

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAĞA UYGULANABİLİR NİTELİKTEKİ
ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM
AKTİVİTELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Güliz ALDATMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAĞA UYGULANABİLİR NİTELİKTEKİ
ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM
AKTİVİTELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Güliz ALDATMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAĞA UYGULANABİLİR NİTELİKTEKİ
ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM
AKTİVİTELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Güliz ALDATMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 31/10/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Hüseyin S. BAŞKAYA Doç.Dr.Ufuk ALKAN Doç.Dr.Cumhur AYDINALP
(Danışman)

TOPRAĞA UYGULANABİLİR NİTELİKTEKİ ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM AKTİVİTELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada Penguen Gıda Sanayi A.Ş' den temin edilen arıtma çamurunun, Bursa-Nilüfer İlçesi Özlüce bölgesinde Ayvalı Deresi yakınından alınan tarım amaçlı kullanılan toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Bu amaçla toprak-çamur karışımları su tutma kapasitelerinin %70'i kadar nemlendirilerek, 28^oC'ye ayarlanmış inkübatörde 12 aylık inkübasyona alınmıştır. Topraktaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilmiştir. Belli oranlarda atık çamur örnekleri uygulanmış (kontrol, 50 ton/ha, 100 ton/ha, 200 ton/ha) toprak örneklerinde 11 ayrı inkübasyon dönemi dikkate alınarak pH, EC_{25°C}, toplam organik karbon, toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu, toplam fosfor, yarıyıllı fosfor, üreaz, asit fosfataz, alkali fosfataz, dehidrogenaz ve β-glukosidaz enzim aktivitelerindeki değişim belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin bir kısmı inkübasyon süresince saf su ile nemlendirilirken bir kısmı da potansiyel kirli Ayvalı Deresi suyu ile nemlendirilmiştir. Çalışmada Ayvalı Deresi sularıyla sulanan ve sulanmayan topraklar ile uygulanan çamur dozları açısından bir kıyaslama yapılabileceği düşünülmüştür.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre toprağın azot, fosfor, organik karbon ve EC_{25°C} değerlerinin uygulanan arıtma çamuru dozuna ve farklı sulama tiplerine bağlı olarak zamanla arttığı ve pH değerinin ise bir miktar düştüğü tespit edilmiştir. Çalışmada sağlanan inkübasyon şartları altında nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğü, bunun sonucu olarak amonyum azotunun süratle tükendiği ve çamur uygulanmış tüm topraklarda nitrat azotu birikiminin olduğu izlenimi edinilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan arıtma çamurundaki organik madde, besin elementleri ve biyokütlenin topraktaki üreaz, asit fosfataz, alkali fosfataz, dehidrogenaz ve β-glukosidaz enzim aktivitelerini kısa vadede (3 ila 6 ay) önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: arıtma çamuru, inkübasyon, besin maddeleri, enzim aktiviteleri, toprak.

THE EFFECTS OF WASTE WATER SLUDGE APPLICATION ON SOIL ENZYME ACTIVITIES

ABSTRACT

In this research, Penguen A.Ş. manufacturing plant's waste water treatment plant sludge samples were used. And this sludge's physical, chemical and biological effects on agricultural soil, taken from Nilüfer-Özlüce were searched. For this purpose, soil-sludge mixtures moisturized up to 70% of their water absorption capacity were prepared and kept at 28°C for the period of twelve months. Waste sludge applied (control, 50 ton/ha, 100 ton/ha, 200 ton/ha) soil samples were analyzed at 11 different incubation periods to determine pH, EC_{25°C}, organic carbon, nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, phosphorus, acid phosphatase, alkaline phosphatase, dehydrogenase, β-glucosidase and urease enzyme activities.

Application of waste water sludges on clay soil samples, taken from Nilüfer-Özlüce region, increased nitrogen, phosphorus, organic carbon and EC_{25°C} value of amended soils and decreased pH value slightly after 12 month incubation period. Nitrification proceeded at a faster rate than ammonification, resulting in rapid depletion of ammonium nitrogen and accumulation of nitrate nitrogen in all amended soils under the incubation conditions provided in this study. Organic matter, nutrients and biomass in waste water sludges increased the acid phosphatase, alkaline phosphatase, dehydrogenase, β-glucosidase and urease activities significantly within a short (3-6 months) period.

KEYWORDS: waste water sludge, incubation, nutrients, enzyme activities, soil.

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Arıtma Çamurlarının Tanımı ve Özellikleri.....	4
2.2. Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri.....	5
2.3. Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması.....	7
2.3.1. Arıtma Çamurlarının Toprak Ortamına Etkileri.....	10
2.3.1.1. Kimyasal Özellikler.....	11
2.3.1.2. Enzim Aktiviteleri.....	13
2.3.2. Uygulamayı Kısıtlayıcı Faktörler ve Yasal Mevzuat.....	17
2.3.2.1. Ağır Metaller.....	17
2.3.2.2. Patojenler.....	20
2.4. Araziye Uygulanacak Arıtma Çamurlarından Patojen Giderimi.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Materyal.....	24
3.1.1. Arıtma Çamuru.....	24
3.1.2. Toprak Örneği.....	24
3.1.3. Çalışma Kapsamında Toprak Sulanmasında Kullanılan Su Örneği.....	25
3.2. YÖNTEM.....	26
3.2.1. Arıtma Çamuru Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu.....	26
3.2.2. Toprak Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu.....	28
3.2.3. Su Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu.....	30
3.2.4. Toprak İnkübasyon Düzenekinin Kurulması.....	32
3.2.5. Arıtma Çamuru Uygulanmış ve Sulama Yapılan Topraklarda Bir Yıllık İnkübasyon Süresince İzlenecek Parametreler.....	32
3.2.6. İstatistiksel Analiz.....	32

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Ham Materyallerin Karakterizasyonu.....	33
4.1.1. Arıtma Çamuru.....	33
4.1.2. Toprak Örneği.....	35
4.1.3. Ayvalı Deresi Suyu.....	37
4.2. Arıtma Çamuru Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresince Meydana Gelen Değişiklikler.....	39
4.2.1. pH ve EC.....	39
4.2.1.1. pH.....	39
4.2.1.2. Elektriksel İletkenlik.....	40
4.2.2. Azot.....	44
4.2.2.1. Amonyum Azotu.....	44
4.2.2.2. Nitrat Azotu.....	45
4.2.2.3. Toplam Azot.....	49
4.2.3. Organik Karbon.....	50
4.2.4. Fosfor.....	53
4.2.4.1. Toplam Fosfor.....	53
4.2.4.2. Yarıyışlı Fosfor.....	54
4.2.5. Enzim Aktiviteleri.....	57
4.2.5.1. Asit Fosfataz Aktivitesi.....	57
4.2.5.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi.....	59
4.2.5.3. Dehidrogenaz Aktivitesi.....	63
4.2.5.4. β -Glukosidaz Aktivitesi.....	65
4.2.5.5. Üreaz Aktivitesi.....	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	83
Ek 1. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının pH değerleri.....	83
Ek 2. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının EC ₂₅ ⁰ C değerleri.....	84

Ek 3. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının amonyum azotu konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	85
Ek 4. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının nitrat azotu konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	86
Ek 5. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının toplam azot konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	87
Ek 6. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının organik karbon konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	88
Ek 7. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının toplam fosfor konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	89
Ek 8. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının yarıyışlı fosfor konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).....	90
Ek 9. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının asit fosfataz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak. sa).....	91
Ek 10. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının alkali fosfataz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa).....	92
Ek 11. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının dehidrogenaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa).....	93
Ek 12. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının β -glukosidaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa).....	94
Ek 13. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının üreaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{-N/g}$ kuru toprak. sa).....	95
Ek 14. İnkübasyon süresince deneme topraklarına ilave edilen Ayvalı Deresi suyu ve saf su miktarları (ml).....	96
TEŞEKKÜR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

2.1. Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek kademeler	8
4.1. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen pH ve EC değişimleri	43
4.2. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Amonyum N (mg/kg kuru toprak) ve Nitrat N (mg/kg kuru toprak) değişimleri..	48
4.3. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Toplam N (mg/kg kuru toprak) ve Organik C (mg/kg kuru toprak) değişimleri...	52
4.4. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Toplam P (mg/kg kuru toprak) ve Yarıyışlı P (mg/kg kuru toprak) değişimleri..	56
4.5. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Asit fosfataz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) ve Alkali fosfataz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) değişimleri	62
4.6. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Dehidrogenaz aktivitesi ($\mu\text{g TPF/g}$ kuru toprak saat) ve β -glukosidaz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) değişimleri	68
4.7. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Üreaz aktivitesi ($\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak. sa) değişimi	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

2.1. Ham ve çürütülmüş çamurların tipik kimyasal kompozisyonları	6
2.2. Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak)	18
2.3. 10 yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları (g kuru madde/da/yıl)	18
2.4. Kirletici konsantrasyon limitleri	19
2.5. Kirletici yükleme oranları	19
2.6. Evsel atıksularda ve arıtma çamurlarında bulunan başlıca patojenler	20
2.7. Arıtma çamurlarındaki patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için genel yaklaşımlar	22
4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru örneğinin bazı kimyasal özellikleri	34
4.2. Çalışmada kullanılan toprak örneğinin bazı kimyasal özellikleri	36
4.3. Çalışmada kullanılan Ayvalı Deresi'nin bazı kimyasal özellikleri	38
4.4. pH parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	39
4.5. EC parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	41
4.6. Amonyum azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları ...	44
4.7. Nitrat azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	46
4.8. Toplam azot parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	49
4.9. Organik karbon parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	51
4.10. Toplam fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları ...	53
4.11. Yarıyıllık fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları ..	55
4.12. Asit fosfataz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	57
4.13. Alkali fosfataz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları ...	60
4.14. Dehidrogenaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	63
4.15. β -glukosidaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	66
4.16. Üreaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları	69

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, hızlı sanayileşmeye, nüfustaki artışa, çarpık kentleşmeye, yetersiz alt yapıya ve sanayi kuruluşlarının çoğunda arıtma tesisinin olmayışına veya yetersizliğine bağlı olarak oluşmaktadır. Çevrenin korunması açısından kalıntıların veya atıkların, kapsamlı, kalıcı bir şekilde çevreye uyumlu hale getirilmeleri büyük önem taşır. Sanayi tesisleri ve konutlardan doğan atık sularında bulunan su ve atık çamurunun yeniden kullanımı hem çevresel hem de ekonomik ve politik açıdan değer taşımaktadır.

Gerek yaygınlığı, gerekse bileşimi nedeniyle arıtma çamurlarının ikincil kirlenici olarak birikmesi, onların giderimi veya kullanım konusunda çözülmesi gereken pek çok yeni sorunu gündeme getirmektedir. Bu durum aynı zamanda yerel kuruluşlar ile kamu kuruluşlarını en fazla uğraştıran konulardan biri haline gelmektedir. Kirlenmeye, genel olarak çevreye gelişigüzel dökülen atıklar ile nehir ve akarsulara arıtılmadan bırakılan atıksular neden olmakta ve bunlar alıcı ortamları kirleterek insan, hayvan ve bitki sağlığına zarar vermektedir. Bu nedenle gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir ortam bırakmak için tüm dünyada, her türlü atığın arıtılarak çevreye verilmesi ön görülmektedir. Ülkemizde çevre bilincinin artmasıyla birlikte kurulması ve çalıştırılması zorunlu hale getirilen arıtma tesislerinde atık suların arıtılmasından geriye kalan arıtma çamurları, bu tesislerin sayısının ve kapasitesinin artmasına bağlı olarak fazlalaşmaktadır. Arıtma çamuru birincil ve ikincil arıtma tesislerinde atık suların arıtılması sırasında, kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda çökebilir ve yüzdürülebilir hale getirilen katı maddelerin çökeltilecek veya yüzdürülerek atık sudan ayrılmasıyla meydana gelmektedir. Arıtma çamuru meydana geldiği endüstriyel kuruluşun çeşidine göre, içinde organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, yanıcı çözücüler, sülfatlar, sabunlar, sülfidler, merkaptanlar, polisülfatlar, sürfaktanlar, hidrokarbonlar, yağlar, kükürtdioksit, demir, bakır, alüminyum, amonyum klorür, metal tuzları (Hg, Cd, As, Co, Pb, Cr vb.), organik fosfor, azot gibi maddeler ve bileşikler içerebilmektedir.

Arıtma tesislerinden oluşan çamurlar arıtmanın çeşitli kademelerinde işlem gördükten sonra son uzaklaştırma yeri olarak toprağa verilebilmekte, yakılabilmekte,

karasal dolgu materyali olarak kullanılabilir. Arıtma çamurlarının elden çıkarılması veya kullanımı endüstri ve büyük şehirlerin en önemli problemidir. Eskiden olduğu gibi bu çamurların yok edilmesi sırasında yeni kirliliklere yol açılmaması esastır.

Giderek miktarları artan arıtma çamurlarının hem çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafı ve hem de içerdikleri besin elementlerinin madde dolanımına sokulması amacıyla bunları araziye vermek en uygun yöntemlerden biri olarak düşünülürse de bunların topraklara ve yeraltı sularına yapabileceği etkileri araştırmak ve buna göre arazide bertarafına karar vermek gerekir.

Atıksu arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamurları, doğal besin döngüsünün bir bölümü olan organik ve inorganik bileşikler içerdikleri için gübre olarak yeniden kullanım açısından önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedirler. Arıtma çamurunun toprak yüzeyine uygulanmasıyla toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gelişmekte ve toprağın gübre ihtiyacı kısmen karşılanmaktadır. Ancak, ağır metal, patojen mikroorganizma ve sentetik organik kimyasalları içerebilmelerinden dolayı, arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanılabilmesi kapsamında hijyenik ve çevresel etkilerinin daima değerlendirilmesi gerekmektedir.

Arıtma çamurundaki patojenler çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Patojenlerin giderimi için mikrobiyal büyümeyi ve patojenlerin yayılmasını önleyecek bir ortamın yaratılmasını hedefleyen farklı yaklaşımlara sahip pek çok arıtma prosesi mevcuttur. Günümüzde, çamur uygulamalarının çevre ve insan sağlığına olan potansiyel olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla biyolojik arıtma, alkali muamelesi, ısı arıtma, kurutma kompostlama ve uzun süreli depolama gibi stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır.

Hızlı bir sanayileşme ve kentleşmenin olduğu yerlerde bu konu daha büyük önem taşır. Bu oluşumun ana nedeni büyük bir nüfus patlaması ile birlikte, bölgenin iklimsel ve coğrafi şartlarıdır. Bugün için atık üretimi yönünden karşılaştığımız problemlerin, yakın gelecekte daha büyük çapta karşımıza çıkacağı açıktır.

Bu çalışmada Penguen Gıda Sanayi A.Ş' den temin edilen arıtma çamuru, Ayvalı Deresi yakınından alınan tarım amaçlı kullanılan toprağa farklı dozlarda uygulanmıştır. Atıksu deşarjlarından dolayı potansiyel bir kirliliğe sahip Ayvalı Deresi sularıyla sulanan ve sulanmayan farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanmış

topraklardaki çeşitli kimyasal parametreler ve enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri 12 ay süren bir inkübasyon çalışmasıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada Ayvalı Deresi sularıyla sulanan ve sulanmayan topraklar ile uygulanan çamur dozları açısından bir kıyaslama yapılabileceği düşünülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Arıtma Çamurlarının Tanımı ve Özellikleri

Arıtma çamurları, atıksu arıtma proseslerindeki mikrobiyal besin zincirinin doğal son ürünleridir. Sıvı ya da yarı katı halde ve kokuludurlar. Ağırlıkça %0.25 ila %12 arasında katı madde içermektedirler. Arıtma çamurları bünyesinde kirlilik oluşturan maddeler; askıda katı maddeler, çökebilir katı maddeler ve çözünmüş katı maddelerdir.

Atıksu özelliklerinin büyük farklılık göstermesine bağlı olarak çeşitli arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemleri üç temel grupta toplamak mümkündür. Ön arıtma en yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemidir ve hala bazı büyük şehirlerdeki tek arıtma metodudur. Ön arıtmanın temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ancak bir kısım BOİ de çökebilir haldeki katı maddelerle giderilebilmektedir. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler ham ön çökeltim çamuru olarak isimlendirilir. Ham ön çökeltim çamurunun su içeriği oldukça yüksektir. Bu çamur genellikle çürütülür ve çürütülmüş ön çökeltim çamuru ismini alır. Anaerobik çürütme ile % 50 uçucu madde giderimi sağlanır, koku azaltılır ve önemli oranda patojen giderilir. Çürütülmüş çamurlar doğrudan araziye verilebilir ya da kurutma yataklarında kurutulduktan sonra veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra nihai bertarafı yapılabilir. İkincil arıtmanın temel amacı ise BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) giderimidir. En yaygın kullanılan ikincil arıtma tesisleri aktif çamur sistemleridir. Oksijene ihtiyacı olan maddeleri parçalayan biyomas, sıvı içinde süspanse halde bulunur. Biyomas kültürü son çökeltim havuzunda çökeltmek zorundadır ve bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir. Aktif çamur sisteminde oluşan mikroorganizma miktarı sistem için gerekli olan miktarı aşarsa, fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir. Bu materyal atık aktif çamur olarak bilinir. Damlatmalı filtreler de yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma yöntemlerindedir. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılırlar. Bu çamur filtre humusu olarak bilinir. Filtre humusu ve atık aktif çamur genellikle ham ön çökeltim çamuru ile birleştirilerek anaerobik çürütücülerde çürütülür. Oluşan çamur, karışık çürütülmüş çamur olarak adlandırılır. Atıksularda BOİ giderimi kadar azot,

fosfor gibi besin maddelerinin giderimi de oldukça önemli bir konudur. Bu açıdan fiziksel-kimyasal arıtma işlemleri önem kazanmaktadır. Arıtma tesislerinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat, atık alum çamuru olarak bilinen çamuru oluşturur (Vesilind 1979).

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafındaki en önemli konulardan biri arıtma işlemleri sonucu oluşan çamur ve katı maddelerin karakterizasyonunun yapılmasıdır. Çamur karakterizasyonunun amacı arıtma prosesleri ve bertaraf esnasında çamur davranışının tespit edilmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin kaynağına ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Endüstriyel orijinli arıtma çamurlarının özellikleri tamamen kaynaklarına bağlı olduğundan kimyasal bileşimleri konusunda bir genelleme yapmak güçtür. Ancak evsel çamurların özellikleri için bazı temsili değerlerin verilmesi mümkündür. Ham ve çürütülmüş çamurun kimyasal yapısını tanımlayan özellikler Çizelge 2.1.'de özetlenmiştir.

2.2. Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı için çeşitli alternatifler mevcuttur. Uygun yöntemin seçilmesinde arıtma çamurlarının özellikleri ile ekonomik ve teknik imkanlar göz önüne alınır. Uygulanan başlıca yöntemler; düzenli depolama, arazide bertaraf, kimyasal sabitleme ve termik yöntemler olarak sıralanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanabilirliği, arıtma çamurlarının özelliklerine, o bölgenin jeolojik, hidrolojik yapısı ve iklim özellikleri gibi bazı faktörlere bağlıdır.

Düzenli depolama, katı artıkların ve arıtma çamurlarının halk sağlığı ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerlerinin örtülmesi işlemidir. Çamur depolama işlemlerinin uygulanmasında ilk amaç, çamur hacminin azaltılarak depolama alanındaki mevcut depolama kapasitesini arttırmaktır. Bu nedenle düzenli depolamaya verilecek olan çamurların doğal veya mekanik yöntemler uygulanarak suyu alındıktan sonra depolanması gerekir.

Çizelge 2.1. Ham ve çürütülmüş çamurların tipik kimyasal kompozisyonları.

Parametre	Ham ön çökeltim çamuru	Çürütülmüş ön çökeltim çamuru	Aktif çamur
Toplam kuru madde (KM), %	2,0-8,0	6,0-12,0	0,83-1,16
Uçucu katı madde (KM'nin %'si)	60-80	30-60	59-88
Yağ ve gres (KM'nin %'si)			
Eter çözültisi	6-30	5,0-12	-
Eter ekstrası	7-35	-	5,0-12
Protein (KM'nin %'si)	20-30	15-20	32-41
Azot (N, KM'nin %'si)	1,5-4,0	1,6-6,0	2,4-5,0
Fosfor (P ₂ O ₅ , KM'nin %'si)	0,8-2,8	1,5-4,0	2,8-11,0
Potasyum (K ₂ O, KM'nin %'si)	0-1	0-3,0	0,5-0,7
Selüloz (KM'nin %'si)	8,0-15,0	8,0-15,0	-
Demir (sülfid olmayan) (KM'nin %'si)	2,0-4,0	3,0-8,0	-
Silisyum (SiO ₂ , KM'nin %'si)	15,0-20,0	10,0-20,0	-
pH	5,0-8,0	6,5-7,5	6,5-8,0
Alkalinite (mg/L CaCO ₃ olarak)	500-1500	2500-3500	580-1100
Enerji içeriği, Btu/lb	10000-12500	4000-6000	8000-10000

Kaynak: Tchobanoglous, G. and F.L. Burton. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf&Eddy Inc, USA. 771s.

Çeşitli endüstriyel prosesler sonucu oluşan zararlı ve tehlikeli son ürünlerin doğrudan bertarafının yapılması çevresel açıdan büyük sakıncalar yaratmaktadır. Bu tür atıkların özel işlemlerden geçirildikten ve tehlike yaratan kirleticiler minimum düzeye indirildikten sonra bertarafı yapılmalıdır. Deponi sahasında hacim azalması sağlanması, mevcut kirleticilerin yağmur suyuyla yıkanarak sızıntı sularına geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı yöntem solidifikasyon yöntemidir. Çeşitli bağlayıcı malzeme ilavesiyle atık içindeki kirleticilerin katı bünye içinde sabitlenmesi, hapsedilmesi bu tür tehlikeli atıkların doğaya olan zararını önleyecektir. Öte yandan katılaştırılmış materyal, belirli bir donanımına sahip olduğundan, düzenli depolama

sahalarında örtü materyali olarak, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak ve tuğla yapımında yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Böylece atığın çevreye zararlı olmaktan öte yararlı olabilecek yönde kullanımı da gerçekleştirilmiş olacaktır (Vesilind ve ark. 1986).

Termik yöntemler, genel olarak çamur uzaklaştırma imkanlarının kısıtlı olduğu çok büyük tesislerde uygulanır. Termal olarak işlem gören çamurlar, çoğunlukla suyu alınmış ancak işlenmemiş çamurlardır. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü, aerobik veya anaerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu çamurun organik madde içeriği azalacağından yakma işleminde gerekli yakıt miktarı artar. Çok gözlü fırınlarda veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz ve rekalsinasyon termal yöntemler olarak sayılabilir. Bu sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olduğundan, nihai bertaraf yöntemi olarak kullanımları sınırlıdır (Filibeli 1998).

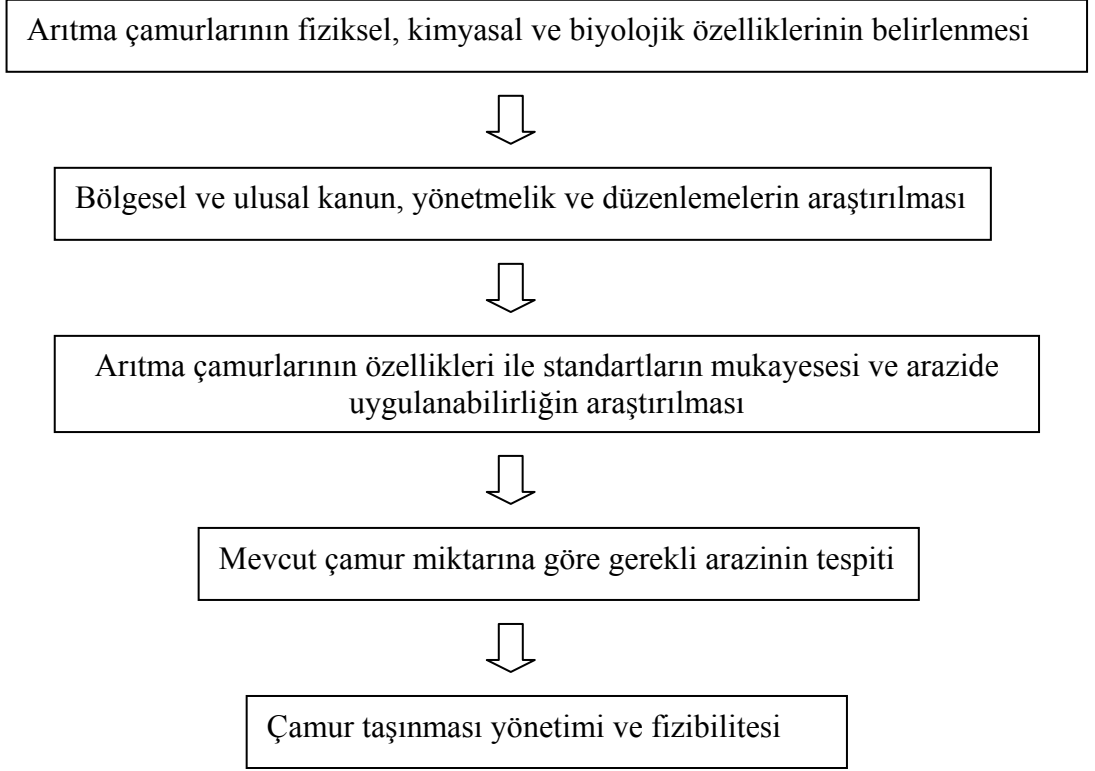
Arazide bertaraf yöntemi ise, nihai bertaraf yöntemi olarak düşünülmemeli, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı toprak şartlandırıcı olarak kullanılması olarak değerlendirilmelidir. Bu yöntemde, arıtma çamurları içeriğindeki organik maddeler ve mineral tuzlar toprak özelliklerini iyileştirerek erozyonu önlemekte ve bitkiler için çeşitli besin maddeleri sağlamaktadır. Tarımsal amaçla kullanılması mümkün olmayan arazilerin uygun özellikteki arıtma çamurları ile desteklenerek tarımsal değeri olan araziler haline dönüştürülmesi mümkündür.

2.3. Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması

Arıtma çamurlarının araziye verilerek bertaraf edilmesi, uzun yıllardan beri uygulanan bir yöntem olmuştur. Ancak ham veya işlenmemiş çamurların araziye gelişigüzel boşaltılması, koku ve patojen mikroorganizma sorunu, yeraltı sularının kirlenmesi gibi istenmeyen bazı olumsuzluklara neden olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda çamurların üzerinde yapılan araştırmalar ve çalışmalar yoğunlaştırılmış, arıtma çamurlarının nihai bertarafına yönelik yasal düzenlemeler geliştirilip uygulanmaya konulmuştur (Rhyner ve ark. 1995).

Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasından önce, çamurun özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi gerekir. Dikkat edilmesi gereken diğer noktalar; çamurun

kalitesi ve miktarı, yasal düzenlemeler ve bertaraf alternatiflerinin değerlendirilmesidir (Filibeli 1998). Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek yol Şekil 2.1.'de özetlenerek gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek kademeler.

Kaynak: Aral, N. 1990. Arıtma Çamurlarının Tasfiyesinde Arazide Kullanılma İmkanları. İ.T.Ü. 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu. İstanbul, 24-26 Eylül 1990, 118 s.

Arıtma çamurlarının tarımsal alanlara uygulanması ile çamurun, gübre besin elementleri kaynağı olarak ve/veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılması ve tarımsal üretimin artırılması amaçlanmaktadır. Arıtma çamurlarından tarımsal faydalanmanın temel prensibi çamurun tarım arazilerine agronomik oranlarda uygulanmasıdır. Yani yıllık yükleme bazında çamur ile verilen ve ürünlerdeki mevcut N ve/veya P miktarı, ürünün ihtiyacı olan yıllık N ve/veya P miktarını geçmeyecek şekilde çamur yüklenmesi yapılmalıdır. Arıtma çamurları başta azot ve fosfor olmak üzere çeşitli makro besin elementleri ve çoğu durumda önemli miktarda, bor, mangan, bakır, molibden ve çinko gibi mikro besin elementlerini içermektedir. Bu besin elementlerinin çamur içerisindeki

kesin oranları, iyi dengelenerek formüle edilmiş bir gübredeki değerler gibi olmasa da tarımsal ürünlerin çoğu, çamurdaki besin elementlerine olumlu yönde cevap vermektedir.

Aritma çamurları eğer agronomik yükleme oranlarının üzerinde uygulanırsa, değerli bir toprak şartlandırıcı olarak da kullanılabilir. Yumuşak killi topraklara eklenen arıtma çamuru, toprağı daha gevşek ve ufalanabilir bir yapıya dönüştürür ve gözenek büyüklüğünü arttırarak hava ve su girişini kolaylaştırır. Kaba kumlu topraklarda ise toprağın su tutma kapasitesini arttırır ve besin element değişimi ve adsorpsiyon için kimyasal bölgeler sağlar (Anonim 1984).

Aritma çamuru uygulanacak topraklarda uygulamadan önce bazı testlerin yapılması gerekmektedir. Arıtma çamuru uygulanacak toprağın pH'ının 6.5 veya daha yüksek olması istenir. Böylece ağır metallerin toprak içerisindeki hareketleri sınırlandırılmış olur. Eğer toprağın pH'ı çok düşükse kireç eklenmesiyle bu değer uygun seviyelere getirilir. Toprakta bulunan bitkiye yararlı N, P ve K miktarlarının belirlenmesi çamur uygulama oranlarının hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Toprağın kation değiştirme kapasitesi, toprağın ağır metalleri bağlama yeteneğinin bir göstergesi olduğu için arıtma çamuru uygulanacak toprakların bu açıdan da incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca toprağın geçirgenliği ve yapısı bölgenin drenaj özelliklerini belirlediği için çamur uygulamalarında yol gösterici toprak özelliklerindedir. Geçirgenliği yüksek topraklar, çamur bileşenlerinin çok hızlı bir şekilde toprağın alt tabakalarına doğru taşınımına neden olurken, geçirgenliği düşük topraklar yüzeysel göllenmelerin oluşumuna yol açmaktadır. Bu nedenle arıtma çamuru uygulamalarında orta geçirgenlikteki topraklar tercih edilmektedir (Anonim 1983).

Aritma çamurunun tarımsal uygulamalarındaki diğer önemli bir husus da arazinin yeraltı su kaynaklarına olan uzaklığıdır. Çoğu durumda yeraltı sularında mevsimlere bağlı değişimler söz konusu olduğu için çamur uygulama arazilerinin yeraltı sularına kabul edilebilir minimum mesafesinin belirlenmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Konuyla ilgili yasal düzenlemelerde genellikle yeraltı suyuna olan minimum mesafe 1m olarak verilmektedir (Anonim 1983).

Aritma çamurlarının tarımsal arazilerde kullanılmasını sınırlayan faktörlerden biri olan azot tüm bitkilerin en fazla ihtiyaç duyduğu bitki besin elementidir. Toprağı bitkinin ihtiyacından fazla N uygulamak yeraltı sularına nitrat karışması riskini

doğurmaktadır. Nitrat toprak partikülleri tarafından adsorbe olmaz ve süzüntü sularıyla beraber toprağın alt tabakalarına doğru taşınır. Su kaynaklarındaki yüksek nitrat seviyeleri özellikle yeni doğmuş bebekler için önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. İçme sularındaki izin verilebilir maksimum NO_3^- konsantrasyonu 10 mg $\text{NO}_3^-/\text{N}/\text{l}$ olarak belirlenmiştir. Uygun dizayn edilmiş ve iyi yönetilen bir çamurdan tarımsal olarak faydalanma programında yeraltı sularına nitrat karışması riski, konvansiyonel azotlu gübrelerin kullanılmasının taşıdığı riskten fazla değildir (Anonim 1983).

2.3.1. Arıtma Çamurlarının Toprak Ortamına Etkileri

2.3.1.1. Kimyasal Özellikler

Günümüzde kimi evsel ve endüstriyel organik atıkların sorunlu toprakların bazı özelliklerini iyileştirme ve bitki besin maddesi olarak kullanılma potansiyelleri üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Farklı karakterdeki toprakların iyon değişim özellikleri üzerine atıkların etkilerinin araştırılması ve bu yönde kullanımının sağlanmasına yönelik çalışmalara tarımsal verimlilik ve çevresel etki açısından gerek duyulmaktadır.

Arıtma çamuru ilavesiyle toprağın verimi ve tarım kalitesi artmaktadır. Arıtma çamurundan bitki besin maddesi olarak faydalanılmaktadır. Arıtma çamuru organik madde ve bitki besin maddesi açısından zenginse, tarım ve orman topraklarının iyileştirilmesi için kullanılabilir. Ancak arıtma çamurunun ağır metal içeriği çok önemlidir. Çamurun ağır metal içeriği çok düşük seviyelerde olmalı ve mutlaka yönetmelikteki değerlerle uyum sağlanmalıdır. Böylece topraklara ve yeraltı sularına ağır metal bulaşımı engellenmektedir.

Akça ve ark. (1996) çamur uzaklaştırma masraflarını azaltmak, üstelik çamuru faydalı bir malzeme haline getirmek için tarım alanlarında kullanılmasının teşvik edilmesi, çiftçilerin bu yönde eğitilmesi ve yönlendirilmesi için teknik alt yapının oluşturulması gerekliliğini vurgulamışlardır. Turalıoğlu ve Acar (1996) tarafından yapılan diğer bir çalışmada arıtma çamurlarının çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi ve içerdikleri besin elementlerinden de yararlanılabilmesi için tarım topraklarında kullanmanın en iyi yol olduğu ancak uygulamadan önce hem atığın hem

de toprağın ağır metal, tuz, azot ve patojen mikroorganizma miktarlarının tespit edilerek verilebilecek maksimum yüklerin belirlenmesinin gerektiği belirtilmiştir.

Arıtma çamurlarının tarım arazilerinde kullanılarak içerdikleri besin elementlerinin geri kazanılmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Williams (1979) arıtma çamurlarının ve organik gübrelerin tarım arazilerindeki faydalı kullanımını belirlemek için havada kurutulmuş ham çamur, havada kurutulmuş çürütülmüş çamur ve çiftlik gübrelerinin bitki besin düzeylerini belirlemiş, bu atıkları tarım alanlarına uygulayarak ürün verimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Arıtma çamurlarının N ve P yönünden yararlanılabilir bir kaynak olduğunu ancak potasyum yönünden fakir kaldığını, özellikle sulu haldeki çürütülmüş çamurların bitkiye yararlı N ve P bakımından oldukça değerli bir kaynak olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde, Cohen ve ark. (1979) tarafından yapılan çalışmada da, incelenen sulu ve havada kurutulmuş arıtma çamurlarının N, P, Ca, Mg ve mikro besin elementlerini sağlayabildiğini ancak K miktarlarının yeterli olmadığını belirtilmiş ve potaslı gübre ilavesinin gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Larson ve ark. (1974) tarafından yapılan diğer bir çalışmada şehir arıtma çamurlarının tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu azot, fosfor ve mikro besin elementlerini sağlayabildiği belirtilmiştir. Pedreno ve ark. (1996) ise, arıtma çamuru uygulanmış kalkerli bir toprağın tarımsal kalitesini incelemeye yönelik bir çalışma yapmışlar ve arıtma çamurunun toprağın N, P, Fe, Cu, Zn ve organik madde içeriğini arttırdığını belirtmişlerdir.

Taşatar (1997) tarafından yapılan çalışmada İzmit'te bulunan DUSA (endüstriyel iplik üretimi) ve SEKA (Kağıt ve Selüloz üretimi) fabrikalarından alınan arıtma çamurlarının İzmit Alikahya köyünden alınan tarım toprağının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgulara göre toprağın organik madde, % saturasyon, elektriksel iletkenlik, yararlı fosfor, kireç miktarı, nem içeriği, solma noktası, tarla kapasitesi, serbest iyonlar, kation değişim kapasitesi ve değişebilir kationların miktarında artma, pH değerinde azalma görülmüştür. Yürütülen benzer bir çalışmada süt sanayi arıtma çamurunun toprağa uygulanması sonucu toprakların pH, EC, organik madde, toplam N, değişebilir K, Na, yararlı Cu ve Zn içeriklerinin belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir (Çil Özgüven ve Katkat 2001). Ünal ve Katkat (2003) bisküvi ve şekerleme

sanayi arıtma çamurlarının bazı toprak özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmalarında ise, organik madde ve bitki besin elementleri düşük olan topraklara, toprak tuzluluğu kontrol edilmek koşuluyla arıtma çamuru uygulamasının önerilebileceğini vurgulanmıştır.

Arıtma çamurlarının ormanlık alanlara uygulanması, ormanların insan besin zincirinin bir parçası olmaması sebebiyle, tarımsal uygulamalara kıyasla insan sağlığı açısından daha az risk taşımaktadır. Ayrıca araştırmalar bazı ağaç türlerinin, tarımsal ürünler için oldukça zararlı olabilecek bazı çamur bileşenlerine karşı oldukça toleranslı olduğunu göstermektedir. Arıtma çamurlarının ormanlık arazilere uygulanmasının diğer bir avantajı, ormanların uzun ömürlü bitkiler olması ve bu durumun, çamurun ne zaman uygulanacağını belirlenmesi için yapılan çalışmaları daha az kompleks hale getirmesidir (Anonim 1983).

Arıtma çamurlarının verimsiz arazilerin iyileştirilmesinde başarıyla kullanılabilmesini sağlayan çamur özelliklerinin başında çamurun organik madde içeriği gelmektedir. Çamurdaki organik madde, topraktaki taneli yapı oluşumunu geliştirir, plastisite ve kohezyonu azaltır, su tutma kapasitesini ve katyon değiştirme kapasitesini ve toprağın pH'ını artırır.

Son yıllarda arıtma çamurlarının bir kaynak olarak değerlendirilmesi görüşünün benimsenmesiyle birlikte arazi iyileştirme amaçlı kullanıma ilişkin araştırmalar da hız kazanmıştır. Bu araştırmaların sonuçları genel olarak, stabilize olmuş şehir arıtma çamurlarının toprağın ıslah edilmesinde, bitki örtüsü, toprak ve yer altı suyu kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmaksızın, çevresel açıdan güvenli bir şekilde kullanılabilmesi yönündedir (Sopper 1989). Farklı bölgelerdeki ve farklı iklim koşulları altındaki verimsiz topraklar üzerinde yapılan çalışmalar, arıtma çamurlarının bitki büyüme şartlarını geliştirmesi yanında biyolojik aktivitenin başlamasına da yardımcı olduğunu göstermektedir (Pulford 1989).

2.3.1.2. Enzim Aktiviteleri

Arıtma çamuru uygulaması toprağın biyolojik özelliklerini etkilemekle birlikte, biyolojik aktivitedeki değişimler toprak kirliliğinin indikatörü olarak kullanılmaktadır. Toprak mikroorganizmalarının aktivitelerinin ölçümü zor olduğundan, bunun belirlenmesi için topraktaki enzim aktiviteleri ölçülmektedir. Toprak mikrobiyal popülasyonu ile enzim aktivitesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Topraktaki enzim aktiviteleri indikatör olarak kullanılmaktadır. Böylece topraktaki mikrobiyal aktiviteler dolaylı olarak daha kolay bir şekilde ölçülmektedir.

Yapıda bulunan ve üretilen enzimlerin her ikisi toprakta mevcuttur. Yapıda bulunan enzimler hücrede sabit miktarlarda değişmeden bulunmakta ve bu enzimlerin aktiviteleri substrat ilavesinden etkilenmemektedir. Yapıda bulunan enzimlere inorganik pirofosfataz örnek verilebilir. Üretilen enzimler ise hücrede eser miktarlarda bulunmaktadır ve substrat varlığında hızla konsantrasyonları artmaktadır. Üretilen enzimler toprağa ilave edilen bileşiklerin konsantrasyonlarını düzenlemede önemli rol oynamaktadır. Birçok polisakkaritler örneğin selüloz bu tür enzimlere örnek verilebilir.

Toprak enzimleri, belirli reaksiyonları biyolojik olarak katalizlemektedir. Bu reaksiyonlar çeşitli faktörlere bağlıdır, örneğin; pH, sıcaklık ve inhibitörlerin varlığı vb. (Tabatabai 1982; Dick ve Tabatabai 1992; Ruggiero ve ark. 1996).

Topraktaki organik maddenin parçalanma ve ayrışmasında en önemli rolü enzimler oynamaktadır. Mikroorganizmalar ekzo enzimlerini dışarıya salarak organik artıklardaki selüloz, lignin, fosfat esterleri, protein, karbonhidrat, nişasta gibi yüksek polimer bileşikleri bir seri biyokimyasal reaksiyonlardan sonra, ortam şartlarının da etkisi ile besin iyonlarına çevirme özelliği gösterirler. Böylece bu bileşikler hidroliz, oksidasyon, redüksiyon, dehidrojenasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon v.s. gibi biyokimyasal reaksiyonlarla daha küçük moleküllü bileşiklere bölünerek besin iyonlarına çevrilirler. Toprakta cereyan eden bu reaksiyonların hızlanması ve gerçekleşmesi, katalitik etki yapan enzimatik biyokimyasal reaksiyonların desteğine bağlı kalmaktadır (Haktanır 1973).

Toprak enzimolojisi alanında yapılan araştırmalar toprak enzimlerinin verimlilik üzerine etki yaptıklarını, bir toprağın çeşitli enzimlerinin aktivitelerinin tayini suretiyle o toprağın verimlilik derecesi hakkında bir fikir edinilebileceğini ortaya koymaktadır.

Her kültür toprağında o toprağa göre bir enzim seviyesi vardır. Enzimlerin miktar ve çeşitleri toprakta kalan hasat artıklarının mahiyet ve miktarları ile verilen organik ve anorganik gübrelerin mahiyet ve miktarlarına, toprak reaksiyonuna, münavebeye ve toprağın işlenmesine bağlıdır. Toprak pH'ının düşmesi, uygun olmayan zirai işlemlerin yapılması, toprağın zamanında ekime hazırlanmaması gibi pek çok faktör topraktaki enzim seviyelerini düşürebilmektedir (Ünal 1967).

Organik atıkların toprağa karıştırılması, topraktaki enzim aktiviteleri üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Bu atıklar çeşitli enzimler içerebildikleri gibi topraktaki mikrobiyal aktiviteyi de hızlandırabilmektedirler. Topraktaki enzimler azot (üreaz, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon (β -glukosidaz) döngüsünde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler.

Yapılan çalışmalar enzim aktivitelerinin sübstrat spesifik özellik gösterdiğini ve bu nedenle tek bir enzim aktivitesi değerinin genel toprak durumunun anlaşılması için yeterli olmadığını göstermektedir. Oksidoredüktazlar ve hidrolazlar, organik maddenin parçalanmasına ilişkin temel proseslerde rol oynamaktadırlar ve özellikle kontamine olmuş topraklardaki reaksiyonların biyo-indikatörleri olarak kabul edilmektedirler (Dick ve Tabatabai 1993). Dehidrogenaz aktivitesi ise toprak mikroorganizmalarının metabolik aktivitelerinin değerlendirilmesinde ve kentsel atıkların yol açtığı değişikliklerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pascual ve ark. 1998, Reddy ve Faza 1989). Katalaz aktivitesi aerobik mikroorganizmaların metabolik aktiviteleriyle ilişkilidir ve toprak verimliliğinin göstergesi olarak değerlendirilebilmektedir. Üreaz aktivitesinin orijini temel olarak mikrobiyal ve toprakta oluşabilen kararlı komplekslerdir (üreaz-humus) (Nannipieri ve ark. 1980). Kasein ve N- ∞ -benzol-L-argininamid (BAA) hidrolizleyen proteaz aktiviteleri peptid bağlara sahip sübstratların hidrolizini katalizlemektedir. Kasein hidrolizleyen proteazlar, polipeptidik komplekslerin daha basit bileşiklere hidrolizini katalizlerken, BBA hidrolizleyen proteazlar daha basit peptidleri ve dipeptidleri kullanırlar. Fosfatazlar, topraktaki fosfor döngüsünün anahtar enzimleridir. Fosfataz aktivitesindeki değişimler, topraktaki fosforlu sübstratların kalite ve kantitesinde meydana gelen değişimlerin bir göstergesi olduğu gibi, toprağın biyolojik durumunun da iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler (Dick ve Tabatabai 1984). β -glukosidaz ise β -glukosidlerin hidrolizini

katalizleyen bir enzimdir ve bu enzim aktivitesi organik maddenin dekompozisyonuna ilişkin fikir vermektedir (Hayano ve Tubaki 1985).

Son yıllarda arıtma çamuru uygulamasının enzim aktivitelerini dolayısıyla topraktaki mikrobiyal aktiviteyi ne şekilde etkilediğine yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Arıtma çamuru uygulamasının topraktaki mikrobiyal popülasyonu ve enzim aktivitelerini uzun vadede nasıl etkilediğini belirlemeye yönelik bir çalışmada 8 yıl süren bir arazi denemesi yapılmış ve iki farklı tip çamur 50 ve 100 ton/ha/yıl oranında toprağa verilerek enzim aktivitelerindeki değişimler izlenmiştir. Sonuçlar arıtma çamuru uygulamasının organik maddenin parçalanmasına katkıda bulunduğunu ve topraktaki mikrobiyal aktiviteyi arttırdığını göstermiştir (Sastre ve ark. 1996).

Marinari ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada; kum ve kil karışumlu toprağa evsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamurunu uygulamışlardır. 3 aylık inkübasyon döneminin sonunda toprağın asit fosfataz, dehidrogenaz ve proteaz BAA enzim aktivitelerinin arttığı görülmüştür. Dikkate değer miktardaki azotun toprağa girmesiyle, toprağın kendi organik maddesi etkilenmektedir. Açığa çıkan çözünebilir C ve N toprağın mikrobiyal biokütlesi için bitki besin maddesi kaynağı olmaktadır. Böylece toprağın enzim aktiviteleri artmaktadır.

Albiach ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada; toprağa arıtma çamuru uygulayarak 4 ve 5 yıllık deneme sürelerinde toprağın dehidrogenaz, alkali fosfomonoesteraz, fosfodiesteraz, arilsülfataz ve üreaz enzim aktivitelerindeki değişimi incelemişlerdir. 4 ve 5 yıllık inkübasyon sonunda arıtma çamuru ilavesi ile toprağın enzim aktivitesi gözle görülür miktarda artmıştır.

Pascual ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada; kurak toprağa farklı dozlarda arıtma çamuru uygulayarak, 360 günlük inkübasyon süresi boyunca toprağın dehidrogenaz, katalaz, üreaz, kasein-hidroliz proteaz, BAA-hidroliz proteaz, alkali fosfataz ve β -glikozid aktivitesinin değişimini incelemişlerdir. Inkübasyon sonunda toprağın enzim aktivitesinin arttığı gözlenmiştir.

Lee ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada ise arıtma çamuru uygulamasının kumlu tın özellik gösteren bir toprağın biyolojik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan kentsel atıksu arıtma tesisi çamuru, endüstriyel arıtma çamuru, deri sanayi arıtma çamuru ve alkol fermantasyon çamuru uygulamalarının, 5 yıllık uygulama periyodu süresince topraktaki

enzim aktivitelerini belirgin şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir. Topraktaki CM-selüloz, dehidrogenaz, üreaz ve alkali fosfomonoesteraz enzimleri arıtma çamuru tipine ve miktarına bağlı olarak ciddi boyutlarda inhibe olmuşlardır.

Arıtma çamuru içeriğindeki metallerin enzim aktiviteleri üzerindeki olumsuz etkilerini tespit eden çok sayıda çalışma yapılmıştır. Dar (1996), arıtma çamuru ve kadmiyumun topraktaki mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini belirlemek üzere 2 aylık bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Sadece arıtma çamuru uygulandığında topraktaki dehidrogenaz, alkali fosfataz ve arginin-amonifikasyon aktiviteleri sırasıyla, % 18–25, % 9–23 ve % 8–12 oranında artmıştır. $10 \mu\text{g g}^{-1}$ seviyesinde kadmiyum eklenmesi bu parametrelerde bir değişime yol açmazken, $50 \mu\text{g g}^{-1}$ konsantrasyonundaki kadmiyum enzim aktivitelerini önemli ölçüde inhibe etmiştir.

Yürütülen çalışmalar arıtma çamuru uygulamasının, topraktaki mikrobiyal aktiviteyi yansıtan ve topraktaki değişimlerin indikatörü olarak değerlendirilen enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerinin, çamur özellikleri ve uygulama oranlarına bağlı olarak büyük değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2.3.2. Uygulamayı Kısıtlayıcı Faktörler ve Yasal Mevzuat

2.3.2.1. Ağır Metaller

Ülkemiz 31-05-2005 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve Avrupa Birliği yönetmeliklerinde arıtma çamuru uygulamasından önce ve uygulama boyunca alıcı ortam olan topraklarda ağır metallerin takibi ile ilgili esaslar yer almaktadır. Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.2.’de verilmiştir. Yönetmeliklerde yer alan sınır değerler toprak pH’ı baz alınarak düzenlenmiştir.

Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında bir yılda arıtma çamuru ile toprağa verilecek metal yükleri yasal düzenlemelerle kontrol altında tutulmaktadır. Avrupa Birliği söz konusu yıllık metal yük sınır değerlerini 10 yıllık ortalamayı esas alarak belirlemiştir. Toprak Kirlilik Kontrolü Yönetmeliği ülkemiz topraklarında bir yılda verilebilecek ağır metal yüklerini belirlemede Avrupa Birliği’nin 86/278/EEC Yönetmeliğinde belirtilen değerlerin aynısını kabul etmiştir. Ancak Avrupa Birliği, Taslak Yönetmelikte de görüldüğü gibi, 2000 yılı sonrasında toprağa bir yılda verilebilecek metal yüklerini önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir (Çizelge 2.3.).

Amerika’da EPA tarafından 1993 yılında 40 CFR Part 503 adı altında bir yönetmelik oluşturulmuştur. Bu yönetmelikte kirletici limit değerleri ve atıksuların işlenmesi sonucu oluşan çamurların uzaklaştırma ve kullanım esaslarına yer verilmiştir. Yönetmelikte yer alan ağır metal konsantrasyon limitleri Çizelge 2.4.’te ve yükleme oranları Çizelge 2.5.’te verilmiştir.

Çizelge 2.2. Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak)

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)		86/278/EEC (AB-Avrupa Birliği Yönetmeliği)		AB Taslak Yönetmelik		
	pH<6	pH>6	pH<6	pH>6	5≤pH<6	5≤pH<6	pH≥7
Kadmiyum(Cd)	1	3	1	3	0,5	1	1,5
Krom(Cr)	100	100	100	100	30	60	100
Bakır(Cu)	50	140	50	140	20	50	100
Civa(Hg)	1	1,5	1	1,5	0,1	0,5	1
Nikel(Ni)	30	75	30	75	15	50	70
Kurşun(Pb)	50	300	50	300	70	70	100
Çinko(Zn)	150	300	150	300	60	150	200

Kaynak: Bilgin N, H.Eyüpoğlu ve H.Üstün. 2002. Biyoatıkların (Arıtma Çamurlarının) Arazide kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s.28.

Çizelge 2.3. 10 yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları (g kuru madde/da/yıl).

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)	86/278/EEC (AB-Avrupa Birliği Yönetmeliği)	AB Taslak Yönetmelik		
			Önerilen	Orta Vade	Kısa Vade
Kadmiyum(Cd)	15	15	3	1,5	0,6
Krom(Cr)	1500	-	300	240	180
Bakır(Cu)	1200	1200	300	240	180
Civa(Hg)	10	10	3	1,5	0,6
Nikel(Ni)	300	300	90	60	30
Kurşun(Pb)	1500	1500	225	150	60
Çinko(Zn)	3000	3000	750	600	450

Kaynak: Bilgin N, H.Eyüpoğlu ve H.Üstün. 2002. Biyoatıkların (Arıtma Çamurlarının) Arazide kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s.28.

Çizelge 2.4. Kirletici konsantrasyon limitleri.

Kirletici	Tavan konsantrasyonları (mg/kg kuru ağırlık)	Aylık ortalama kirletici Konsantrasyonları (mg/kg kuru ağırlık)
Arsenik	75	41
Kadmiyum	85	39
Krom	3000	1200
Bakır	4300	1500
Kurşun	840	300
Civa	57	17
Molibden	75	--
Nikel	420	420
Selenyum	100	36
Çinko	7500	2800

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as Amended 08/04/99.

Çizelge 2.5. Kirletici yükleme oranları

Kirletici	Kümülatif yükleme oranları (kg/ha kuru ağırlık)	Yıllık yükleme oranları (kg/ha kuru ağırlık)
Arsenik	41	1,8
Kadmiyum	39	1,7
Krom	3000	134
Bakır	1500	67
Kurşun	300	13
Civa	17	0,76
Molibden	--	--
Nikel	420	19
Selenyum	100	4,5
Çinko	2800	125

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as Amended 08/04/99.

2.3.2.2. Patojenler

Evsel arıtma çamurları bitki besin elementleri içermesi ve toprak şartlandırıcı özellikler taşıması yanında, patojenik bakteriler, virüsler, protozoalar, parazitler ve diğer hastalık yapıcı mikroorganizmalar da içermektedir. Çizelge 2.6'da evsel atıksularda ve arıtma çamurlarında görülen başlıca patojenler görülmektedir (Anonim 1999).

Çizelge 2.6. Evsel atıksularda ve arıtma çamurlarında bulunan başlıca patojenler

ORGANİZMA	HASTALIK/SEMPTOMLAR
BAKTERİLER	
<i>Salmonella sp.</i>	Salmonellosis (besin zehirlenmesi), ateşli tifo
<i>Shigella sp.</i>	Bacillary dizanteri
<i>Yersinia sp.</i>	Akut gastroenteritis
<i>Vibrio Cholerea</i>	Kolera
<i>Escherichia coli</i> (patojenik stren)	Gastroenteritis
ENTERİK VİRÜSLER	
Hepatit A virüsü	Bulaşıcı hepatit
Polivirüsler	Poliomyelitis
Ekovirüsler	Menenjit, hepatit, diyare, soğuk algınlığı semptomları
Reovirüs	Solunum enfeksiyonları, gastroenteritis
Astrovirüsler	Epidemik gastroenteritis
PROTOZOA	
<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenteritis
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis (diyare, kilo kaybı, karın bölgesinde kramplar)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasma
HELMINT KURTLARI	
<i>Asgaris suum</i>	Öksürük, göğüs ağrısı, ateş
<i>Toxocara canis</i>	Ateş, karın bölgesinde rahatsızlık, kas ağrısı, nörolojik semptomlar
<i>Taenia saginata</i>	Sinirlilik hali, uyuyamama, karın bölgesinde ağrı

ANONİM. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attaraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

Ülkemizde, 31 Mayıs 2005 tarih ve 25831 sayılı resmi gazetede yayınlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin üçüncü bölümü, ham çamur, işlenmiş arıtma çamuru ve kompostun toprakta kullanılmasına ilişkin sınırlamalar getirmektedir. Yönetmelikte, çevre ve insan sağlığına olabilecek etkileri azaltmak amacıyla biyolojik, kimyasal, ısıl arıtma, kurutma, kompostlama ve uzun süreli depolama gibi stabilizasyon

ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanması gerekliliği belirtilmiştir. Ancak bu yöntemlerin işletme koşullarıyla ilgili detay bilgilerin ve işlenmiş çamurun mikrobiyolojik özelliklerine ilişkin sınır değerlerin verilmediği dikkat çekmektedir (Anonim 2001).

U.S. EPA yönetmelikleri ise araziye uygulanacak arıtma çamurları için iki seviyede patojen giderimini baz almaktadır. B sınıfı seviyesindeki patojen gideriminde patojen miktarındaki nihai azalmanın arazide meydana geleceği düşünülür. A sınıfı seviyesinde patojen içeren çamurlar daha sıkı standartlara tabidirler ve araziye uygulandıktan sonra halkın girişi veya bekleme periyotlarına ilişkin sınırlamalar söz konusu değildir. Sınırlamaların uygun olarak gözlemlenmesi durumunda B sınıfı seviyesindeki arıtma çamurlarının da A sınıfı kadar güvenli olduğu düşünülmektedir.

A sınıfı arıtma çamurlarının fekal koliform yoğunluklarının 1000 MPN/g katı madde veya salmonella konsantrasyonunun 3 MPN/4 g katı madde'den az olması gerekmektedir. Salmonella testleri fekal koliform testlerine göre daha pahalı ve deneyim isteyen testlerdir. Salmonella testleri yerine fekal koliform testlerinin uygulanmasının temelinde fekal koliform yoğunluğuyla salmonella varlığı arasındaki korelasyondur. Farklı arıtma çamurları ve stabilizasyon metotlarında yapılan çalışmalar fekal koliform yoğunluğunun 1000 MPN/ g katı madde'den düşük olduğunda salmonella'nın belirlenemeyen seviyelerde olduğunu göstermiştir (Anonim 1999b). B sınıfı arıtma çamurları için gerçekleştirilen patojen giderimi A sınıfı çamurları seviyesinde değildir; çünkü nihai patojen gideriminin arazi uygulama bölgesinde gerçekleşeceği düşünülür.

2.4. Araziye Uygulanacak Arıtma Çamurlarından Patojen Giderimi

İnsanlarda ya da hayvanlarda enfeksiyona yol açacak patojen miktarı patojen ve konukçuya bağlıdır. Bir patojenin hastalığa yol açması için, kolay etkilenen bir konukçuya, bir bulaşma yoluna ve enfekte edici doza ihtiyaç vardır. Bu üç eleman olmadan hastalık meydana gelmez. Arıtma çamurlarının araziye uygulanması ve yönetimi çalışmalarında bu elemanlarından bir ya da daha fazlasının elimine edilmesi üzerine dizayn yapılır. Patojenler arıtma çamurlarının arıtımı safhasında kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerle yok edilirler/azaltılırlar. Bu prosesler: Yüksek sıcaklıklar (kimyasal, fiziksel ve biyolojik prosesler sonucu), kimyasal dezenfektanlar

(örneğin kireç, klor), mikrobiyal besin kaynağının yok edilmesi (uçucu katıların azaltılması), kurutma ve diğer mikroorganizmaların rekabeti.

Patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için öngörülen bu yaklaşımlar çerçevesinde elde edilen verim ve tipik proses örnekleri Çizelge 2.7.'de görülmektedir.

Çizelge 2.7. Arıtma çamurlarındaki patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için genel yaklaşımlar.

YAKLAŞIM	VERİM	PROSES ÖRNEKLERİ
<i>Yüksek sıcaklık Uygulaması</i> (Fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler)	Zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Uygun Süre ve sıcaklık sağlandığında bakteri, virüs, protozoa sistleri ve helmint yumurtası belirlenebilir seviyelerin altına düşebilmektedir. Helmint yumurtaları yüksek sıcaklığa karşı daha dirençlidir.	Kompostlama Isıl kurutma ve ısıl arıtma Pastörizasyon Aerobik çürütme Anaerobik çürütme
<i>Radyasyon Uygulaması</i>	Doza bağlıdır. Yeterli dozlar bakteri, virüs, protozoa sistleri ve helmint yumurtası belirlenebilir seviyelerin altına düşebilmektedir. Virüsler radyasyona karşı daha dirençlidir.	Gama ve yüksek enerjili elektron ışını radyasyonu
<i>Kimyasal dezenfektanların uygulanması</i>	Öncelikle bakteri ve virüsleri azaltıp vektörel taşınmayı önler.	Kireç stabilizasyonu
<i>Çamurun uçucu organik içeriğinin azaltılması</i> (mikrobiyal kaynağının)	Bakterileri azaltıp vektörel taşınmayı önler.	Aerobik çürütme Anaerobik çürütme Kompostlama

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

Arıtma çamurlarındaki patojenler araziye uygulandıktan sonra da çeşitli faktörlerin etkisiyle yok olmaktadır. Bu faktörler:

- Sıcaklık
- Güneş ışığı
- Kuruma
- Uygun olmayan pH
- Diğer mikroorganizmalar

Toprak yüzeyine uygulanan arıtma çamurlarındaki patojenler, ara yüzeye uygulanan çamurlardakine göre daha olumsuz çevre şartlarına maruz kalırlar. Yüzeydeki güneş ışığı, sıcaklık ve kuruma etkisi patojenlerin yaşamlarını kısıltmaktadır. Bakteriler ve virüsler toprak yüzeyinde uzun süre yaşayamazlar. Toprak ve vejetasyon üzerindeki bakteri ve virüslerin 30 günlük bir bekleme periyodunun ardından otlayan hayvanlar açısından tehlike oluşturmayacağı kabul edilmektedir. Patojenlerin en dayanıklısı olan helmintler çok daha uzun süreler yaşayabilirler. Nihai patojen azalmasının arazide gerçekleşeceğinin düşünüldüğü çamur uygulamalarında helmint yumurtaları baz alınarak hasattan önce 38 ay gibi uzun bir bekleme süresine ihtiyaç duyulur. Patojenlerin yeniden çoğalması üzerinde durulan diğer önemli bir konudur. Virüsler, helmintler ve protozoa spesifik konukçuların dışında tekrar çoğalamazlar. Bu patojen popülasyonu bir kez azaltıldığında, tekrar çoğalmaz o seviyede kalır. Ancak bakteriler için durum farklıdır. Eğer tamamıyla yok edilmedilerse veya yeni bir kontaminasyon söz konusuysa tekrar çoğalabilirler (Kocaer 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Arıtma Çamuru

Çalışmada topraklara verildiğinde ciddi toprak kirliliği sorunları yaratmayacağı düşünülen, gübrelemeye alternatif olabilecek düzeyde bitki besini içeren ve ağır metal içeriği, 31-05-2005 tarihli ve 25831 sayılı “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” 3. Bölüm, Ek 2’de belirtilen ağır metal limitlerini aşmayan, atıksu arıtma çamuru kullanılmıştır (aerobik gıda sektörü çamuru).

Araştırmada kullanılan aerobik arıtma çamuru örneği, Bursa – İzmir karayolu 22. km’inde bulunan Penguen Gıda Sanayi A.Ş.’ den temin edilmiştir. Fabrikada başlıca 40 çeşit üründe işlenmiş sebze ve meyve üretimi yapılmaktadır. Arıtma çamuru örneğinin alındığı Temmuz ayındaki ürün deseni çilek, kayısı, vişne, kiraz, ahududu, kornişon, domates, kabya biber, biberiye, bamya, soğan, bezelye şeklindedir. Arıtma tesisine gelen atıksu bileşkesi evsel nitelikli atıksular ve proses sularından oluşmaktadır. Tesise giren atıksu öncelikle kaba ızgara, mekanik ızgara ve kum tutucudan geçmektedir. Terfi havuzuna ulaşan atıksu tambur elekten geçtikten sonra nötralizasyon havuzuna iletilmektedir. Asit veya kostik ilavesiyle pH’ı ayarlanan atıksular ön temas havuzuna, oradan da havalandırma havuzuna geçmektedir. Çöktürme havuzunda çöken çamur kireç ve polielektrolit ilavesiyle yoğunlaştırılmakta ve beltpreste susuzlaştırılmaktadır. Fabrikanın arıtma tesisinin atıksu kapasitesi 5500 m³/gün’dür ve tesisten ortalama 15 ton/ay arıtma çamuru keki çıkmaktadır. Arıtma tesisini terk eden arıtılmış atıksular hemen yakında bulunan dereye deşarj edilirken, ham çamur fabrikanın kullanım sahası içinde depo edilmektedir.

3.1.2. Toprak Örneği

Arıtma çamurunun uygulanacağı toprak örneği Bursa-Nilüfer İlçesi Özlüce bölgesinde Nilüfer Çayının kollarından biri olan Ayvalı Deresi yakınında bulunan tarım arazisinden alınmıştır. Nilüfer çayı Bursa’nın önemli su kaynaklarından biridir. Şehrin

içme ve kullanma suyunun temininin yanı sıra Nilüfer çayının geçtiği ovalarda sulamalarda kısmen Nilüfer ve kollarından yapılmaktadır. Nilüfer çayı gerek evsel gerekse endüstriyel atıksuların büyük çoğunluğunun doğrudan deşarjına maruz kalmaktadır. 1997 yılına kadar havzada bulunan yerleşimlerin büyük kısmının evsel atıksuları Nilüfer çayı'na deşarj edilmiştir. Halen kentin batı bölgesinde Ürünlü, Tahtalı, Çalı, Demirci, Kayapa, Yaylacık ve Alaadinbey yerleşim yerlerinin atıksuları DSİ Sulama kanalları ve Ayvalı Deresi vasıtasıyla Nilüfer Çayına ulaşmaktadır. Ayrıca Nilüfer çayı Havzası'nda yer alan çeşitli sanayi tesisleride atıksuları ile havzayı kirletmektedirler (Kaynak 2002).

3.1.3. Çalışma Kapsamında Toprak Sulanmasında Kullanılan Su Örneği

Çalışmada toprak örnekleri Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanmıştır. Ayvalı Deresinden alınan su örneği; derenin en son noktasından alınmıştır. Bu yüzden sulamada kullanılan suyun kirlilik yükü oldukça fazladır. Örnek alma noktası Özlüce Batı Arıtma Tesisinin deşarjından daha ileriki bir noktadır. Su örnekleri derenin ortasına yakın bir noktadan yüzeyin daha aşağısından homojen bir şekilde alınmıştır.

Ayvalı Deresi Çakırköy ovası güney yamaçlarından gelen yan derelerin birleşmesiyle oluşan, debisi oldukça yüksek ($Q_{500}=310 \text{ m}^3/\text{s}$) olan bir deredir. Özlüce köyünü geçtikten sonra Nilüfer Çayına bağlanmaktadır. Eğimi son derece düşük olduğundan bölgede taşkınlara sebep olmamak için zamanla yatakta oluşan bitkiler ve rusubat birikimleri DSİ tarafından periyodik olarak temizlenmektedir. Bölgenin evsel ve endüstriyel atık suları Özlüce Arıtma Tesisinde arıtıldıktan sonra Ayvalı Deresine deşarj olmaktadır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Arıtma Çamuru Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Penguen Konserve Fabrikası arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru örneği belt filtre çıkışından alınmıştır. Laboratuara getirilen arıtma çamuru örneklerinde % katı madde tayini derhal yapılmış, bir kısım çamur ise kimyasal analizler için havada kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruyan örnekler havada ezilerek 2 mm'lik eleklerden elenmiş ve cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunda aşağıda belirtilen parametreler belirlenmiştir:

a-% Katı Madde:

Arıtma çamuru örneklerindeki % katı madde miktarı, nemin 105°C'de buharlaştırılması suretiyle belirlenmiştir (Anonim 1985).

b-Organik Karbon:

Arıtma çamuru örneklerindeki organik karbon %'leri Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Nelson ve Sommers 1982).

c-Toplam Azot ve Anorganik Azot Fraksiyonları:

Arıtma çamurlarının toplam azot içeriğinin belirlenmesi için Kjeldahl yöntemiyle yakma yapılmış ve toplam azot konsantrasyonu su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremner ve Mulvaney 1982).

Nitrat ve amonyum azotu miktarlarının belirlenmesi için örnekler 1.0 N KCl çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu yöntemi uygulanmıştır (Keeney ve Nelson 1982).

d-Toplam ve Yarayışlı Fosfor:

Yarayışlı fosfor miktarlarının belirlenmesi için sodyum bikarbonat ekstraksiyonu uygulanmıştır (Olsen ve Sommers 1982). Toplam fosfor miktarının belirlenmesi için ise nitrik asit ve sülfürik asitle yakma yapılmıştır. Ekstraktlardaki fosfor miktarı askorbik asit yöntemi kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Murphy ve Riley 1962).

e-C/N Oranı:

Organik karbon ve toplam azot değerlerinden hesaplanmıştır.

f-Elektriksel İletkenlik ve pH:

Çamurların elektriksel iletkenliği 1:2.5 çamur su ekstraktında iletkenlik ölçer cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Çamurların pH değerleri 1:2.5 çamur su ekstraktında potansiyometrik olarak cam elektrodlu pHmetre ile belirlenmiştir.

g-Serbest İyonlar:

Arıtma çamurlarındaki serbest iyonların belirlenmesi için örnekler saf su ile ekstrakte edilmiş, sudaki bağımsız iyonlardan kalsiyum ve magnezyum EDTA titrasyonu ile, sodyum ve potasyum alev fotometresi ile, karbonat ve bikarbonat sülfürik asit titrasyonu ile, klorür Arjantimetrik metot ile ve sülfat gravimetrik olarak belirlenmiştir (Anonim 1985).

h-Ağır Metaller:

Arıtma amurlarının ağır metal tayininin yapılması için çamur örneklerine 6ml. nitrik asit ve 4ml. hidroklorik asit ilave edilmiştir. 180 PAC basınç ve 200°C sıcaklık ile 10 dakika ısıtma ve 10 dakika mikro dalga işlemi yapılmıştır. ıkan numuneler 100 ml.' e tamamlanarak ICP cihazında okutulmuştur (McGrath ve Cunliffe 1985).

3.2.2. Toprak Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu

0–20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri naylon çuvallar içerisinde laboratuara getirilmiştir. Hava kuru durumuna gelinceye kadar laboratuvar ortamında kurumaya bırakılan toprak örneklerindeki taşlar ayıklanmış ve örnekler ezilerek 4 mm'lik eleklerden elenmiştir. Elenen toprak örneklerinin bir kısmı laboratuvar analizlerinde kullanılmak üzere ayrılmış geri kalan kısmı ise inkübasyon çalışmasında kullanılmıştır. Laboratuvar analizlerinde kullanılmak üzere ayrılan kısım tekrar ezilerek 2 mm'lik eleklerden geçirilmiş ve etiketlenmiş cam kavanozlar içerisinde saklanmıştır. Toprak örneklerinin karakterize edilmesi için % nem, organik madde, toplam azot, inorganik azot fraksiyonları, C/N oranı, toplam fosfor, bitkiye yararlı fosfor, serbest iyonlar, pH, $EC_{25}^{\circ}C$, ağır metaller daha önce belirtilen yöntemlerle tespit edilmiştir. Toprakların bünye analizleri mekanik analiz yöntemi ile hidrometrik olarak yapılmıştır (Gee ve Bauder 1982). Çalışmada kullanılan toprakta aşağıda belirtilen enzim aktiviteleri belirlenmiştir:

a-Üreaz Enzim Aktivitesi:

Üreaz aktivitesinin belirlenmesi için 5 gr toprak örneğine 0,2 ml toluen, 9 ml THAM tampon çözeltisi (pH=9) ve 1 ml 0,2 M üre çözeltisi eklenmiş topraklar $37^{\circ}C$ 'de 2 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından topraklara yaklaşık 35 ml KCl-Ag₂SO₄ eklenerek aktivite durdurulmuş ve toprak süspansiyonundaki amonyum azotu miktarı buhar destilasyonu ile belirlenmiştir. Sonuçlar $\mu g NH_4^+-N/$ gr kuru toprak.sa cinsinden hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

b-Fosfataz Enzim Aktivitesi:

Fosfataz aktivitesinin belirlenmesi için 1 gr toprak örneğine 0,2 ml toluen, 4 ml MUB (asit fosfataz için pH=6,5, alkali fosfataz için pH=11) ve sübstrat olarak aynı tamponla hazırlanmış 1 ml p-nitrofenil fosfat eklenmiştir. Toprak örnekleri $37^{\circ}C$ 'de 1 saat inkübe edilmiş, inkübasyonun ardından toprak örneklerine 1 ml 0,5 M CaCl₂ ve 4

ml 0,5 M NaOH eklenerek aktivite durdurulmuş ve toprak süspansiyonu katlı filtreden süzölmüştür. Oluşan sarı renk yoğunluğu 410 nm'de belirlenmiştir. Filtratın ρ -nitrofenol (PNP) içeriği saf ρ -nitrofenolle hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar $\mu\text{g PNP/ gr kuru toprak.sa}$ olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

c-Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi:

Dehidrogenaz aktivitesini belirlemek üzere 20 gr hava kuru toprak 0,2 gr CaCO_3 ile karıştırılmış ve bu karışımdan 6 gr alınarak üzerine 1 ml %3'lük TTC (2,3,5-trifenil tetrazolyum klorür) çözeltisi ve 2,5 ml destile su eklenmiştir. Tüplerdeki karışım cam bagetle karıştırılır ve ağzı kapanarak 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından karışıma 10 ml metanol eklenerek 1 dk karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyon pamuktan süzölmüştür. Elde edilen kırmızı renk 485 nm'de ölçölmüştür. Filtratın TPF (trifenil formazan) içeriği TPF standart çözeltisinden hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar $\mu\text{g TPF/ gr kuru toprak.sa}$ olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

d- β -Glukosidaz Enzim Aktivitesi:

β -glukosidaz aktivitesini belirlemek üzere 1 gr toprak üzerine 0,25 ml toluen, 4 ml MUB (pH=6) ve 1 ml PNG (ρ -nitrofenil- β -D-glukosit) eklenmiştir. 37 °C'de 1 saat inkübe edildikten sonra örnekler üzerine 1 ml 0,5 M CaCl_2 ve 4 ml 0,1 M THAM tampon çözeltisi (pH=12) eklenmiştir. Katlı filtreden süzölen toprak süspansiyonundaki sarı renk yoğunluğu 410 nm'de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Filtratın ρ -nitrofenol (PNP) içeriği saf ρ -nitrofenolle hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar $\mu\text{g PNP/ gr kuru toprak.sa}$ olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

3.2.3. Su Örneğinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan su örneği Ayvalı Deresinin en son noktasından alınmıştır. Bu yüzden sulamada kullanılan suyun kirlilik yükü oldukça fazladır. Örnek alma noktası Özlüce Batı Arıtma Tesisinin deşarjından daha ileriki bir noktadır. Su örnekleri derenin ortasına yakın bir noktadan yüzeyin daha aşağısından homojen bir şekilde pompa yardımıyla alınmıştır. Alınan su örneği naylon bidonlarda taşınarak, daha sonra büyük bir varil içinde karıştırılmıştır. Su örneği soğuk ve güneş ışığı almayan bir yerde inkübasyon süresince saklanmıştır. Çalışmada kullanılan su örneğinde aşağıda belirtilen parametreler belirlenmiştir:

a-Elektriksel İletkenlik ve pH:

Su örneğinin elektriksel iletkenlik parametresi, cam elektrotlu elektriksel iletkenlik cihazı ile ölçülmüştür. Su örneklerinin pH tayini ise cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür. pH değeri 0.01 hassaslıkla kaydedilmiştir.

b-İyonlar:

Su örneğindeki kalsiyum ve magnezyum EDTA titrasyonu ile sodyum ve potasyum alev fotometresi ile karbonat ve bikarbonat sülfürik asit titrasyonu ile klorür Arjantimetrik metot ile ve sülfat gravimetrik olarak belirlenmiştir (Anonim 1985).

c-Toplam Azot ve Anorganik Azot Fraksiyonları:

Su örneğinin toplam azot içeriğinin belirlenmesi için Kjeldahl yöntemiyle yakma yapılmış ve toplam azot konsantrasyonu su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremner ve Mulvaney 1982).

Nitrat ve amonyum azotu miktarlarının belirlenmesi için örnekler MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu yöntemi uygulanmıştır (Keeney ve Nelson 1982).

d-Toplam ve Orto Fosfor:

Su örneğindeki orto fosfor miktarı molibdofosforik mavi renk yöntemine göre kolorimetrik olarak spektrofotometre ile belirlenmiştir (Olsen ve Sommers 1982). Toplam fosfor miktarının belirlenmesi için ise nitrik asit ve sülfürik asitle yakma yapılmıştır. Ekstraktardaki fosfor miktarı askorbik asit yöntemi kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Murphy ve Riley 1962).

e-Katı Maddeler:

Toplam katı madde miktarı su örneğinin su banyosunda buharlaştırıldıktan sonra 103-105^oC' de etüvde kurutulmasından sonra geriye kalan madde olarak bulunmuştur. Askıda katı maddeler, su örneğinin filtre kağıdından geçmeyen kısmının; 103^oC' de etüvde 1 saat kurutulması, desikatörde soğutulup, tartılması suretiyle tayin edilmiştir. Toplam katı madde deneyi yapıldıktan sonra kap ve içindeki kalan maddeler 15–20 dakika süre ile 550 ^oC' de fırında tutulur ve kap içinde kalanlar tekrar tartılır. Bu da uçucu katı madde değeri olarak bulunmuştur (Şengül ve Türkman 1998).

f-Biyolojik ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ve KOİ):

Biyolojik ve kimyasal oksijen ihtiyacı kit yardımıyla spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

g-Yağ ve Gres:

Su örneğindeki yağ ve gres triklorotrifloroetan (freon)'da çözünmeleri esasına dayanarak tayin edilmiştir (Şengül ve Türkman 1998).

h-Ağır Metaller:

Su örneğinin ağır metal tayininin yapılması örneklere 6ml. nitrik asit ve 4ml. hidroklorik asit ilave edilmiştir. 180 PAC basınç ve 200^oC sıcaklık ile 10 dakika ısıtma

ve 10 dakika mikro dalga işlemi yapılmıştır. Çıkan numuneler 100 ml.' e tamamlanarak ICP cihazında okutulmuştur (McGrath ve Cunliffe1985).

3.2.4. Toprak İnkübasyon Düzenine Kurulması

Araştırma inkübasyon denemesi olarak 3 farklı arıtma çamuru dozu (50 ton/ha-100 ton/ha-200 ton/ha) ve kontrol ile beraber 13 konulu olmak üzere toplam 52 konulu, 2 tekrarlamalı ve 11 inkübasyon döneminde yürütülmüştür. Tanımlanan inkübasyon çalışması iki farklı (Ayvalı deresinden sulama yapılan ve yapılmayan) toprak için uygulanmıştır.

Plastik kaplara konulan karışımlar tarla kapasitesinin % 70'i oranında nemlendirilmiş ve 28°Cye ayarlanmış inkübatörde inkübasyona alınmıştır. Topraktaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilmiştir. 0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 ve 365 günlük inkübasyon süreleri sonrasında inkübasyona alınan plastik kaplardan toprak örnekleri alınmış, havada kurutulmuş ve 2 mm'lik eleklerden geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

3.2.5. Arıtma Çamuru Uygulanmış ve Sulama Yapılan Topraklarda Bir Yıllık İnkübasyon Süresince İzlenecek Parametreler

Farklı dozlarda arıtma çamurlarının uygulandığı ve sulama yapılan topraklarda ve herhangi bir uygulamanın yapılmadığı toprakta, belirlenen inkübasyon periyotları sonunda pH, EC₂₅ °c, toplam organik karbon, toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu, toplam fosfor, yarıyıllı fosfor, üreaz, asit fosfataz, alkali fosfataz, dehidrogenaz ve β-glukosidaz enzim aktiviteleri daha önce açıklanan yöntemlerle belirlenmiştir.

3.2.6. İstatistiksel Analiz

Deneme topraklarında yapılan farklı dozda çamur uygulamalarının, sulama tipinin ve inkübasyon süresinin toprakta belirlenen parametreler üzerine etkileri tekrarlamalı ölçüm varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ham Materyallerin Karakterizasyonu

4.1.1. Arıtma Çamuru

Çalışma kapsamında kullanılan Penguen arıtma çamurunun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Arıtma çamurunun pH değeri 6,86 ve elektriksel iletkenlik değeri 3,55 mS/cm'dir.

Arıtma çamurunun fekal koliform içeriği $6,70 \times 10^4$ MPN/g kuru çamur olarak bulunmuştur (Kocaer 2005).

Çamurun suda çözünebilir iyon konsantrasyonu incelendiğinde; Ca^{+2} 2350 mg/kg kuru çamur, Mg^{+2} 450 mg/kg kuru çamur, Na^+ 1379 mg/kg kuru çamur, K^+ 1743 mg/kg kuru çamur, HCO_3^- 1830 mg/kg kuru çamur, Cl^- 2929 mg/kg kuru çamur ve SO_4^- 6000 mg/kg kuru çamur olarak görülür.

Penguen arıtma çamurunun organik madde %'si %70,00, toplam azot %'si ise %5,2 olarak bulunmuştur. Çamurda belirlenen toplam azot konsantrasyonu, arıtma çamurunun potansiyel olarak belirgin bir azotlu gübre değerine sahip olduğunu göstermektedir. Çamurun C/N oranı 6,73 olarak bulunmuştur.

Penguen arıtma çamurunda belirlenen amonyum azotu miktarı 792,0 mg/kg kuru çamur ve nitrat azotu miktarı 181,0 mg/kg kuru çamur'dur.

Çamurun toplam fosfor içeriği % 0,50 ve yarıyıllı PO_4-P konsantrasyonu ise 216,2 mg/kg kuru çamur olarak bulunmuştur.

Arıtma çamurlarının tarımda kullanılıp kullanılmayacağını belirlemede baz alınan en önemli faktörlerden biri de ağır metal içerikleridir. Çalışmada kullanılan evsel nitelikli (gıda endüstrisi orijinli) arıtma çamurunun ağır metal içeriği beklendiği gibi oldukça düşük bulunmuştur. Çamurda bulunan toplam Cd, Cr, Cu, Mn ve Pb konsantrasyonları Toprak Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tarımda kullanılacak arıtma çamurunda izin verilen maksimum ağır metal değerlerinin altındadır. Penguen arıtma çamurunun nitrik asit ekstratında belirlenen ağır metal konsantrasyonları; 2,0 mg Cd /kg kuru çamur, 22,4 mg Cr /kg kuru çamur, 30,0 mg Cu /kg kuru çamur, 12,4 mg Mn /kg kuru çamur ve 18,3 mg Pb /kg kuru çamur'dur. Analizi

yapılan parametreler itibarıyla, çalışmada kullanılan arıtma çamurunun tarımda kullanılmasında ilgili yönetmeliğe göre ağır metal içeriği yönünden bir sakınca olmadığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru örneğinin bazı kimyasal özellikleri.

PARAMETRE	DEĞERLER
pH (1:2,5 saf su ekstratında)	6,86
EC, mS/cm (1:2,5 saf su ekstratında)	3,55
Fekal Koliform, MPN/g kuru çamur	$6,70 \times 10^4$
Kuru madde, %	16,5
Suda çözünebilir iyonlar(mg/kg kuru çam.):	
Ca ⁺⁺	2350
Mg ⁺⁺	450
Na ⁺	1379
K ⁺	1743
CO ₃ ⁼	0
HCO ₃ ⁼	1830
Cl ⁻	2929
SO ₄ ⁼	6000
Organik Madde, %	70,00
Toplam N, %	5,2
C/N oranı	6,73
Amonyum N,mg/kg kuru çamur	792
Nitrat N, mg/kg kuru çamur	181
Toplam P, mg/kg kuru çamur	0,50
Yarayışlı PO ₄ -P, mg/kg kuru çamur	216,2
HNO ₃ ile yaş yakılan çamur örneklerindeki ağır metaller (mg/kg kuru çam.):	
Cd	2,00
Cr	22,4
Cu	30,0
Mn	12,4
Pb	18,3

4.1.2. Toprak Örneği

İnkübasyon denemesinde kullanılan toprağın bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği gibi toprağın pH değeri 7,48 ve elektriksel iletkenlik değeri 614 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Toprak killi bünyelidir.

Toprak örneğinin suda çözünebilir iyon konsantrasyonları, Ca^{+2} 35 mg/kg kuru toprak, Mg^{+2} 23,8 mg/kg kuru toprak, Na^{+} 124,88 mg/kg kuru toprak, K^{+} 3,81 mg/kg kuru toprak, HCO_3^{-} 533,75 mg/kg kuru toprak, Cl^{-} 155,31 mg/kg kuru toprak ve SO_4^{-} 284,2 mg/kg kuru toprak olarak bulunmuştur.

Toprak örneğinin organik karbon %’si %1,2 olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan toprak Ünal ve Başkaya (1981) tarafından bildirilen sınır değerlere göre orta humuslu toprak sınıfına girmektedir. Toprak örneğinin toplam azot içeriği % 0,12 olarak bulunmuştur. Çoğu tarım topraklarında, üst topraklardaki toplam azotun % 0,06 ila % 0,5 arasında değiştii literatürde belirtilmiştir (Kacar 1994). Toprağın C/N oranı ise 10,0 olarak hesaplanmıştır.

Toprak örneğinde belirlenen amonyum azotu miktarı 8,5 mg/kg kuru toprak ve nitrat azotu miktarı 5,7 mg/kg kuru toprak’tır.

İnkübasyon çalışmasında kullanılan toprak örneğinin yarayışlı fosfor konsantrasyonu 39,25 mg/kg kuru toprak ve toplam fosfor içeriği 911,79 mg/kg kuru toprak olarak bulunmuştur.

Toprak örneğinin asit fosfataz konsantrasyonu 58,07 $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat, alkali fosfataz konsantrasyonu 98,075 $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat, β -glikosidaz konsantrasyonu 40,51 $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat, dehidrogenaz konsantrasyonu 3,545 $\mu\text{g TPF/g}$ kuru toprak saat ve üreaz konsantrasyonu 28,275 $\mu\text{g NH}_4^{+}\text{-N/g}$ kuru toprak saat olarak bulunmuştur.

İnkübasyon çalışmasında kullanılan toprak örneğinin nitrik asit ekstratında belirlenen ağır metal konsantrasyonları; 0,3 mg Cd /kg kuru toprak, 236,0 mg Cr /kg kuru toprak, 847,0 mg Cu /kg kuru toprak, 963,0 mg Mn /kg kuru toprak ve 24,6 mg Pb /kg kuru toprak’tır.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ne göre arıtma çamuru uygulanacak toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal içerikleri (pH>6 olan topraklarda) Zn için 300 mg/kg kuru çamur, Cu için 140 mg/kg kuru çamur, Ni için 75 mg/kg kuru

çamur, Cr için 100 mg/kg kuru çamur, Cd için 3 mg/kg kuru çamur, Pb için 300 mg/kg kuru çamur' dur. Analizi yapılan parametreler itibarıyla, inkübasyon çalışmasında kullanılan toprak örneğine arıtma çamuru uygulanmasında, ağır metal içeriği yönünden bir sakınca olmadığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan toprak örneğinin bazı kimyasal özellikleri.

PARAMETRE	DEĞERLER
pH (1:2,5 saf su ekstratında)	7,48
EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1:2,5 saf su ekstratında)	614,0
Tekstür	Killi
Kum(%)	28
Silt(%)	29
Kil(%)	43
Suda çözünebilir iyonlar (mg/kg kuru toprak)	
Ca^{++}	35
Mg^{++}	23,4
Na^+	124,88
K^+	3,81
$\text{CO}_3^{=}$	0
$\text{HCO}_3^{=}$	533,75
Cl^-	155,31
$\text{SO}_4^{=}$	284,2
Organik Karbon, %	2,0
Toplam N, %	0,2
C/N oranı	10,0
Amonyum N,mg/kg kuru toprak	22,3
Nitrat N, mg/kg kuru toprak	11,4
Toplam P, mg/kg kuru toprak	918
Yarayışlı $\text{PO}_4\text{-P}$, mg/kg kuru toprak	41,25
Asit Fosfataz, $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat	58,1
Alkali Fosfataz, $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat	98,8
β -glikosidaz, $\mu\text{g p-nit/g}$ kuru toprak saat	40,51
Dehidrogenaz, $\mu\text{g TPF/g}$ kuru toprak saat	3,545
Üreaz, $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak saat	28,275
HNO_3 ile yaş yakılan toprak örneklerindeki ağır metaller (mg/kg kuru top.):	
Cd	0,3
Cr	236
Cu	847
Mn	963
Pb	24,6

4.1.3. Ayvalı Deresi Suyu

Çalışma kapsamında kullanılan Ayvalı Deresi suyunun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.3' de verilmiştir. Suyun pH değeri 7,59 ve elektriki iletkenlik değeri 4,18 mS/cm'dir.

Suyun iyon konsantrasyonu incelendiğinde; Ca^{+2} 80 mg/l, Mg^{+2} 60 mg/l, Na^+ 522,5 mg/l, K^+ 57 mg/l, HCO_3^- 762,5 mg/l, Cl^- 1020,625 mg/l ve $SO_4^{=}$ 150 mg/l olarak görülür.

Ayvalı Deresi suyunda belirlenen amonyum azotu miktarı 16,97 mg/l ve nitrat azotu miktarı 1,94 mg/l'dir. Suyun toplam azot değeri ise 239 mg/l'dir.

Ayvalı deresi suyunun toplam fosfor miktarı 8,59 mg/l ve orto fosfat miktarı ise 13,75 mg/l'dir.

Suyun toplam katı madde miktarı 825 mg/l, askıda katı madde miktarı 250 mg/l ve uçucu katı madde miktarı ise 105 mg/l'dir.

Ayvalı Deresi suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı 258 mg/l ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı 179 mg/l'dir. Suyun yağ ve gres miktarı ise 53,9 mg/l'dir.

İnkübasyon çalışmasında kullanılan su örneğinin nitrik asit ile yağ yakılmasıyla belirlenen ağır metal konsantrasyonları; 10,0 mg Cd /l, 16,03 mg Cr /l, 7,3 mg Cu /l, 10,12 mg Mn /l ve 12,39 mg Pb /l'dir.

Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan Ayvalı Deresi'nin bazı kimyasal özellikleri.

PARAMETRE	DEĞERLER
pH	7,59
EC, mS/cm	4,18
Ca ⁺⁺ (mg/l)	80
Mg ⁺⁺ (mg/l)	60
Na ⁺ (mg/l)	522,5
K ⁺ (mg/l)	57
CO ₃ ⁼ (mg/l)	0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	762,5
Cl ⁻ (mg/l)	1020,625
SO ₄ ⁼ (mg/l)	150
Amonyum N (mg/l)	16,97
Nitrat N (mg/l)	1,94
Toplam P (mg/l)	8,59
Toplam N (mg/l)	239
Orto Fosfor (mg/l)	13,75
Toplam katı madde (mg/l)	825
Toplam askıda katı madde (mg/l)	250
Toplam uçucu katı madde (mg/l)	105
KOİ (mg/l)	258
BOİ (mg/l)	179
Yağ-gres (mg/l)	53,9
HNO ₃ ile yaş yakılan su örneklerindeki ağır metaller (mg/l):	
Cd	10,0
Cr	16,03
Cu	7,3
Mn	10,12
Pb	12,39

4.2. Arıtma Çamuru Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresince Meydana Gelen Değişiklikler

4.2.1. pH ve EC

4.2.1.1. pH

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen pH parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur. Uygulanan farklı dozda çamurların toprağın pH değeri üzerinde önemli etkileri olmuştur. Zamana bağlı olarak toprağın pH değerindeki değişim önemli bulunmuştur.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki pH değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. pH parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	683479,4	0,000*
Çamur Dozu	3	28,5	0,000*
Sulama Tipi	1	3,6	0,093
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,5	0,665
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	15,1	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	1,3	0,192
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	4,3	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	1,3	0,189
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Arıtma çamuru uygulanmamış toprak örneklerinde Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmalarında inkübasyon süresince pH değerlerinde küçük azalmalar gözlenmiştir.

50 ton/ha ve 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinin pH değerlerinde Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmalarına bağlı olarak benzer şekilde küçük

azalmalar görülmüştür ancak inkübasyon süresince çok büyük değişimler gözlenmemiştir.

200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinde Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmalarında inkübasyon süresince pH değerlerinde gözle görülür azalmalar tespit edilmiştir.

Her iki sulama tipinde de çamur uygulanan topraklarda belirlenen pH değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerinden daha düşüktür ve çamur uygulama dozu arttıkça da pH değeri düşmektedir.

Çamur uygulaması yapılan ve yapılmayan topraklarda inkübasyon süresine bağlı bir azalma eğilimi olduğu gözlenmiştir. Çamurla birlikte toprak ortamına katılan organik maddelerin huminleşme ve mineralizasyonları esnasında biyolojik aktiviteye bağlı olarak oluşan küçük moleküllü organik ve anorganik asitlerin aktif asitliği arttırdığı ve muhtemelen pH değerini düşürmüş olabileceği sanılmaktadır. Benzer şekilde, Ünal (2002) ve Wong ve ark. (1998) tarafından yürütülen çalışmalarda da çamur uygulanmış toprakların pH değerlerinin inkübasyon süresi arttıkça bir azalma eğilimi gösterdiği vurgulanmıştır.

4.2.1.2. Elektriksel İletkenlik

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen EC parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları, sulama tipleri ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur. Toprağın EC değeri uygulanan çamur dozuna bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. Ayvalı Deresinden yapılan sulama toprağın EC değerini önemli ölçüde etkilemiştir. Zamana bağlı olarak toprağın EC değerindeki değişim önemli bulunmuştur.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki EC değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. EC parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	2841,9	0,000*
Çamur Dozu	3	62,2	0,000*
Sulama Tipi	1	317,4	0,000*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,8	0,535
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	152,7	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	2,0	0,008*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	44,6	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,9	0,585
Hata	80		

*p<0,01

** p<0,05

Arıtma çamuru uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların EC değerlerinin saf su ile sulananlardan daha büyük olduğu görülmektedir. İnkübasyon süresi arttıkça Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan toprak örneklerinin her ikisinin de EC değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

50 ton/ha ve 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış topraklarda Ayvalı Deresi ile sulanan örneklerin EC değerlerinin inkübasyon süresince saf su ile sulanan örneklerden büyük olduğu görülmektedir. İnkübasyon süresi arttıkça Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan toprak örneklerinin her ikisinin de EC değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

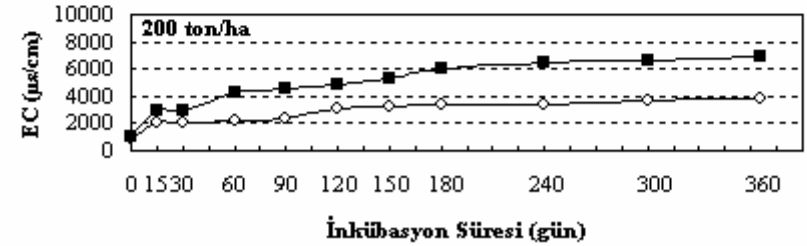
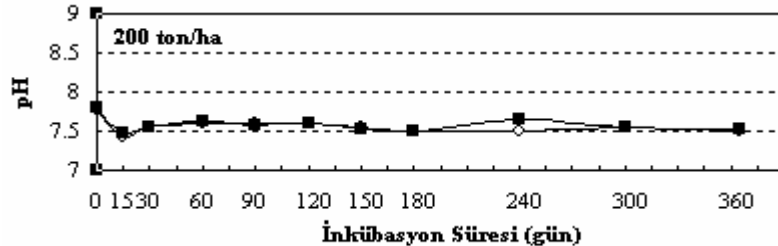
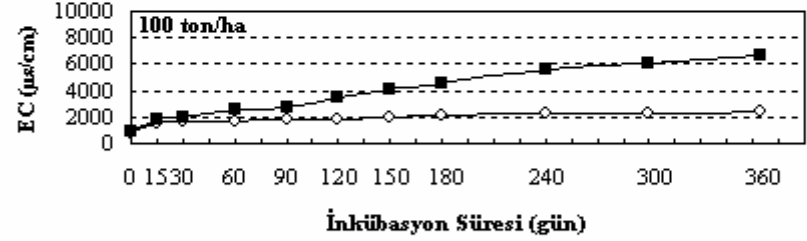
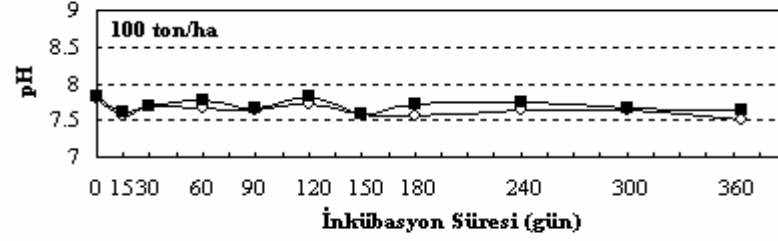
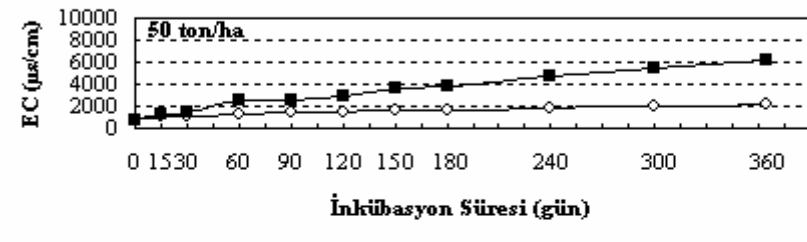
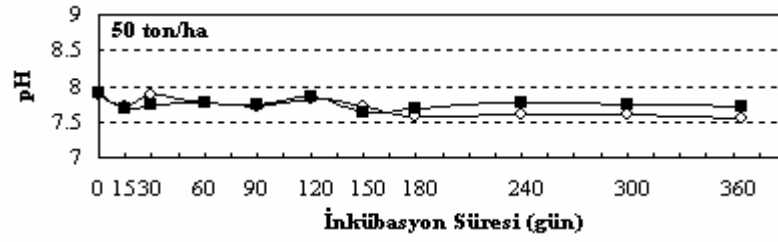
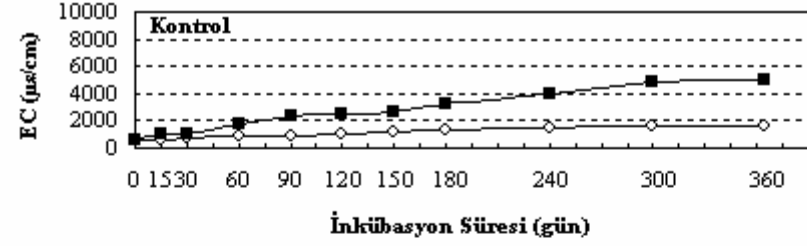
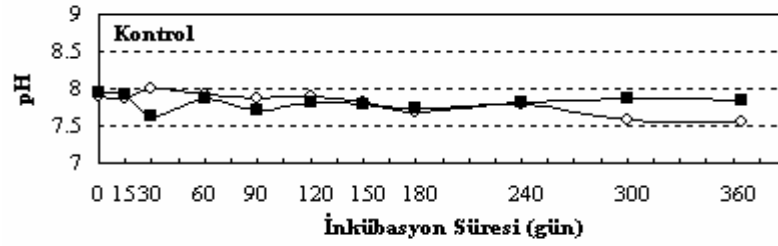
200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinde Ayvalı Deresi ile sulananların inkübasyon süresince EC değerlerinin saf su ile sulananlardan büyük olduğu gözlenmiştir. İnkübasyon süresi arttıkça Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan toprak örneklerinin her ikisinin de EC değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların EC değerleri saf su ile sulanan topraklara göre daha büyük değişimler göstermiştir. Ayvalı Deresi ile sulanmış toprakların EC değerleri inkübasyon süresince saf su ile sulanan topraklardan daha yüksektir.

Çamur uygulaması yapılan ve yapılmayan topraklarda EC değerlerinin inkübasyon süresine bağlı bir artış eğilimi olduğu gözlenmiştir. Çamur uygulanan topraklarda belirlenen EC değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerinden daha yüksektir ve genel olarak çamur uygulama dozu arttıkça EC değeri de artmaktadır. Çamur uygulamaları sonucunda, çamurun yüksek tuz içeriğinin etkisiyle EC değerleri önemli ölçüde artmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarının toprak tuzluluğunu ciddi

boyutlarda arttırdığı/arttırabileceği çok sayıda çalışmada vurgulanmıştır (Navas ve ark. 1998, Carlson ve Adriano 1993).

Genel olarak çamur uygulaması yapılan ve yapılmayan toprakların EC değerlerinin inkübasyon süresine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Ancak çamur uygulanan ve Ayvalı Deresi ile sulanan topraklarda gözlenen artış eğilimi çok daha belirgindir.



—○— Saf Su —■— Ayvalı

—○— Saf Su —■— Ayvalı

Şekil 4.1. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen pH ve EC değişimleri.

4.2.2. Azot

4.2.2.1. Amonyum Azotu

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen amonyum azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları $p<0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Çamur dozlarına bağlı olarak toprağın amonyum azotu değeri değişim göstermiştir. Inkübasyon süresi ve sulama tipi de $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Deneme topraklarının amonyum azotu değeri zamana ve Ayvalı deresinden yapılan sulamaya bağlı olarak değişim göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki amonyum azotu değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.6. Amonyum azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	62780,4	0,000*
Çamur Dozu	3	25,0	0,000*
Sulama Tipi	1	98,0	0,000*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,9	0,478
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	151,7	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	2,4	0,001*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	4,9	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	2,0	0,009*
Hata	80		

* $p<0,01$

** $p<0,05$

Arıtma çamuru uygulanmamış toprak örneklerinin amonyum azotu değerleri Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak inkübasyonun 240. gününe kadar artış göstermiştir, 240. günden sonra 2 sulama tipinde de küçük düşüşler gözlenmiştir. Kontrol topraklarında Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak büyük farklılıklar görülmemiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinin amonyum azotu değerleri Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak inkübasyonun 240. ve 360. gününe kadar artış göstermiştir, bu günlerden sonra 2 sulama tipinde de küçük düşüşler gözlenmiştir. 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış topraklarda Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak büyük farklılıklar görülmemiştir.

Arıtma çamuru uygulanmış ve uygulanmamış topraklarda genel olarak saf su ile sulanmış örneklerinin amonyum azotu değerleri Ayvalı deresi ile sulanan örneklere göre daha yüksektir. Ancak çok büyük farklar tespit edilmemiştir.

Önemli düzeyde organik azot içeren arıtma çamurlarının uygulanmış olduğu topraklarda, inkübasyon süresince belirlenen düşük amonyum azotu konsantrasyonları mineralizasyonunun olmadığı veya ilk 3 aylık inkübasyon periyodunun ardından nitrifikasyon prosesinin baskın olduğunu ve amonifikasyonu takiben hızlı bir nitrifikasyon olduğunu düşündürmektedir. Taşatar (1997) tarafından yürütülen kısa dönem inkübasyon çalışmasında da inkübasyonun ilk birkaç haftasında hızlı bir amonifikasyon olduğu, amonyum azotu konsantrasyonunun inkübasyon dönemi içinde kademeli bir azalma gösterdiği ve 140. gün örneklerinde kontrol ve çamur uygulanmış topraklar arasında amonyum azotu açısından bir fark gözlenmediği vurgulanmıştır.

4.2.2.2. Nitrat Azotu

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen nitrat azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Toprağın nitrat azotu değeri zamana bağlı olarak önemli ölçüde artış göstermiştir. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın nitrat azotu değeri üzerinde etkili olmuştur ve çamur dozuna bağlı olarak nitrat azotu değeri de artış göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki nitrat azotu değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.7. Nitrat azotu parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	3451,6	0,000*
Çamur Dozu	3	291,5	0,000*
Sulama Tipi	1	4,3	0,072
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,2	0,873
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	226,2	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	13,5	0,000*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	2,7	0,007*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	1,3	0,184
Hata	80		

*p<0,01

** p<0,05

Arıtma çamuru uygulanmamış topraklarda inkübasyon süresince Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan örneklerin nitrat azotu değerleri artış göstermiştir. İnkübasyon süresince Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların nitrat azotu değerlerinin saf su ile sulananlardan büyük olduğu gözlenmiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinin nitrat azotu değerleri Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak inkübasyon süresince artış göstermiştir. Uygulanan 3 farklı arıtma çamuru dozunda da, 2 farklı sulama tipi arası büyük farklılıklar olmamakla birlikte genel olarak Ayvalı Deresi ile sulanmış deneme topraklarının nitrat azotu konsantrasyonlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

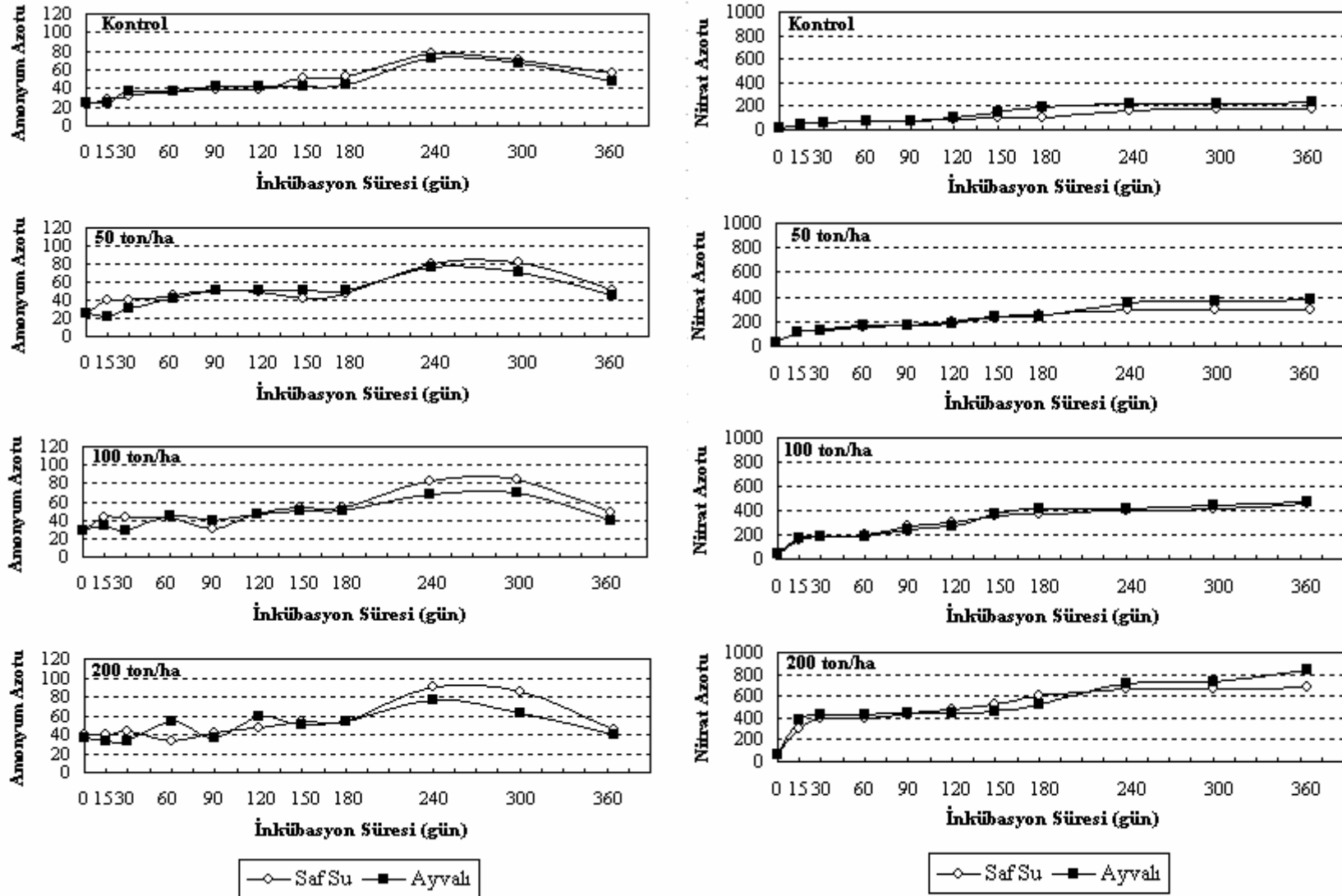
Çamur uygulaması yapılan ve yapılmayan topraklarda inkübasyon süresine bağlı bir artış eğilimi olduğu gözlenmiştir. Çamur uygulanan topraklarda belirlenen nitrat azotu değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerinden daha yüksektir ve çamur uygulama dozu arttıkça nitrat azotu değeri de artmaktadır. Gerek çamur uygulaması yapılmış topraklarda gerekse kontrol topraklarında inkübasyon süresine bağlı bir artış eğilimi gözlenmiştir.

Yürütülen inkübasyon çalışmasında çamur uygulanmış topraklarda düşük seviyelerde amonyum azotu ve yüksek seviyelerde nitrat azotu belirlenmesi, mevcut çalışma şartlarında nitrifikasyon prosesini inhibe edici faktörlerin olmadığını göstermektedir. Literatürde de toprak sistemine yüksek oranda arıtma çamuru yüklemesi yapılmadığı takdirde nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğü,

topraktaki amonyum azotu hızla tükenirken, nitrat azotunda büyük bir artış meydana geldiği belirtilmiştir (Sabey ve ark. 1975).

Arıtma çamuru uygulaması sonucu topraktaki nitrat azotu konsantrasyonlarının önemli ölçüde artmış olması yeraltı suları için olası nitrat kirliliği riskini de beraberinde getirmektedir. Literatürde de arıtma çamurundaki organik azotun hızlı mineralizasyonu sonucu yeraltı sularındaki nitrat seviyelerinin arttığına dikkat çeken çalışmalar yapılmıştır. Smith ve ark. (1998) özellikle sıvı formdaki çürütülmüş çamurların ve lagünlenmiş sıvı formdaki çürütülmemiş çamurların toprağa uygulanmasıyla toprakta büyük bir nitrat birikiminin meydana geldiğini vurgulamışlardır.

Ancak yürütülen inkübasyon çalışması şartlarında amonifikasyon ve nitrifikasyon sonucu nitrat azotu konsantrasyonunda meydana gelen artışın doğal şartlarda bu boyutta olması beklenmemektedir. Zira 28⁰C'de sabit tutulan sıcaklık, toprağın nem durumu, havalandırılmalı iklim odasının sağladığı şartlar, çevresel şartlara karşı oldukça hassas olan nitrosomonas ve nitrobakterler için en elverişli ortamı sağlamaktadır. Şüphesiz doğal ortamdaki iklim olaylarına bağlı değişimler sonucu bu düzeyde bir nitrat birikimi meydana gelmeyecektir. Öte yandan çeşitli toprak canlılarının ve bitkilerin mineral azot formlarını kullanıyor olması bu birikimin daha da az olmasını sağlayacaktır. Geriye kalan nitrat azotu ancak toprak yapısı müsaade ettiği ölçüde yeraltı suyu kirliliği açısından bir baskı oluşturacaktır.



Şekil 4.2. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Amonyum N (mg/kg kuru toprak) ve Nitrat N (mg/kg kuru toprak) değişimleri.

4.2.2.3. Toplam Azot

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen toplam azot parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve sulama tipleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Çamur uygulama dozu toprağın toplam azot değeri üzerinde etkili olmuştur. Ayvalı Deresinden yapılan sulamaya bağlı olarak toplam azot değeri değişim göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki toplam azot değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Toplam azot parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	13087,4	0,000*
Çamur Dozu	3	91,5	0,000*
Sulama Tipi	1	9,0	0,020*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,04	0,988
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	0,1	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	0,07	1,000
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	0,08	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,07	1,000
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Arıtma çamuru uygulanmamış topraklarda Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan örneklerin toplam azot değerleri inkübasyon süresince küçük salınımlar göstermiştir. Ayvalı Deresiyle sulanan kontrol topraklarının toplam azot değerlerinin saf su ile sulanan topraklardan inkübasyon süresince genel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinin toplam azot değerleri Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmaya bağlı olarak inkübasyon süresince küçük salınımlar yapmıştır. Uygulanan 3 farklı arıtma çamuru dozunda da, 2 farklı sulama tipi arası büyük farklılıklar olmamakla birlikte genel olarak

Ayvalı Deresi ile sulanmış topraklarının toplam azot konsantrasyonlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

Deneme topraklarına yapılan farklı dozdaki çamur uygulamaları topraklardaki toplam N içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır. Uygulanan çamur dozu arttıkça toprağın toplam N içeriği de genel olarak artmıştır.

Deneme topraklarında belirlenen toplam azot konsantrasyonlarının genel olarak inkübasyon süresine bağlı bir değişim göstermemesi, mevcut inkübasyon şartları altında denitrifikasyon ve/veya amonifikasyona bağlı gaz halde azot kayıplarının meydana gelmediğini göstermektedir. Sabey ve ark. (1975) ve Smith ve ark. (1998) tarafından yürütülen çalışmalarda da arıtma çamuru uygulanmış toprakların inkübasyon sonucu azot kaybının olmadığı veya çok az olduğu vurgulanmıştır.

4.2.3. Organik Karbon

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen organik karbon parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın organik karbon değeri üzerinde etkili olmuştur.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki organik karbon değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.9. Organik karbon parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	7507,0	0,000*
Çamur Dozu	3	54,93	0,000*
Sulama Tipi	1	5,18	0,052
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	0,02	0,996
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	0,04	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	0,00	1,000
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	0,03	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,00	1,000
Hata	80		

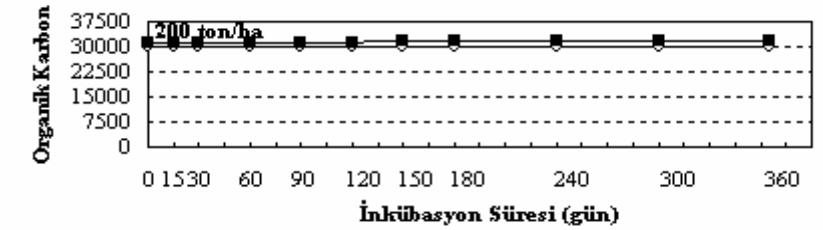
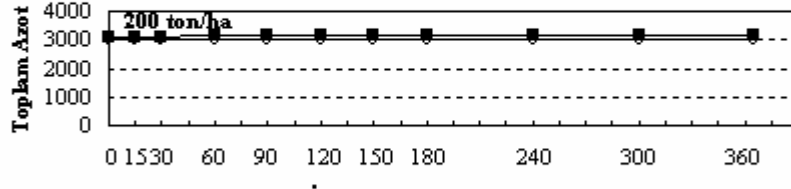
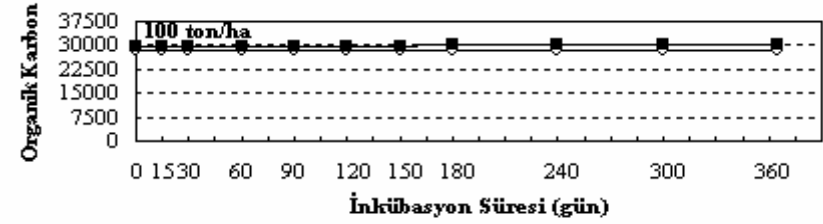
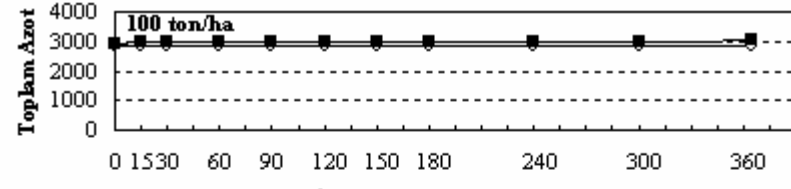
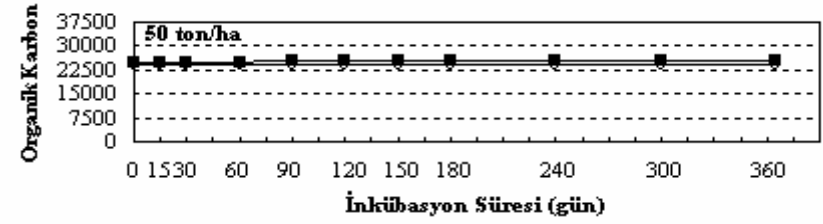
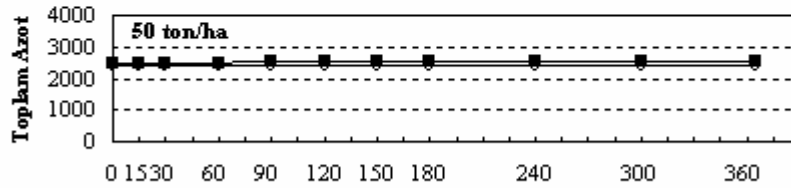
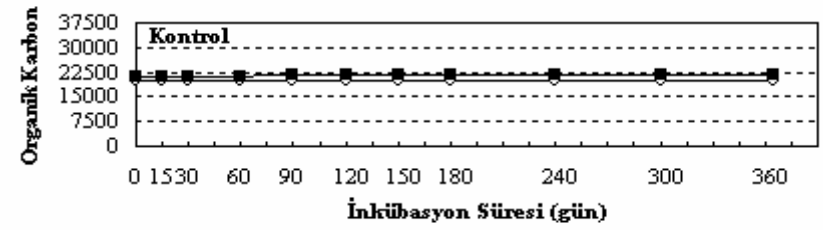
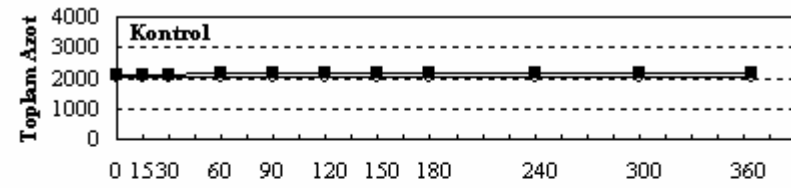
*p<0,01

** p<0,05

Aritma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların organik karbon içeriğinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki organik karbon seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar gösterse de belirli bir azalma ya da artma eğilimi gözlenmemiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulaması yapılmış topraklardaki organik karbon konsantrasyonlarının inkübasyon süresine bağlı değişimleri incelendiğinde her iki sulama tipinde de çok belirgin değişimler olmadığı görülmüştür. Çamur uygulanmış Ayvalı deresi ile sulanan deneme topraklarının organik karbon içeriği inkübasyon süresine bağlı olarak küçük artışlar göstermiştir.

Toprağa uygulanan arıtma çamuru dozu arttıkça, Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan toprak örneklerinin organik karbon içeriği de inkübasyon süresince belirgin artışlar göstermiştir.



—○— SafSu —■— Ayvalı

—○— SafSu —■— Ayvalı

Şekil 4.3. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Toplam N (mg/kg kuru toprak) ve Organik C (mg/kg kuru toprak) değişimleri.

4.2.4. Fosfor

4.2.4.1. Toplam Fosfor

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen toplam fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve sulama tipleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Ayvalı Deresinden sulanmaya bağlı olarak toprakların toplam fosfor değerlerindeki artış önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın toplam fosfor değeri üzerinde etkili olmuştur ve uygulanan çamur dozuna bağlı olarak toplam fosfor değeri artış göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki toplam fosfor değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.10. Toplam fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksyon	1	13910,2	0,000*
Çamur Dozu	3	138,4	0,000*
Sulama Tipi	1	158,4	0,000*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	3,5	0,68
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	0,07	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	0,01	1,000
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	0,02	1,000
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,01	1,000
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların toplam fosfor içeriğinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki toplam fosfor seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar gösterse de belirli bir azalma ya da artma eğilimi gözlenmemiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulaması yapılmış topraklardaki toplam fosfor konsantrasyonlarının inkübasyon süresine bağlı değişimleri incelendiğinde her iki sulama tipinde de çok belirgin değişimler olmadığı belirlenmiştir.

4990 mg/kg kuru çamur düzeyinde toplam fosfor içeren Penguen arıtma çamurunun toprağa uygulanmasıyla hem Ayvalı Deresi hem de saf su ile sulanan toprağın toplam fosfor içeriğinde bir artış meydana gelmiştir. Çamur uygulanan topraklarda belirlenen toplam fosfor değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerinden daha yüksektir ve çamur uygulama dozu arttıkça genel olarak toplam fosfor değeri de artmaktadır.

İnkübasyon süresince saf su ile sulanmış çamur uygulaması yapılmış ve yapılmamış toprakların toplam P içeriğinde önemli değişimler gözlenmezken, Ayvalı deresi ile sulanmış toprakların toplam P içeriğinde küçük artışlar gözlenmiştir.

Genel olarak Ayvalı deresi ile sulanan toprak örneklerinin toplam P içeriğinin saf su ile sulanan örneklere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.2.4.2. Yarayışlı Fosfor

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen yarayışlı fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları, sulama tipleri ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Zamana bağlı olarak toprakların yarayışlı fosfor değerlerindeki değişimler önemli görülmüştür. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın yarayışlı fosfor değeri üzerinde etkili olmuştur ve uygulanan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiştir. Ayvalı deresinden yapılan sulama toprakların yarayışlı fosfor değerleri için önemli bulunmuştur.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki yarayışlı fosfor değerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.11. Yarayışlı fosfor parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	14011,00	0,000*
Çamur Dozu	3	248,8	0,000*
Sulama Tipi	1	23,5	0,001*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	1,9	0,211
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	83,8	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	3,3	0,000*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	1,4	0,203
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,5	0,966
Hata	80		

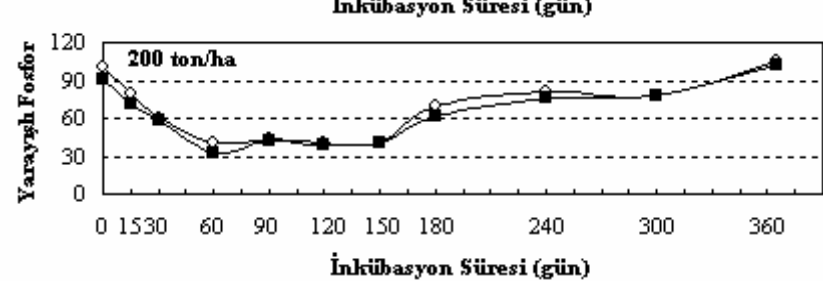
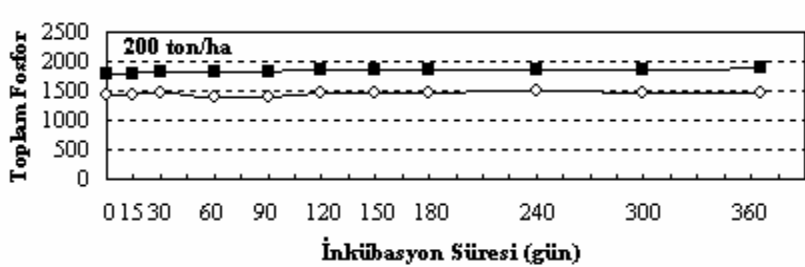
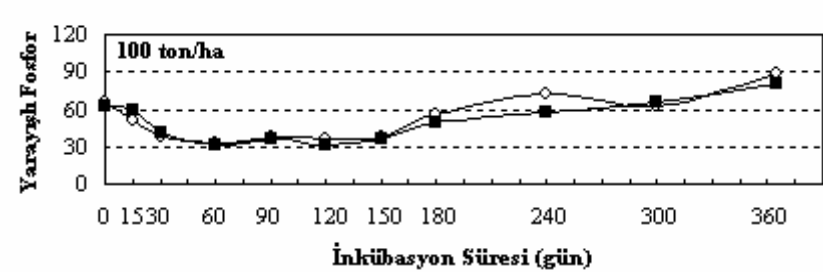
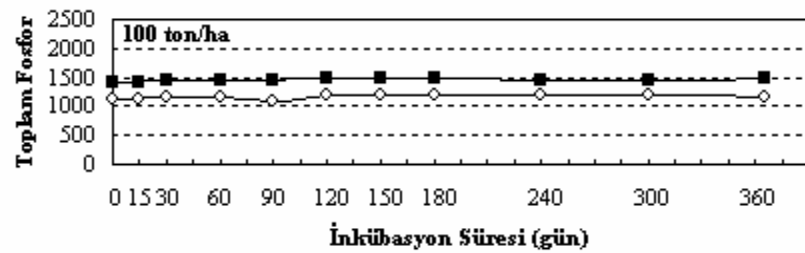
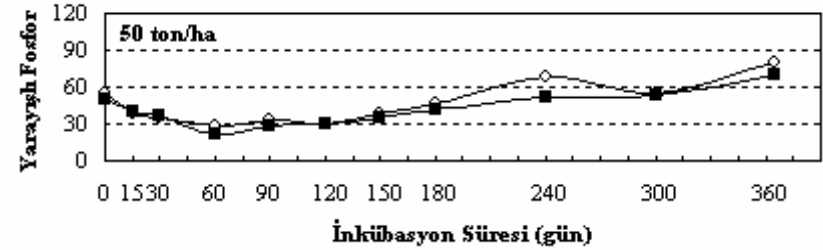
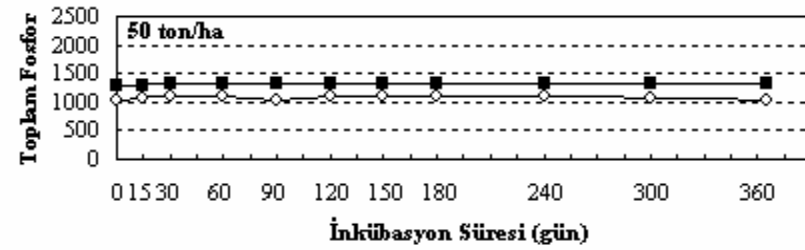
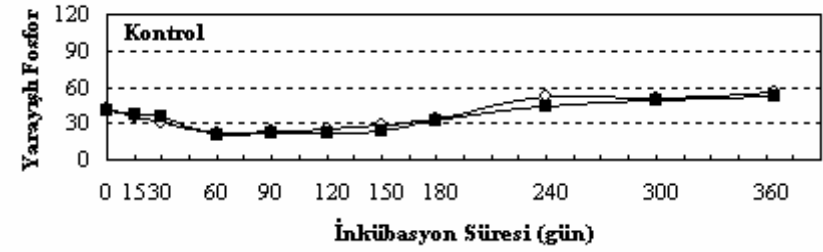
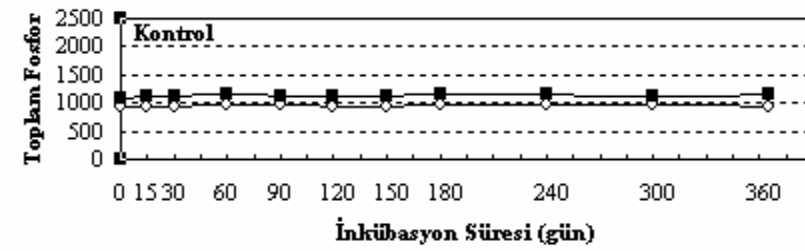
*p<0,01

** p<0,05

Aritma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların yarayışlı fosfor içeriğinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki yarayışlı fosfor seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber artış eğilimi göstermiştir.

50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha arıtma çamuru uygulaması yapılmış topraklardaki yarayışlı fosfor konsantrasyonlarındaki zamana bağlı değişim incelendiğinde Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan deneme topraklarının her ikisinde de 2.-5. aylar arasında bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. İnkübasyon süresince 2 farklı sulama yapılmış deneme topraklarındaki yarayışlı fosfor değerleri birbirine yakınlık göstermekle beraber, zamana bağlı olarak da benzer değişimleri sergilemişlerdir.

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan farklı dozlarda çamur uygulanan topraklarda belirlenen yarayışlı fosfor değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerinden daha yüksektir ve çamur uygulama dozu arttıkça yarayışlı fosfor değeri de artmaktadır.



—○— Saf Su —■— Ayvalı

—○— Saf Su —■— Ayvalı

Şekil 4.4. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Toplam P (mg/kg kuru toprak) ve Yarayışlı P (mg/kg kuru toprak) değişimleri.

4.2.5. Enzim Aktiviteleri

4.2.5.1. Asit Fosfataz Aktivitesi

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen asit fosfataz aktivitesi parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları, sulama tipleri ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın asit fosfataz aktivitesi üzerinde değişimlere neden olmuştur ve uygulanan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiştir. Ayvalı deresinden yapılan sulama toprağın asit fosfataz aktivitesi değerleri üzerinde etkili olmuştur. Zamana bağlı olarak toprağın asit fosfataz aktivitesi önemli ölçüde değişim göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki asit fosfataz aktivitesi değerlerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.5.’de görülmektedir.

Çizelge 4.12. Asit fosfataz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	23375,8	0,000*
Çamur Dozu	3	74,40	0,000*
Sulama Tipi	1	90,51	0,000*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	3,59	0,066
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	66,64	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	0,62	0,927
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	1,78	0,077
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,52	0,976
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış kontrol topraklarının maksimum asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 80,5 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 73,5 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların asit fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki asit fosfataz aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince

iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 108,00 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 114,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış 2 farklı sulama tipinde toprakların asit fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki asit fosfataz aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 170,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 164,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış 2 farklı sulama tipinde toprakların asit fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki asit fosfataz aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 281,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 266,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Ayvalı deresi ve saf su ile sulanan 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış topraklar için maksimum asit fosfataz aktivitesi değerleri 2. ayda elde edilmiştir. 2. aydan itibaren her iki sulama tipi içinde asit fosfataz aktivitesi değerleri düşme eğilimi göstermiştir.

Toprağa yapılan arıtma çamuru uygulamalarının muhtemelen organik P olarak eklenen substratın ve mikrobiyal biyomasın artışına bağlı olarak topraktaki asit fosfataz aktivitesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.

12 aylık inkübasyon sonunda Ayvalı deresi ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 44,2 µg PNP/g kuru toprak.sa, 58,2 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 100,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak bulunurken; saf su ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için asit fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 52,9 µg PNP/g kuru toprak.sa, 68,5 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 109,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların asit

fosfataz aktivitesi değerlerinin saf su ile sulanan topraklarınkinden biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin Ayvalı Deresi suyunda bulunan yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller olduğu düşünülmektedir. Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller enzim aktivitelelerini yavaşlatıcı ya da durdurucu etkiler gösterebilmektedir.

Benzer şekilde Kunito ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada içinde çinko ve bakır bulunan evsel atıksu arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile topraktaki enzim aktiviteleleri (asit fosfataz, alkali fosfataz, arilsülfataz, selülaz, dehidrogenaz, proteaz, üreaz ve β -glukosidaz) zerine uzun dönemli etkilerini araştırmışlardır. Kumlu toprağa 1 yıl içinde 2 kez arıtma çamuru uygulanmıştır. 1 yılın sonunda topraktaki asit fosfataz, alkali fosfataz, arilsülfataz, selülaz, dehidrogenaz, proteaz, üreaz ve β -glukosidaz enzim aktiviteleleri uygulanan ağır metallere bağlı olarak önemli ölçüde düşüş göstermiştir.

4.2.5.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen alkali fosfataz aktivitesi parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları izelge 4.13’de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve inkübasyon süreleri $p<0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın alkali fosfataz aktivitesi üzerinde değişimlere neden olmuştur ve uygulanan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiştir. Toprağın alkali fosfataz aktivitesi zamana bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki alkali fosfataz aktivitesi değerlerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim şekil 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.13. Alkali fosfataz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	4118,4	0,000*
Çamur Dozu	3	351,2	0,000*
Sulama Tipi	1	2,9	0,126
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	2,4	0,146
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	46,5	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	4,4	0,000*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	2,6	0,009*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,8	0,703
Hata	80		

*p<0,01

** p<0,05

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış kontrol topraklarının maksimum alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 172,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 188,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki alkali fosfataz aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 270,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 288,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış 2 farklı sulama tipinde toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki alkali fosfataz aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

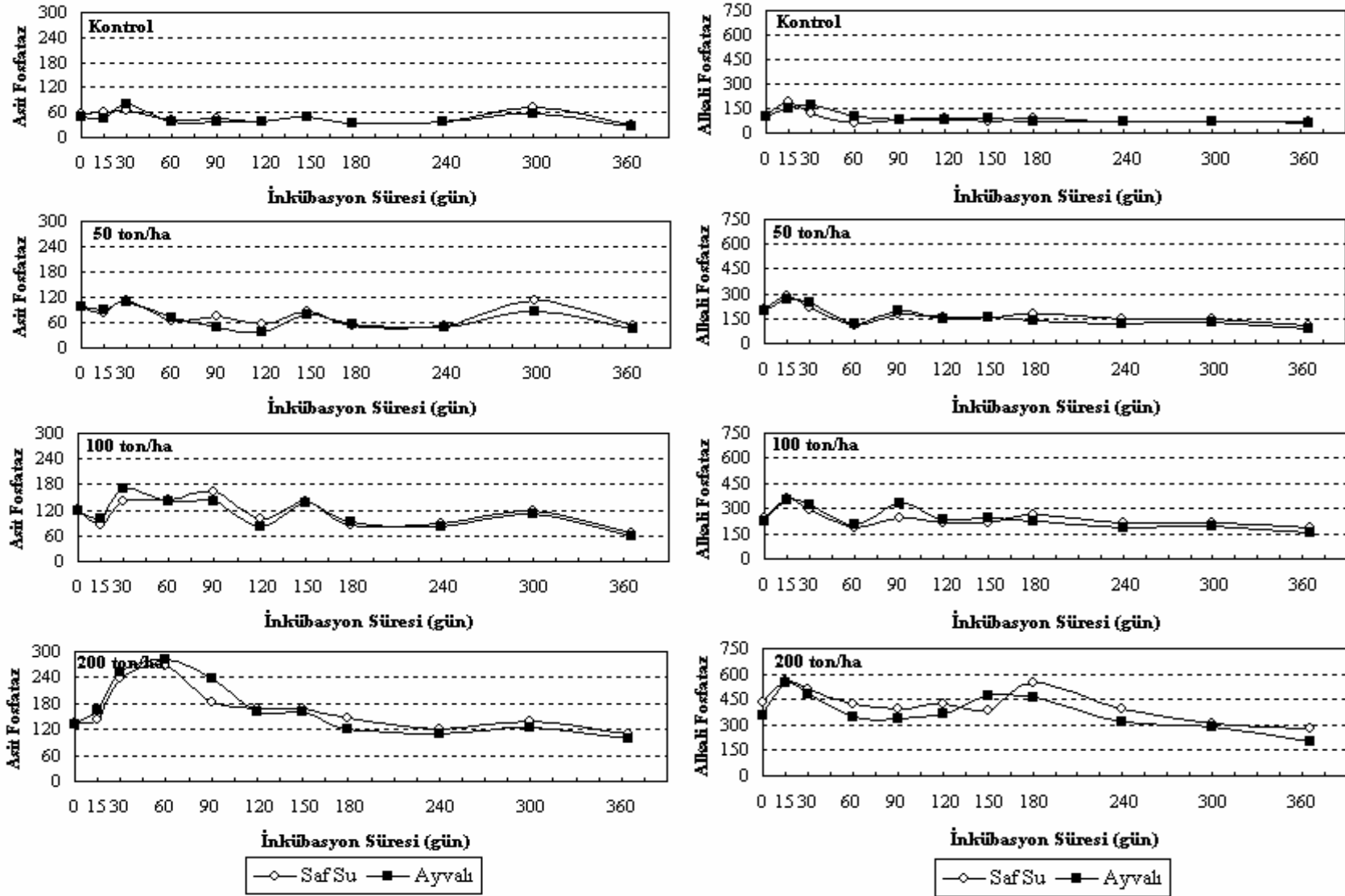
100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 351,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 364,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış 2 farklı sulama tipinde toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılık belirlenmemiştir. Topraklardaki alkali fosfataz

aktivitesi seviyeleri inkübasyon süresince iki sulama tipinde de küçük salınımlar göstermekle beraber bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 546,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 560,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Ayvalı deresi ve saf su ile sulanan 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış topraklar için maksimum alkali fosfataz aktivitesi değerleri 15. günde elde edilmiştir. 15. günden itibaren her iki sulama tipi içinde alkali fosfataz aktivitesi değerleri zamana bağlı düşüş eğilimi göstermiştir. İnkübasyon süresince Ayvalı deresi ile sulanan toprak örneklerinin alkali fosfataz aktivitesi değerleri saf su ile sulanan örneklerden daha küçük olarak gözlenmiştir.

12 aylık inkübasyon sonunda Ayvalı deresi ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 90,2 µg PNP/g kuru toprak.sa, 151,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 200,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak bulunurken; saf su ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 107,0 µg PNP/g kuru toprak.sa, 184,0 µg PNP/g kuru toprak.sa ve 280,0 µg PNP/g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 12 aylık toplam inkübasyon dönemi sonunda arıtma çamuru uygulanmış tüm topraklardaki alkali fosfataz aktiviteleri kontrol değerlerinden yüksektir.

Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerlerinin saf su ile sulanan topraklarınkinden biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin Ayvalı Deresi suyunda bulunan yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller olduğu düşünülmektedir. Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller enzim aktivitelerini yavaşlatıcı ya da durdurucu etkiler gösterebilmektedir.



Şekil 4.5. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Asit fosfataz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) ve Alkali fosfataz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) değişimleri

4.2.5.3. Dehidrogenaz Aktivitesi

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen dehidrogenaz aktivitesi parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları, sulama tipleri ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın dehidrogenaz aktivitesi üzerinde değişimlere neden olmuştur. Ayvalı Deresinden yapılan sulama dehidrogenaz aktivitesini önemli ölçüde etkilemiştir. Toprağın dehidrogenaz aktivitesi zamana bağlı olarak önemli değişimler sergilemiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki dehidrogenaz aktivitesi değerlerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.14. Dehidrogenaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	9205,2	0,000*
Çamur Dozu	3	315,3	0,000*
Sulama Tipi	1	12,5	0,008*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	5,2	0,027**
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	47,7	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	7,5	0,000*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	10,9	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	1,5	0,67
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış kontrol topraklarının maksimum dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla $7,3 \mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa ve $6,4 \mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılıklar görülmektedir. Ayvalı deresi ile sulanan kontrol toprakları maksimum değerine 120. günde ulaşırken saf su ile sulanan toprakların maksimum değerine 150.

günde ulaştığı görülmektedir. Bu aylardan sonra topraklardaki dehidrogenaz aktivitesi seviyeleri iki sulama tipinde de azalma eğilimi göstermiştir.

50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 10,9 µg TPF /g kuru toprak.sa ve 7,0 µg TPF /g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılıklar görülmekle beraber iki sulama tipinde de maksimum değerlere 120. günde ulaşılmıştır; 120. günden sonra hem Ayvalı deresi ile sulanan toprakların hem de saf su ile sulanan toprakların dehidrogenaz aktivitelerinde azalma eğilimi görülmüştür.

100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 11,9 µg TPF /g kuru toprak.sa ve 8,8 µg TPF /g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılıklar görülmektedir. Ayvalı deresi ile sulanan kontrol toprakları maksimum değerine 120. günde ulaşırken saf su ile sulanan toprakların maksimum değerine 150. günde ulaştığı görülmektedir. Bu aylardan sonra topraklardaki dehidrogenaz aktivitesi seviyeleri iki sulama tipinde de azalma eğilimi göstermiştir.

200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 12,3 µg TPF /g kuru toprak.sa ve 15,7 µg TPF /g kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde genel olarak farklılıklar görülmektedir. Ayvalı deresi ile sulanan kontrol toprakları maksimum değerine 120. günde ulaşırken saf su ile sulanan toprakların maksimum değerine 60.günde ulaştığı görülmektedir. Bu aylardan sonra topraklardaki dehidrogenaz aktivitesi seviyeleri iki sulama tipinde de azalma eğilimi göstermiştir.

Özellikle inkübasyonun ilk 120 günlük döneminden sonra dehidrogenaz aktivitesinin kontrol seviyelere düşmesinde nitrifikasyon sonucu büyük miktarda NO₃-N'un toprakta birikmesinin etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Literatürde de

nitrifikasyon sonucu toprakta meydana gelen pH düşmelerinin ve NO_2^- ve NO_3^- birikimlerinin dehidrogenaz aktivitesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Lai ve ark. 1999).

12 aylık inkübasyon sonunda Ayvalı deresi ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 2,37 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa, 3,2 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa ve 3,4 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa olarak bulunurken; saf su ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 2,83 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa, 4,0 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa ve 6,5 $\mu\text{g TPF /g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 12 aylık toplam inkübasyon dönemi sonunda arıtma çamuru uygulanmış tüm topraklardaki dehidrogenaz aktiviteleri kontrol değerlerinden yüksektir. Ayvalı Deresi ile sulanan toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerlerinin saf su ile sulanan topraklarınkinden biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin Ayvalı Deresi suyunda bulunan yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller olduğu düşünülmektedir. Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller enzim aktivitelerini yavaşlatıcı ya da durdurucu etkiler gösterebilmektedir.

4.2.5.4. β -Glukosidaz Aktivitesi

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen β -glukosidaz aktivitesi parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları, sulama tipleri ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın β -glukosidaz aktivitesi üzerinde değişimlere neden olmuştur. Ayvalı Deresinden yapılan sulama β -glukosidaz aktivitesini önemli ölçüde etkilemiştir. Toprağın β -glukosidaz aktivitesi zamana bağlı olarak önemli değişimler sergilemiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki β -glukosidaz aktivitesi değerlerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.15. β -glukosidaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	23375,8	0,000*
Çamur Dozu	3	74,4	0,000*
Sulama Tipi	1	90,5	0,000*
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	3,6	0,066
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	66,6	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	0,62	0,927
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	1,78	0,077
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	0,52	0,976
Hata	80		

*p<0,01

** p<0,05

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış kontrol topraklarının maksimum β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 52,4 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 59,0 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların β -glukosidaz aktivitesi değerleri 150. güne kadar artış göstererek 150. günde maksimum değerlerine ulaşmışlardır. Bu günden sonra iki sulama tipinde de benzer azalma eğilimleri görülmüştür. İnkübasyon süresince her iki sulama tipinde kontrol topraklarının β -glukosidaz aktivitesi değerleri birbirine yakınlık göstererek benzer değişimler sergilemişlerdir.

50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 58,2 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 60,1 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların β -glukosidaz aktivitesi değerleri 150. güne kadar artış göstererek 150. günde maksimum değerlerine ulaşmışlardır. Bu günden sonra iki sulama tipinde de benzer azalma eğilimleri görülmüştür. İnkübasyon süresince her iki sulama tipinde deneme topraklarının β -glukosidaz aktivitesi değerleri birbirine yakınlık göstererek benzer değişimler sergilemişlerdir.

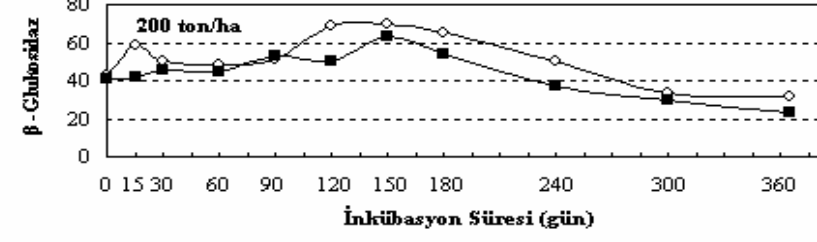
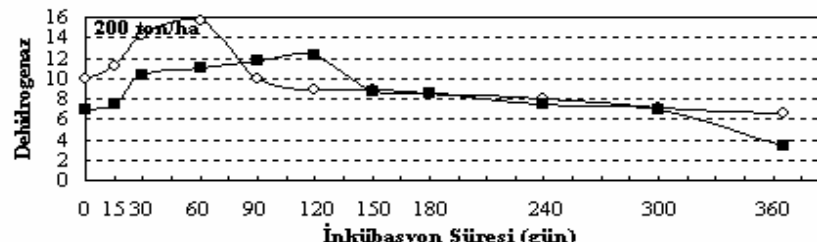
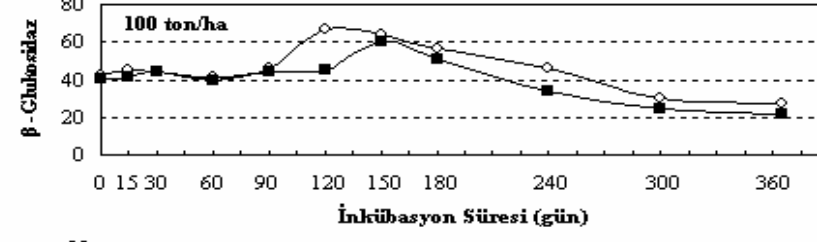
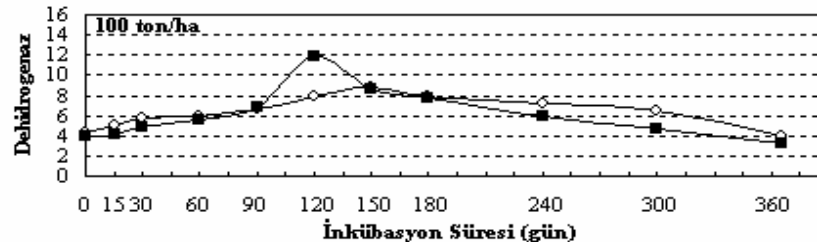
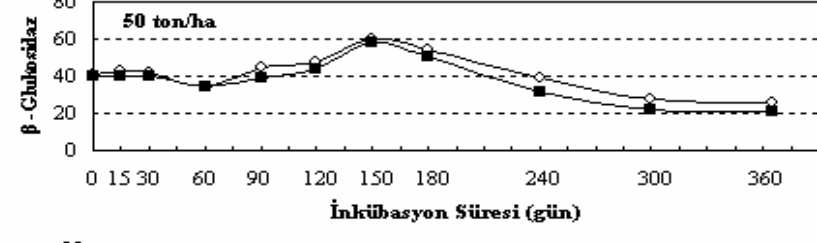
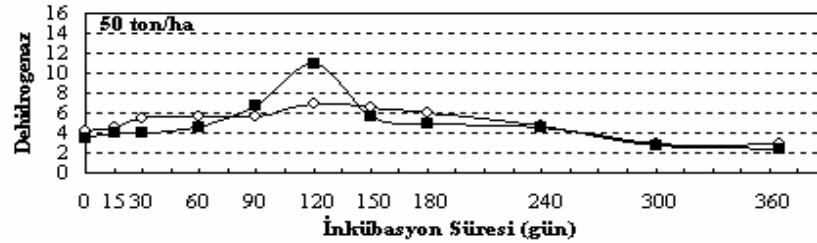
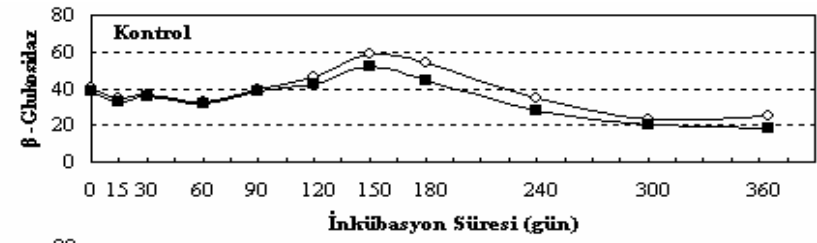
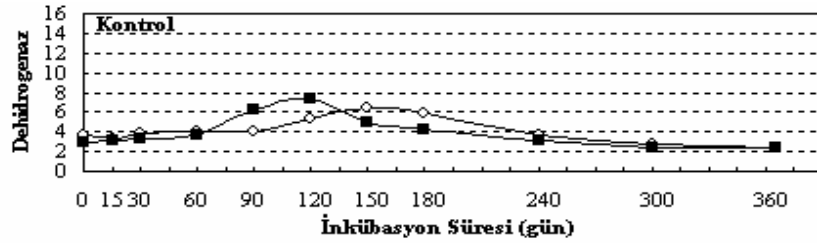
100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 59,8 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 66,5 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ile sulanmış toprakların β -glukosidaz aktivitesi

değerleri 150. güne kadar artış göstererek 150. günde maksimum değerine ulaşmıştır. Bu günden sonra azalma eğilimi görülmüştür. Benzer şekilde 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış saf su ile sulanmış toprakların β -glukosidaz aktivitesi değerleri 120. güne kadar artış göstererek 120. günde maksimum değerine ulaşmıştır. Bu günden sonra azalma eğilimi görülmüştür.

200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 63,2 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 70,0 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklar için maksimum β -glukosidaz aktivitesi değerleri 150. günde elde edilmiştir. 150. günden itibaren her iki sulama tipi içinde β -glukosidaz aktivitesi değerleri zamana bağlı azalma eğilimi göstermiştir.

12 aylık inkübasyon sonunda Ayvalı deresi ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 21,3 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak sa, 22,0 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 22,8 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak bulunurken; saf su ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için β -glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 25,3 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa, 27,7 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa ve 31,9 $\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir.

12 aylık toplam inkübasyon periyodu baz alındığında yapılan farklı dozda arıtma çamuru uygulamalarının organik karbon bileşiklerinin parçalanmasında önemli rol oynayan β -glukosidaz aktivitelerini her iki sulama tipinde de arttırmış olduğu ve potansiyel kirliliği Ayvalı deresi ile sulanmayan topraklarda meydana gelen aktivite artışının genel olarak daha belirgin olduğu görülmüştür.



—○— Saf Su —■— Ayvalı

—○— Saf Su —■— Ayvalı

Şekil 4.6. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Dehidrogenaz aktivitesi ($\mu\text{g TPF/g}$ kuru toprak saat) ve β -glukosidaz aktivitesi ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak saat) değişimleri.

4.2.5.5. Üreaz Aktivitesi

Deneme topraklarında inkübasyon süresince belirlenen üreaz aktivitesi parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Deneme topraklarına uygulanan çamur dozları ve inkübasyon süreleri $p < 0,01$ ve sulama tipleri $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Toprağın üreaz aktivitesi değeri zamana bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. Farklı dozda çamur uygulamaları toprağın üreaz aktivitesi değeri üzerinde etkili olmuştur ve çamur dozuna bağlı olarak üreaz aktivitesi değeri artış göstermiştir. Ayvalı Deresinden yapılan sulama toprağın üreaz aktivitesini önemli ölçüde etkilemiştir.

Farklı dozlarda penguen arıtma çamurunun uygulandığı, Ayvalı Deresi suyu ve saf su ile sulanan topraklardaki üreaz enzim aktivitesi değerlerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.16. Üreaz parametresi için tekrarlamalı ölçüm varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}	P
İnteraksiyon	1	5504,1	0,000*
Çamur Dozu	3	190,4	0,000*
Sulama Tipi	1	8,1	0,022**
Çamur Dozu x Sulama Tipi	3	1,2	0,375
Hata	8		
İnkübasyon Süresi	10	29,4	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu	30	6,5	0,000*
İnkübasyon Süresi x Sulama Tipi	10	10,6	0,000*
İnkübasyon Süresi x Çamur Dozu x Sulama Tipi	30	1,8	0,021**
Hata	80		

* $p < 0,01$

** $p < 0,05$

Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış kontrol topraklarının maksimum üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla $44,1 \mu\text{g NH}_4^+-\text{N/g}$ kuru toprak.sa ve $45,2 \mu\text{g NH}_4^+-\text{N/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulanmamış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların üreaz aktivitesi değerleri inkübasyon süresince salınımlar yapmıştır bununla beraber büyük değişimler gözlenmemiştir.

50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla $54,7 \mu\text{g NH}_4^+-\text{N/g}$ kuru

toprak.sa ve 54,5 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 50 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların üreaz aktivitesi değerleri inkübasyon süresince salınımlar göstermiştir ancak büyük değişimler gözlenmemiştir.

100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 65,5 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa ve 72,7 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. 100 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış toprakların üreaz aktivitesi değerleri zamana bağlı olarak artış göstermiştir. Saf su ile sulanan örneklerde meydana gelen değişim Ayvalı deresi ile sulanan örneklerinkinden daha belirgindir.

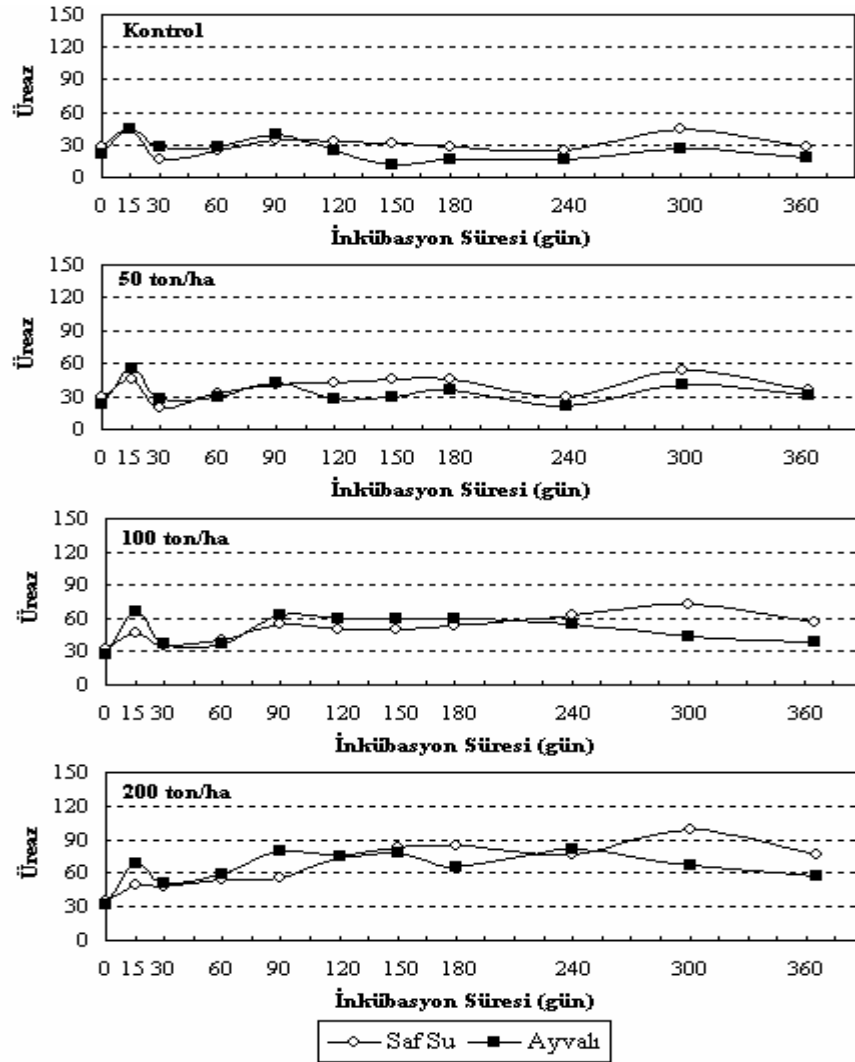
200 ton/ha arıtma çamuru uygulanmış Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanmış topraklarının maksimum üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 81,7 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa ve 98,8 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir. Saf su ile sulanan örnekler 300. günde maksimum değerine ulaşırken, Ayvalı Deresi ile sulanan örnekler 240. günde maksimum değerine ulaşmıştır. Üreaz aktivitesi değerlerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde Ayvalı Deresi ve saf su ile sulanan deneme topraklarının her ikisinde de inkübasyon süresince bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. İnkübasyon süresince 2 farklı sulama uygulanmış deneme topraklarındaki üreaz aktivitesi değerleri birbirine yakınlık göstermekle beraber, saf su ile sulanmış deneme topraklarının üreaz aktivitesi değerlerinin Ayvalı deresi ile sulanan deneme topraklarına göre daha çok artış gösterdiği görülmektedir.

12 aylık inkübasyon sonunda Ayvalı deresi ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 30,2 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa, 38,9 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa ve 58,2 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa olarak bulunurken; saf su ile sulanan farklı dozda çamur uygulanmış toprakların 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha için üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 36,6 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa, 55,9 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa ve 76,7 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan arıtma çamurundaki yüksek mikrobiyal biyomasın ve yüksek seviyelerdeki substratın enzim sentezini aktive ettiği düşünülmektedir. Pascual ve ark. (1998) tarafından yürütülen çalışmada çeşitli organik atıkların topraktaki enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri incelemiş ve toprağa eklenen

organik materyallerin üreaz aktivitesini kontrole kıyasla önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir. Organik uygulamalar içerisinde özellikle arıtma çamuru uygulaması kapsamında belirlenen üreaz aktivitesi değerleri daha yüksek bulunmuştur. Sastre ve ark. (1996) de toprağa yapılan uzun dönem arıtma çamuru uygulamasının üreaz aktivitesini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişler ve enzim aktivitesindeki gelişimin çamur içerisindeki organik madde ve besin maddeleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Uygulama yapılmayan kontrol toprağında üreaz aktivitesi yaklaşık 80 mg N/100 g kuru toprak olarak belirlenirken, 8 yıl süresiyle 100t/ha oranında evsel nitelikli arıtma çamuru uygulanan toprakta bu değer 175 mg N/100 g kuru toprak olarak tespit edilmiştir.

12 aylık toplam inkübasyon periyodu baz alındığında yapılan farklı dozda arıtma çamuru uygulamalarının üreaz aktivitelerini her iki sulama tipinde de arttırmış olduğu ve potansiyel kirli Ayvalı deresi ile sulanmayan topraklarda meydana gelen aktivite artışının genel olarak daha belirgin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Saf su ve Ayvalı deresi suyuyla sulanan örneklerde inkübasyon süresince meydana gelen Üreaz aktivitesi ($\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak. sa) değişimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Penguen Gıda Sanayi A.Ş' den temin edilen arıtma çamurunun, Nilüfer-Özlüce bölgesinin killi tekstürel yapıdaki tarım amaçlı kullanılan toprağına farklı dozlarda uygulanmasıyla, 12 ay süren bir inkübasyon döneminin ardından toprak pH'larında önemli bir değişiklik meydana gelmezken küçük düşüşlerin olduğu görülmüştür. Toprak ortamına verilen organik madde içeriği zengin olan arıtma çamurunun inkübasyon dönemi boyunca mineralize olmasıyla kompanse olduğu izlenimi edinilmiştir. Diğer yandan çamur uygulaması yapılan topraklardaki EC değerlerinin, muhtemelen organik maddenin mineralizasyonu sonucu zamana bağlı bir artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamaları toprakların toplam N, toplam P ve organik C içeriklerini önemli ölçüde arttırmıştır. İnkübasyon süresince belirlenen amonyum azotu konsantrasyonları genellikle kontrol değerleri seviyesinde ve kontrol değerlerinin altında kalırken, nitrat azotu konsantrasyonlarında büyük bir artış meydana gelmiştir. Arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasıyla inkübasyon süresince nitrifikasyon prosesinin baskın olduğu, amonifikasyonu takiben açığa çıkan amonyum azotunun süratle nitrat azotuna dönüştüğu izlenimi edinilmiştir. Çamur uygulanmış topraklarda yüksek seviyelerde nitrat azotunun birikmiş olması yeraltı suları için nitrat kirliliği riskini de beraberinde getirmektedir. Ancak doğal şartlarda görülebilecek nitrat birikiminin inkübasyon şartlarında meydana gelen birikime kıyasla önemli ölçüde düşük olacağı unutulmamalıdır. Doğal şartlarda meydana gelen iklimsel değişimlerin yanı sıra çeşitli toprak canlılarının ve bitkilerin mineral azot formlarını kullanıyor olması bu birikimin daha da az olmasını sağlayacaktır. Geriye kalan nitrat azotu ancak toprak yapısı müsaade ettiği ölçüde yeraltı suyu kirliliği açısından bir baskı oluşturacaktır. Alınacak en yerinde önlem arıtma çamurunun uygulanacağı bölgedeki toprağın tekstürel yapısı, yetişen bitkilerin kullanacağı azot miktarları, yeraltı sularına olan mesafe gibi faktörlerin göz önüne alarak çamur uygulama oranını azot değerini bazında hesaplamak olacaktır.

Çalışma kapsamında kullanılan arıtma çamurlarındaki organik madde, besin elementleri ve biyokütlenin topraktaki asit fosfataz, alkali fosfataz, dehidrogenaz, β -glukosidaz ve üreaz aktivitelerini kısa vadede (3 ila 6 ay) önemli derecede arttırdığı

belirlenmiştir. İnkübasyonun ilk 6 aylık periyodunun ardından enzim aktivitelerinde genel bir düşme eğilimi gözlenmiştir. 12 aylık toplam inkübasyon süresi sonunda asit fosfataz, alkali fosfataz, dehidrogenaz, β -glukosidaz ve üreaz aktiviteleri belirgin olarak kontrol seviyelerinin üzerinde kalmıştır.

İnkübasyon çalışmasında potansiyel kirli Ayvalı Deresi sularıyla sulanan ve sulanmayan topraklar, yapılan uygulamalar açısından kıyaslandığında, her iki toprak arasında çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte, enzim aktivitelerinin Ayvalı Deresi ile sulanmayan topraklarda genellikle daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

İnkübasyon çalışmasında elde edilen sonuçlar genel olarak arıtma çamurlarının belirgin bir gübre değerine sahip oldukları doğrultusundadır. İncelenen parametreler itibarıyla arıtma çamurlarının toprağa verilmesiyle potansiyel fayda ve tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanabileceği düşünülmektedir. Ancak aynı bölgede tekrarlanan uygulamaların toprakların tuz içeriğini tehlikeli boyutlara getirebileceği ve yeraltı suları için potansiyel nitrat kirliliği riskini ön plana çıkartabileceği unutulmamalıdır.

İleride yapılacak çalışmalarda arıtma çamurlarının tarımsal üretim üzerindeki etkilerini daha detaylı ortaya koymak için bitkili denemelerin yapılması şüphesiz büyük katkı sağlayacaktır. Ayrıca farklı toprakların ve arıtma çamurlarının kullanılacağı inkübasyon çalışmalarıyla toprak tipine ve çeşitli toprak özelliklerine bağlı değişimlerin boyutunun ne olacağı da ortaya konmalıdır.

KAYNAKLAR

AKÇA, L.E. ÇİTİL ve N. TÜFEKÇİ. 1996. Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildiri Kitabı. Mersin, 13-15 Mayıs 1996, s. 35-43.

ALBIACH, R., CANET, R., POMARES, F., INGELMO, F. 2000. Microbial Biomass Content and Enzymatic Activities After The Application of Organic Amendements to Horticultural Soil. Bioresource Technology 75, p. 43-48.

ANONİM. 1983. Process Design Manual, Land Application of Municipal Sludge. U.S. Enviromental Protection Agency. Center for Enviromental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/1-83-016. 432 p.

ANONİM. 1984. Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge. U.S. Enviromental Protection Agency. Center for Enviromental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/1-83-003. p. 386.

ANONİM. 1985. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA-AWWA-WPCF Copyright by American Public Health Association, Washington, 1269 p.

ANONİM. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as Amended 08/04/99.

ANONİM. 1999b. Enviromental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Enviromental Protection Agency. Center for Enviromental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

ANONİM. 2001. 31 Mayıs 2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete. Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.

ARAL, N. 1990. Arıtma Çamurlarının Arazide Kullanılma İmkanları, Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul, İTO, s. 301-305.

BİLGİN N, H. EYÜPOĞLU ve H. ÜSTÜN. 2002. Biyoatıkların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s. 28.

BREMNER, J.M. ve C.S. MULVANEY, 1982. Nitrogen-Total. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 595-622.

CARLSON, C. L. ve D.C. ADRIANO. 1993. Enviromental Impacts of Coal Combustion Residues. Journal of Enviromental Quality, 2:227-247.

COHEN, D.B., M.D. WEBBER ve D.N. BRYANT. 1979. Land Application of Chemical Sewage Sludge-Lysimeter Studies. First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings, Cadarache, 13-15 February 1979, p. 108-138.

ÇİL ÖZGÜVEN, N. ve A. V. KATKAT. 2001. Mis Süt Sanayi Arıtma Tesisi Atığının Tarımda Kullanılma Olanakları. Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg., 139-149.

DAR, G.H. 1996. Impact of Lead and Sewage Sludge on Soil Microbial Biomass and Carbon and Nitrogen Mineralization. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 58: p. 234-240.

DICK, W.A. ve M.A. TABATABAI 1993. Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. In: F. Blaine (Editor), Soil Microbial Ecology. Application in Agricultural and Enviromental Management, Marcel Dekker, New York, p. 95-127.

DICK, W.A. ve M.A. TABATABAI 1992. Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker, New York, p. 95-127.

DICK, W.A. ve M.A. TABATABAI 1984. Kinetic Parameters of Phosphatases in Soils and Organic Waste Materials. Soil Science. 137: 7-15.

FİLİBELİ, A. 1998. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir. 254 s.

GEE, G.W. and J.W.BAUDER. 1982. Particle Size Analysis. In A. Klute (ed.): Methods of Soil Analysis. Part 1. Argon. 9, 2nd ed., ASA, SSSA, Madison, WI, p. 384-412.

HAKTANIR, K. 1973. Ankara Şartlarında Nadas,-Buğday-Baklagil Ekim Nöbetinin Önemli Toprak Enzimlerinin Aktiviteleri Üzerindeki Etkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 613, 82s.

HAYANO, K., K. TUBAKI. 1985. Origin and Properties of β -glucosidase Activity of Tomato Field Soil. Soil Biol. Biochem. 17: 553-557.

KACAR, B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III. Toprak Analizleri. A.Ü.Z.F. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, Yayın No: 3, Ankara. s. 268-270.

KAYNAK, A.G. 2002. Bursa Şehir Merkezinden Kaynaklanan Atıksular, Arıtılmaları ve Nilüfer Çayı'na Etkileri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Bursa, 124 s.

KEENEY, D.R. ve D.W. NELSON. 1982. Nitrogen-Inorganic Forms. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 643-693.

KOCAER, F.O. 2005. Uçucu Kül Katkılı Stabilize Arıtma Çamurlarının Toprak Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, s. 55.

KUNITO, T., SAEKI, K., GOTO, S., HAYASHI, H., OYAIZU, H. ve MATSUMOTO, S. 2001. Copper and Zinc Fractions Affecting Microorganisms In Long Term Sludge Amended Soils. *Bioresource Technology*, 79:135-146.

LAI, K. M., D. Y. Ye ve J. W. C. WONG. 1999. Enzyme Activities in a Sandy Soil Amended With Sewage Sludge and Coal Fly Ash. *Water Air and Soil Pollution.*, 113: 261-272.

LARSON, W.E., R.H. SUSAG, R.H. DOWDY, C.E. CLAPP A ve R.E. LARSON. 1974. Use of Sewage Sludge in Agriculture with Adequate Environmental Safeguards. *Sludge Handling and Disposal Seminar Proceedings*. Toronto, 18-19 September 1974, p. 27-46.

LEE, S.B., Y.E. NA, M.H. KOH, S.L. KWON, K.S. SEONG and K.C. EOM. 2002. Dynamics of Organisms and Activities of Enzymes in Agricultural Soils of Korea. 17th WCSS Symposium. Thailand, 14-21 August 2002., p. 1928-1, 1928-8.

MARINARI, S., MASCIANDORA, G., CECCANTI, B., GREGO, S. 2000. Influence Of Organic and Mineral Fertilisers On Soil Biological and Physical Properties. *Bioresource Technology* 72, 9-17.

MCGRATH, SP ve CUNLIFFE, CH. 1985. A Simplified Method for Extraction of Metals Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Co and Mn from Soil and Sewage Sludges. *J SCI Food Agric* 1985;36:794-798.

MURPY, J. ve RILEY, J.P. 1962. A Modified Single Solution Method for Determination of Phosphate In Naturel Waters. *Anal. Chem. Acta.* 27:31-36.

NANNIPIERI, P., C. CECCANTI, S. CERVELLI ve E. MATARESE. 1980. Extraction of Phosphatase, Urease, Protease, Organic Carbon and Nitrogen from Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 1011-1016.

NAVAS, A., F. BERMUDEZ, J. MACHIN. 1998. Influence of Sewage Sludge Application on Physical and Chemical Properties of Gypsisols. *Geoderma*, 87:123-135.

NELSON, D.W. ve L.E. SOMMERS. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 539-577.

OLSEN, S.R. and L.E. SOMMERS. 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 403-427.

PASCUAL, J.A., T. HERNANDEZ, C. GARCIA ve M. AYUSO. 1998. Enzymatic Activities in an Arid Soil Amended with Urban Organic Wastes: Laboratory Experiment. *Bioresource Technology*, 64: 131-138.

PEDRENO, J.N., I. GOMEZ, R. MORAL ve J. MATAIX. 1996. Improving the Agricultural Value of a Semi-Arid Soil by Addition of Sewage Sludge and Almond Residue. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58: 115-119.

PULFORD, I.D. 1989. Sewage Sludge as an Amendment for Reclaimed Colliery Spoil. *Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceedings*. U.K.; 5-7 September 1989, p. 41-54.

REDDY, G.B., A.FAZZA. 1989. Dehydrogenase Activity in Sludge Amended Soil. *Soil Biol. Biochem.*, 21: 327-332.

RHYNER, C.R., L.J. SCHWARTZ, R.B. WENGER ve M.G. KOHRELL. 1995. *Waste Management and Resource Recovery*. CRC Pres, Inc., Florida, USA. p. 199-361.

RUGGIERO, P., J. DEC and J-M BOLLAG. 1996. Soil as a Catalytic System. Soil Biochemistry - Volume 9, Marcell Dekker, New york, p. 79-122.

SABEY, B.R., N.N. AGBIM ve D.C. MARKSTROM. 1975. Land Application of Sewage Sludge: III. Nitrate Accumulation and Wheat Growth Resulting from Addition of Sewage Sludge and Wood Wastes to Soils. Journal of Environmental Quality, 4:388-393.

SASTRE, I.M., M.A. VICENTE ve M.C. LOBO. 1996. Influence of the Application of Sewage Sludges on Soil Microbial Activity. Bioresource Technology, 57: 19-23.

SMITH, S.R., V. WOODS ve T.D. EVANS. 1998. Nitrate Dynamics in Biosolids-Treated Soils. I. Influence of Biosolids Type and Soil Type. Bioresource Technology, 66: 139-149.

SOPPER, W.E. 1989. Utilization of Sewage Sludge in United States for Mine Land Reclamation. Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceedings. U.K.; 5-7 September 1989, p. 21-40.

ŞENGÜL, F. ve TÜRKMAN, A. 1998. Su ve Atıksu Analizleri, TMMOB, Çevre Mühendisleri Odası, İzmir, s. 92-130.

TABATABAI, MA. 1982. Soil Enzymes, Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 903-943.

TAŞATAR, B. 1997. Endüstriyel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Ankara, 82 s.

TCHOBANOGLIOUS, G. ve F.L. BURTON. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf&Eddy Inc, USA. p. 765-927.

TURALIOĞLU, F.S. ve F.N. ACAR. 1996. Çeşitli Atıkların Toprak Ortamına Etkileri. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildirim Kitabı. Mersin, 13-15 Mayıs 1996, s. 52-62.

WILLIAMS, J.H. 1979. Utilization of Sewage Sludge and Other Organic Manures on Agricultural Land. First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings. Cadarache, 13-15 February 1979, p. 227-242.

WONG, J.W.C., K.M. LAI, M. FANG ve K.K. MA. 1998. Effect of Sewage Sludge Amendment on Soil Microbial Activity and Nutrient Mineralization. Environment International, 24, (8), 935-943.

VESILIND, P.A. 1979. Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. Ann Arbor Sciences, Michigan, USA, p. 1-37, 265-289.

VESILIND, P.A., G.C. HARTMAN ve E.T.SKENE. 1986. Sludge Management & Disposal For the Practicing Engineer. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, USA, p. 63-73.

ÜNAL, H. 1967. Rize Çay Topraklarının Anzim Aktiviteleri ve Bu Aktivitelerle Önemli Toprak Özellikleri Arasındaki İlgiler. Ankara Basımevi, Ankara, 79 s.

Ünal, H. ve H.S. BAŞKAYA, 1981. Toprak Kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 759, Ankara 270 s.

ÜNAL, M. 2002. Gıda Sanayi Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Bursa, 110 s.

ÜNAL, M. ve A.V. KATKAT. 2003. Bisküvi ve Şekerleme Sanayi Arıtma Çamurunun Toprak Özelliklerine ve Mısır Bitkisinin Kimi Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri. Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg., 17 (1): 107-118.

EKLER

Ek 1. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının pH değerleri.

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	7,94	7,90	7,82	7,79	7,90	7,88	7,81	7,78
15	7,92	7,69	7,62	7,48	7,86	7,71	7,55	7,43
30	7,64	7,73	7,69	7,55	8,00	7,88	7,70	7,56
60	7,86	7,78	7,78	7,63	7,92	7,76	7,66	7,61
90	7,71	7,75	7,68	7,57	7,87	7,71	7,65	7,61
120	7,82	7,86	7,83	7,60	7,90	7,83	7,72	7,60
150	7,79	7,63	7,60	7,53	7,82	7,70	7,59	7,55
180	7,75	7,68	7,71	7,51	7,68	7,57	7,57	7,50
240	7,82	7,76	7,76	7,64	7,78	7,61	7,63	7,49
300	7,86	7,74	7,68	7,55	7,58	7,59	7,63	7,55
365	7,83	7,72	7,63	7,52	7,56	7,54	7,52	7,50

Ek 2. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının EC₂₅⁰C değerleri.

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	650	762	956	1047	620	680	720	876
15	1021	1340	1885	2900	648	1082	1533	2083
30	1059	1435	2000	3000	780	1100	1600	2100
60	1819	2480	2650	4335	809	1292	1703	2240
90	2360	2500	2700	4500	900	1380	1800	2300
120	2500	3000	3500	4900	1096	1493	1860	3030
150	2720	3685	4040	5300	1160	1550	2000	3200
180	3175	3840	4600	6000	1280	1660	2180	3320
240	3900	4800	5600	6400	1427	1800	2225	3405
300	4800	5400	6000	6600	1569	1920	2285	3680
365	5060	6200	6640	6880	1628	2100	2400	3800

Ek 3. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının amonyum azotu konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	25,3	26,3	28,0	36,7	22,4	25,3	28,1	39,3
15	25,4	22,5	33,8	32,3	28,1	39,4	42,1	39,9
30	36,4	31,0	28,2	32,4	30,9	39,5	42,2	42,8
60	36,8	42,4	45,2	53,7	36,8	45,2	42,4	33,9
90	42,3	50,7	39,4	36,6	39,5	50,8	31,0	42,3
120	41,9	50,0	47,3	58,3	39,1	48,7	46,7	47,7
150	42,1	50,8	50,8	50,8	50,8	42,2	53,5	53,4
180	45,0	51,0	50,7	53,6	53,5	47,7	53,7	53,7
240	72,0	76,0	67,7	75,7	78,4	80,2	81,7	90,1
300	67,7	70,6	70,3	61,9	70,2	81,8	84,6	84,7
365	48,0	44,9	39,5	39,4	56,4	50,7	48,0	45,4

Ek 4. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının nitrat azotu konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	11,2	28,1	44,9	61,9	11,2	28,1	33,8	61,7
15	50,8	107	172	385	44,9	118	157	301
30	61,7	132	186	428	64,5	133	189	390
60	70,7	172	192	432	70,2	153	201	403
90	78,9	175	240	442	78,9	172	265	437
120	106	183	278	450	83,3	192	300	474
150	146	237	378	454	95,9	236	358	518
180	186	239	410	520	101	260	373	598
240	216	348	420	717	160	295	394	670
300	226	367	445	726	171	298	414	672
365	231	380	468	836	178	301	457	682

Ek 5. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının toplam azot konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	2110	2482	2940	3102	2017	2393	2819	3007
15	2122	2490	2952	3115	2020	2398	2820	3010
30	2130	2496	2960	3122	2028	2400	2824	3020
60	2144	2500	2968	3130	2032	2404	2828	3024
90	2148	2508	2970	3137	2034	2408	2830	3029
120	2160	2510	2973	3144	2030	2410	2833	3030
150	2167	2520	2982	3150	2028	2405	2831	3026
180	2179	2526	2990	3155	2025	2403	2829	3024
240	2188	2540	3002	3168	2024	2399	2825	3020
300	2190	2552	3014	3174	2026	2401	2827	3022
365	2194	2560	3028	3186	2022	2400	2825	3014

Ek 6. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının organik karbon konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	21114	24842	29486	31054	20060	23940	28198	30082
15	21220	24900	29548	31108	20064	23951	28204	30095
30	21296	24985	29600	31190	20080	23959	28210	30099
60	21318	25080	29687	31256	20088	23966	28217	30106
90	21396	25155	29775	31320	20095	23978	28228	30110
120	21440	25236	29850	31390	20102	23985	28235	30118
150	21498	25240	29920	31454	20110	23988	28241	30120
180	21570	25310	29988	31510	20116	23996	28246	30128
240	21664	25448	30096	31625	20130	24002	28254	30136
300	21800	25510	30185	31742	20134	24006	28261	30149
365	21940	25628	30292	31870	20140	24010	28271	30160

Ek 7. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının toplam fosfor konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	1100	1280	1410	1792	920	1023	1129	1444
15	1112	1302	1422	1800	923	1076	1136	1446
30	1130	1320	1434	1814	948	1086	1144	1471
60	1144	1337	1440	1820	965	1100	1150	1405
90	1132	1340	1464	1834	952	1020	1082	1403
120	1120	1334	1468	1854	920	1100	1193	1467
150	1118	1330	1474	1860	925	1110	1200	1472
180	1142	1335	1470	1866	960	1100	1198	1480
240	1140	1330	1452	1868	959	1090	1186	1488
300	1136	1320	1444	1846	956	1068	1180	1480
365	1140	1340	1470	1880	940	1040	1170	1460

Ek 8. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının yarayışlı fosfor konsantrasyonları (mg/kg kuru toprak).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	41,0	50,0	62,0	91,5	42,0	55,1	66,0	101
15	37,4	39,4	59,7	71,5	35,0	38,0	51,0	78,8
30	34,7	37,4	40,8	57,7	30,9	35,5	37,6	60,8
60	21,1	22,3	30,5	32,3	22,4	29,0	33,2	40,3
90	22,2	27,7	36,6	41,6	23,7	32,9	38,5	44,4
120	21,3	29,7	31,5	38,5	24,9	30,5	36,5	40,0
150	24,5	34,7	36,2	40,8	28,5	37,6	38,0	40,8
180	32,2	40,9	50,0	62,0	33,6	47,5	56,4	69,1
240	44,0	52,2	58,2	76,0	52,6	68,1	72,3	80,8
300	48,4	53,1	66,4	78,0	50,0	55,2	62,1	78,3
365	52,0	70,0	80,0	102	56,6	80,0	88,0	106

Ek 9. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının asit fosfataz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	50,0	95,8	118	133	58,0	98,0	121	137
15	44,0	89,7	101	166	62,3	81,0	86,8	144
30	80,5	108	170	252	65,1	114	141	236
60	36,4	70,8	140	281	40,5	62,1	144	266
90	38,0	50,4	141	236	46,9	74,5	164	184
120	37,7	39,1	82,2	162	37,8	56,2	101	168
150	47,9	80,0	138	160	50,1	86,1	141	170
180	34,8	56,6	93,3	122	35,5	52,3	85,8	146
240	37,5	50,6	81,6	110	37,9	54,1	87,1	122
300	55,4	87,8	111	126	73,5	112	120	140
365	27,0	44,2	58,2	100	30,2	52,9	68,5	109

Ek 10. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının alkali fosfataz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	96,0	196	227	356	101	207	243	430
15	149	270	351	546	188	288	364	560
30	172	244	317	477	120	214	290	508
60	97,1	121	202	345	63,0	108	189	420
90	80,8	202	332	340	82,8	175	243	395
120	82,2	146	238	368	86,7	155	215	427
150	89,0	156	244	474	73,7	157	214	385
180	67,4	140	220	462	95,0	179	260	549
240	65,4	120	183	322	72,0	146	216	399
300	65,6	130	191	284	70,6	147	216	307
365	55,9	90,2	151	200	69,3	107	184	280

Ek 11. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının dehidrogenaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g TPF /g kuru toprak.sa}$).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	2,9	3,4	4,0	6,9	3,6	4,2	4,4	10,0
15	3,2	3,95	4,2	7,4	3,4	4,5	5,0	11,2
30	3,4	4,0	4,9	10,3	3,8	5,5	5,7	14,3
60	3,7	4,5	5,65	11,0	4,0	5,7	5,9	15,7
90	6,3	6,7	6,8	11,8	4,0	5,6	6,6	10,0
120	7,3	10,9	11,9	12,3	5,3	7,0	8,0	8,9
150	5,0	5,7	8,6	8,7	6,4	6,5	8,8	8,9
180	4,3	5,0	7,7	8,5	5,9	6,0	8,0	8,6
240	3,2	4,6	6,0	7,4	3,6	4,8	7,2	8,0
300	2,43	2,80	4,7	7,0	2,8	3,0	6,4	7,2
365	2,3	2,37	3,2	3,4	2,46	2,83	4,0	6,5

Ek 12. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının β -glukosidaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g PNP/g}$ kuru toprak.sa).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	39,0	39,8	40,5	41,2	40,5	41,2	42,0	43,0
15	33,0	40,4	41,0	41,9	34,4	42,5	45,3	59,0
30	35,6	40,1	44,1	45,6	37,0	42,2	44,5	50,0
60	32,1	34,3	40,0	44,6	33,0	34,5	41,7	48,5
90	38,8	39,0	44,3	52,8	39,7	44,4	46,3	50,8
120	42,1	44,1	44,8	50,0	46,0	47,5	66,5	69,3
150	52,4	58,2	59,8	63,2	59,0	60,1	63,6	70,0
180	44,8	50,5	51,0	54,0	53,9	54,1	56,1	65,1
240	28,0	31,5	34,1	37,6	34,8	39,1	46,4	50,0
300	20,5	21,8	24,8	29,8	23,6	27,5	29,7	33,7
365	18,6	21,3	22,0	22,8	24,8	25,3	27,7	31,9

Ek 13. Çamur uygulama oranları-sulamaya ve inkübasyon süresine bağlı olarak deneme topraklarının üreaz aktivitesi değerleri ($\mu\text{g NH}_4^+\text{-N/g}$ kuru toprak.sa).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	21,5	22,9	28,1	32,1	28,3	30,0	31,5	35,2
15	44,1	54,7	65,5	68,2	45,2	46,4	47,1	49,5
30	28,2	28,3	36,6	51,0	17,2	19,4	34,7	48,1
60	28,6	29,2	37,2	59,4	24,8	32,8	40,7	54,6
90	40,3	42,8	63,4	80,0	34,7	41,0	54,7	55,2
120	24,9	28,4	59,5	75,6	33,6	43,2	50,4	74,5
150	12,2	29,9	59,4	77,5	30,8	45,5	49,3	82,7
180	17,1	35,4	60,0	65,6	27,9	45,9	53,8	83,8
240	16,4	20,7	54,8	81,7	25,1	29,6	63,5	76,5
300	26,2	40,2	43,5	67,3	44,2	54,5	72,7	98,8
365	17,4	30,2	38,9	58,2	28,3	36,6	55,9	76,7

Ek 14. İnkübasyon süresince deneme topraklarına ilave edilen Ayvalı Deresi suyu ve saf su miktarları (ml).

İnkübasyon Süresi (gün)	Ayvalıdan Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)				Saf Su İle Sulanan Çamur Uygulama Oranları (ton/ha)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
0	389	389	389	389	389	389	389	389
15	915	907	922	918	931	935	948	920
30	1250	1237	1249	1240	1288	1291	1284	1238
60	2093	2072	2063	2095	2171	2186	2147	2040
90	2965	2940	2933	3025	3052	3055	3026	2966
120	3748	3714	3647	3853	3880	3886	3819	3750
150	4454	4408	4328	4550	4649	4636	4551	4463
180	5188	5125	5022	5284	5445	5411	5299	5194
240	6144	6052	5945	6407	6496	6443	6336	6257
300	6725	6625	6518	7092	7155	7045	6976	6912
365	7211	7099	6986	7703	7677	7562	7529	7470

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans çalışmam süresince bilgi ve deneyimlerinden yoğun bir şekilde yararlandığım çok değerli tez danışmanım ve hocam U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA'ya en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, çalışmamın her aşamasını yakından takip eden, görüş ve önerileriyle yol gösteren U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim üyesi Dr. F. Olcay TOPAÇ'a,

Laboratuar çalışmalarında ve tez yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Çevre Müh. Ahu ATEŞLİ ve Çevre Müh. Sudan KURTOĞLU'na

Çevreci bir anlayış ve ileri görüşlülük ile gösterdikleri kolaylıklardan ve yardımlardan dolayı, numune aldığım sanayi kuruluşuna,

Maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Bursa'da doğmuştur. İlköğrenimini Atatürk İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Özel Namık Sözeri Lisesi'nde tamamlamıştır. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 2003 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. Yüksek Lisans çalışmasına 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde başlamıştır.