



**HAM PETROL VE PETROL ÜRÜNLERİYLE
KİRLENMİŞ BİR TOPRAKTAKİ BAZI
ENZİM AKTİVİTELERİNİN
ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ**

Tuba KAYA



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAM PETROL VE PETROL ÜRÜNLERİYLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAKTAKİ
BAZI ENZİM AKTİVİTELERİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Tuba KAYA

Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2015

TEZ ONAYI

Tuba KAYA tarafından hazırlanan “Ham Petrol ve Petrol Ürünleriyle Kirlenmiş Bir Topraktaki Bazı Enzim Aktivitelerinin Zamana Bağlı Değişimi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

Üye : Doç. Dr. F. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aşkın BİRGÜL

Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

27.10.2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15.04/2015



Tuba KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAM PETROL VE PETROL ÜRÜNLERİYLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM AKTİVİTELERİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Tuba KAYA

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

Petrol günümüzde dünya ekonomi ve siyasetinde tartışılmaz bir öneme sahiptir. Bu önemin yanı sıra, son yıllarda çeşitli kazalar sonucu oluşan petrol sızıntıları ve atık yağların toprağa karışmasıyla, toprak kirliliği önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Bu çalışmada ham petrol ve petrol ürünleri ile kirletilmiş toprakların incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı türlerdeki kirliliklerin etkileri (ham petrol ve atık mineral dizel yağı), farklı dozlar (% 0,5-düşük doz ve % 5-yüksek doz) ve farklı sıcaklıklarda (18°C ve 28°C) 5 aylık inkübasyon süresi boyunca çalışılarak, toprak enzim aktivitelerinin zamana bağlı değişimi ile hidrokarbon ile kirlenmiş topraklardaki toprak rehabilitasyonu değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak ölçülen enzim aktiviteleri zamana bağlı değişkenlik göstermiştir. Ham petrol ve atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda enzim aktivitelerinin genelde azalma eğilimi içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Topraktaki rehabilitasyonun inkübasyon süresi boyunca devam ettiği düşünülmektedir. Genel olarak, bu çalışmada arıtma çamuru ıslahının enzim aktivitelerini arttırıcı etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: toprak enzimleri, toprak kirliliği, petrol kirliliği, ham petrol, arıtma çamuru, enzim aktivitesi

2015, x + 75 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

TIME DEPENDING VARIATION OF SOME ENZYME ACTIVITIES IN A CRUDE OIL AND PETROLEUM PRODUCTS CONTAMINATED SOIL

Tuba KAYA

Uludağ University

Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA

Petroleum has an indisputable importance in the world economy and politics nowadays. In addition to this importance of petroleum, soil pollution became an important issue by soil penetration that is occured by oil spill and waste engine oil resulting from various accidents in recent years. This study aimed to examine the soil contaminated with crude oil and petroleum products. The effects of different types of pollution (crude oil and waste engine oil) , different doses (%0.5 and %5) and different temperatures (18°C and 28°C) were studied by an incubation study throughout a five months period soil rehabilitation process in hydrocarbon contaminated soils were evaluated by the time-dependent variations of soil enyzme activities.

The results showed that the measured enzyme activities showed variability depending on time. A general trend of decrease was observed in enzyme activities of cruide oil and waste mineral diesel oil polluted soils. It is thought that the soil rehabilitation proceeded during the entire incubation period. In general, an increasing effect of wastewater sludge amendment an enzyme activities was observed in this study.

Key Words: soil enzymes, soil pollution, crude oil pollution, crude oil, wastewater sludge, enzyme activity

2015, x + 75 pages.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bana bu araştırmada çalışma olanağı sağlayan, bu tezi hazırlamamda başından sonuna kadar bana destek olan, yol gösteren çok değerli hocam ve yüksek lisans tez danışmanım U.Ü Mühendislik Fakültesi evre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA'ya sonsuz teőkrlerimi sunarım.

Ayrıca tez ve laboratuvar çalışmalarım boyunca bana destek olan hocam U.Ü Mühendislik Fakültesi evre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. F. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN'a,

Yüksek lisans tez çalışmamda başından sonuna kadar yardımlarını esirgemeyen, bilgi birikimlerini benimle paylaşan U.Ü Mühendislik Fakültesi evre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üye Yardımcısı Sayın Araş. Gör. Dr. Efsun DİNDAR'a,

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, beni destekleyen sevgili aileme ve arkadaşım Özlem KAMIŐ'a teőkr bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Ham Petrol ve Petrol Ürünlerinin Dünya Üzerindeki Önemi	3
2.2. Ham Petrolün Yapısı	4
2.3. Toprak Kirliliği	4
2.3.1. Ham Petrol ve Petrol Ürünlerinin Toprak Ortamına Etkileri	5
2.4. Enzim Aktiviteleri ve Kirlilik İndikatörü Olarak Önemi	6
2.5. Topraktaki Petrol Kirliliğinin Giderilmesinde Kullanılan Yöntemler	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Materyal	14
3.1.1. Toprak Örnekleri.....	14
3.1.2. Arıtma Çamurları	14
3.1.3. Petrol ve Petrol Ürünleri	15
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. İnkübasyon	15
3.2.2. Toprak Örneklerinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu.....	17
3.2.3. Toprak Numunelerindeki Enzim Aktivitelerinin Değişimlerini Zamana Bağlı Olarak Takip Etmek İçin Numune Alınması	17
3.2.4. Toprak Enzim Aktivitelerinin Analiz Yöntemleri	17
3.2.5. İstatiksel Analiz.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Ham Materyallerin Karakterizasyonu	20
4.1.1. Arıtma Çamuru	20
4.1.2. Toprak Örneği	20

4.2. Ham Petrolün Uygulandığı Toprakta Enzim Aktivitelerinin Zamana Bağlı Değişimleri ...	22
4.2.1. Üreaz Aktivitesi	22
4.2.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi	27
4.2.3. Dehidrogenaz Aktivitesi.....	32
4.2.4. β -Glukosidaz Aktivitesi	36
4.3. Atık Mineral Dizel Yağının Uygulandığı Toprakta Enzim Aktivitelerinin Zamana Bağlı Değişimleri.....	41
4.3.1. Üreaz Aktivitesi	41
4.3.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi	46
4.3.3. Dehidrogenaz Aktivitesi.....	50
4.3.4. β -Glukosidaz Aktivitesi	55
5. SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	66
EK 1	67
EK 2	68
EK 3	69
EK 4	70
EK 5	71
EK 6	72
EK 7	73
EK 8	74
ÖZGEÇMİŞ	75

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
UA	Üreaz aktivitesi
APA	Alkali fosfataz aktivitesi
DHA	Dehidrogenaz aktivitesi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Toprak enzimleri	7
Şekil 3.1. Balabancık Köyü'nün haritadaki yeri	14
Şekil 4.1. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	23
Şekil 4.2. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	24
Şekil 4.3. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	26
Şekil 4.4. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	27
Şekil 4.5. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	28
Şekil 4.6. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	29
Şekil 4.7. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	30
Şekil 4.8. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	31
Şekil 4.9. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	33
Şekil 4.10. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	34
Şekil 4.11. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	35
Şekil 4.12. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	36
Şekil 4.13. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	37
Şekil 4.14. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	38
Şekil 4.15. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	40
Şekil 4.16. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	41
Şekil 4.17. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	42
Şekil 4.18. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	43
Şekil 4.19. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	44
Şekil 4.20. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	45
Şekil 4.21. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	47
Şekil 4.22. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	48

Şekil 4.23. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	49
Şekil 4.24. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	50
Şekil 4.25. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	51
Şekil 4.26. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.27. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	53
Şekil 4.28. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 4.29. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	55
Şekil 4.30. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	56
Şekil 4.31. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	57
Şekil 4.32. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Toprak enzimlerinin rolü	11
Çizelge 3.1. Deneme Deseni	16
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve toprak özellikleri	22
Çizelge 4.2. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	24
Çizelge 4.3. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	25
Çizelge 4.4. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	26
Çizelge 4.5. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	27
Çizelge 4.6. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	29
Çizelge 4.7. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	30
Çizelge 4.8. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	31
Çizelge 4.9. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	32
Çizelge 4.10. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	33
Çizelge 4.11. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	34
Çizelge 4.12. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	35
Çizelge 4.13. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	36
Çizelge 4.14. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	38
Çizelge 4.15. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	39
Çizelge 4.16. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	40
Çizelge 4.17. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	41
Çizelge 4.18. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	43
Çizelge 4.19. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	44
Çizelge 4.20. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	45
Çizelge 4.21. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	46
Çizelge 4.22. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	47

Çizelge 4.23. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	48
Çizelge 4.24. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	49
Çizelge 4.25. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	50
Çizelge 4.26. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	51
Çizelge 4.27. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	52
Çizelge 4.28. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	53
Çizelge 4.29. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	54
Çizelge 4.30. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	56
Çizelge 4.31. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	57
Çizelge 4.32. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	58
Çizelge 4.33. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'deki β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi	59

1. GİRİŞ

Petrol günümüzde dünya ekonomi ve siyasetinde tartışılmaz bir öneme sahiptir. Kullanım alanının yaygınlığı arz-talep dengesi içinde bu ürüne bağımlılığı arttırmıştır. Stratejik önemin yanı sıra, petrolün üretimi, taşınması ve kullanımı safhalarında meydana gelen kazalar sonucu çevrede önemli ölçüde kirlilik meydana gelmektedir.

Petrol ve petrol ürünleri genel olarak parçalanması zor kompleks bileşikler ve ağır metaller içermektedir. Bu sebeple meydana gelen tanker kazaları ve boru sızıntılarının gerçekleştiği alanlarda toprak istenilen amaca hizmet edemeyecek şekilde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zarar görmektedir.

Petrol ve petrol ürünlerinden kaynaklı çevre kirliliği artış göstermesine rağmen kirliliğin giderilmesi konusunda kapsamlı çalışmalar mevcut değildir. Petrol ve petrol ürünlerinden kaynaklı kirliliğin giderilmesi konusunda uygun yöntemlerin belirlenmesi ve bu alandaki çalışmaların hızlanması gerekmektedir.

Petrol temelde sadece karbon ve hidrojen elementlerinden meydana gelen hidrokarbonlardan oluşur, ancak bu iki element çok çeşitli ve karmaşık molekül yapıları oluşturur. Petrolün yapısında bulunan düşük kaynama noktasına sahip bileşiklerin ve aromatiklerin canlı organizmalar üzerinde zehirleyici, bazılarının ise kanserojen etkiye yol açtığı bilinmektedir. Petrol ve petrol ürünlerinin toprakta meydana getirdiği kirliliğin sadece toprak verimliliği, toprak canlıları ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bu nedenle bu kirleticilerin parçalanarak giderilmesi gerekmektedir.

Toprakta yaşayan mikroorganizmaların en önemli faaliyetlerinden biri organik maddenin mineralizasyonu, yani kompleks organik maddelerin basit anorganik bileşiklere veya besin iyonlarına kadar parçalanmasıdır. Parçalanma işlemini gerçekleştiren mikroorganizmalar toprak verimliliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilebilirler. Ancak, 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. Ayrıca,

topraktaki enzimler azot (ürez, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon (β -glukosidaz) döngüsünde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler. Toprak enzimleri, belirli reaksiyonları biyolojik olarak katalizlemektedir. Bu reaksiyonlar çeşitli faktörlere bağımlıdır. Örneğin; pH, sıcaklık ve inhibitörlerin varlığı vb. (Dick ve Tabatabai 1992, Ruggiero ve ark. 1996).

Son yıllarda çeşitli kazalar sonucu petrol sızıntıları ve atık yağların toprağa karışmasıyla, toprak kirliliği önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada ham petrol ve atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların incelenmesi amaçlanmıştır. Ham petrol ve atık mineral dizel yağı ile yüksek miktarda kirlenme şartlarını simüle etmek amacıyla yüksek doz (% 5), sızma (damlama) şartlarını simüle etmek amacıyla düşük doz (% 0,5) olmak üzere literatürdeki diğer çalışmalar da incelenerek kirlenici dozları belirlenmiştir. Petrollü hidrokarbonların biyolojik olarak parçalanmasını hızlandırmak amacıyla organik madde katkısı olarak toprağa arıtma çamuru ilavesi yapılmıştır. Uygulanacak yöntemlerle hidrokarbonların parçalanması sürecinde toprak enzim aktivitelerine etkinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla inkübasyon çalışmasının $+18^{\circ}\text{C}$ ve $+28^{\circ}\text{C}$ 'ler olmak üzere iki ayrı sıcaklıkta yürütülmesi amaçlanmıştır. Farklı sıcaklıklarda yürütülen bu uygulamalara ait toprak numunelerindeki enzim aktivitelerinin zamana bağlı değişimlerini takip etmek için belli periyotlar sonunda (1., 2., 3. ve 5. aylar) numuneler alınması amaçlanmıştır. Toprak numunelerine uygulanan söz konusu değişkenlerin mikrobiyal aktiviteye olan etkisini izlemek amacıyla yapılan çalışmada toprak enzimlerinden ürez, fosfataz, dehidrogenaz ve β -Glukosidaz enzim aktivitelerinin analizlenmesi ve zaman bağılı değişimlerinin belirlenmesi bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Böylece petrol ve petrol ürünleriyle kirlenmiş topraklarda farklı uygulamalar sonucu toprak enzim aktivitelerinin zamana bağlı değişimlerinin değerlendirilmesi ile toprakların rehabilitasyon düzeyleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmesi de amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ham Petrol ve Petrol Ürünlerinin Dünya Üzerindeki Önemi

Petrol, milyonlarca yıldır dünyanın en önemli enerji kaynağıdır ve günümüzde de enerji kaynağı olarak kullanılmaya devam etmektedir. Petrole eşdeğer yeni bir enerji kaynağı bulunmadığı sürece bu öneminin devam edeceği aşikârdır.

BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'na (2014) göre; petrol küresel enerji tüketiminin yüzde 32,9'u ile dünyanın önde gelen yakıtı olmayı sürdürmektedir.

Türkiye'nin başlangıçtan bugüne keşfedilen üretilebilir petrol rezervi, yaklaşık 1 milyar varildir. Bu rezervin bugüne kadar yaklaşık % 70'i tüketilmiş olup, kalan rezervimiz 296 milyon varildir (43,1 milyon ton). Son dönemde, Türkiye'nin petrol potansiyeli üzerine yoğun tartışmaların sürdürüldüğü görülmektedir. "Türkiye'de petrol yoktur" ya da "Türkiye petrol denizinin üstünde yüzmektedir" gibi birbiriyle taban tabana zıt ve her ikisi de bilimsel dayanaktan yoksun olan yaklaşımların, petrol varlığının ve potansiyelinin ortaya konabilmesi açısından yararlı olmadığı açıktır (Pamir 2003).

Ülkemiz çevresinde meydana gelen birçok savaşın petrol kaynaklı olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni de ülkemizin dört bir tarafının petrol ile çevrili olmasıdır.

BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'na (2014) göre; Türkiye'de 2013 yılında 33,1 milyon ton petrol tüketilirken, 2012 yılına göre % 5,7 oranında artış kaydedildi. Türkiye bu rakamlarla, dünya petrol tüketiminin %0,8'ini gerçekleştirmiştir.

Her yenilenemez enerji kaynağında olduğu gibi petrol rezervleri de sınırlıdır. Bununla beraber uzun yıllar yetecek petrol rezervleri mevcuttur ve yeni rezervler de yer altında keşfedilmeyi ve üretilmeyi beklemektedir. Gelişen teknoloji sayesinde petrol, derin deniz diplerinde ve yer içinin karmaşık yapıda olduğu bölgelerde dahi aranmakta, bulunmakta ve üretilmektedir. Yaygın olarak ifade edildiği gibi petrolün yaklaşık olarak 40 yıllık içerisinde tükeneceği varsayımı aslında yanlış bir anlamadan kaynaklanmaktadır. Burada bahsedilen süre petrol şirketlerinin ellerinde tuttıkları ekonomik olarak üretilebilir petrol rezervlerinin miktarından kaynaklanmaktadır. Yapılacak yeni keşifler ile artacak olan petrol rezervleri yakın gelecekte üretim/tüketim dengesini sağlayacak yeterliliktedir.

2.2. Ham Petrolün Yapısı

Yerküre içerisinde organik materyalin başkalaşımı ile oluşmuş ve gözenekli kayalar içerisinde depolanmış sıvı haldeki hidrokarbonlara ham petrol adı verilmektedir. Petrolün başındaki "ham" terimi bir hammadde olduğunu ve henüz işlenmediğini göstermektedir. Ham petrol, rafinerilerde bileşenlerine ayrıştırılarak (damıtılarak) günlük yaşamımızda kullandığımız pek çok ara madde ve akaryakıt ürünleri elde edilir (Anonim 2013).

Petrolün inorganik mi yoksa organik esaslı mı olduğu 1800'lü yıllardan itibaren tartışma söz konusu olmuştur. Geçmişten günümüze kadar gelen petrolün organik kökenli olduğu kabul edilmesiyle tartışmalar son bulmuş olup, çalışmalar petrolün organik kökenli kabul edilmesine yönelik yapılmıştır.

Ham petrolün kimyasal bileşimi oldukça karmaşıktır. Tipik bir ham petrol örneği, 18 farklı hidrokarbon ailesine ait yaklaşık birkaç bin kimyasal madde içerir. Petrolün içerdiği bileşenlerin tamamının detaylı analizi oldukça zor yapılmaktadır. Petrolün yapısının bu derece karmaşık olması, basitleştirilmiş sınıflama tekniklerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Yaygın olarak kullanılan bir sınıflama yöntemi petrolü parafin bazlı ve asfalt bazlı olarak ikiye ayırmaktır. Parafin bazlı petrolerden düşük sıcaklıklarda parafin adı verilen bir katı madde ayrışır. Parafin, asitlere karşı dayanıklı, eter, kloroform, karbon disülfid gibi kuvvetli solventler tarafından çözilemeyen bir katıdır. Asfalt bazlı petroler, damıtma sonucunda artık olarak koyu renkli (siyah) bir katı faz oluştururlar (Anonim 2013).

Ham petrolün rafinerilerde arıtılması ve işlenmesi sonucunda, ortalama olarak % 43 benzin, % 18 fuel oil ve motorin, % 11 LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı, propan veya propan-bütan karışımı), % 9 jet yakıtı, % 5 asfalt ve %14 diğer ürünler elde edilmektedir (Anonim 2013).

2.3. Toprak Kirliliği

Toprağın üstüne veya içine bilerek ya da bilmeyerek bırakılan zararlı maddelerin toprağın özelliklerini bozması olayına toprak kirliliği denmektedir.

Toprağın zararlı maddelerle kirlenmesine neden olan süreçler farklı iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, toprak dışındaki ekosistemlerde meydana gelen kirlenmelerden kaynaklanan süreçlerdir. Bu gruba hava ve suları kirleten maddeler ile radyoaktif kaynaklı kirleticiler girmektedir. İkinci gruba giren kirleticiler ise, insan eliyle toprağın üstüne ve içine getirilen zararlı maddelerdir. Tarımsal aktivite ile toprağa verilen mineral gübreler, hayvansal ve bitkisel zararlılarla mücadele için kullanılan biyosidler, hormonlar, tarımsal endüstri atık maddeleri, sıvı ve katı gübreler; endüstriyel faaliyetler sonucunda toprağa karıştırılan petrol, mineral yağlar, benzin; evsel ve endüstriyel katı atık maddeler gibi birçok olay toprağın kirlenmesine sebep olmaktadır. Her iki gruba giren kirleticiler inorganik ve organik kökenli olabilir (Kaya 2011).

2.3.1. Ham Petrol ve Petrol Ürünlerinin Toprak Ortamına Etkileri

Toprakların kirlenmesine neden olan petrollü ürünlerin en önemli kaynakları rafineriler, petrol boru hatları, aktif veya terk edilmiş gaz ve petrol istasyonları, taşımacılık ve nakliye yoluyla istenmeden meydana gelen döküntüler, araçlardan kaynaklanan döküntüler ve yer altı depolama tankları olarak verilebilir. Toprakların petrol ile kirlenmesi hem sağlığımızı hem de çevre sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle toprak kirliliği üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır.

Arazi üzerinde hidrokarbonların büyük miktarı her yıl ekstrakte edilir, üretilir, rafine edilir ve kullanılır buna rağmen dikkatli kullanımdaki, taşımadaki ve tutulumdaki ilerlemeler toprak çevresine girişi hâlâ engelleyememiştir (Chaîneau ve ark. 2005). Petrolün tesadüf eseri yayılımı kontrol altına alınmadığında doğal ekosisteme büyük zararlarının olduğu görülmüştür. Fiziksel ve biyolojik proseslere rağmen, hidrokarbonlar uzun zaman boyunca toprakta kalabilir (Atlas 1992, Chaîneau ve ark. 1995).

Petrol bulaşmalarına örnekler verecek olursak; ilk olarak 19 Temmuz 1970'de meydana gelen Nigerian Petrol Enstitüsündeki kirlilik olayıdır. Bunun sonucunda rüzgarla savrulan küllerin 607 hektar tarım arazisini kirlettiği saptanmıştır. Buna göre petrol ve petrol ürünlerinden kaynaklanan toprak kirliliği ortaya çıkmıştır (Awobajo 1981). 24 Mart 1989'da, Alaska'daki Exxon Valdez petrol tankerinde ham petrolün 11 milyon galonundan fazlası dökülmüştür. Bu olay tarihin en büyük petrol kazasıdır. Ocak

1993'de Braer tankerinden 85.000 ton Norwegian ham petrolü Shetland adası boyunca denize dökülmüştür (Mariner Group 2001). Ocak 2001'de 250.000 galon dizel ve kömür yakıtı nadir bitki ve hayvan türlerine ev sahipliği yapan Galapagos adası ve çevredeki denize sızmıştır (Charles Darwin Foundation 2001).

Petrol ve petrol ürünleri genel olarak parçalanması zor kompleks bileşikler ve ağır metaller içermektedir. Bu sebeple meydana gelen tanker kazaları ve boru sızıntılarının gerçekleştiği alanlarda toprak arzu edilen istenilen hizmet edemeyecek şekilde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zarar görmektedir.

Ham petrole ve diğer ilgili ürünlerle kirlenmiş topraklar evrensel problem oluşturmaktadır. Ham petrol hidrokarbonları toprağa boru hattı sızıntısı, tanker kazaları gibi toprağa doğrudan dökülme ile sonuçlanan kazalarda ve kısmen yanan petrol partiküllerinin havasal birikintileri sonucu bulaşmaktadır (Song ve ark. 1990).

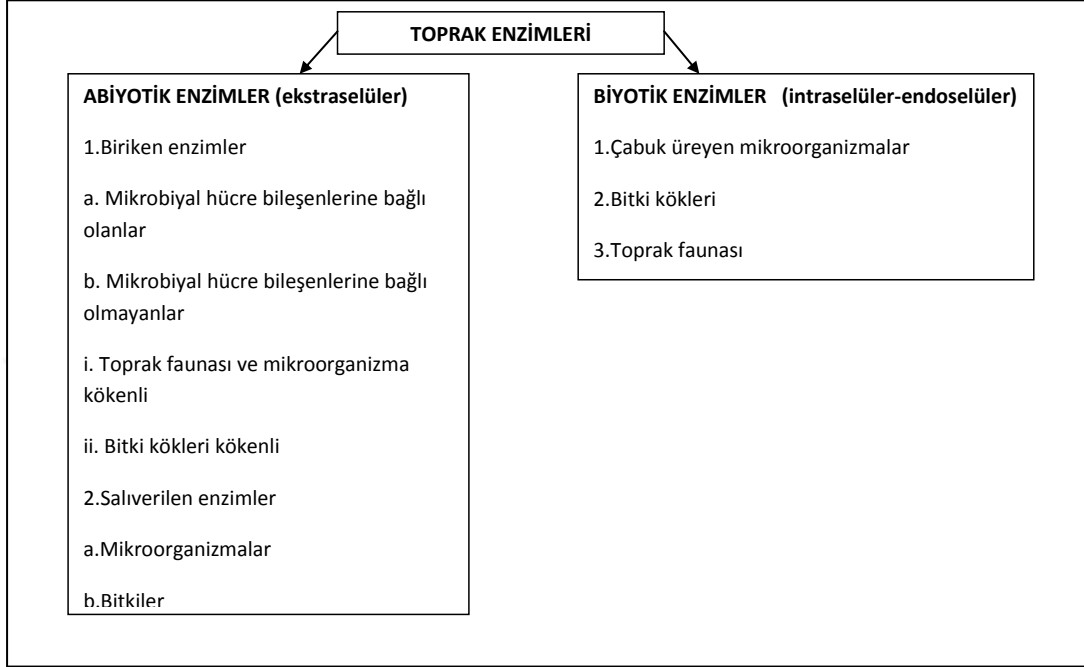
Ham petrol topraklara fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zarar verir. Çünkü, kısmen yüksek konsantrasyonlarda bazı toksik bileşikler içerirler (polisiklik aromatik hidrokarbonlar, benzen ve onun türevleri, siklo aklan zincirleri gibi). Topraklara dökülen ham petrol ve petrol ürünlerinin sonuç ve etkileri çeşitli çalışmalara daima konu olmuştur (Walworth and Reynolds 1995). Ham petrole kirlenmiş topraklar bitki gelişiminin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur ve yer altı su kirliliğinin başlıca kaynağını oluşturmaktadır (Song ve ark. 1990). Körfez savaşı sırasında ham petrole kirlenmiş topraklar, % 3'e kadar ham petrole kirlendiğinde hafif kirli ve %6-8 arası şiddetli kirlenmiş olarak sınıflandırılmıştır (Al-Awadhi ve ark. 1996).

Kirlenmiş topraklar karmaşık sistemlerdir ve böyle topraklarda bazı enzim aktivitesinin davranışları çok değişken olabilir. Bundan dolayı kirlenmiş toprakların niceliği, birleştirilmiş birkaç biyolojik toprak özelliğinin belirlenmesine gerek duyabilir (Trasar-Cepeda ve ark. 2000)

2.4. Enzim Aktiviteleri ve Kirlilik İndikatörü Olarak Önemi

Enzimler biyokimyasal reaksiyonların oluşumunda ve devamlılığında çok önemli olan unsurlar olup reaksiyonların hızlandırıcı elementleridir.

Endo enzimler oluştukları hücre içinde cereyan eden enzimlerdir. Ekto enzimler ise hücre dışında absorbe edemeyeceği kadar büyük molekülü besinleri parçalamak için dışarı salınan enzimler olarak tanımlanmaktadır. Toprak enzimleri ekto enzimlerdir.



Şekil 2.1. Toprak Enzimleri (Namlı 2013)

Abiyotik enzimler 2 lokasyonda stabilize olur:

- Kil yüzeylerinin içinde ya da dışında adsorbe edilmiş halde,
- Humik madde oluşumu süresince adsorpsiyonla humik kolloidlerle kompleks halde.

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

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 ve toprağın işlenmesine bağlıdır. Toprak pH'nın 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 substrat 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. 1990).

Kasein ve N- ∞ -benzol-L-argininamid (BAA) hidrolizleyen proteaz aktiviteleri peptid bağlara sahip substratların 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 substratların 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 karışımlı 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. İnkübasyon sonunda toprağın enzim aktivitesinin arttığı gözlenmiştir.

Lee ve arkadaşları (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.

Toprak enzim aktivitesi yolu ile toprağın biyolojik özellikleri ve verimliliğe ilişkin özellikler daha iyi bir şekilde incelenebilmektedir. Toprak enzimleri, toprağın diğer biyolojik özellikleri ile yakın bir ilişkiye sahip olup, topraktaki minerilizasyon prosesinde önemli bir rol oynamaktadır. Enzimler topraktaki canlı hücrelerle veya abiyotik enzim olarak ifade edilen hücrelerle, hücre kalıntıları veya aktif enzimlerle ilişki içinde olabilmektedir. Uzun süreli arazi çalışmaları yüksek karbon girdili veya karbon girdisini muhafaza eden ürün sitemlerinin toprakta enzim aktivitesini arttırdığını göstermiştir.

Enzim aktiviteleri, toprakta mevcut bitki türü tarafından büyük oranda etkilenmektedir. Ayrıca aynı toprakta enzimatik aktivitedeki değişimler, mikroorganizmalar tarafından enzim üretimi ve toprakta organik madde kapsamındaki değişimlerle ilişki içerisinde. Bazı enzimler sadece organik maddenin ayrışmasını kolaylaştırırlar (hidrolaz, glikosidaz), diğerleri de besin elementi mineralizasyonu ile ilgilidirler (amidaz, üreaz, fosfataz, sülfataz).

Fosfataz aktivitesi dışında, besin elementi yayırlılığı ve ürün yetiştirmeyle enzim aktivitesi arasında direk bir ilişkinin olduğuna dair bir kanıt bulunmamaktadır.

Besin elementinin mineralizasyon yoluyla bitki tarafından alınabilir forma gelmesinde enzim aktivitesinin indirekt olarak katkısı vardır. Ancak, toprak enzimlerinin yokluğu veya engellenmesi, besin elementini etkileyen proseslerin azalması veya engellenmesine yol açar.

Çok zayıf (düşük) enzim aktivitesi (örneğin pestisitlerin etkisiyle enzimin parçalanması) çevreye zararlı kimyasalların toprakta birikmesine neden olur, bu kimyasalların birikmesi de yine toprak enzimlerini inhibe eder.

Çizelge 2.1. Toprak enzimlerinin rolü (Namlı 2013)

Enzim	Organik Bileşik	Son ürün	Önemi	Topraktaki fonksiyonu
β -Glukosidaz	C bileşikleri	Glikoz (şeker)	Mikroorganizmalar için enerji	Organik madde ayrışması
Floresin diasetat hidrolizi	Organik madde	C ve çeşitli besin elementleri	Mikroorganizmalar için enerji ve besin	Organik madde ayrışması ve besin döngüsü
Amidaz	C ve N bileşikleri	Amonyum	Bitki tarafından alınabilir amonyum	Besin döngüsü
Üreaz	Üre azotu	Amonyak ve karbondioksit	Bitki tarafından alınabilir amonyum	Besin döngüsü
Fosfataz	Fosfor	Fosfat	Bitki tarafından alınabilir fosfor	Besin döngüsü
Sülfataz	Kükürt	Sülfat	Bitki tarafından alınabilir kükürt	Besin döngüsü

En fazla çalışılan toprak enzimleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Oksidoredüktazlar: Redüksiyon-oksidasyon reaksiyonlarını katalize ederler.
- Transferazlar: Fonksiyonel grupların bir molekülden diğerine transferini katalize ederler.
- Hidrolazlar: Su katılması suretiyle bağların parçalandığı hidroliz reaksiyonlarını katalize ederler.

Oksidoredüktaz grubundan dehidrogenaz, organik maddenin oksidasyonundaki açık rolünden dolayı topraklarda kısmen daha yaygın çalışılmaktadır. Buradaki rolleri alıcılara substratlardan hidrojen transfer etmektir. Bazı hidrolaz ve transferaz enzimleri toprak organik maddesinin oluşumu ve besin döngülerinde önem taşımaktadırlar ve şu döngülerde gereklidirler:

- Karbon döngüsü; amilaz, selülaz, lipaz, glukozidaz ve invertaz.
- Azot döngüsü; N-acetyl glucosaminidase (NAGAZ), kitin ayrışmasında proteaz, (proteinleri polipeptide) veya (Oligopeptitleri amino asite) üreaz, ürenin amonyuma amidase, (amide bonds (CO-NH₂) arylamidase, (alfa-aminoacyl-peptit) glutaminase,

(glutaminden glutamate asparaginase (Asparagin amino asitinden aspartik asit-alfa amino asit) glycine aminopeptidase (GAP) peptit ayrışması.

- Fosfor döngüsü; fosfataz , fosfomonoesteraz .
- Kükürt döngüsü; arily-sülfataz.

a) Katalaz enzimi: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

b) Üreaz enzimi: $\text{NH}_2\text{CONH}_2 \longrightarrow \text{NH}_2\text{COOH} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$

c) Fosfataz enzimi: Fosfat esterleri + $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{ROH} + \text{fosfat}$

d) Proteaz enzimi: Proteinler \longrightarrow peptidler ve amino asitler

2.5. Topraktaki Petrol Kirliliğinin Giderilmesinde Kullanılan Yöntemler

Yakma, termal desorpsiyon, toprağın yıkanması ve solvent ekstraksiyonu gibi fiziksel ve kimyasal arıtım teknolojileri topraklardaki petrollü hidrokarbonların ortadan kaldırılması için geliştirilmekte ve test edilmektedir (Stegmann ve ark. 1999). Bu teknolojiler kirlenmiş toprakların ıslah edilmesinde başarılı bulunmasına rağmen, sadece toprak yapısını bozmaları yada toprağı biyolojik olarak yoksullaştırmaları değil, bazen tamamen steril bir ortam sağlasalar bile genellikle çok yüksek bir maliyet gerektirirler. Buna karşın biyolojik toprak arıtım teknolojileri land farming (arazi düzenlenmesi), kompostlaştırma ya da bio-yığın arıtım, sıvı biyoremediasyon ve bioventing (hava-buhar uygulaması) gibi, sadece düşük maliyetli olmaları değil genellikle ortamdaki petrollü hidrokarbon kirleticilerinin seviyelerini azalttıkları ve toprak kalitesini bozmadıkları bilinmektedir. Sonuç olarak biyoremediasyon petrolle kirlenmiş topraklar için en yaygın olarak kullanılan arıtım teknolojisidir (Alexander 1994, Baker ve Herson 1994, Cookson, 1995).

Biyoremediasyon doğal biyolojik aktivitelerin kullanılmasıyla, kirleticilerin yıkıma uğratılmasını sağlayan bir arıtım alternatifidir. Kirleticiler biyolojik aktivitelerle karbondioksit ve su gibi zararsız son ürünlere dönüştürülmektedir (Başkaya ve ark. 2010).

Toprak hidrokarbonlarının biyolojik olarak ayrışması için makro ve mikro besin elementlerinin varlığına ihtiyaç vardır (Dibble ve Barta 1979). Makro besin elementleri

genellikle, azot ve fosfor biyolojik ayrışma için başlıca sınırlayıcı olduğu ve bu besin maddelerinin ilave edilmesinin doğrudan doğruya topraklarda petrol ayrışmasını teşvik edebileceğini ya da uzun süreli inkübasyona gerek duyacağı belirtilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak Örnekleri

Toprak örnekleri, Balabancık Köyü'nde bulunan bir tarım arazisinden alınmıştır. Köy Bursa ilinin Mudanya ilçesinde yer almaktadır. Bursa İzmir yoluna 5 km uzaklıkta olup, Uludağ Üniversitesi Görükle kampüsüne Bursa Ovası'ndan gelen Nilüfer Çayı ile sınırlıdır.

Köyün tarım arazisi son derece verimli ve sulak toprağa sahiptir. Toprak tekstürü kumlu-killi olup % 56 kum, % 18,5 silt ve % 25,4 kil içeriğine sahip olarak tespit edilmiştir (Dindar 2014).



Şekil 3.1. Balabancık Köyü'nün haritadaki yeri

3.1.2. Arıtma Çamurları

Araştırmada kullanılan arıtma çamuru örneği, Bursa – İzmir karayolu 22. km'sinde bulunan Penguen Gıda Sanayi A. Ş.'den temin edilmiştir.

Fabrikada başlıca 40 çeşit üründe işlenmiş sebze ve meyve üretimi yapılmaktadır. Arıtma çamuru örneğinin alındığı Kasım ayındaki ürün deseni kabya biber, küçük acı biber, karnabahar, ayva, pırasa ve brokoli şeklindedir. Arıtma tesisine gelen atıksu bileşesi 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 (Dindar 2008).

Topraklara uygulanan çamurlardaki ağır metaller 08.06.2010 tarihli ve 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik" içindeki sınır değerleri aşmamaktadır.

Kirilenmiş toprağa ıslah için 100 ton/ha (40 g/kg) oranında aerobik arıtma çamuru uygulanmıştır (Dindar 2014).

3.1.3. Petrol ve Petrol Ürünleri

Çalışmamızda kirletici olarak ham petrol ve atık mineral dizel yağı kullanılmıştır. Ham petrol Aliğa rafineri tesisinden işlenmemiş olarak, atık mineral dizel yağı ise değişim esnasında doğrudan traktör motoru atık yağ çıkışından alınmıştır. Kirletici dozu % 0,5 ve % 5 (w/w) olarak uygulanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. İnkübasyon

Toprak örnekleri 40 gr olarak tartılarak cam inkübasyon kaplarına konulmuştur. Hazırlanan topraklara ağırlıkça % 0,5 ve % 5 oranında ham petrol ve atık yağ uygulanmıştır. Kirilenmiş toprak örneklerinden seçilenlere 40 g/kg oranında arıtma çamuru uygulanarak 18⁰C ve 28⁰C'de inkübe edilmeye başlanmıştır. Daha sonra bu topraklarda enzim aktivitelerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın deneme deseni aşığıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme deseni (Dindar 2014)

Uygulama No	Uygulama	Uygulamanın Niteliği
1	18°C'de kontrol	Kirlenmemiş, arıtma çamuru ilavesi yok
2	18°C'de % 0,5 atık yağ ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
3	18°C'de % 5 atık yağ ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
4	18°C'de % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
5	18°C'de % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
6	18°C'de % 0,5 atık yağ + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
7	18°C'de % 5 atık yağ + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
8	18°C'de % 0,5 ham petrol + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
9	18°C'de % 5 ham petrol + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
10	18°C'de temiz toprak + 100 ton/ha arıtma çamuru (kontrol)	Arıtma çamuru ilavesi
11	28°C'de kontrol	Kirlenmemiş, arıtma çamuru ilavesi yok
12	28°C'de % 0,5 atık yağ ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
13	28°C'de % 5 atık yağ ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
14	28°C'de % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
15	28°C'de % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprak	Doğal giderim
16	28°C'de % 0,5 atık yağ + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
17	28°C'de % 5 atık yağ + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
18	28°C'de % 0,5 ham petrol + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
19	28°C'de % 5 ham petrol + 100 ton/ha arıtma çamuru	Biyolojik uyarım
20	28°C'de temiz toprak + 100 ton/ha arıtma çamuru (kontrol)	Arıtma çamuru ilavesi

3.2.2. Toprak Örneklerinin Alınması, Analize Hazırlanması ve Karakterizasyonu

0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri bez çuvalar içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Hava kuru durumuna gelinceye kadar laboratuvar ortamında kurutulup, toprak örneklerindeki taşlar ayıklanarak ve örnekler ezilerek 4 mm'lik eleklerden elenmiştir. Toprak örneklerinin karakterize edilmesi için aynı toprağın kullanıldığı Dindar (2014) da verilen değerler esas alınmıştır

3.2.3. Toprak Numunelerindeki Enzim Aktivitelerinin Değişimlerini Zamana Bağlı Olarak Takip Etmek İçin Numune Alınması

Farklı sıcaklıklarda yürütülen uygulamalara ait toprak numunelerindeki enzim aktivitelerinin değişimlerini zamana bağlı olarak takip etmek için belli dönemlerde (1. ay, 2. ay, 3. ay ve 5. ay olmak üzere toplam 4 periyotluk dönemde) toprak örnekleri alınmıştır.

3.2.4. Toprak Enzim Aktivitelerinin Analiz Yöntemleri

Toprak örnekleri 18°C ve 28°C olmak üzere 2 gruptan oluşturulmuştur. Her bir grup ise toplam 10 örnekten oluşmaktadır. 1. örnek, kontrol toprak örneğinden oluşmaktadır. 2. örnek, toprağa % 0,5 atık mineral dizel yağı ilavesi, 3. örnek ise toprağa % 5 atık mineral dizel yağı ilavesi ile oluşturulmuştur. 4. örnek, toprağa % 0,5 ham petrol ilavesi, 5. örnek ise % 5 ham petrol ilavesi ile oluşturulmuştur. 6. örnek, toprağa % 0,5 atık mineral dizel yağı ve aerobik çamur ilavesi, 7. örnek ise % 5 atık mineral dizel yağı ve aerobik çamur ilavesi ile oluşturulmuştur. 8. örnek, toprağa % 0,5 ham petrol ve aerobik çamur ilavesi, 9. örnek ise toprağa % 5 ham petrol ve aerobik çamur ilavesi ile oluşturulmuştur. 10. örnek ise toprağa aerobik çamur ilavesi ile oluşturulmuştur.

Oluşturulan örnek gruplarında 4 farklı toprak enziminin (üreaz, fosfataz, dehidrogenaz, β-glukosidaz) zamana bağlı değişimi incelenmiştir. İncelenen enzim aktivitelerinin analizleri Tabatabai (1982) tarafından bildirildiği şekilde tayin edilmiş olup, analiz yöntemleri aşağıda verilmiştir.

a- Üreaz Aktivitesi

Üreaz aktivitesinin belirlenmesi için toprak örnekleri 7,5 gr tartılmıştır. Toprak örneklerine 13,5 ml THAM tampon çözeltisi, 0,3 ml toluen ve 1,5 ml üre çözeltisi ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan örnekler 37°C'de 2 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından örneklere 52,5 ml KCl-Ag²SO⁴ eklenerek aktivite durdurulmuş ve toprak süspansiyonundaki amonyum azotu miktarı buhar destilasyonu ile belirlenmiştir. Sonuçlar mg NH⁴⁺-N /kg kuru toprak.sa cinsinden hesaplanmıştır.

b- Fosfataz Aktivitesi

Fosfotaz aktivitesinin belirlenmesi için 1 gr toprak örneğine 0,2 ml toluen, 4 ml MUB (alkali fosfataz için pH=11) ve substrat olarak aynı tamponla hazırlanmış 1 ml p-nitrofenil fosfat eklenmiştir. Toprak örnekleri 37°C'de 1 saat inkübe edilmiş, inkübasyonun ardından toprak örneklerine 1 ml 0,5 M CaCl₂ ve 4 ml 0,5M NaOH eklenerek aktivite durdurulmuş ve toprak süspansiyonu katlı filtreden süzölmüştür. Oluşan sarı renk yoğunluğu 410 nm'de belirlenmiştir. Filtratın p-nitrofenol (PNP) içeriği saf p-nitrofenolle hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar µg PNP/ gr kuru toprak.sa olarak hesaplanmıştır.

c- Dehidrogenaz Aktivitesi

Dehidrogenaz aktivitesini belirlemek üzere 20 gr hava kuru toprak 0,2 gr CaCO₃ 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 ölçülmüştür. Filtratın TPF (trifenil formazan) içeriği TPF standart çözeltisinden hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar µg TPF/ gr kuru toprak.24sa olarak hesaplanmıştır.

d- β –Glukosidaz Aktivitesi

β-glukosidaz aktivitesini belirlemek üzere 1 gr toprak üzerine 0,25 ml toluen, 4 ml MUB (pH=6) ve 1 ml PNG (p-nitrofenil-β –D-glukosit) solüsyonu eklenmiştir. 37°C'de

1 saat inkübe edildikten sonra örnekler üzerine 1 ml 0,5 M CaCl₂ ve 4 ml 0,1 M THAM tampon çözeltisi (pH=12) eklenmiştir. Kağıt filtreden süzülen 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.

3.2.5. İstatiksel Analiz

Deneme topraklarına yapılan çeşitli dozlardaki kirletici uygulamalarının, sıcaklığın, arıtma çamurunun ve inkübasyon süresinin toprakta belirlenen parametreler üzerine etkileri ANOVA testi ile kıyaslanarak F-değerleri bulunmuştur. Parametreler arasındaki farklılıklar Tukey HSD çoklu kıyaslama yöntemiyle yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ham Materyallerin Karakterizasyonu

4.1.1. Arıtma Çamuru

Çalışmada kullanılan gıda endüstrisi arıtma çamurunun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir (Dindar 2014). Çizelge 4.1’deki ortalama değerler incelendiğinde çalışmada kullanılan arıtma çamurunun ortalama pH değerlerinin 6,97 görülmektedir. Elektriksel iletkenlik değeri ise 5,04 mS/cm’dir.

Arıtma çamurlarındaki suda çözünebilir iyonlar şu aralıklarda bulunmuştur: Ca^{+2} 1800 mg/kg kuru çamur, Mg^{+2} 1400 mg/kg kuru çamur, Na^{+} 1700 mg/kg kuru çamur, K^{+} 1149 mg/kg kuru çamur, HCO^{3-} 2440 mg/kg kuru çamur, Cl^{-} 4056 mg/kg kuru çamur ve SO_4^{-2} 4800 mg/kg kuru çamur.

Arıtma çamurunun organik karbon %’si 33,50 bulunmuştur. Çamurda belirlenen toplam azot konsantrasyonu, potansiyel olarak belirgin bir azotlu gübre değerine sahip olduğunu göstermektedir. Gıda arıtma çamurunda % 3,50 toplam azot belirlenmiştir. C/N oranı ise 9,57 olarak bulunmuştur.

Belirlenen amonyum azotu miktarı 201,93 mg/kg kuru çamurken, nitrat azotu konsantrasyonu ise 171,64 mg/kg tespit edilmiştir.

Toplam fosfor içeriği açısından ise %0,50 olarak bulunmuştur. Yarayışlı PO_4-P konsantrasyonu ise 386,11mg/kg kuru çamurdur. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılıp kullanılmayacağını belirlemede baz alınan en önemli faktörlerden biri de ağır metal içerikleridir. Çalışmada kullanılan evsel (gıda endüstrisi) nitelikli arıtma çamurunun ağır metal içerikleri beklenildiği gibi oldukça düşük bulunmuştur. Çamurlarda belirlenen kolay serbest hale geçebilen ve toplam Zn, Cu, Ni, Cr, Cd ve Pb konsantrasyonları “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği’ne” göre tarımda kullanılacak arıtma çamurunda izin verilen maksimum ağır metal içeriklerinin altındadır.

4.1.2. Toprak Örneği

İnkübasyon denemesinde kullanılan toprağın bazı özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir (Dindar 2014). Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği gibi toprak pH’ı 7,76

civarındadır ve neojen yaşlı kireçli kil materyaller üzerinde oluşmuş, orta derin ve yüksek miktarda kil içeren topraklardır. Toprağın elektriksel iletkenlik değeri ise 230 $\mu\text{s/cm}$ gözlenmiştir. Tüm profilleri grimsi sarı kahverengi olup, AC horizonludurlar. ACk ve Ck horizonlarında çoğunlukla kireç taşı parçacıklarının yerinde ayrışması sonucu oluşmuş, çok yoğun 0,5-3 cm uzunluğunda yumuşak pudramsı kireç gözlenmiştir.

Toprağın suda çözünebilir katyon konsantrasyonları, 110 mg Ca^{+2}/kg kuru toprak, 35 mg Mg^{+2}/kg , 69 Na^{+} mg/kg ve 25 mg K^{+}/kg kuru toprak olarak bulunmuştur. Katyon değişim kapasitesi, 40 meq/100g'dır. Suda çözülebilir anyon konsantrasyonları ise, 560 mg $\text{HCO}^{3-}/\text{kg}$ kuru toprak, 25 mg Cl^{-}/kg kuru toprak ve 48 mg $\text{SO}_4^{-}/\text{kg}$ kuru toprak olarak belirlenmiştir.

Toprak örneğinin organik karbon miktarı % 1,70 olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan topraklar 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 değiştiği literatürde belirtilmiştir (Kacar 1994). C/N oranı 14,17 olarak hesaplanmıştır.

İnkübasyon çalışmasında kullanılan toprak örneğinin yarıyıllı fosfor konsantrasyonu 20,69 mg/kg kuru toprak ve toplam fosfor konsantrasyonu da 1700 mg/kg kuru toprak olarak bulunmuştur.

Kontrol topraklarında bulunan başlangıç enzim aktivitesi değerleri de, enzim aktivitesi çeşitlerine göre Çizelge Ek 1, Çizelge Ek 2, Çizelge Ek 3, Çizelge Ek 4, Çizelge Ek 5, Çizelge Ek 6, Çizelge Ek 7 ve Çizelge Ek 8'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve toprak özellikleri (Dindar 2014)

PARAMETRE	DEĞERLER	
	Arıtma Çamuru	Toprak
pH (1:5 Saf su ekstraktında)	6,97	7,76
EC, mS/cm (1:5 Saf su ekstraktında)	5,04	0,23
Kuru madde, %	16,4	
Suda çözünebilir iyonlar (mg/ kg kuru çamur):		
Ca ⁺⁺	1800	110
Mg ⁺⁺	1400	35
Na ⁺	1700	69
K ⁺	1149	25
CO ₃ ⁼	0	0
HCO ₃ ³⁻	2440	560
Cl ⁻	4056	30
SO ₄ ⁼	4800	48
Organik karbon, %	33,5	1,7
Toplam N, %	3,5	0,12
C/N oranı	9,57	14,17
Amonyum N. mg/kg kuru çamur	201,93	24,1
Nitrat N, mg/kg kuru çamur	171,64	24,1
Toplam P, %	0,5	1,17
Yarayışlı PO ₄ -P, mg/kg kuru çamur	386,11	20,69
Kolay serbest hale geçebilen ağır metaller (mg/ kg kuru çamur):		
Zn	122,8	< 2
Cu	27,55	< 2
Ni	11,2	< 2
Cr	0,11	< 2
Cd	0,09	< 2
Pb	1,79	< 2

4.2. Ham Petrolün Uygulandığı Toprakta Enzim Aktivitelerinin Zamana Bağlı Değişimleri

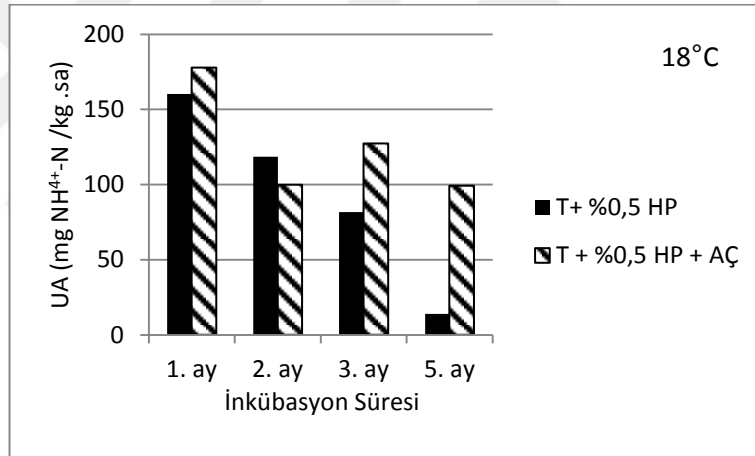
4.2.1. Üreaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu % 0,5 ve % 5 oranlarında ham petrol ile kirlenmiş topraklarda elde edilen üreaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 1’de görülmektedir. Ham petrol ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru

uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta üreaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

18°C'de düşük doz (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların üreaz aktivitesi incelendiğinde, üreaz aktivitesinin zamanla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalışın sebebi ortamda bulunan besin maddesinin azalması ile açıklanabilir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında ise arıtma çamuru ilavesi yapılmayan toprağa göre, üreaz aktivitesinde genelde bir artış gözlenmiştir. 2. ayda bir azalma meydana gelirken diğer aylarda arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklardaki üreaz aktivitesinde artış gözlenmeye devam etmiştir. Uygulama ve inkübasyon süresi ile deneme topraklarında belirlenen üreaz aktivitesi konsantrasyonları arasında $p < 0,05$ düzeyinde istatistiki bakımdan güvenilir bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

Dindar (2014) yaptığı çalışmada arıtma çamuru uygulaması yapılmayan kirli topraklarda 5. ayın sonuna kadar kirletici hidrokarbon miktarlarında önemli bir azalma trendi olduğunu bildirmektedir. Kirliliğin azalması ile birlikte üreaz enzim aktivitesinde de azalmanın devam ediyor olması toprakların rehabilitasyonunun devam ettiği anlamına gelebilir.

Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda ilk ayda meydana gelen üreaz aktivitesi artışının nedeni, ortamdaki besin maddesi ilavesi ile ilişkilendirilebilir. Daha sonra 2. ayda kirleticinin etkinliğinin azalması ile enzim aktivitesinde de azalma görülmüştür. 3.

ayda ise mikrobiyal ayrışma tekrar artış göstererek üreaz aktivitesi artmış ve 3. aydan sonra azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi ile birlikte enzim aktivitesindeki hareketlilik değişkenlik göstermiştir.

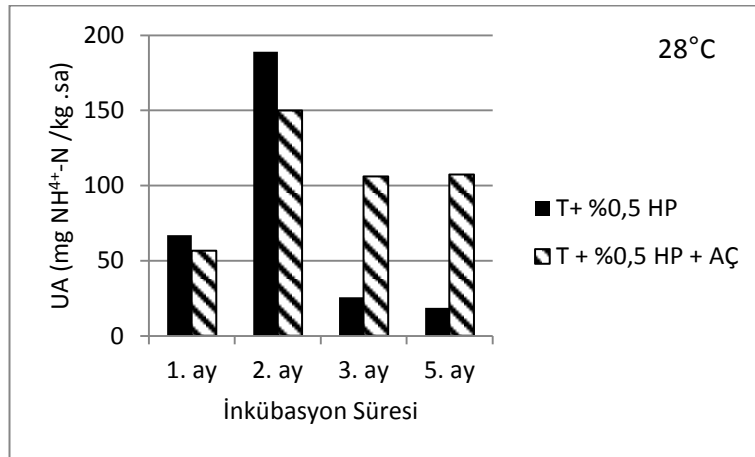
İstatiksel açıdan incelendiğinde arıtma çamuru uygulamasının üreaz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	12953, 59	3	32,5*
Uygulama	5126,29	2	12,86*
Uygulama x İnkübasyon süresi	2742,78	6	6,88*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

28°C’de düşük doz ham petrol ile kirlenmiş toprakların üreaz aktivitesi incelendiğinde, üreaz aktivitesinin 2. ay bir artış gösterdiği ve 3. aydan sonra azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi mikroorganizmaların ham petroldeki karbon kaynaklarına çabuk adapte olup, üreaz aktivitesinin bu nedenle 2. aya kadar artış göstermesi ile açıklanabilir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında da aynı değişimler gözlenmiştir (Şekil 4.2). Ancak genel olarak üreaz aktivitesinde zamanla 18°C’lik örneklerde olduğu gibi azalma trendi (eğilimi) olduğu (devam ettiği) söylenebilir.



Şekil 4.2. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

Dindar (2014) yaptığı çalışmada 28°C’de düşük dozla kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının inkübasyonun ilk 2 aylık döneminde giderim yönünde etkisi olduğu, diğer aylarda arıtma çamuru uygulaması yapılmamış topraklarda TPH konsantrasyonunun daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Üreaz aktivitesinde de aynı durum söz konusu olmuştur. Bu durumun sebebi, düşük moleküler ağırlıklı hidrokarbonların organik madde ilavesiyle ilk olarak kolayca parçalandığı daha sonra yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonların parçalanma başlamasıyla ortaya çıkan toksik bileşenlerin mikroorganizmaları inhibe etmesi nedeniyle enzim aktivitesinin azalması olarak düşünülebilir (Frankenberger 1992). İstatiksel açıdan incelendiğinde arıtma çamuru uygulamasının ve inkübasyon süresinin üreaz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

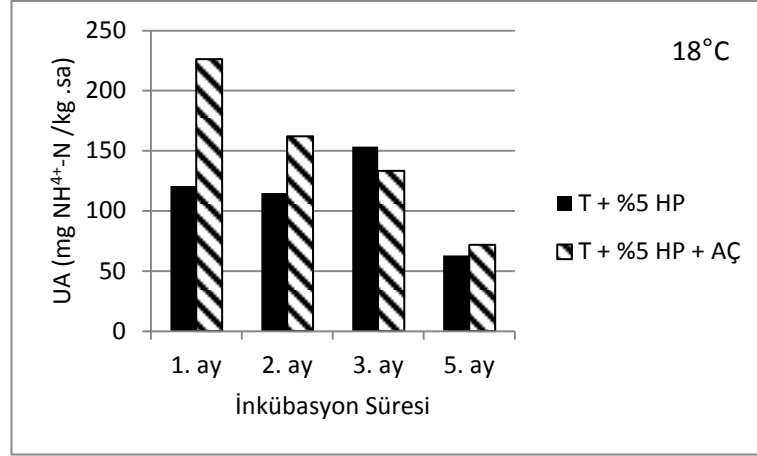
Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	18950,26	3	20,63*
Uygulama	3992,41	2	4,35*
Uygulama x İnkübasyon süresi	4247,36	6	4,62*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Arıtma çamuru uygulamasının düşük sıcaklıkta (18°C) inkübasyon süresinin ilk iki ayında etkili olduğu görülmüş ve buna bağlı olarak üreaz enzim aktivitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

b- % 5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

18°C’de yüksek doz ham petrol ile kirlenmiş toprakların üreaz aktivitesi incelendiğinde, üreaz aktivitesinin önce azaldığı daha sonra 3. ay artış gösterip, 5. ay tekrar azaldığı gözlenmiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında ise üreaz aktivitesinde azalma gözlemlenmiştir. Arıtma çamuru ilavesi olduğunda üreaz aktivitesinin genellikle daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ortamdaki organik madde ilavesi ile mikroorganizmaların aktivitesinin artması ile açıklanabilir.



Şekil 4.3. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

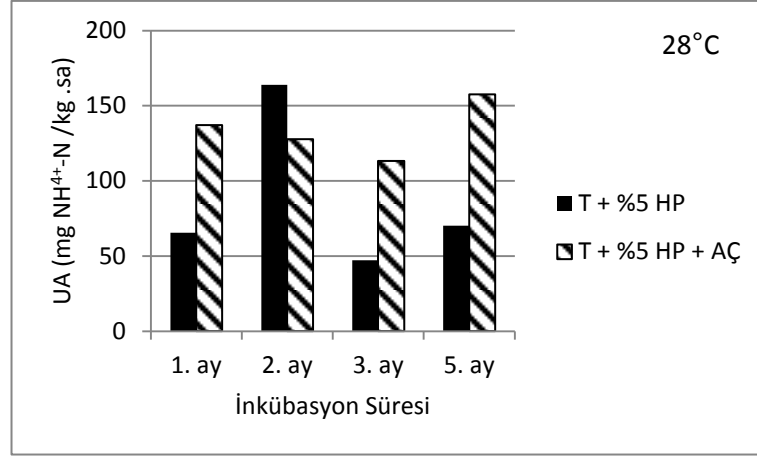
İstatiksel açıdan incelendiğinde arıtma çamuru uygulamasının üreaz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	10900,72	3	19,52*
Uygulama	11190,9	2	20,04*
Uygulama x İnkübasyon süresi	4212,34	6	7,54*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

28°C'de yüksek doz ham petrol ile kirlenmiş toprakların üreaz aktivitesi incelendiğinde, üreaz aktivitesinin azalıp arttığı gözlenmiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında ise üreaz aktivitesinde önce bir azalma gözlemlenmiş olup, 5. ayda bir artış meydana gelmiştir. Arıtma çamuru ilavesi ile genellikle üreaz aktivitesinde bir artış görülmüştür. Bunun en önemli sebebi ise genellikle ortamdaki besin miktarı artışı ile mikroorganizma aktivitesinin artması söz konusudur. Dindar (2014) yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş toprakların TPH verilerini 28°C için incelediğinde arıtma çamuru uygulamasının ham petrolün toprakta parçalanmasına olumlu yönde etki ettiğini belirlemiştir. Bu da enzim aktivitesinin artışının bir göstergesi olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.4. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan incelendiğinde arıtma çamuru uygulamasının ve inkübasyon süresinin üreaz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.5). % 5 ham petrol ile kirlenmiş ve 28°C'de inkübe olan örneklerde 3. aya kadar özellikle arıtma çamuru ilavesi ile enzim aktivitelerinde azalma olduğu görülmüştür. Bu bulgu ham petrol kirliliği olumsuz baskısının 3. aya kadar devam ettiğini göstermektedir. 5. ayda ise nisbi bir iyileşmeden söz edilebilir.

Çizelge 4.5. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	5902,11	3	11,29*
Uygulama	12569,68	2	24,04*
Uygulama x İnkübasyon süresi	3883,65	6	7,43*
Hata			24

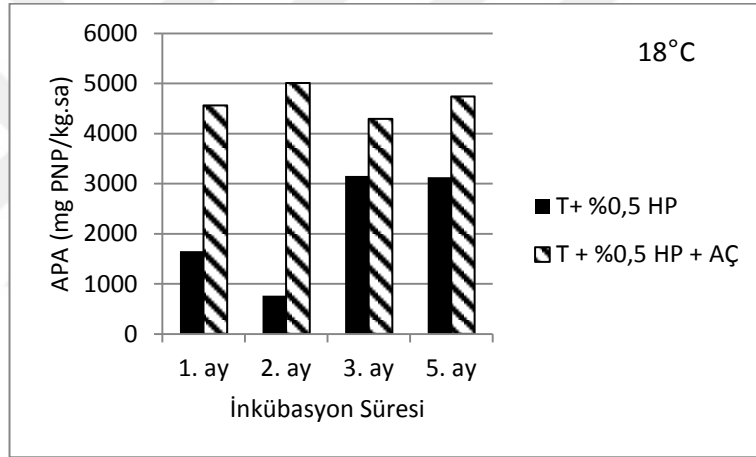
*p<0,05 düzeyinde önemli

4.2.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu ham petrol ile % 0,5 ve % 5 kirlenmiş topraklarda elde edilen alkali fosfataz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 2'de görülmektedir. Ham petrol ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta alkali fosfataz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana gelen değişim Şekil 4.5’te verilmektedir. Düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda alkali fosfataz aktivitesi zamanla artış göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda alkali fosfataz aktivitesinin ilavesiz toprak örneklerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da organik madde ilavesinin fosfataz enzim aktivitesinde artışa neden olduğu görülmüştür (Kremer ve Li 2003). 18°C’de düşük doz ham petrol ile kirlenmiş toprakların TPH değişimleri incelediğinde, genel olarak arıtma çamuru uygulamasının TPH konsantrasyonunu azaltmaya olumlu etki yaptığını tespit etmiştir (Dindar 2014).



Şekil 4.5. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

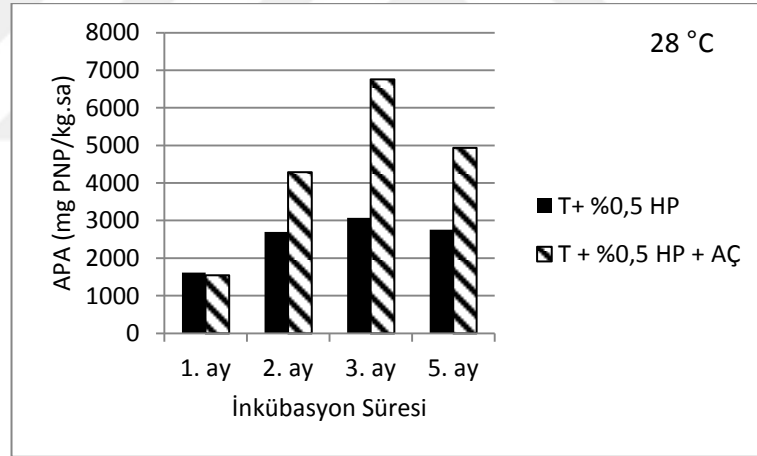
İstatiksel açıdan 18°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresinin fosfataz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Bulgular TPH giderimi ile fosfataz aktivitesi artışının çamur ilavesiz topraklarda doğru orantılı olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.6. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C’de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	5538487	3	30,34*
Uygulama	23586292	2	129,19*
Uygulama x İnkübasyon süresi	2301282	6	12,61*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana gelen değişim Şekil 4.6’da verilmektedir. Ham petrol ile kirlenen topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında alkali fosfataz aktivitesinde bir artış gözlemlenmiş olup, 3. aydan sonra alkali fosfataz aktivitesi bir miktar azalmıştır. Ham petrol ile kirlenmiş topraklara arıtma çamuru ilavesi yapıldığında, alkali fosfataz enzim aktivitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresinin alkali fosfataz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Bulgular genel eğilim olarak zamanla (TPH giderimi arttıkça) alkali fosfataz aktivitesinin de yükseldiği izlenimini vermektedir.

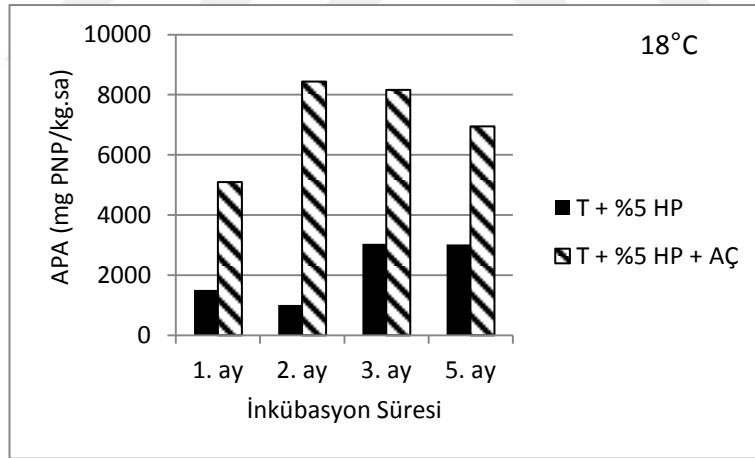
Çizelge 4.7. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C’de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	9638102	3	65,56*
Uygulama	12084187	2	82,2*
Uygulama x İnkübasyon süresi	3035447	6	20,65*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda enzim aktivitelerindeki hareketlilik değişkenlik göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda çamur ilavesi yapılmamış topraklara göre, alkali fosfataz enzim aktivitesi yüksektir. Arıtma çamuru uygulaması ham petrolün parçalamasına olumlu katkıda bulunarak TPH konsantrasyonun da azalmasını sağlamıştır (Dindar 2014).



Şekil 4.7. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

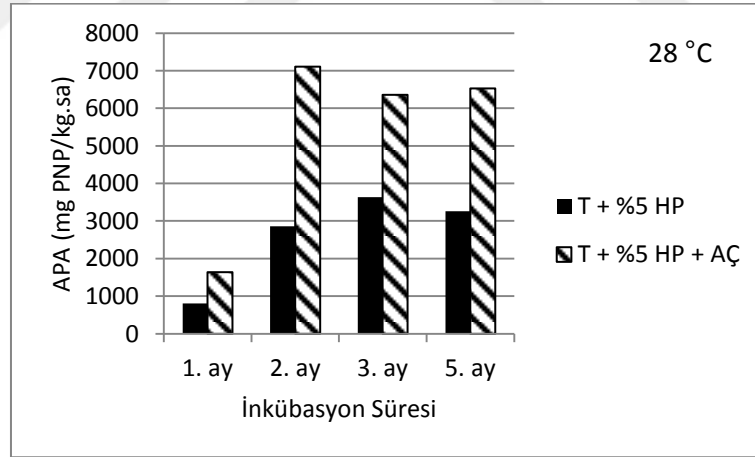
İstatiksel açıdan 18°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresinin alkali fosfataz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Bulgular, inkübasyonun ileri dönemlerinde başlangıca göre alkali fosfataz aktivitesinin yükseldiğini göstermektedir.

Çizelge 4.8. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C’de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	9890569	3	28,76*
Uygulama	98337936	2	285,99*
Uygulama x İnkübasyon süresi	3022024	6	8,79*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda alkali fosfataz enzim aktivitesi ilk 3 ay artış göstermiş olup, 3. aydan sonra enzim aktivitesi hafif azalma göstermiştir. Bunun nedeni zamanla bazı besinlerin miktarının azalmaya başlaması ile açıklanabilir. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda çamur ilavesi yapılmamış topraklara göre, alkali fosfataz enzim aktivitesi yüksektir. Ham petrol içerisinde ağır metal ihtiva ettiğinden, genellikle alkali fosfataz aktivitesine sınırlayıcı etki yaptığı da söylenebilir.



Şekil 4.8. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresinin alkali fosfataz aktivitesindeki değişikliklerde önemli bir farklılık yarattığı belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Bulgular genel eğilim olarak zamanla (TPH giderimi arttıkça) alkali fosfataz aktivitesinde yükselme olduğu izlenimi vermektedir.

Çizelge 4.9. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C’de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	15489683	3	96,11*
Uygulama	29136704	2	180,795*
Uygulama x İnkübasyon süresi	4506977	6	27,97*
Hata			24

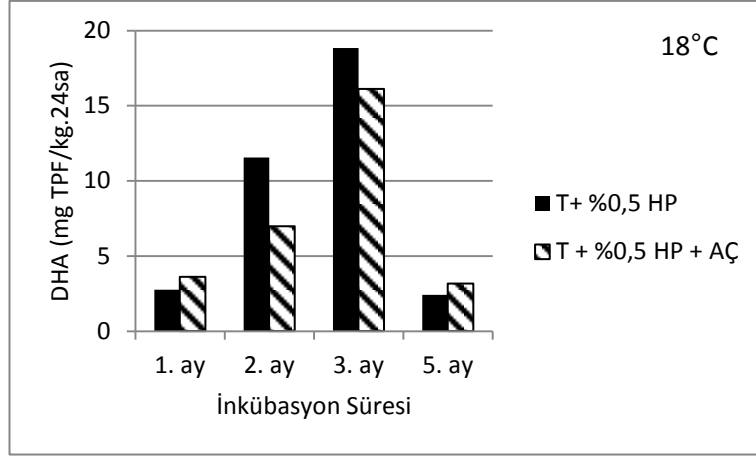
*p<0,05 düzeyinde önemli

4.2.3. Dehidrogenaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu ham petrol ile % 0,5 ve % 5 kirlenmiş topraklarda elde edilen dehidrogenaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 3’te görülmektedir. Ham petrol ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta dehidrogenaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Düşük dozda ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.9’da verilmektedir. İlk 3 ay ham petrol ile kirlenmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesinde artış görülmüş olup, 3. aydan sonra dehidrogenaz aktivitesi azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklardaki enzim aktiviteleri, arıtma çamuru ilavesi yapılmayan topraklara göre genelde daha azdır. İnkübasyon süresinin son ayında dehidrogenaz aktivitesinin azalması, toprakta zamanla bazı nutrientlerin azaldığı anlamına gelebilir.



Şekil 4.9. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

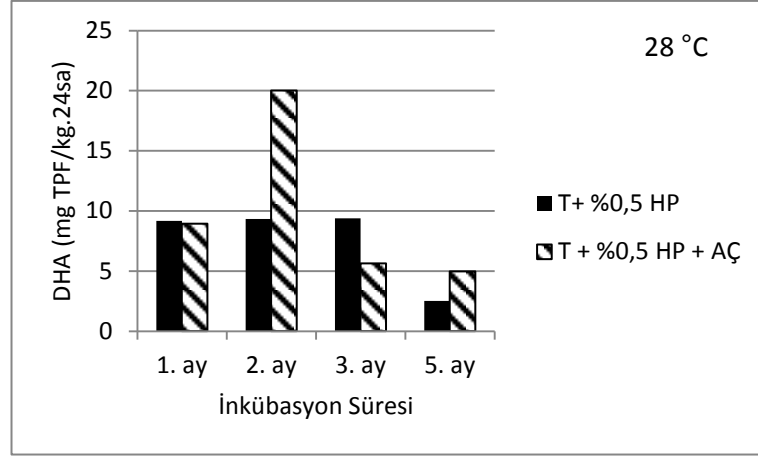
İstatiksel açıdan 18°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresi ise istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10). Bulgular genel eğilim olarak zamanla (TPH giderimi arttıkça) ve özellikle ilk 3 ayda dehidrogenaz aktivitelerinin de yükseldiğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.10. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	160,52	3	5,68*
Uygulama	8,63	2	0,31
Uygulama x İnkübasyon süresi	25,07	6	0,89
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.10'da verilmektedir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi ilk 2 ay artış göstermiş olup, 2. aydan sonra azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda ise 3. aydan sonra dehidrogenaz aktivitesinde genelde azalma meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.10. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının ve inkübasyon süresinin önemli olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Bulgular genel eğilim olarak inkübasyonun ilk aylarında aktivite artışı olduğunu, ancak daha sonra muhtemelen bazı nutrientlerin azalması ile enzim aktivitelerinin de düştüğünü, bu eğilimin minerilizasyonun daha güçlü yürüdüğü varsayılabilir. 28°C'deki inkübasyon ortamında daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.11. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

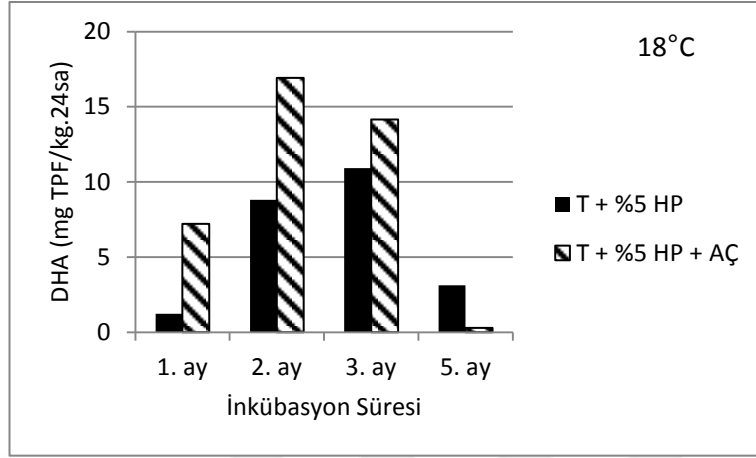
Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	56,71	3	2,62
Uygulama	49,87	2	2,3
Uygulama x İnkübasyon süresi	44,87	6	2,07
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Yüksek dozda ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 18°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.11'de verilmektedir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında dehidrogenaz aktivitesinde artış meydana gelirken, 3. aydan sonra enzim aktivitesinin azalmaya başladığı görülmüştür. Arıtma çamuru ilavesi yapılmış

topraklarda ise dehidrogenaz aktivitesinde 2. aydan sonra genelde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.11. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 18°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresi ise istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.12). Bulgular genel eğilim olarak uzayan inkübasyon süresi ile (TPH giderimi artışı ile) dehidrogenaz aktivitelerinin de arttığını göstermiştir. Deneme sonundaki aktivite düşüşü muhtemel nutrient azalması ile ilgili olabilir.

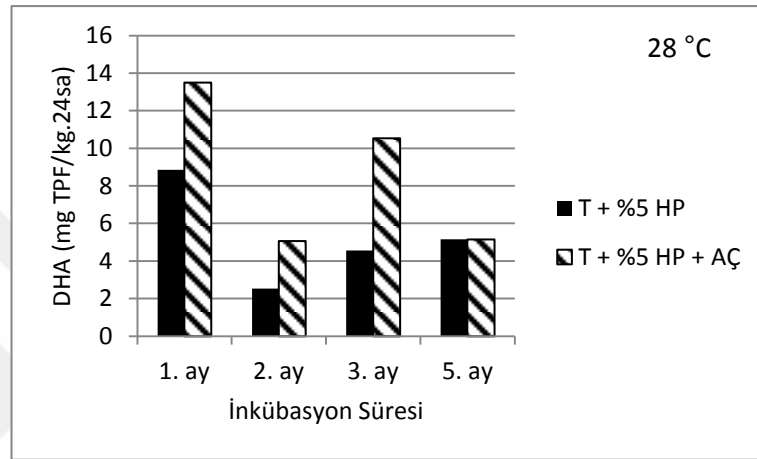
Çizelge 4.12. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	129,99	3	8,27*
Uygulama	28,71	2	1,83
Uygulama x İnkübasyon süresi	18,94	6	1,2
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.12'de verilmektedir. Ham petrol ile düşük dozda kirlenmiş topraklar da dehidrogenaz enzim aktivitesindeki zamana bağlı değişimler belli bir nedenle açıklanamamaktadır.

Ancak, denemenin ilk ayında görülen aşırı aktivite yüksekliği dışında 2., 3. ve 5. aylarda dehidrogenaz aktivitelerinde düzenli bir yükselme gözlenmiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklardaki dehidrogenaz aktivitesi, sadece ham petrol ile kirlenmiş topraklardaki dehidrogenaz aktivitelerine göre daha fazladır. Yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş toprakların TPH (toplam petrol hidrokarbonları) verileri 28°C için incelendiğinde arıtma çamuru uygulamasının ham petrolün toprakta parçalanmasına olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir (Dindar 2014).



Şekil 4.12. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Yüksek dozda (% 5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	60,76	3	10,49*
Uygulama	32,56	2	5,62*
Uygulama x İnkübasyon süresi	7,19	6	1,24
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

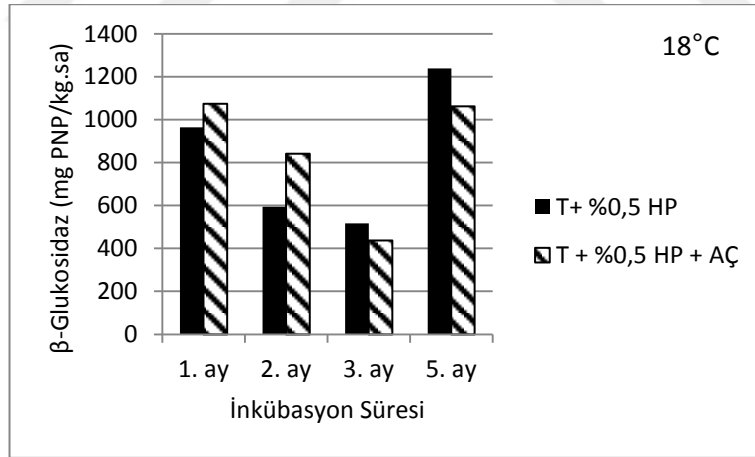
4.2.4. β-Glukosidaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu ham petrol ile % 0,5 ve % 5 kirlenmiş topraklarda elde edilen β-Glukosidaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 4'te görülmektedir. Ham petrol ile % 0,5

(düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta β -Glukosidaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda inkübasyon periyodu süresince β -glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.13'te verilmektedir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında β -glukosidaz aktivitesinde azalma meydana gelirken, inkübasyonun 5. ayında β -glukosidaz aktivitesinin arttığı görülmüştür. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda da enzim aktivitesindeki değişim sadece ham petrol ile kirlenmiş topraklardaki β -glukosidaz aktivitesi ile benzerlik göstermiştir. Inkübasyon süresinin ilk 3 ayında meydana gelen azalmanın sebebi kirlilik yükünün yeterince azalmamasının sonucunda β -glukosidaz aktivitesinin giderek yavaşlaması olarak açıklanabilir. 5. ayda meydana gelen artışın sebebi ise kirlilik yükünün baskısının minerilizasyon ile önemli ölçüde azalması sonucu enzim aktivitesinin artması olarak ifade edilebilir.



Şekil 4.13. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β -glukosidaz aktiviteilerinin zamana bağlı değişimi

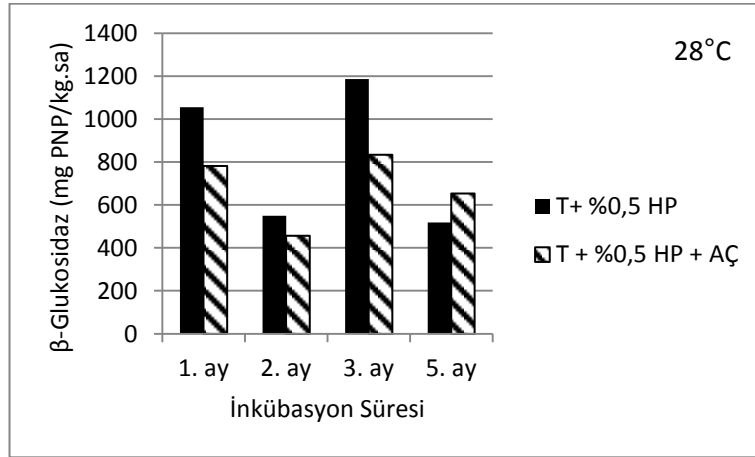
İstatiksel açıdan 18°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. Inkübasyon süresi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	1098740,3	3	60,49*
Uygulama	4745,38	2	0,26
Uygulama x İnkübasyon süresi	53176,04	6	2,93*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda (% 0,5) ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.14’te verilmektedir. Sadece ham petrol ile kirlenmiş topraklarda enzim aktivitesinde ilk 2 aylık inkübasyon süresinde azalmaya başladığı, 3. ayda arttığı ve daha sonra tekrar azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ham petrol ile kirlenmiş ancak arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklarda da β-glukosidaz aktivitesindeki değişim benzerlik göstermiştir. Genel olarak β-glukosidaz aktivitesinin azalma yönünde eğilimi olduğu söylenebilir. Bu bulgu 28°C’deki inkübasyonda oluşan TPH gideriminin β-glukosidaz enzim aktivitesinin belirgin artışına yardımcı olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.14. % 0,5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki β-glukosidaz aktivitesinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi istatiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.15).

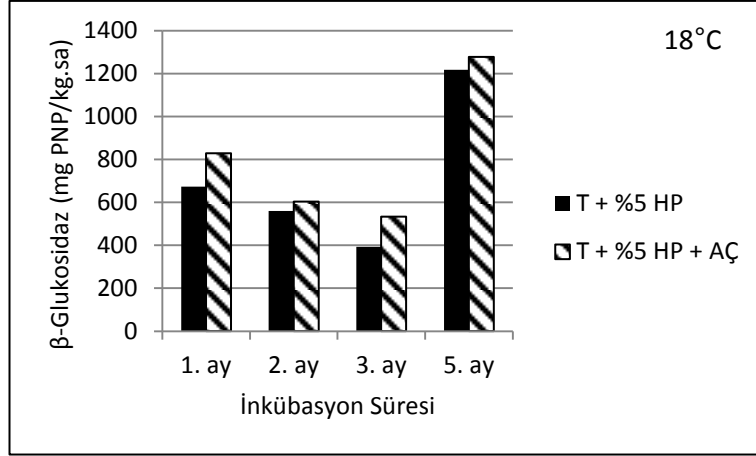
Çizelge 4.15. Düşük dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	344387,7	3	12,02*
Uygulama	284239,1	2	9,92*
Uygulama x İnkübasyon süresi	102733,3	6	3,58*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Ham Petrol ile Kirlenme

Yüksek dozda (% 5) ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.15’te verilmektedir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında β-glukosidaz aktivitesinde azalma gözlenirken, 5. ayda β-glukosidaz aktivitesi artmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklarda da β-glukosidaz aktivitesi aynı şekilde değişim göstermiştir. Ayrıca, arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklardaki β-glukosidaz aktivitesi, ham petrol ile kirlenmiş topraklardaki β-glukosidaz aktivitesinden daha fazladır. Organik madde ilavesinin genelde ham petrolün parçalanmasına katkıda bulunarak, enzim aktivitelerini arttırdığı söylenebilir. Bu bulguya göre ilk üç aylık aktivite düşüşü kirlilik yükünün yeterince azalmaması ile ilgili olabilir. 5. ayda meydana gelen artış ise kirlilik yükü baskısının ilerleyen minerilizasyon sonucu azalmasına karşı rahatlama belirtisi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.15. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki β -glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

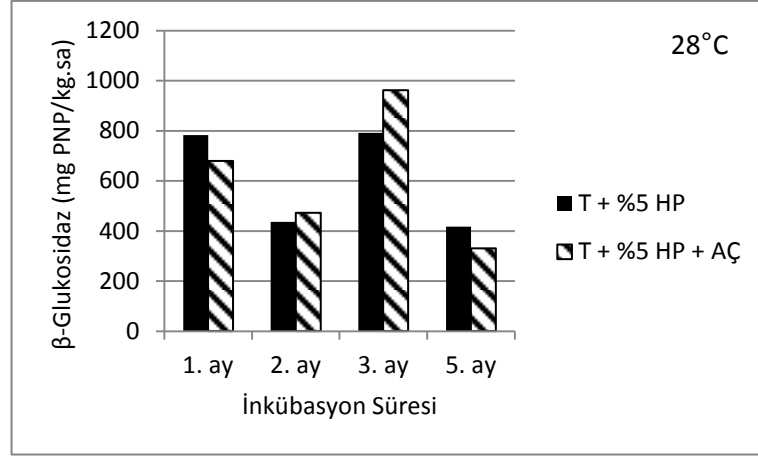
İstatiksel açıdan 18°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Yüksek dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 18°C'de β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	1239001	3	36,53*
Uygulama	75042,48	2	2,21
Uygulama x İnkübasyon süresi	40771,38	6	1,2
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda ham petrol uygulaması yapılmış topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince β -glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.16'da verilmektedir. Ham petrol ile kirlenmiş topraklarda β -glukosidaz aktivitesi inkübasyon süresinin ilk 2 ayında azalma gösterirken, 3. ayda artmış, 5. ayda tekrar azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda da aynı değişim görülmüştür. Bu bulgu 28°C'deki inkübasyonla oluşan TPH gideriminin, yüksek doz ham petrolle kirlenmiş örneklerde de deneme süresince belirgin yükselmesine yardımcı olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.16. % 5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki β -glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Yüksek dozda (% 0,5) ham petrol ile kirlenmiş toprakların 28°C'de β -glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	275264,8	3	6,51*
Uygulama	580250,8	2	13,71*
Uygulama x İnkübasyon süresi	96251,04	6	2,27
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

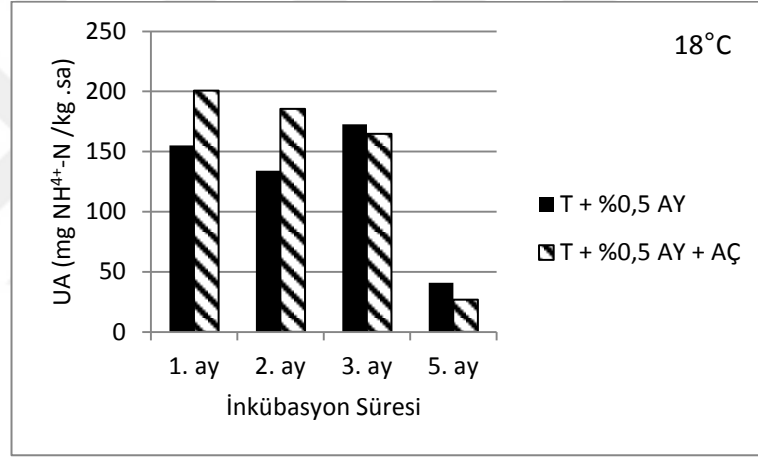
4.3. Atık Mineral Dizel Yağının Uygulandığı Toprakta Enzim Aktivitelerinin Zamana Bağlı Değişimleri

4.3.1. Üreaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu % 0,5 ve % 5 oranlarında atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda elde edilen üreaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 5'te görülmektedir. Atık mineral dizel yağı ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta üreaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince üreaz aktivitesinde (UA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.17’de verilmektedir. İnkübasyon süresinin ilk 2 ayında atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda üreaz aktivitesinde azalma meydana gelmiş, 3. ayda hafif bir artış gözlemlendikten sonra üreaz aktivitesi tekrar azalmaya başlamıştır. 5 aylık deneme boyunca genel eğilim aktivite düşüşü yönündedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklara arıtma çamuru ilavesi yapıldığında da üreaz aktivitesinde inkübasyon süresi boyunca azalma gözlenmiştir. Kirliliğin azalması ile birlikte üreaz aktivitesinde de genelde meydana gelen azalma 5 ayda toprakların yeterince rehabilite olamadığının bir göstergesi olabilir.



Şekil 4.17. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

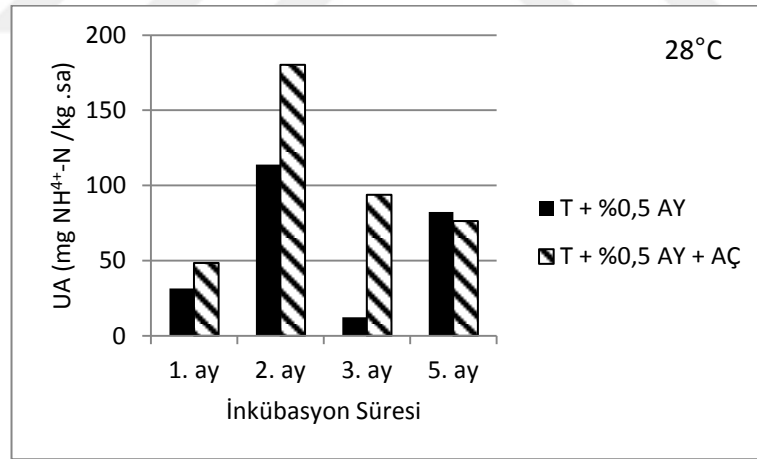
İstatiksel açıdan 18°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	20209,24	3	94,95*
Uygulama	10098,37	2	47,44*
Uygulama x İnkübasyon süresi	6002,49	6	28,20*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince üreaz aktivitesinde (UA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.18’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 2 ayında üreaz aktivitesinde artış gözlemlenmiş, 3. ayda ani bir şekilde azalmış ve daha sonra inkübasyon süresinin son ayında tekrar enzim aktivitesi artış göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında üreaz aktivitesi inkübasyon süresinin ilk 2 ayında artmış ve 2. aydan sonra azalmaya başlamıştır. 1. ay değerlerinden sonra genel olarak enzim aktivitesinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.19).

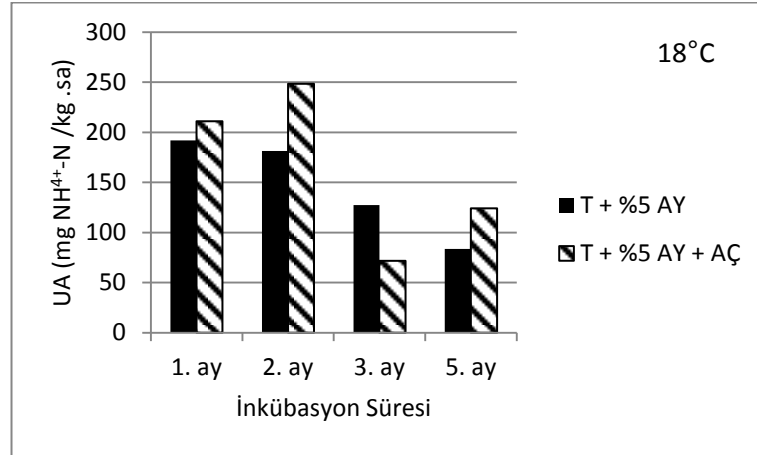
Çizelge 4.19. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	14515,48	3	21,40*
Uygulama	5008,37	2	7,38*
Uygulama x İnkübasyon süresi	3021,81	6	4,46*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince üreaz aktivitesinde (UA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.19’da verilmektedir. % 5 oranında atık mineral dizel yağı ilave edilen topraklarda inkübasyon süresi boyunca genel olarak üreaz aktivitesinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma kirliliğin enzim aktiviteleri üzerinde meydana getirmiş olduğu baskının artarak devam ettiği şeklinde açıklanabilir. Arıtma çamuru ilave edildiğinde ise üreaz aktivitesi genellikle daha yüksek seyretmekle birlikte zamana göre azalan trendle değişiklik göstermiştir.



Şekil 4.19. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

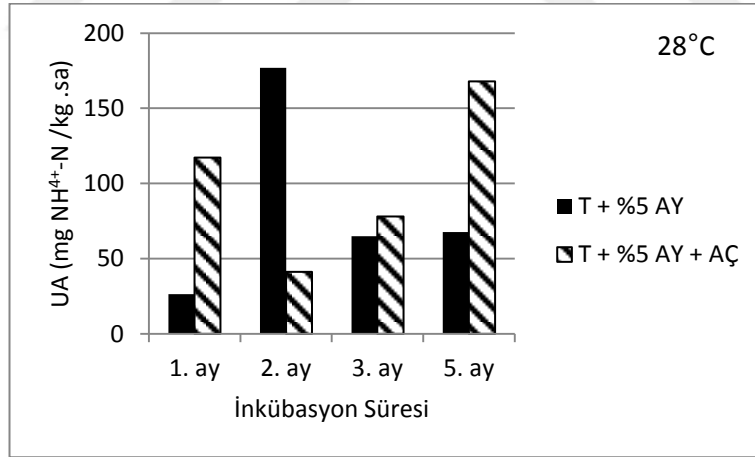
İstatiksel açıdan 18°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	17964,96	3	19,25*
Uygulama	19141,5	2	20,51*
Uygulama x İnkübasyon süresi	5939,4	6	6,36*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince üreaz aktivitesinde (UA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.20’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda üreaz aktivitesi zamana bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında da üreaz aktivitesinin kirlilik artışı nedeniyle azalması ve 3. ay itibari ile kirliliğin azalarak üreaz aktivitesinin de azalması olarak açıklanabilir. Arıtma çamuru ilaveli örneklerde; uygun sıcaklık ve muhtemel besin desteği artışı sonucu zamanla düzenli aktivite artışı dikkat çekmektedir.



Şekil 4.20. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki üreaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C’de üreaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	3107,33	3	9,22*
Uygulama	2597,01	2	7,71*
Uygulama x İnkübasyon süresi	11355,53	6	33,70*
Hata			24

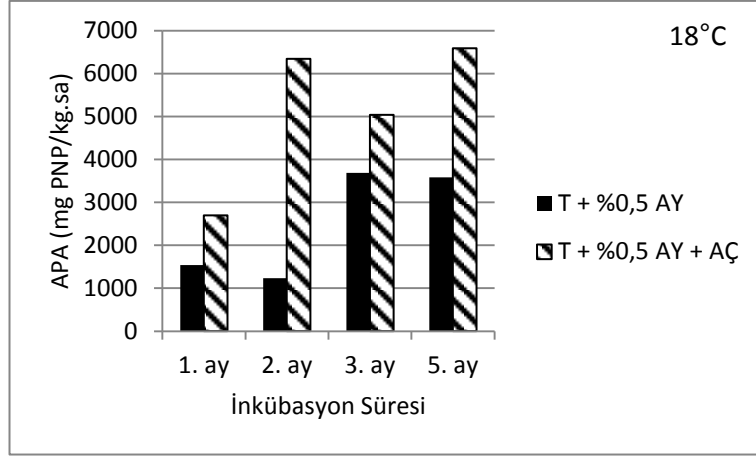
*p<0,05 düzeyinde önemli

4.3.2. Alkali Fosfataz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu % 0,5 ve % 5 oranlarında atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda elde edilen alkali fosfataz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 6’da görülmektedir. Atık mineral dizel yağı ile % 0,5 (düşük doz) ve %5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta alkali fosfataz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.21’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda enzim aktivitesi zamana bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesinin yapıldığı toprak örneklerindeki alkali fosfataz aktivitesinin, sadece atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprak örneklerindeki alkali fosfataz aktivitesine göre daha fazla olduğu görülmüştür. İnkübasyon süresinin ilk ayında kirlilik sebebiyle enzim aktivitelerinde düşüşe sebebiyet verdiği söylenebilir. Sonraki aylarda alkali fosfataz aktivitesinin artma yönünde genel eğilimi olması bu aktivitenin kirlilikten fazla etkilenmemesinin göstergesi olabilir.



Şekil 4.21. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

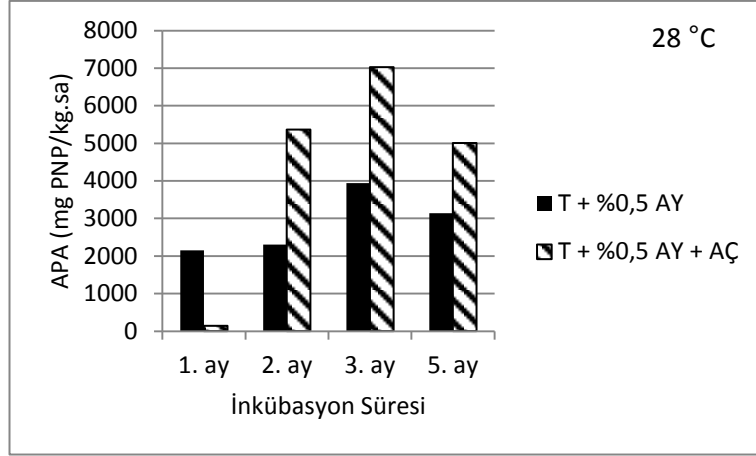
İstatiksel açıdan 18°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	14082980	3	69,76*
Uygulama	31024676	2	153,69*
Uygulama x İnkübasyon süresi	3142701	6	15,57*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.22'de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda alkali fosfataz aktivitesi inkübasyon süresinin ilk 3 ayında artış göstermiş olup, 3. aydan sonra bir miktar azalmıştır. Arıtma çamuru ilave edildiğinde de aynı şekilde ilk 3 aylık inkübasyon süresinde alkali fosfataz aktivitesi artmış ve 3. aydan sonra azalma görülmüştür. Arıtma çamuru ilave edilmiş topraklardaki enzim aktivitesi sadece atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş olan topraklardaki enzim aktivitesine göre genellikle 28°C'deki aktivitenin zamana bağlı seyri 18°C'deki değişime benzemektedir.



Şekil 4.22. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.23).

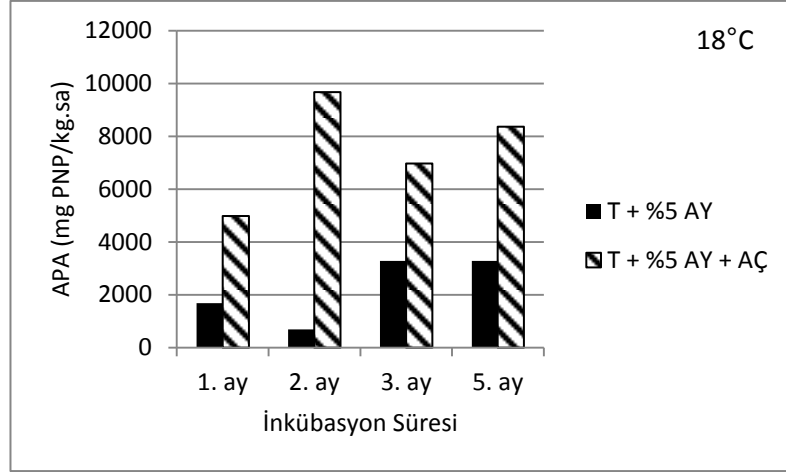
Çizelge 4.23. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	15463036	3	29,37*
Uygulama	9639622	2	18,31*
Uygulama x İnkübasyon süresi	6701421	6	12,73*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C'de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.23'te verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda ilk 2 aylık inkübasyon süresinde alkali fosfataz aktivitesi azalmaya başlamış, 2. aydan sonra artış göstermiştir. Ancak genel eğilim zamanla artış yönündedir. Arıtma çamuru ilavesi yapılmış topraklardaki enzim aktivitesinin sadece atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklara oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. % 5 oranındaki kirlenmede arıtma çamuru ilavesinin olumlu etkisi, % 0,5 kirlenmeye göre daha belirgin görülmektedir.



Şekil 4.23. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

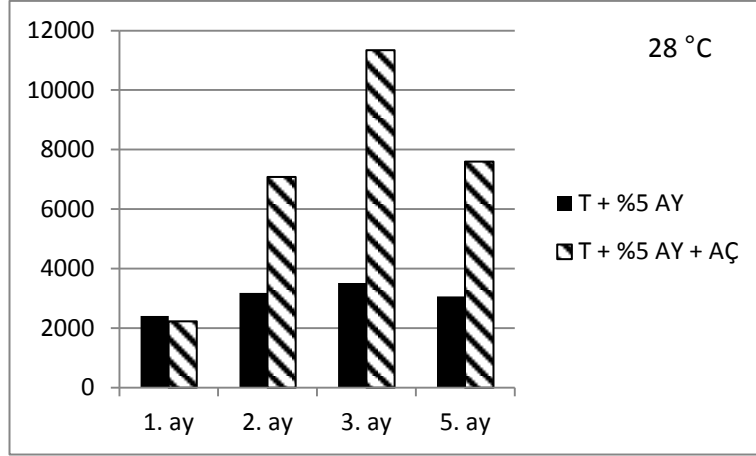
İstatiksel açıdan 18°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	10536475	3	15,44*
Uygulama	109810	2	160,96*
Uygulama x İnkübasyon süresi	6082839	6	8,92*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince alkali fosfataz aktivitesinde (APA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.24'te verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda alkali fosfataz aktivitesinin ilk 3 aylık inkübasyon süresi boyunca arttığı daha sonra bir miktar azaldığı görülmüştür. Arıtma çamuru ilavesi yapılan örneklerde de ilk 3 aylık inkübasyon süresi boyunca alkali fosfataz aktivitesi artıp, daha sonra bir miktar azalmıştır. Ancak deneme süresince genel eğilim özellikle arıtma çamuru ilaveli örneklerde aktivite artışı yönündedir.



Şekil 4.24. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki alkali fosfataz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'de alkali fosfataz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	204090	3	111,34*
Uygulama	688686	2	375,70*
Uygulama x İnkübasyon süresi	113142	6	61,72*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

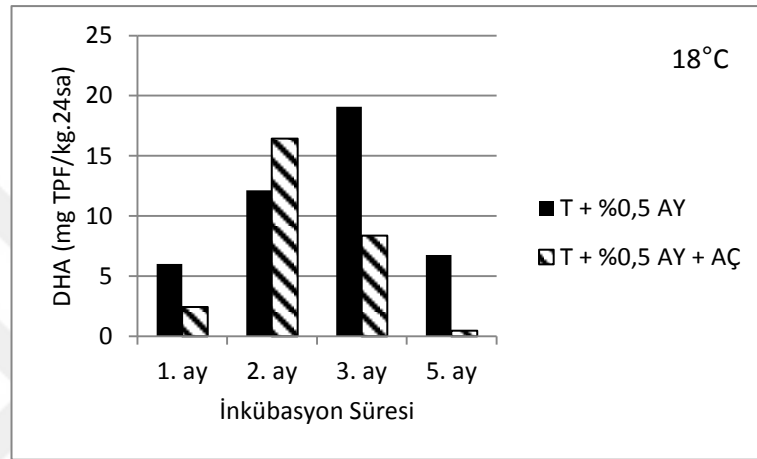
4.3.3. Dehidrogenaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu atık mineral dizel yağı ile % 0,5 ve % 5 kirlenmiş topraklarda elde edilen dehidrogenaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 7'de görülmektedir. Atık mineral dizel yağı ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta dehidrogenaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil

4.25'te verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında dehidrogenaz aktivitesinde artış görülmüştür. 3. aydan sonra ise dehidrogenaz aktivitesi azalmıştır. Arıtma çamuru ilave edildiğinde dehidrogenaz aktivitesi inkübasyon süresinin ilk 2 ayında artmış, daha sonra azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesinin bu aktiviteye fazla etkili olmadığı görülmektedir. Genel eğilimin ilk 3 ayda artış yönünde olduğu, 5. ayda ise muhtemel kullanılabilir substrat eksikliği nedeniyle dramatik bir düşüş yönünde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.25. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 18°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.26).

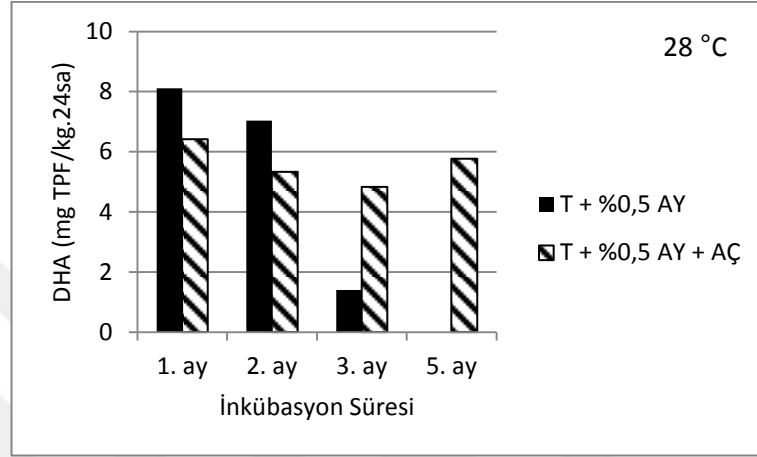
Çizelge 4.26. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	132,74	3	25,56*
Uygulama	44,52	2	8,57*
Uygulama x İnkübasyon süresi	28,88	6	5,56*
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.26'da verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda dehidrogenaz

aktivitesi inkübasyon süresi boyunca azalmış, 5. ayda enzim aktivitesi durmuştur. Arıtma çamuru ilavesi yapılan topraklarda ise dehidrogenaz aktivitesi hafif azalmakla birlikte yinede istikrarlı bir seyir göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi aktiviteyi sürekli kılmıştır. Arıtma çamuru olmayan örneklerde ise muhtemel substrat tükenmesi sonucu aktivite zamanla durma noktasına gelmiştir. Bu sonuç kirlilikten ziyade substrat noksanlığı ile ilgili olabilir.



Şekil 4.26. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C'deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C'de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresinin önemli olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C'de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

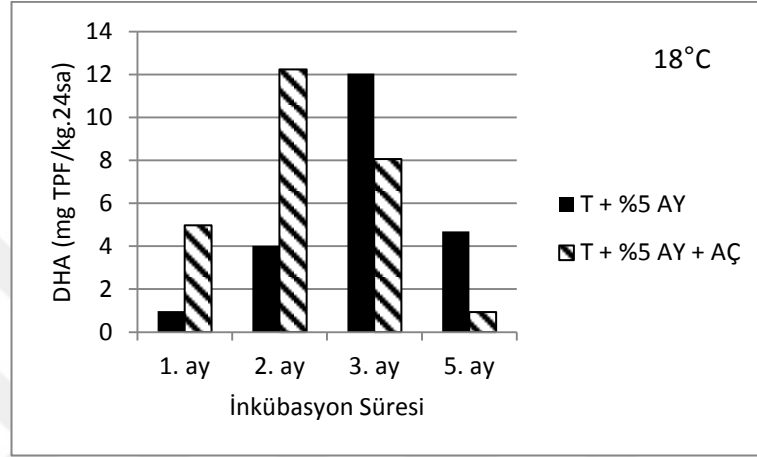
Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	34,5	3	1,76
Uygulama	4,22	2	0,22
Uygulama x İnkübasyon süresi	12,67	6	0,65
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- % 5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C'de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği

değişim Şekil 4.27’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında dehidrogenaz aktivitesi artış göstermiş olup, 3. aydan sonra dehidrogenaz aktivitesi azalmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilavesi yapıldığında enzim aktivitesi ilk 2 ay artış gösterdikten sonra 2. aydan itibaren azalmaya başlamıştır. Kirlenme etkisi azaldıkça aktivitenin arttığı, ancak daha sonra (ilerleyen aylarda) muhtemel substrat azalması nedeniyle aktivite düşüşü görüldüğü düşünülmektedir.



Şekil 4.27. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 18°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İstatiksel açıdan inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.28).

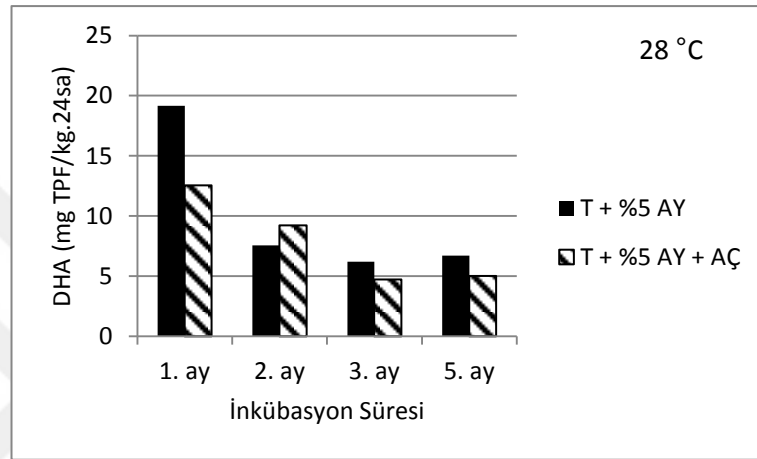
Çizelge 4.28. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C’de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	61	3	4,17*
Uygulama	4,58	2	0,31
Uygulama x İnkübasyon süresi	21,65	6	1,48
Hata			12

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana getirdiği değişim Şekil 4.28’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon

süresinin ilk 3 ayında dehidrogenaz aktivitesi azalmış, 5. ayda çok hafif artış göstermiştir. Arıtma çamuru ilave edilen topraklarda görülen dehidrogenaz aktivitesinin sadece atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklardaki enzim aktivitesine göre genellikle daha düşük olduğu görülmüştür. 28°C’de yürütülen inkübasyonda zamanla görülen düzenli dehidrogenaz aktivitesi azalması sıcaklıkla ortamdaki toksik etki artışı yanında kullanılabilir substrat miktarı sınırlanması ile ilgili olduğu izlenimini vermektedir.



Şekil 4.28. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki dehidrogenaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının ve inkübasyon süresinin önemli olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C’de dehidrogenaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	112,26	3	2,76
Uygulama	50,57	2	1,24
Uygulama x İnkübasyon süresi	9,31	6	0,23
Hata			12

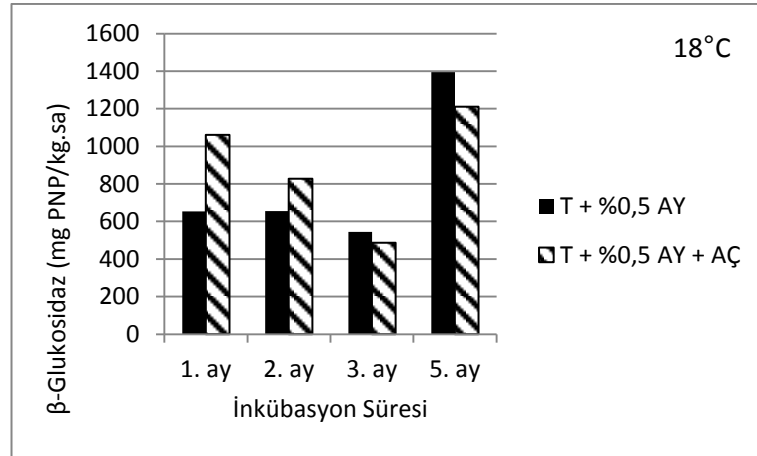
*p<0,05 düzeyinde önemli

4.3.4. β -Glukosidaz Aktivitesi

Yapılan analizler sonucu atık mineral dizel yağı ile % 0,5 ve % 5 kirlenmiş topraklarda elde edilen β -Glukosidaz aktivitesi değerleri Çizelge Ek 8’de görülmektedir. Atık mineral dizel yağı ile % 0,5 (düşük doz) ve % 5 (yüksek doz) oranında kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasının 18°C ve 28°C sıcaklıkta β -Glukosidaz aktivitesi üzerine gösterdiği değişimler sırasıyla Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir.

a- % 0,5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince β -glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.29’da verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında β -glukosidaz aktivitesi azalmış, 5. ayda ise ani bir artış göstermiştir. Arıtma çamuru ilave edildiğinde de inkübasyon süresinin ilk 3 ayında β -glukosidaz aktivitesi azalmış, 5. ayda ise ani bir yükselme göstermiştir. Inkübasyon süresinin ilk 3 ayında meydana gelen azalmanın kirlilik nedeniyle genelde olması beklenmektedir. Bu sonuç β -glukosidaz enzim aktivitesi açısından 5. ayda toksik etkinin azaldığı, substrat düzeyinin de yeterli olduğu şeklinde yorumlanabilir. Arıtma çamuru katkısının ise çok etkili pozitif katkıda bulunmadığı söylenebilir.



Şekil 4.29. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki β -glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

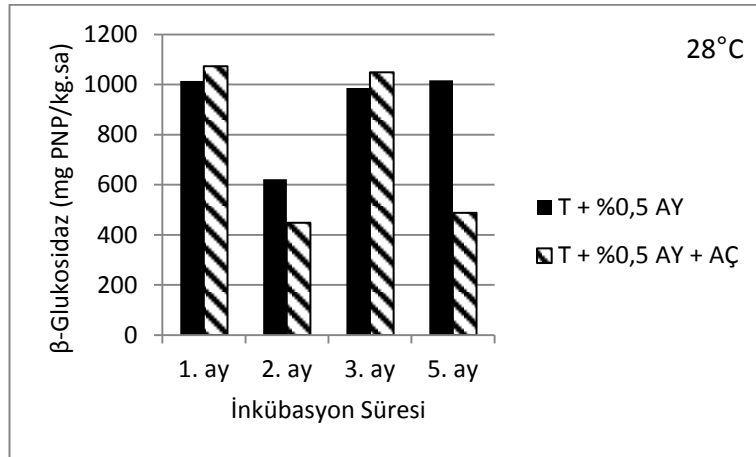
İstatiksel açıdan 18°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İstatiksel açıdan ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	1203432	3	28,92*
Uygulama	21948,95	2	0,52
Uygulama x İnkübasyon süresi	78741,13	6	1,89
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Düşük dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.30’da verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 2 ayında β-glukosidaz aktivitesi azalmış olup 2. aydan sonra enzim aktivitesinde artış olmuştur. Arıtma çamuru ilave edildiğinde ise enzim aktivitesi zaman bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. β-glukosidaz aktivitesinin kirlilikten ve arıtma çamuru ilavesinden çok etkilenmeksizin 5 aylık sürede genellikle yüksek düzeyde seyrettiği söylenebilir.



Şekil 4.30. % 0,5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de düşük dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.31).

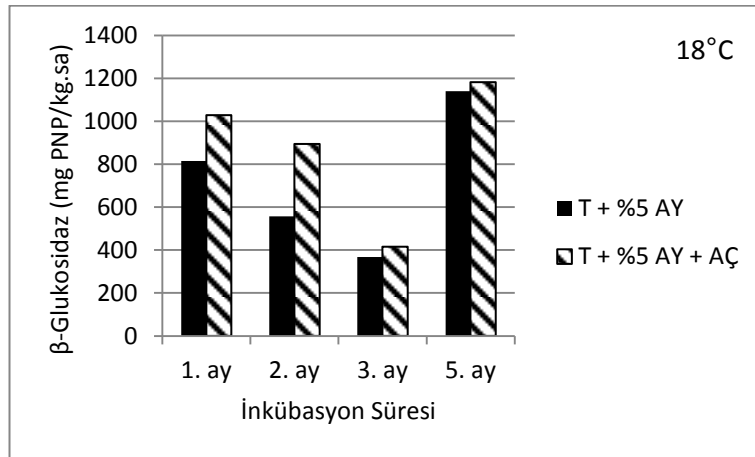
Çizelge 4.31. Düşük dozda (% 0,5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	356885,06	3	9,23*
Uygulama	157383,63	2	4,07*
Uygulama x İnkübasyon süresi	109243,48	6	2,82*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

b- %5 Oranında Atık Mineral Dizel Yağı ile Kirlenme

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 18°C’de inkübasyon periyodu süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.31’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 3 ayında β-glukosidaz aktivitesi azalmış, 3. aydan sonra ise artmaya başlamıştır. Arıtma çamuru ilave edildiğinde de aynı değişim söz konusu olmuştur. Ayrıca, arıtma çamuru ilave edilen topraklardaki β-glukosidaz aktivitesinin, sadece atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklardaki enzim aktivitesinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. 18°C’de yürütülen bu inkübasyon sürecinin % 0,5 kirlilik ile 18°C’de yürütülen benzer süreçle büyük oranda paralellik gösterdiği izlenmiştir.



Şekil 4.31. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18°C’deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

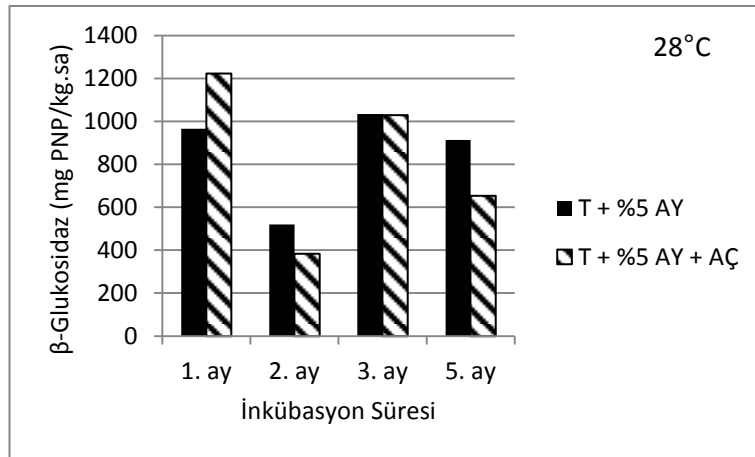
İstatiksel açıdan 18°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulaması ve inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 18°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	1207226	3	52,59*
Uygulama	95103,58	2	4,14*
Uygulama x İnkübasyon süresi	30316,29	6	1,32
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

Yüksek dozda atık mineral dizel yağının uygulandığı topraklarda 28°C’de inkübasyon periyodu süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana getirdiği değişim Şekil 4.32’de verilmektedir. Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda inkübasyon süresinin ilk 2 ayında β-glukosidaz aktivitesi azalmış, 3. ayda artış göstermiş ve 3. aydan sonra tekrar azalma görülmüştür. Arıtma çamuru ilave edildiğinde de 1. ay dışında aktiviteler ilavesiz örneklere göre daha düşük seyretmiştir. Bu durum arıtma çamuru ilavesinin substrat katkısının fazla olmadığını göstermektedir. Zamanla görülen artış-azalma seyri % 0,5 kirlenmeyle yürütülen benzer koşullara uyumlu görünmektedir. Diğer bir ifade ile yüksek kirlenici düzeyi (% 5), β-glukosidaz seviyesine düşük (% 0,5) kirleniciden daha farklı bir etki yapmamıştır.



Şekil 4.32. % 5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 28°C’deki β-glukosidaz aktivitelerinin zamana bağlı değişimi

İstatiksel açıdan 28°C’de yüksek dozda ham petrol ile kirlenmiş topraklarda arıtma çamuru uygulamasının önemli olmadığı belirlenmiştir. İstatiksel açıdan inkübasyon süresi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Yüksek dozda (% 5) atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakların 28°C’de β-glukosidaz aktivitesine etki eden faktörlerin etkisi

Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F _{istatistik}
İnkübasyon Süresi	501451,1	3	13,87*
Uygulama	93177,45	2	2,58
Uygulama x İnkübasyon süresi	97943,02	6	2,71*
Hata			24

*p<0,05 düzeyinde önemli

5. SONUÇ

Çevre kirliliği günümüzde giderek artmaya devam etmektedir. Çevre kirliliği çeşitlerinden en önemlisi de toprak kirliliğidir.

Kirlenmiş topraklar karmaşık sistemlerdir ve topraklardan kirliliğin giderilmesi oldukça zordur. Son dönemlerde meydana gelen petrol ve petrol ürünleri ile toprağın kirlenmesi güncel araştırma konusu haline gelmiştir.

Bu çalışmada ham petrol ve atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklar incelenmiştir. Petrollü hidrokarbonların biyolojik olarak parçalanmasını hızlandırmak amacıyla organik madde olarak toprağa arıtma çamuru ilavesi yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda yürütülen uygulamalara ait toprak numunelerindeki enzim aktivitelerinin zamana karşı değişimleri incelenmiştir.

Bulgularımız aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Tüm araştırma konularında genel olarak (birkaç istisna dışında) arıtma çamuru ilaveleri yapılmış örneklerin enzim aktiviteleri, ilavesiz benzerlerine göre daha yüksek bulunmuştur.
- 2) Topraklardaki ham petrol ve mineral atık motor yağı kirliliklerinin cinsi, oranı, inkübasyon sıcaklığı ve süresi gibi değişkenler bazı enzim aktivite düzeylerini fazlaca etkilerken, bazı enzimlerin aktiviteleri üzerinde ise çok az etkili olmuştur. Diğer bir ifade ile kirlilik ve ortam koşulları bazı enzim aktivitelerini çok, bazılarını ise çok az etkilemektedir.
- 3) Enzim aktivitelerinin zamana bağlı (inkübasyon sürecinde) gösterdikleri değişimler ise;
 - a- Üreaz Aktivitesi'nde; gerek ham petrol gerekse mineral yağda ve hemen hemen bütün değişkenlerde zamanla aktivite azalması eğilimi görülmektedir. Tek bariz aykırı durum mineral yağ, % 5 kirlenme ve 28°C inkübasyonda görülmüştür. Bu değişkende aktivite zamanla artış eğilimi vermiştir. Üreaz aktivitesindeki bu eğilimin nedeni, üreaz aktivitesini etkileyen toksik etkinin zamanla belirginleşmesi ve/veya substrat azalması eğilimi olabilir.
 - b- Alkali Fosfataz Aktivitesi'nde; gerek ham petrol gerekse mineral yağ kirliliğinde ve bütün değişkenlerde zamanla aktivite artışı görülmektedir. Bu durum zamanla bu

aktiviteyi etkileyen toksisitenin (kirliliğin) azalması ve/veya etkinliğini kaybetmesi, ayrıca ortamda ilgili substratın yeterli düzeyde bulunması ile açıklanabilir.

c- Dehidrogenaz Aktivitesi'nde; gerek ham petrol, gerekse mineral yağda genellikle ve bütün değişkenlerde zamanla aktivite artışı olmakta ancak bir süre sonra aktivite düşmektedir. Aktivite düşüşü petrol kirliliğinde 5. ayda ve muhtemelen daha sonra (% 5 kirlenme, 28°C inkübasyon) gerçekleşirken, mineral yağ kirliliğinde ise 2-3 ay sonra veya başlangıçta (% 0,5 kirlenme 28°C inkübasyon, % 5 kirlenme 28°C inkübasyon) ortaya çıkmaktadır. Bu bulgunun nedenlerinden en önemlisinin öncelikle substrat eksilmesi olduğu düşünülmektedir.

d- β - Glukosidaz Aktivitesi'nde; gerek ham petrol, gerekse mineral yağda ve bazı değişkenlerde önce aktivite azalması, sonra zamanla aktivite artışı gözlemlenmektedir. Bu eğilim daha ziyade 18°C'de inkübe edilen örneklerde gözlenmektedir. Bazı değişkenlerde ise (özellikle 28°C'de inkübe edilenler) aktivite deneme süresince salınım göstermektedir. Bu bulgunun nedenlerinin ortamdaki kirliliğin başlangıçtaki baskısı yanında 28°C inkübasyonunda hızlı minerilizasyon sonucu hızlı substrat desteği olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca β - glukosidaz aktivitesinde kirletici cinsi, kirlenme oranı ve inkübasyon sıcaklığının aktivite düzeyi ve zamana bağlı değişimine minimal etki yaptığı düşünülmektedir.

4) Denememizde kullanılan inkübasyon süresinde, mineral yağ gideriminin ham petrol gideriminden daha düşük düzeyde gerçekleştiği bilinmektedir (Dindar 2014). Ancak mineral yağ gideriminin daha az gerçekleşmesi 5 aylık inkübasyon sürecinde yağla kirlenmiş topraklardaki enzim aktivitesi düzeylerini aynı oranda olumsuz etkilememiş görünmektedir. Hatta ham petrolle kirlenmiş topraklardaki enzim aktivitesi düzeylerinin, mineral yağda kirletilen benzeri örneklere göre genellikle daha düşük seviyede belirlendiği söylenebilir. Bu bulgunun nedeni, ham petrolün düşük viskozitesi nedeniyle toprak boşluklarını çoğunlukla iyi doldurması ve yaygın toksik etki gösterebilmesi, mineral yağın ise daha yüksek viskozitesi nedeni ile toprakta stabil topraklar oluşturması ve toprakların dışında kalan yerleri fazla etkilememesi ile açıklanabilir.

Sonuç olarak, ham petrol ve atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş topraklarda enzim aktivitesinin zamana bağılı değişimi oldukça farklılık göstermektedir. Bu da toprağın özelliği, uygulama dozları, arıtma çamuru ilavesi, enzimlerin karakteri ve sıcaklığın farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Enzim aktivitesinin kirlilik ilavesi yapıldığında genelde bir azalma eğilimi içerisinde olduğu ve topraktaki rehabilitasyonun zamanla devam ettiği söylenebilir. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre arıtma çamuru ilavesinin yapılması enzim aktivitelerindeki hareketliliği artmış olup, organik madde ilavesi ile ham petrolün kolay parçalandığı ve enzim aktivitelerinin arttığı görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Al-Awadhi, N., Al-Daher, R., Nawawy, A., Balba, M.T. 1996.** Bioremediation of oil contaminated soil in Kuwait: I. Landfarming to remediate oil- contaminated soil. *J. Soil Contam.* 5, 243-258.
- Albiach, R., R. Canet, F. Pomares ve F. Ingelmo. 2000.** Microbial Biomass Content and Enzymatic Activities After the Application of Organic Amendments to a Horticultural Soil. *Bioresour. Technol.*
- Alexander M. 1994.** Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, San Diego.
- Anonim, 2013.** Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, web.itu.edu.tr.
- Atlas, R.M. 1992.** Petroleum Microbiology in Encyclopedia of Microbiology, pp. 363–369, Academic Press, Baltimore, Md, USA.
- Awobajo, A.O. 1981.** An analysis of oil spill incidents in Nigeria. Proceedings of National Seminar on Petroleum Industries and Nigerian Environment. Warri pp. 57-63. API publication #4424. Washington DC.
- Baker K.H., Herson D.S. 1994.** Bioremediation. McGraw – Hill, New York.
- BP Statistical Review of World Energy, June 2014, 2s.
- Chaineau, C.H., Morel, J.L., Oudot, J. 1995.** Microbial degradation in soil microcosms of fuel oil hydrocarbons from drilling cuttings. *Environmental Science and Technology*, 29, 1615-1621.
- Chaineau, C. H., Rougeux, G., Yepremian, C., Oudot, J. 2005.** Effects of nutrient concentration on the biodegradation of crude oil and associated microbial populations in the soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 8, pp. 1490–1497.
- Charles Darwin Foundation, 2001.** Galapagos oil spill. <http://www.darwinfoundation.org/oilspill>.
- Cookson J.T. 1995.** Bioremediation engineering: design and applications. Mc – Graw – Hill, New York.
- Dibble, J.T., Bartha, R. 1979.** Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 37, 730-735.
- Dick, W.A. ve M.A. Tabatabai 1984.** Kinetic Parameters of Phosphatases in Soils and Organic Waste Materials. *Soil Science.* 137: 7-15.
- 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 1993.** Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. In: F. Blaine (Editor), *Soil Microbial Ecology. Application in Agricultural and Environmental Management*, Marcel Dekker, New York.

Dindar, E. 2008. Arıtma Çamuru Verilen Tarım Topraklarında Solucan Aktivitesinin Azot Formlarına ve Toprak Enzim Aktivitelerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Dindar, E., Topaç Şağban, F.O., Alkan, U., Başkaya, H.S. 2010. The influence of wastewater sludge amendment on the nitrogen content and urease activity of soil with earthworms. *Fresenius Environment Bulletin*, 19, 8a, 1655-1660.

Dindar, E. 2014. Petrol ve Petrol Ürünleriyle Kirlenmiş Toprakların Islahı, *Doktora Tezi*, U.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Frankenberger, Wt 1992. The need for a laboratory feasibility study in bioremediation of petroleum hydrocarbons, p. 237-293.

Hayano, K. ve Tubaki, K. 1985. Origin and Properties off 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.

Kaya, T. 2011. Toprak Kirleticiler ve Toprak Kirliliğinin Rehabilitasyonu, Proje 1 Dersi, U.Ü Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Kremer, R.I. and J. Li. 2003. Developing weed-suppressive soils through improved soil quality management. *Soil Till. Res.* 72: 193-202.

Koning M., Braukmeier J., Luth J.C., Ruiz – Saucedo U., Stegmann R., Viebranz N., Schulz – Berendit V. 1999. Optimizing of the biological treatment of TPH – contaminated soils in biopiles. In: Allemann BC, Leeson A (eds) proceedings, 5th International symposium on In –situ and On – site bioremediation. Battelle Press, Columbus, OH, pp 43 – 49.

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, G. Masciandaro, B. Ceccanti ve S. Grego S. 2000. Influence of Organic and Mineral Fertilizers on Soil Biological and Physical Properties. *Bioresource Technol.* 72: 9–17.

The Mariner Group 2001. Oil Spill History. [http:// www.marinergroup.com /oil-spill-history.htm](http://www.marinergroup.com/oil-spill-history.htm).

Namlı, A., 2013. Toprak Enzim Aktiviteleri. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Notu, 2013.

Nannipieri, P., Grego, S. And Ceccanti, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soils. In: Bollag, J. M., Stozky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, New York, pp. 293-355.

Pamir, A.N. 2003. Dünyada ve Türkiye’de Enerji , Türkiyenin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. 15-16 s.

Pascual, J.A., Hernandez T., Garcia C. ve ve Ayuso, M., 1998. Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: Laboratory experiment, *Bioresource Technology*, 64, 131-138.

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

Ruggiero, P., Dec, J. And Bollag, J.M., 1996. Soil as a catalytic system. In: Stotzky, G. And Bollag, J.-M., Editors, 1996. *Soil Biochemistry*, 9:79-122.

Sastre, I. M., Vicente, M. A. ve Lobo, M. C. 1996. Influence of the Application of Sewage Sludges on Soil Microbial Activity. *Bioresource Technology*, 57: 19-23.

Song, H., Wang, X. and Bartha, R. 1990. *Appl. Environ Microbiol.* 56:652.

Tabatabai, M.A. 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.*

Trasar-Cepeda, C., Leiros, M.C., Seane, S. And Gil Sotres, F. 2000. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1867-1875.

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

Ünal, H. 1967. Rize Çay Topraklarının Enzim Aktiviteleri ve Bu Aktivitelerle Önemli Toprak Özellikleri Arasındaki İlgiler. *Ankara Basımevi, Ankara.*

Walworth J.L., Reynolds C.M. 1995. Bioremediation of a petroleum-contaminated cryic soil: effects of Phosphorous, nitrogen, and temperature. *Journal of Soil Contamination*, 4, 299 -310.

EKLER

EK 1. %0,5 ve %5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki üreaz aktivitesi değerleri

EK 2. %0,5 ve %5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki alkali fosfataz aktivitesi değerleri

EK 3. %0,5 ve %5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki dehidrogenaz aktivitesi değerleri

EK 4. %0,5 ve %5 ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki β -Glukosidaz aktivitesi değerleri

EK 5. %0,5 ve %5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki üreaz aktivitesi değerleri

EK 6. %0,5 ve %5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki alkali fosfataz aktivitesi değerleri

EK 7. %0,5 ve %5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki dehidrogenaz aktivitesi değerleri

EK 8. %0,5 ve %5 atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki β -Glukosidaz aktivitesi değerleri

EK 1. %0,5 ve %5 Ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki üreaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Ham petrol ile kirlenmiş toprak	(mg NH ⁴⁺ -N /kg .sa)				(mg NH ⁴⁺ -N /kg .sa)			
%0,5 HP	160,3743	118,485	81,65067	13,968	67,076	189,036	25,63267	18,69
%0,5 HP + AÇ	177,8143	99,73133	127,212	99,13833	117,2633	41,30833	78,157	167,933
%5 HP	120,7837	114,8853	153,4167	63,04033	65,42567	163,8733	47,27967	70,23133
%5 HP + AÇ	226,2	162,1333	133,2843	71,70167	137,056	127,7483	113,2007	157,5
Kontrol (Toprak)								
	130,1993	61,262	71,142	87,458	62,41967	115,474	85,14033	24,584

EK 2. %0,5 ve %5 Ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki alkali fosfataz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Ham petrol ile kirlenmiş toprak	(mg PNP/kg.sa)				(mg PNP/kg.sa)			
%0,5 HP	1653,247	764,3867	3151,173	3126,81	1611,573	2696,8	3068,347	2757,713
%0,5 HP + AÇ	4556,667	5006,493	4289,4	4741,44	1543,043	4293,983	6761,07	4936,093
%5 HP	1513,217	1012,567	3043,007	3017,383	805,9167	2857,683	3637,95	3262,34
%5 HP + AÇ	5100,033	8442,73	8164,1	6953,433	1640,227	7109,503	6356,443	6529,057
Kontrol (Toprak)								
	1013,33	1129,73	3477,49	3456,8	2511,757	2472,957	3321,067	2832,34

EK 3. %0,5 ve %5 Ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki dehidrogenaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Ham petrol ile kirlenmiş toprak	(mg TPF/kg.24sa)				(mg TPF/kg.24sa)			
%0,5 HP	2,76	11,566	18,844	2,415	9,179	9,346	9,375	2,5115
%0,5 HP + AÇ	3,6085	6,982	16,109	3,165	8,9465	20,001	5,631	4,975
%5 HP	1,221	8,809	10,9165	3,121	8,855	2,5255	4,557	5,1595
%5 HP + AÇ	7,215	16,9215	14,1445	0,287	13,498	5,063	10,546	5,1605
Kontrol (Toprak)								
	6,239	9,927	7,825	3,5125	10,0365	2,6685	2,0155	4,8825

EK 4. %0,5 ve %5 Ham petrol ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki β-Glukosidaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Ham petrol ile kirlenmiş toprak	(mg PNP/kg.sa)				(mg PNP/kg.sa)			
%0,5 HP	963,33	594,5067	517,16	1238,15	1054,853	550,2433	1186,17	517,66
%0,5 HP + AÇ	1074,753	842,4667	437,3267	1061,82	782,7767	457,4733	835,0067	653,45
%5 HP	673,0933	560,6867	393,31	1217,513	782,53	436,33	791,48	417,6767
%5 HP + AÇ	828,54	602,96	533,82	1276,693	679,32	472,1433	962,09	330,1367
Kontrol (Toprak)								
	1031,973	784,02	295,57	1358,03	943,6833	741,7367	1087,437	1186,42

EK 5. %0,5 ve %5 Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki üreaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprak	(mg NH ₄ ⁺ -N /kg .sa)				(mg NH ₄ ⁺ -N /kg .sa)			
%0,5 AY	155,1803	134,1773	172,5567	40,864	31,52067	113,7573	12,245	82,235
%0,5 AY + AÇ	200,7197	185,5367	164,68	26,81633	48,512	180,2233	93,87867	76,409
%5 AY	191,9567	181,3507	127,2097	83,42	26,228	176,8047	64,785	67,662
%5 AY + AÇ	211,1387	248,3953	71,767	124,2257	117,2633	41,30833	78,157	167,933
Kontrol (Toprak)								
	130,1993	61,262	71,142	87,458	62,41967	115,474	85,14033	24,584

EK 6. %0,5 ve %5 Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki alkali fosfataz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprak	(mg PNP/kg.sa)				(mg PNP/kg.sa)			
%0,5 AY	1537,85	1237,383	3683,303	3583,427	2417,36	3188,483	3519,787	3071,107
%0,5 AY + AÇ	2696,043	6344,08	5039,343	6588,783	2226,24	7084,16	11336,13	7592,98
%5 AY	1690,05	697,4633	3289,267	3288,203	2417,36	3188,483	3519,787	3071,107
%5 AY + AÇ	4977,87	9664,07	6970,83	8366,253	2226,24	7084,16	11336,13	7592,98
Kontrol (Toprak)								
	1013,33	1129,73	3477,49	3456,8	2511,757	2472,957	3321,067	2832,34

EK 7. %0,5 ve %5 Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki dehidrogenaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprak	(mg TPF/kg.24sa)				(mg TPF/kg.24sa)			
%0,5 AY	6,0075	12,123	19,073	6,7525	8,106	7,033	1,4045	0
%0,5 AY + AÇ	2,44	16,4365	8,381	0,466	6,416	5,3355	4,83	5,772
%5 AY	0,9785	4,0235	12,0375	4,695	19,145	7,551	6,19	6,7055
%5 AY + AÇ	4,98	12,232	8,058	0,9365	12,5545	9,2255	4,7395	5,024
Kontrol (Toprak)								
	6,239	9,927	7,825	3,5125	10,0365	2,6685	2,0155	4,8825

EK 8. %0,5 ve %5 Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprakta 18 °C'deki ve 28 °C'deki β-Glukosidaz aktivitesi değerleri

Sıcaklık	18 °C				28 °C			
Zaman	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay	1. ay	2. ay	3. ay	5. ay
Atık mineral dizel yağı ile kirlenmiş toprak	(mg PNP/kg.sa)				(mg PNP/kg.sa)			
%0,5 AY	653,1267	655,6867	545,23	1394,093	1013,82	622,12	985,47	1016,057
%0,5 AY + AÇ	1060,573	827,0467	485,8167	1211,29	1072,767	447,5233	1048,14	487,0667
%5 AY	815,36	556,45	367,19	1139,91	965,82	519,1433	1033,473	912,85
%5 AY + AÇ	1028,25	893,9433	414,94	1181,697	1223,727	383,61	1029,983	653,45
Kontrol (Toprak)								
	1031,973	784,02	295,57	1358,03	943,6833	741,7367	1087,437	1186,42

ÖZGEÇMİŞ

Adı soyadı: Tuba KAYA
Doğum yeri ve tarihi: Bursa/ 27.09.1988
Yabancı dili: İngilizce
Eğitim durumu (kurum ve yıl)
Lise: Bursa Erkek Lisesi (2006)
Lisans: Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü (2012)
Çalıştığı Kurumlar ve Yıl
VEBSAN End. Atık San. Tic. Ltd. Şti. (23.11.2012-05.04.2013)
ALESTA Çevre ve İş Güvenliği Ltd. Şti. (17.06.2013-Devam ediyor)
İletişim (e-posta) : tuba.kaya@alestacevre.com.tr

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Tuba KAYA
Tez Adı	HAM PETROL VE PETROL ÜRÜNLERİYLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAKTAKİ BAZI ENZİM AKTİVİTELERİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ
Enstitü	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Türü	YÜKSEK LİSANS
Tez Danışman(lar)ı	PROF. DR. HÜSEYİN SAVAŞ BAŞKAYA
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 15.04.2015

İmza :