çekici artışlar kaydedilmiştir. Bu durum, arıtma çamurunun yalnızca organik madde ve besin elementi kaynağı değil, aynı zamanda potansiyel bir ağır metal yükleyicisi olduğunu da göstermektedir. Dolayısıyla, kullanılacak arıtma çamurlarının metal içerikleri önceden analiz edilmeli ve çevresel güvenlik açısından belirlenen eşik değerlerin altında olduğundan emin olunmalıdır. Özellikle gıda üretiminin yapıldığı tarım arazilerinde, bu durum insan sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, arıtma çamuru uygulamaları bitki köklerinde fosfor ve çinko gibi temel besin elementlerinin birikimini de artırmış; bu durum, arıtma çamurunun yalnızca organik madde değil, aynı zamanda makro ve mikro besin kaynağı olarak da değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Ancak bu yararlı etkilerin ancak uygun doz aralığında ve kontrollü uygulamalarla sürdürülebilir şekilde sağlanabileceği unutulmamalıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, arıtma çamurunun uygun oranlarda kullanıldığında sorgum bitkisinin gelişimini desteklediği ve toprak verimliliğini artırdığı görülmektedir. Ancak daha yüksek dozlar, hem bitki gelişimini baskılamakta hem de ağır metal birikimini artırarak çevresel ve tarımsal riskleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, arıtma çamurunun tarımda kullanımında doz kontrolü, uygulama aralığı ve toprak-bitki özelliklerine uygunluk temel kriterler olarak dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışmada %7,5 oranındaki arıtma çamuru uygulaması sorgum için en uygun doz olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru ve gübre kombinasyonunun bitki gelişimi üzerinde sinerjik bir etki yarattığı ortaya konmuştur. Uygulama yapılan alanlarda

toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, organik madde miktarı ve ağır metal içeriği düzenli olarak izlenmelidir. Arıtma çamurlarının içerikleri uygulama öncesi analiz edilmeli ve özellikle Cd, Pb ve Cr gibi toksik elementlerin limit değerlerin altında olması sağlanmalıdır. Uzun vadeli uygulamalarda ise hem toprakta hem de yer altı sularında olası metal birikimlerinin izlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Sorgum bitkisinin arıtma çamuruna karşı gösterdiği tolerans ve ağır metal biriktirme potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda, bu tür uygulamalar sadece bitki verimini artırmakla kalmayıp aynı zamanda kirletilmiş toprakların iyileştirilmesi amacıyla da değerlendirilebilir. Çalışma sonucuna göre, arıtma çamurunun uygun koşullar altında çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir bir toprak iyileştirici materyal olarak tarımsal üretimde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, H. K., Fawy, H. A., & Abdel-Hady, E. S. 2010. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. **Agric. Biol. JN Am**, **1**(5): 1044-1049.
- Akat, H., Demirkan, G. Ç., Akat, Ö., Yağmur, B., & Yokaş, İ. 2015. Arıtma çamuru uygulamalarının *Limonium sinuatum*'Compindi White'çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine etkileri. **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **52**(1): 107-114.
- Akça M.O., Sönmez O. 2023. Role of biochar in the adsorption of heavy metals. *Sustainable Agriculture Reviews 61: Biochar to Improve Crop Production and Decrease Plant Stress under a Changing Climate*, Shah Fahad (Editor), Subhan Danish (Editor), Rahul Datta (Editor), Editör, Springer Nature, Dubendorf, ss.293-305.
- Akın, F., & Kahraman, Ö. 2018. Arıtma su arıtma çamurunun süs lahanası yetiştiriciliğinde kullanılabilirliği. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, **33**(2): 177-183.
- Ankush, Prakash, R., Singh, V., Diwedi, A., Popat, R. C., Kumari, S., ... & Gourav. 2021. Sewage sludge impacts on yields, nutrients and heavy metals contents in pearl millet–wheat system grown under saline environment. **International Journal of Plant Production**, **15**, 93-105.
- Arlo, L., Beretta, A., Szogi, A. A., & del Pino, A. 2022. Biomass production, metal and nutrient content in sorghum plants grown on soils amended with sewage sludge. **Heliyon**, **8**(1).
- Aşık, B. B., & Katkat, A. V. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **18**(2): 59-71.
- Aydemir, S., Sönmez, O., & Sakin, E., 2005. The effects of commonly used chemical substances on water quality. **Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **9**, 1-10.

- Bachev, H., & Ivanov, B. 2021. A study on wastewater treatment sludge utilization in Bulgarian agriculture. **Technology audit and production reserves**, 5(4/61): 35-44.
- Balkrishna, A., Banerjee, S., Ghosh, S., Chauhan, D., Kaushik, I., Arya, V., & Singh, S. K. (2024). Reuse of sewage sludge as organic agricultural products: an efficient technology-based initiative. **Applied and Environmental Soil Science**, 2024(1): 1433973.
- Çakır, H. N., & Çimrin, K. M. 2018. Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Etkisi; II. Mısır Bitkisi ve Toprağın Mikro Besin Element ve Ağır Metal İçerikleri Üzerine Etkisi. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi**, 21(6): 891-901.
- Çelebi, Ş. Z., Arvas, Ö., Çelebi, R., & Yılmaz, İ. H. 2010. Atıksu arıtma çamuru ile tesis edilen yeşil alanda İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.)'nin performansının belirlenmesi. **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, 7(3): 111-118.
- Çelebi, Ş. Z., Arvas, Ö., Çelebi, R., & Yılmaz, İ. H. 2011. Rizomlu kırmızı yumak (*Festuca rubra* var. *Rubra*) ile tesis edilen yeşil alanda atıksu arıtma çamurunun tesis gübresi olarak değerlendirilmesi. **Ekoloji**, 20(78): 18-25.
- Çimrin, K. M., Bozkurt, M. A., & Erdal, İ. (2000). Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması. **Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences**, 10(1): 85-90.
- Demirkan, G. Ç., Akat, H., & Yokaş, İ. (2014). Arıtma su arıtma çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisi. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 28(2): 49-58.
- Eid, E. M., Shaltout, K. H., Alamri, S. A., Alrumman, S. A., Hussain, A. A., Sewelam, N., & Ragab, G. A. 2021. Monitored sewage sludge application improves soil quality, enhances plant growth, and provides evidence for metal remediation by *Sorghum bicolor* L. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 21(3): 2325-2338.
- Ekane, N., Barquet, K., & Rosemarin, A. 2021. Resources and risks: Perceptions on the application of sewage sludge on agricultural land in Sweden, a case study. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 5, 647780.

- Fahad Shah, Osman Sönmez, Shah Saud, Depend Wang, Chao Wu, Muhammad Adnan. 2021. Engineering Tolerance in Crop Plants Against Abiotic Stress. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Fahad Shah, Osman sönmez, Shah Saud, Depend Wang, Chao Wu, Muhammad Adnan, Veysel Turan. 2021. Plant Growth Regulators for Climate-Smart Agriculture. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Fahad Shah, Osman Sönmez, Shah Saud, Depend Wang, Chao Wu, Muhammad Adnan, Veysel Turan. 2021. Sustainable Soil and Land Management and Climate Change. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Fahad Shah, Osman Sönmez, Shah Saud, Depend Wang, Chao Wu, Muhammad Adnan, Veysel Turan. 2021. Developing Climate Resilient Crops: Improving Global food Security and Safety. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Fahad Shah, Osman Sönmez, Shah Saud, Depend Wang, Chao Wu, Muhammad Adnan, Veysel Turan. 2021. Climate Change and Plants: Biodiversity, Growth and Interactions. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Hettiarachchi, G.M., G.M. Pierzynski, F.W. Oehme, O.Sonmez, and J.A. Ryan. 2003. Treatment of Contaminated Soil with Phosphorus and Manganese Oxide Reduces Lead Absorption by Sprague- Dawley Rats. **Journal of Environmental Quality**, 32:1335-1345.
- Iticescu, C., Georgescu, P.-L., Arseni, M., Rosu, A., Timofti, M., Carp, G., & Cioca, L.-I. 2021. Optimal Solutions for the Use of Sewage Sludge on Agricultural Lands. **Water**, 13(5): 585.
- Jenny, H. 1941. Calcium in the soil: III. Pedologic relations.
- Kaçar B., İnal A., 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Khan Ahmad, Shah Fahad, Aziz Khan, Shah Saud, Muhammad Adnan, Fazli Wahid, Muhammad Noor, Wajid Nasim, Hafiz Mohkum Hammad, Hafiz Faiq Bakhat, Shakeel Ahmad, Muhammad Habib ur Rehman, Depeng Wang, and Osman

- Sönmez. 2019. Managing Tillage Operation and Manure to Restore Soil Carbon Stocks in Wheat–Maize Cropping System. **Agronomy Journal**, **111**:1-10.
- Kharytonov, M., Martynova, N., Babenko, M., Rula, I., Ungureanu, N., & Ştefan, V. 2023. Production of Sweet Sorghum Bio-Feedstock on Technosol Using Municipal Sewage Sludge Treated with Flocculant, in Ukraine. **Agriculture**, **13**(6): 1129.
- Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. 2022. Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. **Journal of environmental management**, **305**, 114417.
- Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., & Fotiadis, S. 2023. Municipal sewage sludge effects on maize yield, nitrogen use efficiency, and soil properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, **23**(1): 1209-1221.
- Küçükhemek, M., Gür, K., & Berktaş, A. 2006. Evsel Karakterli Atıksu Arıtma Çamurlarının Çim Bitkisi Ağır Metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) İçeriği Üzerine Etkisi. **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **21**(3): 1-12.
- Marin, E., & Rusănescu, C. O. 2023. Agricultural use of urban sewage sludge from the wastewater station in the municipality of Alexandria in Romania. **Water**, **15**(3): 458.
- McLean, E., 1982. Soil pH and Lime Requirement, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoilan2), 199-224.
- Mertens, D. 2005. Plants preparation of laboratory sample. Official methods of analysis, 18th ed., Horwitz W., Latimer GW (eds.). Gaithersburg, MD, USA, AOAC, 1-2.
- Metcalf and Eddy, Inc, Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. 2007. Water reuse (pp. 6-15). United States of America: McGraw-Hill Professional Publishing.
- Nelson, R., 1982, Carbonate and Gypsum, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoilan2), 181-197.

- Nicholas, J. V., & White, D. R. 2002. Traceable Temperatures: An introduction to temperature measurement and calibration, 2nd edn. **Measurement Science and Technology**, **13**(10): 1651-1651.
- Orman, Ş., Ok, H., Fahad, M., & Özgür, A. Z. 2020. Stabilize ve kurutulmuş evsel arıtma çamurundan humik asit eldesi ve çim (*Lolium Perenne* L.) yetiştiriciliğinde kullanımı. **Mediterranean Agricultural Sciences**, **33**(3): 411-416.
- Shaltout, K. H., Alamri, S. A., Alrumman, S. A., Hussain, A. A., Sewelam, N., & Eid, E. M. 2021. Evaluation of uptake of eight metals by *Sorghum bicolor* grown in arable soil combined with sewage sludge based on prediction models. **Environmental Monitoring and Assessment**, **193**, 1-15.
- Silva, L. O. C. D., Fonseca, A. C. D., Lozano Sivilsaca, D. C., Boas, R. L. V., Silva, M. R. D., Capra, G. F., ... & Guerrini, I. A. 2024. Composted Sewage Sludge as a Substrate for Commercial Seedlings of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. **Environments**, **11**(1): 7.
- Snedecor, G. W., and Cochran, W. G. 1967. Statistical Methods (6th ed.). Iowa State University.
- Sonmez, O., B. Bukun, C. Kaya, and S. Aydemir. 2008. The Assessment of Tolerance to Heavy Metals (Cd, Pb, and Zn) and Their Accumulation in Three Weed Species. **P. Journal of Botany** **40** (2): 747-754.
- Sonmez, O., V. Turan, and C. Kaya. 2016. The effects of sulfur, cattle and poultry manure additions on soil phosphorus. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, **40** (4) 536-541.
- Şağban, F. O. T., & Demir, E. 2020. Evsel ve Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Toprak Düzenleyici Etkisinin Değerlendirilmesi. **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **20**(4): 589-597.
- Topcuoğlu, B., Önal, M. K., & Arı, N. 2003. Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi: I. Bitki besinleri ve ağır metal içerikleri. **Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture**, **16**(1): 87-96.

- Turan V., Aydin S., Sönmez O. 2022. Production, Cost Analysis, and Marketing of Bioorganic Liquid Fertilizers and Plant Nutrition Enhancers. In: Amaresan, N., Dharumadurai, D., Cundell, D.R. (eds) Industrial Microbiology Based Entrepreneurship. Microorganisms for Sustainability. Industrial Microbiology Based Entrepreneurship, Dhanasekaran Dharumadurai, Natarajan Amaresan, Diana R. Cundell, Editör, Springer Nature, Singapore, ss.193-198
- Usepa. 2007. Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Uzun, P., & Bilgili, U. 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 25(2): 135-146.

EKLER

EK 1.

Tablo 13. Bitki Boyu Varyasyon Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	720,82	195,12**
Gübre	3	221,94	60,08**
Aritma çamur*Gübre	9	214,38	58,03**
Hata	32	3,69	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 14. Sap Çapı Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	2,26	1305,75**
Gübre	3	0,07	45,66**
Aritma çamur*Gübre	9	0,43	252,56**
Hata	32	0,0017	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 15. Kök Derinliği Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	27,71	3,79*
Gübre	3	26,81	3,67*
Aritma çamur*Gübre	9	11,4	1,56
Hata	32	7,29	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 16. Bitki Yaş Ağırlık Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Arıtma çamur	3	3924,1	79,42**
Gübre	3	251,93	5,09*
Arıtma çamur*Gübre	9	56,83	1,15
Hata	32	49,4	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 17. Bitki Kuru Ağırlık Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Arıtma çamur	3	80,19	48,15**
Gübre	3	6,39	3,84*
Arıtma çamur*Gübre	9	1,89	1,13
Hata	32	1,66	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 18. Kök Yaş Ağırlık Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Arıtma çamur	3	1131,73	30,99**
Gübre	3	49,21	1,34
Arıtma çamur*Gübre	9	28,81	0,78
Hata	32	36,51	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 19. Kök Kuru Ağırlık Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	21,39	11,24**
Gübre	3	0,95	0,5
Aritma çamur*Gübre	9	1,21	0,63
Hata	32	1,9	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 20. SPAD Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	563,48	124,73**
Gübre	3	66,98	14,82**
Aritma çamur*Gübre	9	39,4	8,72**
Hata	32	4,51	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 21. pH Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	4,07	17658,71**
Gübre	3	0,0032	13,87**
Aritma çamur*Gübre	18	0,0031	13,71**
Hata	56	0,00023	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 22. Elektriksel İletkenlik Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	17129980,7	900460,8**
Gübre	3	5624,66	295,66**
Aritma çamur*Gübre	18	550,88	28,95**
Hata	56	19	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 23. Kireç Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	26,55	36275,19**
Gübre	3	0,3	418,11**
Aritma çamur*Gübre	18	0,2	273,70**
Hata	56	0,00073	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 24. Organik Madde Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	208,93	776577,8**
Gübre	3	0,0023	8,76**
Aritma çamur*Gübre	18	0,00052	1,96*
Hata	56	0,00026	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 25. Kök Cd Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	10650,82	2980,71**
Gübre	3	3,21	0,9
Aritma çamur*Gübre	9	1,91	0,53
Hata	32	3,57	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 26. Kök Cr Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	16487,07	5395,57**
Gübre	3	0,35	0,11
Aritma çamur*Gübre	9	0,95	0,31
Hata	32	3,06	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 27. Kök Cu Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	13154,31	3058,14**
Gübre	3	3,05	0,7
Aritma çamur*Gübre	9	0,8	0,18
Hata	32	4,3	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 28. Kök Ni Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	12161,96	642,65**
Gübre	3	23,43	1,23
Aritma çamur*Gübre	9	12,2	0,64
Hata	32	18,92	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 29. Kök P Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	61709110	29359223**
Gübre	3	4872084,66	2317982**
Aritma çamur*Gübre	9	340177,33	161845,5**
Hata	32	2,1	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 30. Kök Pb Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	8935,07	2396,28**
Gübre	3	1,34	0,36
Aritma çamur*Gübre	9	2,48	0,66
Hata	32	3,73	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 31. Kök Zn Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	7425329,66	2617,52**
Gübre	3	169125,66	59,61**
Aritma çamur*Gübre	9	86652,77	30,54**
Hata	32	2837	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 32. Bitki Cd Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	118,6	14609,35**
Gübre	3	0,001	0,12
Aritma çamur*Gübre	9	0,0034	0,42
Hata	32	0,0081	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 33. Bitki Cr Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	58,08	589,02**
Gübre	3	0,03	0,3
Aritma çamur*Gübre	9	0,025	0,25
Hata	32	0,098	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 34. Bitki Cu Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	106,48	383,43**
Gübre	3	0,063	0,22
Aritma çamur*Gübre	9	0,093	0,33
Hata	32	0,027	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 35. Bitki Ni Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	19,17	883,24**
Gübre	3	0,014	0,66
Aritma çamur*Gübre	9	0,005	0,23
Hata	32	0,02	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 36. Bitki P Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	6806260	9036,27**
Gübre	3	593,33	0,78
Aritma çamur*Gübre	9	54,44	0,07
Hata	32	753	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 37. Bitki Pb Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	64,14	5736,79**
Gübre	3	0,009	0,87
Aritma çamur*Gübre	9	0,002	0,23
Hata	32	0,01	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 38. Bitki Zn Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	9140,27	841,29**
Gübre	3	4,87	0,44
Aritma çamur*Gübre	9	0,6	0,05
Hata	32	10,86	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 39. Toprak Cd Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	1656,81	827,3**
Gübre	3	3,52	1,76
Aritma çamur*Gübre	18	0,4	0,20
Hata	56	2	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 40. Toprak Cr Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	436,21	403,74**
Gübre	3	2,99	2,77*
Aritma çamur*Gübre	9	1,36	1,26
Hata	32	1,08	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 41. Toprak Cu Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	86,69	299,96**
Gübre	3	0,13	0,46
Aritma çamur*Gübre	9	0,1	0,36
Hata	32	0,28	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 42. Toprak Ni Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	83,02	368,08**
Gübre	3	1,01	4,5*
Aritma çamur*Gübre	9	0,13	0,57
Hata	32	0,22	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 43. Toprak P Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	146250,12	912,95**
Gübre	3	4360,54	27,22**
Aritma çamur*Gübre	9	419,72	2,62*
Hata	32	160,2	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 44. Toprak Pb Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	52,32	2073,64**
Gübre	3	0,17	7,11*
Aritma çamur*Gübre	9	0,07	2,88*
Hata	32	0,025	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 45. Toprak Zn Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	3	209923,9	2351,61**
Gübre	3	301,23	3,37*
Aritma çamur*Gübre	9	119	1,33
Hata	32	89,3	
Genel	47		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 46. DTPA Cd Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	8,25	2316,39**
Gübre	3	0,02	7,08*
Aritma çamur*Gübre	18	0,0012	0,33
Hata	56	0,003	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 47. DTPA Cr Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	0,02	659,38**
Gübre	3	0,00001	0,39
Aritma çamur*Gübre	18	0,00001	0,32
Hata	56	0,000042	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 48. DTPA Cu Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	6,44	7631,73**
Gübre	3	0,004	4,83*
Aritma çamur*Gübre	18	0,0002	0,34
Hata	56	0,0008	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 49. DTPA Ni Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	232,43	291,32**
Gübre	3	0,17	0,21
Aritma çamur*Gübre	18	0,16	0,21
Hata	56	0,79	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 50. DTPA P Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	1570,81	808,62**
Gübre	3	1,59	0,82
Aritma çamur*Gübre	18	0,45	0,23
Hata	56	1,94	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 51. DTPA Pb Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	3,55	1215,92**
Gübre	3	0,002	0,93
Aritma çamur*Gübre	18	0,001	0,56
Hata	56	0,0029	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

Tablo 52. DTPA Zn Varyans Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Aritma çamur	6	6747,28	20527,79**
Gübre	3	24,97	75,97**
Aritma çamur*Gübre	18	1,36	4,15**
Hata	56	0,33	
Genel	83		

** : 0.01 düzeyinde önemli, * : 0.05 düzeyinde önemli

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mustafa Kutay Karadayı

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	2013
Lise	Eryaman Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, Ankara	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-2016	Özben İnş. Ltd. Şti	3
2016-Halen	Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi	9

YABANCI DİL

İngilizce