T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI DOZLARDA UYGULANAN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ENZİM AKTİVİTESİ VE BAKTERİYEL VARLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

İSMAİL EMRAH TAVALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

2011

FARKLI DOZLARDA UYGULANAN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ENZİM AKTİVİTESİ VE BAKTERİYEL VARLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

İSMAİL EMRAH TAVALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI

Bu tez 2010.02.0121.029 no'lu proje olarak Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

2011

ÖZET

FARKLI DOZLARDA UYGULANAN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ENZİM AKTİVİTESİ VE BAKTERİYEL VARLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

İsmail Emrah TAVALI

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker UZ
Aralık 2011, 127 Sayfa

Bu çalışmada, farklı dozlarda (kontrol, 1 t/da, 2 t/da, 3 t/da, 4 t/da) uygulanan vermikompostun toprağın enzim aktivitesi ve bakteriyel varlığı üzerine etkisi aynı dozlarda uygulanan çiftlik gübresi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla kurulan saksı denemesinde toprak-gübre karışımları hazırlanmış ve bu karışımlar toprak tarla kapasitelerinin %60'ı kadar nemlendirilerek 16 haftalık inkübasyona alınmış ve toprakların nem düzeylerinin sabit kalmasına özen gösterilmiştir. Deneme 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve tesadüf blokları deneme desenine göre faktöriyel olarak planlanmıştır. Deneme boyunca belirli haftalarda (0, 1, 4, 7, 10, 13, 16. hafta) toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca gübre uygulanan toprakların enzim aktivitelerinde ve toplam aerobik mezofilik bakteri varlığında artış ve azalmaya bağlı genel bir dalgalanma durumu gözlenmiş ve genel olarak kontrol değerlerinin üzerinde seyretmiştir. On altı haftalık toplam inkübasyon süresi sonunda da uygulama yapılan toprakların enzim aktiviteleri ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları kontrol seviyelerinin üzerinde kalmıştır. Bu parametrelerde kontrole göre görülen değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, inkübasyon süresince gübre dozlarındaki artışa bağlı olarak toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişimler gübre tipine göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Vermikompost, çiftlik gübresi, inkübasyon, enzim aktivitesi, bakteriyel sayım, toprak verimliliği

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. İlker UZ (Danışman)
Prof. Dr. Mustafa KAPLAN
Doç. Dr. Ersin POLAT

ABSTRACT

EFFECT OF VERMICOMPOST APPLICATION ON SOIL ENZYME ACTIVITY AND BACTERIAL NUMBER

İsmail Emrah TAVALI

M. Sc. Thesis in Soil Science and Plant Nutrition
Adviser: Assist. Prof. Dr. İlker UZ
December 2011, 127 pages

In this study, effect of vermicompost applied in different doses on soil enzyme activity and soil bacterial number was investigated with the comparative application of farm manure in the same doses. For this purpose, a pot experiment in which mixtures of soil and fertilizers were incubated for sixteen weeks in greenhouse conditions was carried out. During the experiment, soil moisture was kept at 60% of the field capacity water content. The experiment was conducted with randomized factorial block design with four replicates. Soil samples were collected and analyzed in regular intervals (0, 1^{th}, 4^{th}, 7^{th}, 10^{th}, 13^{th}, 16^{th} week) during the experiment.

During the incubation period, enzyme activity values and numbers of total aerobic mesophile bacteria in fertilizer-treated soils showed fluctuation in general and remained above the control values. At the end of the incubation period, enzyme activities and total number of aerobic mesophile bacteria were also found to be above the control values. The increase in these parameters in fertilizer-treated soils compared to the control was determined to be statically significant. In addition, the changes in total number of aerobic mesophile bacteria between fertilizer types were found to be significant.

KEY WORDS: Vermicompost, farm manure, incubation, enzyme activity, bacterial number, soil fertility

COMMITTEE: Assist. Prof. Dr. İlker Uz (Adviser)
Prof. Dr. Mustafa KAPLAN
Assoc. Prof. Dr. Ersin POLAT

ÖNSÖZ

Yoğun tarım sistemlerinde toprak verimliliğinin korunması ve geliştirilmesinde toprağa yeterince organik madde ilavesi kaçınılmaz bir olgu haline gelmiştir. Toprağa organik madde uygulamalarında geleneksel olarak kullanılan çiftlik gübresine artan talep, maliyetlerdeki yükseklik alternatif organik madde kaynaklarının değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Tarımsal açıdan önemli özelliklere sahip olan vermikompost dünya genelinde uzun yıllardır bilinmekte, üretilmekte ve kullanılmaktadır. Ülkemizde ise bunun tersi bir durum söz konusudur. Vermikompostun ülkemiz şartlarında üretimi, kullanımı ve yararları konusunda yapılmış bilimsel çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bunun bir sonucu olarak gübre üreticileri, çiftçilerimiz ve teknik personelin bu konudaki bilgi ve tecrübeleri de sınırlı düzeydedir. Bu nedenle ülkemiz şartlarında vermikompost üretimi ve kullanımına yönelik çalışmalara hız verilmesi ve elde edilecek bilgi ve tecrübelerin konuya ilgi duyan kurum ve kişilerle paylaşılması önem arz etmektedir. Bu çalışma, vermikompostu çiftlik gübresi ile kıyaslayarak sözü geçen tarım çevrelerine genel olarak tanıtmak ve bu organik gübrenin toprağın enzim aktiviteleri ve bakteriyel varlığı üzerine olan etkileri konusunda bilgi sunmak üzere hazırlanmıştır.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren, bilgi ve deneyimlerinden yoğun bir şekilde yararlandığım çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İlker UZ'a (Ak. Ün. Z.F.) en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca birçok konuda görüşünü ve desteğini aldığım, yüksek lisans eğitimi almaya beni teşvik eden çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Şule ORMAN'a (Ak. Ün. Z.F.), laboratuvar çalışmalarında ve diğer çalışmalarda yakın desteğini gördüğüm Zir. Müh. Aylin ÖZGÜR ZAMBAK'a (Ak. Ün. Z.F.), yazım ve istatistiksel analizlerimin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Arş. Gör. Dilek S. ÜRAS'a (Ak. Ün. Z.F.) ve Arş. Gör. H.Ekin OKTAY'a (Ak. Ün. Z.F.) teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, sağladıkları samimi ve huzurlu ortamda bana da yer açan bölümümüzün çok değerli öğretim üyelerine ve asistan arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın başından sonuna kadar arazi ve laboratuvar aşamalarında hep yanımda olan ve bana yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Gülsün TAVALI'ya, her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim sevgili annem ve babam Zerrin ve Mustafa TAVALI'ya ve desteklerini hep yanımda hissettiğim kardeşlerim Emre ve Merve TAVALI'ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET……	i
ABSTRACT…….	ii
ÖNSÖZ……	iii
İÇİNDEKİLER……	v
ŞEKİLLER DİZİNİ……	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ……...	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ……	x
1. GİRİŞ……	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI……	3
2.1. Yaşayan Organizmaların Hizmetkârları – Enzimler……	3
2.1.1. Toprak enzimleri……	5
2.1.2. Topraktaki aktiviteleri önemli bazı toprak enzimleri……	8
2.1.2.1.Fosfomonoesteraz……	9
2.1.2.2. Dehidrogenaz……	11
2.1.2.3. Üreaz……	12
2.1.2.4. β-glukosidaz……	13
2.1.2.5. Arilsülfataz……..	14
2.1.3. Topraktaki enzimatik reaksiyonlar ve toprak verimliliği ilişkisi….....	15
2.1.4. Toprak örneklerinde enzim aktivitesi tayini ve değerlendirilmesi.....	17
2.1.5. Toprak enzimleri konusunda yapılmış çalışmalar……	19
2.2. Sürdürülebilir Tarımsal Üretime Yardımcı Olabilecek Bir Gübre - Vermikompost……	29
2.2.1. Vermikompost nasıl elde edilir?.....	30
2.2.2. Vermikompost üretiminde kullanılan solucan türü……	32
2.2.3. Vermikompost üretiminde kullanılan organik atıklar……	33
2.2.4. Vermikompostlama sürecinde organik atıkta meydana gelen değişimler……	33

2.2.5. Vermikompostun özellikleri…… 35
2.2.5.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri…… 36
2.2.5.2. Biyolojik özellikleri……. 37
2.2.6. Vermikompostun toprak ortamına etkisi…… 38
2.2.6.1. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi… 38
2.2.6.2. Toprağın mikrobiyal varlığı ve enzim aktiviteleri üzerine etkisi..... 39
2.2.7. Vermikompostun bitki gelişimi ve verime etkisi…… 40
2.3. Sürdürülebilir Tarımsal Üretimin Destekçisi – Çiftlik Gübresi…… 41
2.3.1. Çiftlik gübresinin özellikleri…… 42
2.3.2. Çiftlik gübresinin toprak ortamına ve bitkisel üretime etkisi… 43
3. MATERYAL ve METOT…… 46
3.1. Materyal…… 46
3.1.1. Toprak materyali…… 46
3.1.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi…… 47
3.1.3. Deneme alanı iklim özellikleri…… 49
3.2. Metot…… 50
3.2.1. Deneme kurulmadan önce toprak, vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerinde yapılan analizler…… 50
3.2.2. Denemenin kurulması…… 52
3.2.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda inkübasyon süresince izlenecek parametreler…… 53
3.2.4. İstatistiksel Analiz…… 56
4. BULGULAR ve TARTIŞMA…… 57
4.1. Vermikompost ve Çiftlik Gübresi Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresi Sonunda Meydana Gelen Değişiklikler…… 57
4.1.1. Organik madde…… 57
4.1.2. Toplam azot…… 58
4.1.3. Alınabilir fosfor…… 60
4.2. Vermikompost ve Çiftlik Gübresi Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresince Meydana Gelen Değişikler…… 61
4.2.1. pH…… 61

4.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC)…… 67
4.2.3. Enzim aktiviteleri…… 72
4.2.3.1. Alkali fosfataz aktivitesi…… 72
4.2.3.2. Dehidrogenaz aktivitesi…… 77
4.2.3.3. β-glukosidaz aktivitesi …… 83
4.2.3.4. Üreaz aktivitesi…… 89
4.2.4. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı…… 94
5. SONUÇ ve ÖNERİLER…… 101
6. KAYNAKLAR…… 103
EKLER……. 125
ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tek ve çift ester bağları ile bağlı fosforlu bileşikler…….. 9
Şekil 2.2. β-glukosidazın glukozidleri hidroliz etme reaksiyonu……... 13
Şekil 2.3. Selülozun mikrobiyal ayrışma şeması…… 14
Şekil 4.1. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince pH'da meydana gelen değişimler…… 62
Şekil 4.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince EC'de meydana gelen değişimler…….. 68
Şekil 4.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince alkali fosfataz aktivitesinde meydana gelen değişimler… 73
Şekil 4.4. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince dehidrogenaz aktivitesinde meydana gelen değişimler….. 78
Şekil 4.5. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana gelen değişimler……. 84
Şekil 4.6. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince üreaz aktivitesinde meydana gelen değişimler……. 90
Şekil 4.7. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında meydana gelen değişimler……. 96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bazı toprak enzimleri ve bağlı oldukları gruplar (Thornton vd 1975)……... 5
Çizelge 2.2. Toprakların bazı enzim aktiviteleri yönünden sınıflandırılmaları……... 18
Çizelge 2.3. İnek gübresi vermikompostunun fiziksel özellikleri (Manivanannan vd 2004)…….. 36
Çizelge 2.4. İnek gübresi vermikompostunun kimyasal özellikleri (Barley 1961)……. 37
Çizelge 2.5. Değişik hayvan gübrelerinin bazı besin elementi içerikleri…… 42
Çizelge 2.6. Ahır gübresinin mikro element içeriği (Simpson 1991)……. 43
Çizelge 2.7. Değişik hayvanlara ait yataklık içeren gübrelerin organik madde ile bitki besin elementlerinin suda çözünebilme oranları (%) (Tisdale ve Nelson 1956)……..... 43
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan toprak örneğinin bazı kimyasal özellikleri... 47
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan gübrelerin bazı kimyasal özellikleri…… 49
Çizelge 3.3. Antalya ili 2011 yılı deneme aylarına ait bazı önemli iklim verileri…..……. 49
Çizelge 3.4. Saksılara uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresi miktarları..... 52
Çizelge 3.5. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış saksıların seradaki konumları…… 53
Çizelge 4.1. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarının toprakta organik madde, toplam azot ve alınabilir fosfor üzerine etkisi (%)…… 57
Çizelge 4.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen pH değerleri…… 65
Çizelge 4.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen EC değerleri (µS/cm)…… 70
Çizelge 4.4. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen alkali fosfataz aktiviteleri (µg PNP/g kuru toprak/saat)…….. 75
Çizelge 4.5. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen dehidrogenaz aktiviteleri (µg TPF/g kuru toprak/saat)…..... 80
Çizelge 4.6. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen β-glukosidaz aktiviteleri (µg PNG/g kuru toprak/saat)……..... 87
Çizelge 4.7. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen üreaz aktiviteleri (µg NH^{+}_{4}-N/g kuru toprak/saat)…… 92
Çizelge 4.8. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (kob/g kuru toprak)….. 98

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
µS/cm	: Mikrosimens/santimetre
µg/g	: Mikrogram/gram
kob/g	: Koloni oluşturan birim/gram
mg/kg	: Miligram/kilogram
mg/l	: Miligram/litre
kg	: Kilogram
g/cm^3	: Gram/santimetreküp
g/t	: Gram/ton
t/da	: Ton/dekar
t/ha	: Ton/hektar
mg/100 g	: Miligram/100 gram
ppm	: Part per million (Milyonda kısım)

Kısaltmalar

EC	: Elektriksel İletkenlik
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonu eksi logaritması
PNP	: p-Nitrofenil fosfat disodyum hexahidrat
PNG	: ρ-nitrofenil-β-D-glukosit
TPF	: Trifenil formazan
TTC	: Trifeniltetrazolyum klorid
V	: Vermikompost
Ç.G.	: Çiftlik gübresi

1. GİRİŞ

Dünya yaşlanmaya ve nüfus artmaya devam ettikçe doğal kaynaklar azalmakta, çevreye verilen zararlar artmaktadır. İnsanların, hayvanların ve doğal yaşamın karşı karşıya kaldığı tehlikeler ve tehditler büyümektedir. Artan nüfusla birlikte insanların ihtiyaçları da artmakta dolayısıyla doğal kaynaklardan en yüksek seviyede yararlanmak istenmektedir. Ancak, doğal kaynaklarda meydana gelen tahribatın insanlar tarafından fark edilmesi kendilerine dönen zararlarla birlikte olmuştur.

Tarım, insanların hayatlarını devam ettirebilmesi için gerekli olan vazgeçilmez bir üretim sektörüdür. Bu sektörde birim alandan elde edilecek faydanın en yüksek olması istenmektedir. Dolayısıyla verimin ve kalitenin yüksek olması, yoğun girdi kullanılmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretimde yapılan uygulamaların, kullanılan kimyasal ve sentetik maddelerin doğal dengeyi ve insan sağlığını tehdit ettiği bir gerçektir. Tarım topraklarının bozulması, toprak ve suların oluşan toksik maddelerce kirlenmesi gibi birçok tehdit bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek olan bu tehditler bilim insanlarını ve tarımla uğraşan kesimleri çeşitli çözüm arayışlarına itmiştir. Organik gübrelerin kullanımının artırılması, mikroorganizmaların tarımda yer alması, organik tarım sisteminin yaygınlaştırılmaya çalışılması bu çözümlerdendir. Doğal dengenin bozulmasına karşı doğal kaynaklarla çözüm bulmak belkide en akıllıca iştir. Bu durumda yapılması gereken işlem doğal çevreyi ve özellikle de tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı doğal çevre olan topraklarımızı en iyi şekilde tanımak ve onun verimliliğinin korunmasını sağlamaktır. Bu amaca yönelik olarak, kimyasal gübre ve pestisitlerin yerine kullanılabilecek organik materyaller içerisinden vermikompost önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Solucanların kullanıldığı ve termofilik safhası olmayan bir kompostlama işlemi ile bitki büyümesini teşvik eden, patojen mikroorganizmalar üzerinde baskılama özelliği olan 'vermikompost' adı verilen son ürün elde edilmektedir. Vermikompostun normal kompost ve diğer organik gübrelerden farkı küçük ve orta ölçekli tarım üreticileri için düşük girdili üretim yapmayı mümkün kılması, konvansiyonel tarımdan organik tarıma

geçişte yaşanan ürün kaybını azaltabilecek ölçüde besin içeriğine sahip olması ve ayrıca bitki hastalıklarını baskılama özelliğinin bulunmasıdır.

Vermikompost ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğu vermikompostun oluşumu sırasında bu materyaldeki enzim ve mikrobiyal aktivitedeki değişimler, vermikompostun bitki gelişimi ve verim üzerine olan etkisi ve bu materyalin bitki hastalıklarını baskılama özelliği üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, toprak enzim aktivitesi ve bakteri sayısı gibi toprağın mikrobiyal varlığı ve aktivitesini yansıtan özellikler üzerinde vermikompostun etkisini inceleyen çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Toprakta organik materyallerin parçalanması, humus oluşumu ve besin döngülerinin mikroorganizmalarca yürütüldüğü ve bunun toprak verimliliğini belirleyen en önemli unsurlardan biri olduğu da göz önüne alındığında vermikompost uygulamalarının toprağın mikrobiyal varlığı ve aktivitesi üzerindeki etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir. Dahası, ülkemizde vermikompost ile ilgili çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu konudaki bilgi eksikliğini gidermek üzere yürütülen bu çalışmada, saksı koşullarında toprağa farklı dozlarda uygulanan vermikompostun toprak enzim aktivitesi ve bakteri sayısı gibi toprağın biyolojik özellikleri üzerine olan etkileri toprağa aynı dozlarda uygulanan çiftlik gübresi ile karşılaştırmalı olarak incelenmeye çalışılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Yaşayan Organizmaların Hizmetkârları – Enzimler

Yaşayan organizmada bütün biyokimyasal ve biyolojik olayları enzim adı verilen maddeler gerçekleştirmektedir. Bütün bu olaylarda enzimlerin yaptıkları tesir şekli katalizörlerin aynıdır. Biyokimyasal ve biyolojik birçok reaksiyona katıldıkları ve kendilerinden bir şey sarf edilmediği halde enzimler bu reaksiyonları çabuklaştırır ve teşvik ederler. Bu nedenle enzimleri organik katalizör veya biyokatalizör olarak adlandırmak mümkündür. 'Enzim' terimini ilk olarak 1878 yılında Kühne kullanmıştır. Enzimler, hücre sitoplazmalarında, mitokondrilerde bulunmakta ve özelliklerini hücre çeşidine göre kromozomlar tayin etmektedir. Yaşayan hayvansal, bitkisel veya mikrobiyal organizmaların hücrelerinde organizmaya göre çeşitli enzimler bulunmakta, hücre veya organizmanın yaşamsal işlevleri için gerekli bütün kimyasal reaksiyonlar enzimler tarafından yürütülmektedir (Haktanır ve Arcak 1997).

Enzimler bütün madde değişimi reaksiyonlarına katılırlar ve enzimsiz hayat olayları oluşamaz. Özet olarak denilebilir ki enzimler, organizmadan elde edilebilen fakat faaliyet göstermeleri için organizmaya ihtiyaç göstermeyen yüksek moleküllü katalizörlerdir. Enzimlerin başlıca görevi yüksek moleküllü organik maddeleri basit yani hücreye geçebilecek ve neticede organizma tarafından yararlanılabilecek şekle sokmaktır. Ayrıca, enzimler parçalama yaptıkları gibi sentez de yapmaktadırlar yani enzimlerin büyük bir kısmı geri dönüşümlü etkiye sahiptir. Parçalayabildikleri bileşikleri parçalanma ürünlerinden tekrar sentez de edebilirler. Sentez yapan enzimler bilhassa metabolizma bakımından önem taşırlar. Enzim sistemlerinde veya reaksiyon ortamında organizmalar için mutlak gerekli olan iz elementlerin bulunması enzimlerin aktivitelerini arttırır. Civa ve gümüş gibi ağır metallerin bulunması ise aksi tesir yapar. Fakat enzimin aktivite göstermesini engelleyen madde uzaklaştırılınca enzim tekrar etkisini gösterebilir (Haktanır ve Arcak 1997).

Enzimler belirli tepkimeler için özgül olan proteinlerdir. Yani, her bir enzim tek tip kimyasal tepkimeyi katalizler. Bazı enzimler ise birbirine benzeyen tepkime grubunu

katalizler. Bu özgüllük enzim molekülünün üç boyutlu yapısından kaynaklanır. Enzimle katalizlenen bir tepkimede enzim ile substrat (S) geçici olarak bir araya gelir ve enzim substrat kompleksi oluşur. Reaksiyon sonucunda oluşan ürün (P) enzimden ayrılır ve enzim (E) başlangıçtaki durumuna geri döner:

$$E + S \longleftrightarrow E - S \longleftrightarrow E + P$$

Enzim genelde substrattan daha büyüktür ve enzim ile substrat birlikteliği hidrojen bağları, van der Waals kuvvetleri gibi zayıf bağlara ihtiyaç duymaktadır. Enzim üzerinde substratın bağlandığı kısım enzimin 'aktif bölgesi' olarak adlandırılır (Madigan vd 2008). Enzimlerin katalitik gücü oldukça etkileyicidir. Enzimler kimyasal tepkimelerin hızını kendiliğinden gerçekleşen tepkimelere göre 10^8-10^{20} kat arttırırlar. Özgül bir tepkimeyi katalizlemek için enzim iki şeyi yapmak zorundadır: 1) doğru substrata bağlanmak ve 2) enzimin aktif bölgesinde katalitik olarak aktif olan amino asitlere göre substratın pozisyonunu belirlemek. Bu sayede enzim substrat kompleksi reaktif grupları karşı karşıya getirir ve substratdaki özgül bağlara baskı uygular. Bu baskı substratın iki ürün oluşturmak üzere kırılmasına yol açar ve metabolizmik reaksiyon tamamlanmış olur (Madigan vd 2008).

Enzimler yaşayan hücreler tarafından oluşturulmakla birlikte yararları bakımından her zaman hücreye bağlı değildirler. Bu nedenle çoğu hücreye bağlı olmakla birlikte bazıları da hücreden ayrılabilir yani ortama salgılanabilirler. Enzimler oluştukları hücrelerin içinde ve dışında görev görmelerine göre endo ve ekto enzimler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Oluştukları hücrelerde cereyan eden çeşitli biyokimyasal reaksiyonları katalizleyen enzimlere endo enzim adı verilmektedir. Hücrelerin hücre dışındaki absorbe edemeyecekleri kadar büyük moleküllü besin maddelerini parçalamak için dışarıya saldıkları enzimlere de ekto enzim (ektraselüler) adı verilmektedir. Bu enzimler ortama geçerek tesirlerini gösterip yüksek moleküllü maddeleri parçalayarak bunları hücre membranından içeriye girebilecek şekil ve boyutlara getirirler (Haktanır ve Arcak 1997).

2.1.1. Toprak enzimleri

Toprak enzimolojisinin ağırlık merkezini ekstraselüler enzimler ve bunların katalizledikleri reaksiyonlar teşkil etmektedir. Toprakların toplam biyokimyasal aktivitesi enzimler tarafından katalizlenen bir seri reaksiyonları kapsamaktadır. Bu reaksiyonlar yaşayan veya ölü organizmalar içinde olabildiği gibi ekstraselüler enzimler tarafından da yürütülebilir. Ekstraselüler enzimler serbest veya toprak kolloidlerine bağlı durumda olabilir. Bunun yanı sıra toprakta 50'den fazla enzimin aktivite gösterdiği saptanmıştır. Bu enzimler çoğunlukla oksidoredüktazlar, hidrolazlar ve transferazlar şeklinde gruplanırlar (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Bazı toprak enzimleri ve bağlı oldukları gruplar (Thornton vd 1975)

Oksidoredüktazlar	**Katalizlediği Reaksiyon**
Katalaz	$2\ H_2O_2$ ——> $2H_2O+O_2$
Dehidrogenaz	XH_2+A ——> $X + A\ H_2$
Hidrolazlar	**Katalizlediği Reaksiyon**
Selülaz	β-1.4 glukan bağlarının hidrolizi
α- ve β- glukosidaz	Glikozid+ H_2O ——> ROH+glikoz
Fosfataz	Fosfat esterleri + H_2O ——> ROH+fosfat
Proteaz	Proteinler ——> peptidler ve amino asitler
Üreaz	Üre ——> $2NH_3 + CO_2$

Toprak enzimleri ile çalışmak saf enzim sistemleri ile çalışmaktan daha zordur. Bunun nedeni kullanılan substratın tükenişi ve ortaya çıkan yeni ürünlerin izlenmesindeki güçlükten kaynaklanmaktadır. Topraktaki mikrobiyal ayrışma olayları başlangıçta lignoselülozlar gibi büyük moleküllü polimerlerin ekto enzimler ile etkilenerek depolimerizasyona uğraması ile gerçekleşir. Topraktaki çok çeşitli organik substratı etkileyebilecek bir enzim sistemi bulunmaktadır. Topraklardaki selüloz kompleksi tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bu ayrışma süreci toprak biyoteknolojisi bakımından da büyük öneme sahiptir (Haktanır ve Arcak 1997).

Topraktaki enzimlerin çok büyük kısmı canlı toprak mikroorganizmalarının besin maddelerini parçalamak amacıyla dışarıya saldıkları ekto-enzimlerle, mikroorganizmaların ölümünden sonra otoliz ile kısmen veya tamamen serbest hale gelerek toprağa karışmış enzimlerdir. Bu enzimler toprağın inorganik ve organik kolloidleri, örneğin killer ve humin maddeleri tarafından adsorbe edilirler. Adsorbe edilmiş enzimler dış etkilere karşı diğer enzimlerden daha dayanıklıdır. Aktivitelerini uzun süre koruyabilirler. Böylece enzimlerin etkileriyle çoğu bitkisel olan topraktaki organik artıklar bir seri enzimatik reaksiyondan sonra küçük moleküllü basit bileşiklere parçalanırlar. Örneğin karbohidraz enzimleri selüloz, nişasta ve benzeri polisakkaritleri, disakkaritlere ve nihayet monosakkaritlere kadar parçalarlar. Proteazlar, proteinli maddeleri polipeptid, dipeptid, oligopeptid ve nihayet amino asitlerine kadar hidroliz ederler. Pektin parçalayıcı enzimler de pektin maddelerini basit ürünlere kadar ayrıştırırlar. Bitki artıklarından toprağa geçen enzimler ortam şartlarına karşı dayanıksız olduklarından hemen parçalanarak aktivitelerini kaybetmektedirler. Bu sebeple topraktaki bitkisel enzimlerin herhangi bir nedenle miktarlarının artması toprak enzim aktivitesi üzerine önemli bir etki yapmaktadır. Frenzel'in yaptığı araştırmalara göre de yüksek bitki kökleri enzim salgılamamakta veya çok az salgılamaktadır. Bu nedenle, topraktaki aktif enzimlerin kökeninin mikrobiyal olduğu kabul edilebilir (Haktanır ve Arcak 1997).

Toprak enzimleri üzerine yapılan araştırmalar son 30 yılda sürekli artmıştır. Yeni teorik yaklaşımlar ve metotlar açıklanmış, topraktaki çeşitli enzim aktiviteleri üzerine büyük miktarda bilgi toplanmıştır. Topraktaki biyotik ve abiyotik bileşenlerle ilgili çeşitli aktiviteler toprak enzimlerinin aktivitelerine etki etmektedir. Burns'e (1982) göre, bir enzim, hızla çoğalan hayvan, mikroorganizma ve bitki hücreleri ile fiziksel olarak ilişkili olabileceği gibi Gram negatif bir bakterinin periplazmasına yerleşmiş ya da hücrelerin dış yüzeylerine bağlanmış vaziyette de olabilir. Enzimler çoğalamayan hücrelerde (mikrobiyal sporlar ve protozoa kistleri gibi) veya tamamen ölü hücrelerde de bulunabilir. Ayrıca enzimler hücre dışı çözünür bir molekül şeklinde geçici olarak enzim-substrat kompleksleri oluşturarak kil minerallerine veya humuslu kolloidlere tutunmuş vaziyette bulunabilir. Bir hücre içi enzim hücre öldükten sonra da fonksiyon gösterebilir. Öyle ki, halen aktif olan bu enzim hücre membranının parçalanmasıyla

serbest kalır ve toprak kolloidlerince tutulabilir. Çoğunlukla enzim-kil ve enzim-organik polimer kompleksleri proteolitik ve termal denatürasyona karşı önemli bir direnç gösterirler (Sarkar vd 1989, Burns 1986, Trasar-Cepeda vd 1988, Nannipieri vd 1988).

Topraktaki mikroorganizmalar ve bitki kökleri tarafından üretilen enzimlerin kil-organik madde enzim kompleksleri şeklinde ve üç boyutlu olarak bulunduğu ve aktivitelerini yitirmedikleri bildirilmektedir (Kiss vd 1976). Topraklarda bulunan enzimlerin büyük bir kısmı toprak kolloidlerince kuvvetle adsorbe edilmiş şekilde bulunduğundan izole edilmeleri çok zordur. Fakat toprakların enzim aktiviteleri yönünden incelenmelerinde ve tayinlerinde izole edilmeleri gerekmektedir.

Enzimler, toprakta birikebildiğinden toprak enzim aktiviteleri yüksek miktarlar göstermekte ve bu nedenle enzim bakımından zengin örnekler elde edilmesine ihtiyaç kalmadan hava kuru toprak örnekleri de direkt olarak enzim aktivitelerinin analizleri için kullanılabilmektedir. Fakat son yapılan çalışmalara göre enzim aktivitelerinin toprak örnekleri alınır alınmaz bekletilmeden yapılmasında daha doğru sonuçlar alınacağı literatürde belirtilmektedir.

Toprak organik maddesinin bitki kökleri ile birlikte canlı kısmını oluşturan toprak biyotası ‘dünyanın biyolojik makinesi’ olarak kabul edilmekte ve toprak ekosistemi için hayati öneme sahip olan besin döngüsü proseslerini, toprak yapısal dinamiklerini harekete geçirmesi ve ayrıca kirleticilerin bertaraf edilmesini, bitki topluluklarının düzenlenmesini sağlamak suretiyle pek çok anahtar rol üstlendiği bildirilmektedir (Ritz vd 2003). Topraktaki organik maddenin parçalanma ve ayrışmasında en önemli rolü enzimler oynamaktadır. Mikroorganizmalar ekstraselüler enzimlerini toprak ortamına salarak organik artıklardaki selüloz, lignin, fosfat esterleri, protein, karbonhidrat, nişasta gibi yüksek polimer bileşikleri bir seri biyokimyasal reaksiyonlardan sonra ortam şartlarının da etkisi ile bileşenlerine çevirme özelliği gösterirler. Böylece bu bileşikler hidroliz, oksidasyon, redüksiyon, dehidrojenasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon v.s. gibi biyokimyasal reaksiyonlarla daha küçük moleküllü bileşiklere bölünerek besin iyonlarına çevrilirler (Haktanır 1973).

Enzimlerin aktivitesinde bilhassa iki faktör rol oynamaktadır.

1. Hidrojen iyonları konsantrasyonu (pH)
2. Ortamın sıcaklığı

Enzimlerin etkileri ortamın asitlik derecesine yani hidrojen iyonları konsantrasyonuna bağlıdır. Enzimlerin aktif oldukları pH dereceleri enzimin cinsine göre değişiklik göstermekte olup en fazla aktif olduğu pH derecesine optimal pH denmektedir. 1.2-9.0 pH birimleri dışında genellikle enzimler aktivite göstermemektedirler. pH'dan dolayı enzim aktivitesinin tesirsiz hale gelmesi geri dönüşümlü bir olay olup pH'nın düzelmesi ile tekrar aktivite kazanılabilmektedir. Ancak, çok ekstrem pH dereceleri enzim proteininin denatüre olmasına yol açtığından enzimin tekrar aktivite göstermesi düşünülemez (Haktanır ve Arcak 1997).

Her enzim belli sıcaklık derecelerinde yüksek aktivite göstermektedir. Bu sıcaklık derecesine o enzimin optimum sıcaklık derecesi denmektedir. Enzimler sıcaklığa karşı hassastırlar. Optimum dereceler aşıldığında aktivite azalmaya başlamakta, 60-100°C ise tamamen durmaktadır. Bunun nedeni enzim proteininin denatüre olması ve böylece enzimin bozulmasıdır. Enzimlerin optimum çalışma sıcaklığı genellikle 20-39°C arasında bulunmaktadır. Optimum enzim aktivitesini sağlayan sıcaklığa kadar sıcaklığın her 10 derece yükselmesi ile aktivitenin iki misli arttığı bilinmektedir.

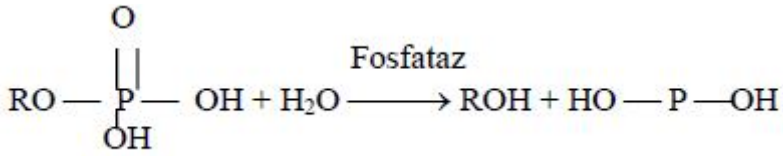
2.1.2. Topraktaki aktiviteleri önemli bazı toprak enzimleri

Topraktaki enzimlerin miktar ve çeşitleri toprakta kalan hasat artıklarının içerik ve miktarları ile verilen organik ve inorganik gübrelerin çeşit ve miktarına bağlıdır. Toprak pH'sının ve sıcaklığının düşmesinin yanı sıra topraktaki organik madde bilançosunu azaltan yanlış tarımsal işlemlerin toprak enzimlerinin aktivitelerini düşürdüğü bildirilmiştir (Kadalli vd 2000). Topraktaki miktar ve çeşitleri değişik faktörlere bağlı olarak farklılık gösteren toprak enzim aktivitelerinin substrat-spesifik özellik gösterdiği ve bu nedenle tek bir enzim aktivitesi değerinin genel olarak topraktaki mikrobiyal durumun anlaşılması için yeterli olmadığını bildirilmiştir (Parthasarathi ve Ranganathan 2000). Bu nedenle toprak verimliliğinin sürdürülebilmesini sağlayan mikrobiyal

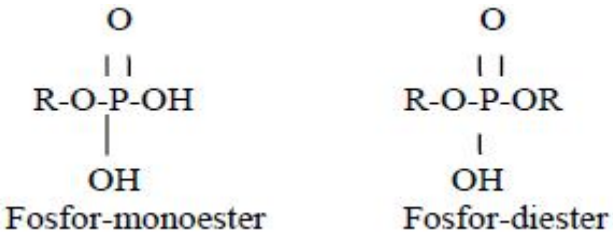
aktivitenin göstergelerinden olan; Fosfomonoesteraz, dehidrogenaz, üreaz, β-glikosidaz ve arilsülfataz gibi toprak enzim aktivitelerinin ölçülmesi ve bir bütün içinde değerlendirilmeleri gerekmektedir.

2.1.2.1. Fosfomonoesteraz

Fosfotazlar fosfat esterlerinin hidrolizini katalizlerler. Yapısal olarak kendileriyle ilişkili çok sayıda substrata farklı oranlarda etki edebilme kapasitesindedirler. Substratlarına bağlı olarak çeşitli isimler alırlar. Organik substratlardaki fosforu açığa çıkaran enzimler genel olarak fosfotazlar olarak tanımlanır. Bu enzimler aşağıdaki reaksiyonu katalizler.



Tek bir fosfotaz, birçok değişik substratı etkileyebilir. Böylece bir enzim etil fosfat, gliserin fosfat ve fenil fosfat belişeklerini ayrıştırabilir. Diğer taraftan iki R grubu içeren moleküllerde (diesterler) ayrışma için farklı enzimler gerekebilir.



Şekil 2.1. Tek ve çift ester bağları ile bağlı fosforlu bileşikler

Fosfomonoesterazlar toprakta geniş oranda çalışılmıştır çünkü organik fosfomonoesterlerin bitkiler tarafından alınabilen inorganik fosfora hidrolizini katalizler. Optimum pH'larına göre fosfomonoesterazlar asit, nötral ve alkali fosfatazlar olarak sınıflandırılır. Asit ve nötral fosfatazlar hayvan, bitki ve mikrobiyal hücrelerde

bulunmakta iken alkali fosfotazlar sadece hayvan ve mikroorganizma hücrelerince üretilir (Beck 1973, Burns 1978, Chonkar ve Tarafdar 1981, Dick ve Tabatabai 1983). Toprakta hem asit hem de alkali fosfatazlar bulunur (Speir ve Ross 1978). Bu enzimlerin rizosferdeki aktiviteleri toprak karışımına göre daha yüksektir (Tarafdar ve Jungk 1987). Bu durum bu enzimlerin bitki beslenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Asit fosfotazların aktiviteleri asit topraklarda daha yüksek iken alkali fosfatazların aktiviteleri ise alkali topraklarda daha yüksektir (Eivazi ve Tabatabai 1977). Toprak fosfotazlarının aktif olabilmesi için gereken sıcaklığın 20^{o}C'den 40^{o}C'ye değiştiği ve 37^{o}C'nin optimum sıcaklık olduğu bildirilmektedir (Hoffmann 1967, Tabatabai ve Bremner 1969, Nannipieri vd 1988, Doelman vd 1989).

Dünya genelinde 1960'ların başlarına kadar toprağın fosfotaz aktivitesini belirlemede yapay substratlar doğal olanlarla birlikte kullanılmışlardır. Fenil fosfat veya p-nitrofenil fosfat gibi yapay substratlar doğal olanlarına göre daha hızlı hidroliz olan düşük moleküler ağırlıklı esterlerdir ve kolaylıkla belirlenebilen organik bir parçacık içerirler. Doğal substratları kullanan metotlar inorganik fosforun belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar verebilmekte iken fosfatın kantitatif olarak topraktan geri kazanılması güçleşmektedir (Speir ve Ross 1978).

Fosfotaz aktivitesi sadece pH ve sıcaklık değerlerinden değil aynı zamanda toprağın organik madde içeriği, nemi ve havasından da etkilenebilmektedir. Bu etkilerden dolayı topraktaki fosfotaz aktivitesi mevsimlere göre değişiklik gösterir. Bunun yanı sıra havada kurutulan toprağın fosfotaz aktivitesinin düştüğü bildirilmektedir (Speir ve Ross 1978, Sparling vd 1986). Kuru toprak tekrar nemlendirildiğinde ise enzim aktivitesi artmaktadır. Fosfotaz aktivitesinin toprak derinliği arttıkça azalma eğiliminde olduğu (Speir ve Ross 1978, Beck 1984, Cochran vd 1989) bunun yanı sıra bakteri sayısı ile korelasyon göstermediği bildirilmektedir (Nannipieri vd 1978, Speir ve Ross 1978).

Kirleticilerin ve toprak yönetiminin enzim aktivitesi ve fosfat mineralizasyonu üzerindeki etkisi toprakta birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Juma ve Tabatabai 1977, Mathur ve Sanderson 1978, Speir ve Ross 1978, Mathe ve Kovacs 1980, Beck

1984, Gadkari 1984, Nakas vd 1987, Rastin vd 1988, Wilke 1988, Cochran vd 1989, Doelmann vd 1989). Organik gübrelerin aksine toprağa verilen kimyasal gübreler toprak enzim aktivitelerinde azalmalara yol açmaktadır. Çoğunlukla inorganik ortofosfatın topraktaki fosfataz aktivitesini inhibe ettiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Kiss vd 1976, Nannipieri vd 1978, Appiah vd 1985, Lopez-Hernandez vd 1989).

2.1.2.2. Dehidrogenaz

Topraktaki toplam mikroorganizma varlığının belirlenmesi ile toprağın verimlilik durumu hakkında temel bilgilerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Dehidrogenaz aktivitesi toprak mikroorganizmalarının metabolik aktivitelerinin değerlendirilmesinde ve kentsel artıkların yol açtığı değişikliklerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pascual vd 1998, Reddy ve Ohkura 2004).

Solunum zincirinde yer alan bir veya daha fazla sayıdaki enzimin aktivitesinin hücredeki toplam oksidatif aktivitenin bir indeksi olarak kullanılabileceği 1930'lu yıllardan beri bilinmektedir. Dolayısıyla, herhangi bir habitattaki dehidrogenaz aktivitesi toplam mikrobiyal aktivitenin bir ölçüsü olarak kullanılabilir (Lenhard 1956, Casida vd 1964, Thalmann 1968, Klein vd 1971, Skujins 1973, Casida 1977, Chendrayan vd 1979).

Topraktaki dehidrogenaz aktivitesini belirlemek için en çok kullanılan yöntemlerden birisi yapay bir elektron alıcısı olan trifenil tetrazolyum klorid (TTC) kullanımına dayanmaktadır (Lenhard, 1956). TTC suda çözünür bir elektron alıcısı olup redox potansiyeli ise yaklaşık 0.08 V'dur (Mattson vd 1947). Özel oksidoredüktazları katalizleyen pek çok diğer flavin içerikli enzim (örneğin; aminoasit-oksidaz, ksantin oksidaz, oratat redüktaz ve aldehit oksidaz) TTC'yi trifenil formazana (TPF) indirger (Jambor 1960). Tüm mikroorganizmalar TTC'yi TPF'ye indirgeme kabiliyetine sahiptir ve oluşan TPF miktarı kolorimetrik olarak belirlenebilir.

2.1.2.3. Üreaz

Tarım topraklarında bitkiler tarafından en fazla sömürülen elementlerin başında azot gelir. Toprakta var olan azotun kaynağını organik madde oluşturmaktadır. Organik gübreler ya da bitki artıkları ile toprağa ulaşan organik bileşiklerin mikroorganizmalarca ayrıştırılmaları ile azot elde edilmesi ve daha sonra tekrar atmosfere ulaşması sırasında gerçekleşen tepkimelerin tümü azot döngüsünü oluşturmaktadır. Azot döngüsü tarımsal, ekonomik ve ekolojik önemi olan temel olaylardandır. Topraktaki azotlu bileşiklerin ayrışmasının son kısmında etkili olan üreaz enzimi ise azot döngüsü sırasında görev alan önemli bir ekstraselüler toprak enzimidir (Chen vd 2004).

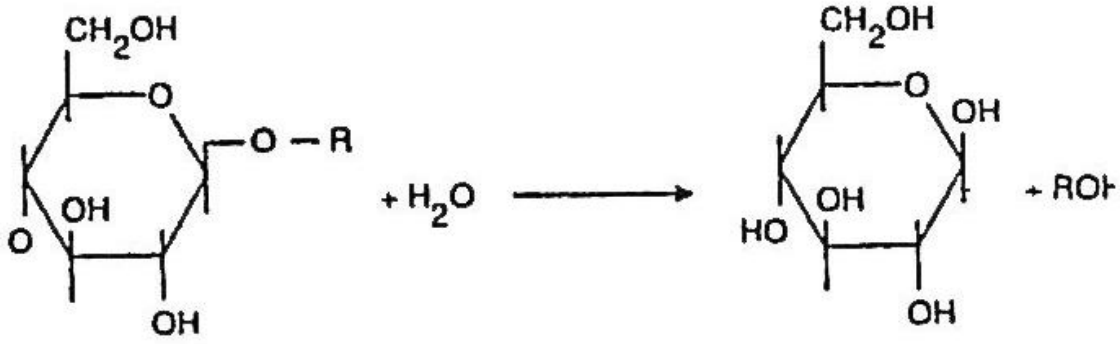
Üre bilindiği gibi topraklara gübre olarak da uygulanmaktadır. Ayrıca yüksek hayvanların salgıları vasıtasıyla da toprak ortamına girmektedir. Toprakta çok hızlı hidroliz olur ve son ürün olarak karbondioksit ve amonyak açığa çıkar. Ürenin hidrolizinden sorumlu olan üreaz enzimi, üreyi aşağıdaki reaksiyonda olduğu gibi önce amonyum karbonata ve daha sonra son ürünlere çevirir.

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xrightarrow{\text{üreaz}} H_2NCOONH_4 \longrightarrow 2NH_3 + CO_2$$

Üre hidrolizi artan sıcaklığa bağlı olarak hızlanmaktadır. Bununla birlikte donma noktalarına yakın düşük sıcaklıklarda bile üre ayrışmasının olabildiği gözlenmiştir. Ortam nemi, oksijen düzeyi ve pH reaksiyon oranını kontrol eden faktörlerdir. Birçok mikroorganizma üreaz enzimi salgılayabilmektedir. En bilinen organizma türleri arasında *Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Klebsiella, Corynebacterium, Clostridium* gibi bakteri türleri, çok çeşitli filamentli mantar ve aktinomisetler sayılabilir. Üreaz aktivitesinin toprakta ürenin varlığına bağlı bir artış gösterdiği ve bu aktivitenin pH 4.0 ile 5.5 arasında azaldığı bilinmektedir.

2.1.2.4. β-glukosidaz

Tarım topraklarında bitkiler ve mikroorganizmaların enerji kaynağı olarak kullandığı temel maddelerin başında karbonlu bileşikler gelmektedir. Tüm canlıların yaşamsal faaliyetlerine katılan ve onlara enerji sağlamakla görevli olan karbon içeren bileşikler arasında ayrıştırılması en zor olanlarından birisi de selülozdur. Toprak ekosistemi içerisinde aktivite gösteren enzimlerden olan β-Glukosidaz, selülozun glikoza mikrobiyal ayrıştırılmasında sınırlayıcı enzimdir. Bu enzim; mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlarda bulunmaktadır (Bahl ve Agrawal 1972, Dey ve Pridham 1972, Wallenfels ve Weil 1972). Enzim glukozidlerin hidrolizini aşağıdaki reaksiyona göre katalizler (Şekil 2.2).

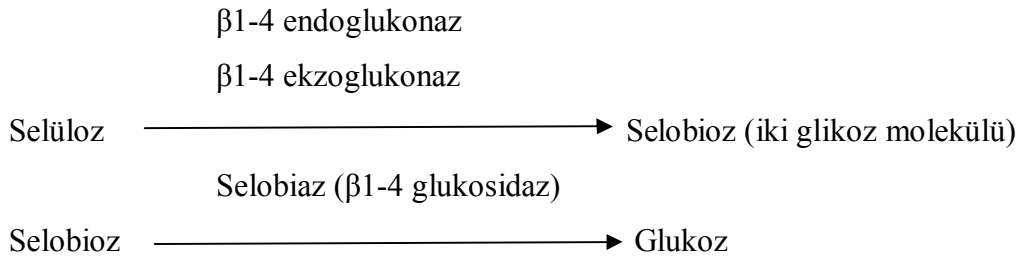


Şekil 2.2. β-glukosidazın glukozidleri hidroliz etme reaksiyonu

Selüloz, bitki biyokütlesinin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Yaklaşık 15000 glikoz biriminin β-1.4-glikozidik bağlar ile linear bir şekilde bağlanması ile oluşur. Selülozun suya karşı yüksek çekiciliği olmasına rağmen, suda hiç çözünmez. Selüloz glikoza, en az üç farklı enzimin sinerjistik çalışması ile hidrolize olabilir. Bu enzimler; endoglukanaz, ekzoglukanaz ve β-glukosidaz'dır (Niehaus vd 1999).

Selülozun parçalanmasında görev alan enzimlerin tümüne birden genel olarak selülaz denir. Bu enzimler mikroorganizmalar tarafından salgılanan ekstraselüler enzimlerdir. Selülozlu bileşiklerin yapıtaşlarına yıkımı bir takım zincirleme reaksiyonla gerçekleşir. Mikroorganizmalar bu reaksiyondan enerji elde etmez. Enerji sadece ortaya

çıkan basit bileşiklerin (glikoz) metabolizması sonucu elde edilir. Oluşan 2-3 glikozlu moleküller hücre dışında veya hücre içine alınıp burada tek glikoz molekülüne çevrilebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Selülozun mikrobiyal ayrışma şeması

Selülozun parçalanmasında görev alan mikroorganizmalar içerisinde aerobik *Cellulomanas*, *Cellovibrio* ve anaerobik *Clostridium* gibi bakteri türleri, sadece aerobik koşullarda aktif olan fungus türleri, ayrıştırma işlemini yavaş gerçekleştiren aktinomiset türleri ve bazı saprofit protozoa türleri bulunurlar. Selüloz %44 karbon içermesine rağmen azot içermez. Bu nedenle selülozca zengin organik bir materyalin toprağa verilmesi sonucu bitkilerde azot noksanlığı gözlenebilir. Bu durum selülozun parçalanma hızını da yavaşlatır. Ancak, toprağa çiftlik gübresi veya kimyasal gübre yoluyla azot sağlanması ile birlikte selüloz mineralizasyonu kısmen teşvik edilir. Bununla birlikte, organik materyalde bulunan selüloz basit karbonhidratlar ile birlikte ise daha kolay parçalanır (Uz 2009).

2.1.2.5. Arilsülfataz

Sülfatazlar organik sülfat esterlerinin hidrolizini katalizler ve ester tipine göre arilsülfatazlar, alkilsülfatazlar, steroid sülfatazlar, gluko sülfatazlar, kondrosülfatazlar ve mirosülfatazlar olarak sınıflandırılırlar (Tabatabai 1982).

Arilsülfataz enzimi, toprakta S dönüşümünde görev alan ekstraselüler bir enzim olup, organik S formlarındaki O-S bağlarını kırarak bunların hidrolizini sağlayan ve SO_4^{-2} oluşumunu sağlayan enzim olması dolayısıyla diğer sülfatazlardan ayrılmaktadır.

Topraktaki bu etkisinden ötürü toprak verimliliğine büyük katkıları bulunmaktadır (Tabatabai 1982). Aşağıdaki dönüşümsüz reaksiyonu katalizleyen arilsülfataz; mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlarda bulunmaktadır (Nicholls vd 1971).

$$R.OSO_3^- + H_2O \longrightarrow R.OH + H^+ + (SO_4)_2^-$$

Enzim ayrıca p-nitrofenil sülfat, potasyumfenil sülfat, potasyum nitrokatekol sülfat ve potasyum fenolfitaleyn sülfatın da hidrolizlerini katalizler. Arilsülfataz aktivitesi toprak derinliği arttıkça düşmekte ve toprak organik karbonu, toplam azot ve katyon değişimi kapasitesi ile belirgin bir korelasyon göstermektedir (Tabatabai ve Bremner 1970b, King vd 1980, Appiah ve Ahenkorah 1989). Yapılan çalışmalara göre, inorganik kükürt [$(SO_4)^{2-}$] topraktaki arilsülfataz aktivitesini sınırlamaktadır (Dodgson ve Rose 1976, Fitzgerald 1976, Jarvis vd 1987). Diğer taraftan, $(PO_4)^{3-}$, $(AsO_4)^{3-}$, $(MoO_4)^{2-}$ ve $(WO_4)^{2-}$'ün de arilsülfataz aktivitesini sınırlandırdığı fakat NO_3^-, NO_2^- ve Cl^-'un sınırlandırmadığı belirlenmiştir (Al-Khafaji ve Tabatabai 1979, Tabatabai ve Bremner 1970a).

Topraktaki kükürt mineralizasyonunda arilsülfataz aktivitesinin önemi yüzeysel topraklarda bulunan toplam kükürtün çoğunluğunun organik sülfat formunda bulunmasından kaynaklanmaktadır (Tabatabai 1982). Bununla birlikte Jarwis vd (1987), arilsülfataz aktivitesi ve kükürt mineralizasyonu arasında hiçbir ilişki bulamamışlardır. Fitzgerald vd (1985), p-nitrofenil sülfatın bağımlı aktivitenin topraktaki önemi hakkında endişeler belirtmiş ve substrat olarak tirozin sülfat kullanımını önermişlerdir.

2.1.3. Topraktaki enzimatik reaksiyonlar ve toprak verimliliği ilişkisi

Toprak enzimolojisi alanında yapılan araştırmalar toprak enzimlerinin verimlilik üzerine etki yaptıklarını, bir toprakta çeşitli enzimlerin aktivitelerinin tayini suretiyle o toprağın verimlilik derecesi hakkında bir fikir edinilebileceğini ortaya koymaktadır. Her tarım toprağında o toprağa özgü bir enzim seviyesi vardır. Enzimlerin miktar ve çeşitleri toprakta kalan hasat artıkları ile verilen organik ve inorganik gübrelerin içerik ve miktarlarına, toprak reaksiyonuna, münavebeye ve toprağın işlenmesine bağlıdır.

Toprak pH'sının düşmesi, uygun olmayan zirai işlemlerin yapılması, toprağın zamanında ekime hazırlanmaması gibi pek çok faktör topraktaki enzim seviyesini ve aktivitesini düşürebilmektedir (Ünal 1967).

Toprak verimliliği ile o toprağın barındırdığı organizma sayısı arasında normal şartlarda daima pozitif bir korelasyon vardır. Bundan dolayı toprakların verimlilik yönünden karakterize edilmesinde onların içerdikleri organizmaların tür ve zenginliği önemli bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Topraktaki organizmalar arasında verimliliğe en önemli katkıyı mikroorganizmaların sağladığı bilinmektedir. Kendileri çok küçük işlevleri bir o kadar büyük olan toprak mikroorganizmaları toprağa katılan organik maddeleri salgıladıkları hücre dışı enzimleri vasıtasıyla ayrıştırıp kendileri ve bitkilerin gelişmeleri için mutlak gerekli besinleri açığa çıkarırlar (Çakmakçı ve Çelik 1994). Organik artıkların toprağa karıştırılması topraktaki enzim aktiviteleri üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Bu artıklar çeşitli enzimler içerebildikleri gibi topraktaki mikrobiyal aktiviteyi de hızlandırabilmektedirler. Topraktaki enzimler özellikle azot (üreaz, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon (β-glukosidaz) döngüsünde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler.

Toprağa düşen bitkisel ve hayvansal artıklardaki besin elementleri yüksek polimer bileşikler halinde kaldıkları sürece yüksek bitkiler ve mikroorganizmalar bunlardan doğrudan doğruya yararlanamazlar. Topraktaki organik maddelerin çoğu; örneğin lignin, proteinler, protein karakterinde olmayan azotlu bileşikler, pektin maddeleri, selüloz ve diğer polisakkaritler mikroorganizmaların doğrudan doğruya absorbe edemeyecekleri kadar büyük moleküllü bileşiklerdir. Bu bileşiklerin topraktaki canlılara yararlı hale gelmesini sağlayan ve toprak verimliliğine katkı sunan temel unsur çoğunlukla mikrobiyal enzimlerdir.

Toprakta bulunan bitkisel ve hayvansal canlılar toprak oluşumu ve verimliliği üzerine önemli etkide bulunurlar. Toprakta gerçekleşen kimyasal olayların büyük bir kısmı toprakta yaşayan mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu olur. Mikroorganizmalar, toprak ortamına ekstraselüler enzimlerini salarak organik atıklardaki selüloz, lignin, fosfat esterlerini, protein, karbonhidrat, nişasta gibi yüksek

polimer bileşikleri bir seri biyokimyasal reaksiyonlar sonucu parçalama özelliği gösterirler. Bu bileşiklerin hidroliz, oksidasyon, redüksiyon, amonifikasyon, nitrifikasyon gibi biyokimyasal reaksiyonlarla daha küçük moleküllü bileşiklere bölünmeleri ve son olarak $H_2PO^-_4$, HPO_4^{-2}, NO_3^-, NH_4^{-2}, K^+, Ca^{+2} gibi besin iyonlarına çevirmeleri gerekir. Topraktaki enzimatik reaksiyonların etkileriyle yüksek polimer bileşiklerden meydana gelen besin iyonlarından mikroorganizmaların yanı sıra yüksek bitkilerde yararlanmakta ve gelişmelerini sürdürmektedirler.

2.1.4. Toprak örneklerinde enzim aktivitesi tayini ve değerlendirilmesi

Topraklarda bulunan enzimlerin büyük bir kısmı toprak kolloidlerince kuvvetle adsorbe edilmiş şekilde bulunduğundan izole edilmeleri çok zordur. Fakat toprakların enzim aktiviteleri yönünden incelenmelerinde ve tayinlerinde izole edilmeleri gerekmektedir. Enzimler, toprakta birikebildiğinden toprak enzim aktiviteleri yüksek miktarlar gösterebilmektedir bu nedenle enzim bakımından zengin örnekler elde edilmesine ihtiyaç kalmadan hava kuru toprak örnekleri direkt olarak enzim aktivitelerinin analizleri için kullanılabilmektedir. Fakat bunun yanında son yapılan çalışmalara göre enzim aktivitelerinin toprak örnekleri alınır alınmaz bekletilmeden yapılmasında daha doğru sonuçlar alınacağı literatürde belirtilmektedir (Haktanır ve Arcak 1997).

Topraktaki enzim aktivitesinin dayandığı prensip belirli bir enzim miktarının tayini olmayıp o enzimin göstermiş olduğu aktivitenin ölçülmesi yoluyla enzim miktarları hakkında dolaylı bir bilgi edinebilmesine dayanmaktadır. Çeşitli toprakların enzim aktivitelerini tayin ve birbiri ile kıyaslayabilmek için toprak örneklerinin aynı şartlarda analiz edilmeleri gerekmektedir.

Genellikle 100 g toprakta bulunan enzimin substratından hidroliz etmiş olduğu 1 mg madde bir aktivite birimine eşit kabul edilmektedir. Örnek olarak 100 g toprakta bulunan üreaz enzimi toprağa substrat olarak ilave edilen üreden 5 mg parçalamış ise o toprağın üreaz aktivite sayısı 5 tir. Toprakların enzim seviyelerinin belli sayılar arasında sınırlandırılmaları toprakta enzimlerin aktivitelerine tesir eden faktörlerin çeşitli

olmasından ileri gelmektedir. Örneğin, yarayışlı fosfor miktarı ile toprak reaksiyonu diğer faktörler yanında fosfataz aktivitesine büyük ölçüde etki yapmaktadır. Bu sebeple bir toprağın fosfataz enzim aktivitesi bakımından zenginlik veya fakirliği diğer enzimlerde olduğu gibi belli aktivite sayılarıyla ifade edilmemektedir.

Toprakların enzim aktivitelerini belli sayılarla sınırlandırmak çok pratik bir uygulama olmamasına rağmen böyle bir sınıflandırma da literatürde mevcuttur (Çizelge 2.2). Bu sınıflandırma çok genel amaçlı olup elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanımından daha ziyade analizin sağlıklı bir şekilde yürütülüp yürütülmediğinin ortaya konması açısından önemli bir referans noktası olabilir. Çünkü toprakların enzim aktivitelerinin sadece bir toprak faktörüne bağlı kalmadan çok değişkenlik gösteriyor olmasının yanı sıra toprak örneğinin alındığı andaki aktivite değerinin belirlenmek istenmesi böylesi bir sınıflandırmayı pratik olarak kullanmayı engellemektedir (Haktanır ve Arcak 1997).

Çizelge 2.2. Toprakların bazı enzim aktiviteleri yönünden sınıflandırılmaları

Enzim Adı	**Topraktaki Aktivitesi (mg/kg)**			
	Düşük	Normal	Yüksek	**Referans**
Üreaz	<8	8-16	>16	Hofmann vd 1966
β-Glukosidaz	<50	50-100	>100	Tosun vd 1975
Dehidrogenaz	<50	50-100	>100	Tosun vd 1975
Alkali Fosfataz	<50	50-100	>100	Eivazi ve Tabatabai 1977

Topraktaki mikroorganizmaların toprağa dağılış şekilleri bilinmektedir. Bunlar bilhassa toprağın yüzey kısmında bulunurlar. Toprak enzimleri mikroorganizmaların salgıları ve kısmen de bunların ölümleri ile serbest hale geçip toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilmiş olduklarından toprağın üst kısımlarında daha fazla bulunurlar. Tarla ve bahçe topraklarında enzimler daha çok toprağın işlenmiş üst kısımlarında bulunmaktadır. İşlenmemiş kısımlarda enzim miktarı azdır ve toprağın derinliğine doğru bu miktar kuvvetle düşer. Bir metre derinlikte hemen hemen enzim faaliyeti yoktur. Çayır ve mera topraklarında enzimler en çok 5-7 cm derinlikte bulunur.

Toprak mikroorganizmalarının toprağa dağılış şekline etki eden faktörlerin çok çeşitlilik göstermesinden ötürü kültür topraklarından enzim analizleri için örnekler alınırken bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1.5. Toprak enzimleri konusunda yapılmış çalışmalar

Dünya genelinde araştırmacılar tarafından toprak enzimleri konusunda çok çeşitli konularda çalışmalar yapılmıştır. Toprak enzim aktivitesinin kantitatif tayini metodları üzerine esaslı çalışmalar 1940 yıllarında Condrad ile başlamışsa da en önemli gelişmeler 1952 yıllarından sonra pek çok araştırıcının bu konuya eğilmesi ile sağlanmıştır. Condrad, üreaz ve Jackman vd ise fosfatazı incelemiş ve kantitatif tayininde başarılı olmuşlardır (Haktanır ve Arcak 1997).

Topraklarda organik maddenin ayrıştırılmasından büyük oranda sorumlu olan mikrobiyal toprak enzimleri ektraselüler enzimler olup salgılayan mikroorganizmanın yaşamı sona erse dahi faaliyetlerini devam ettirebilme özelliğindedirler. Burns (1978), ekstrasellüler enzimler olan toprak enzimlerinin topraklarda organik materyallerin parçalanmasından sorumlu olduğunu bunun yanı sıra toprağa yapılan organik materyal girdisinin bu enzimleri arttırabileceğini ve bu artışın organik materyalin çeşidine göre önemli farklar gösterebileceğini bildirmektedir. Gispert ve Arcara (1988) ise topraktaki enzimlerin toprağın fizikokimyasal özellikleri tarafından etkilenebileceğini ve üreaz, fosfataz, proteaz aktiviteleri arasında iyi bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir.

Bitki kökleri, yaşlarına ve bulundukları çevre koşullarına bağlı olarak fiziksel ve fizyolojik bir değişim içindedirler. Bitki köklerinin aktif olarak iletişim halinde olduğu ve mikroorganizma faaliyeti yönünden oldukça zengin bir habitat olan rizosfer bölgesi sadece mikrobiyal kompozisyonu etkilemez aynı zamanda mikrobiyal gelişim durumu ve mevcut mikrobiyal populasyonun enerji girdisini de etkiler. Petrenko (1973) yaptığı çalışma sonucunda, rizosfer bölgesinde fosfataz aktivitesinin yüksek olduğunu ve bunun kök bölgesinde mikrobiyal yoğunluğun yüksek olmasından ileri geldiğini belirlemiştir. Hedley vd'ne (1983) göre de kök yoğunluğunun artmasına bağlı olarak fosfor ihtiyacının da artması sonucu rizosferdeki fosfataz aktivitesi artmaktadır. Tarafdar vd

(1992) ise rizosfer bölgesinde asit ve alkali fosfataz aktivitesindeki artışın kök ve mikrobiyal kaynaklı olduğunu saptamışlardır.

Toprak fosfatazları fosfatı hidrolize eder ve bitkiler için alınabilir hale getirirler. Tarafdar ve Marschner (1994), bitki köklerinde fosfatazı ölçmek için saksı denemesi kuran ilk araştırmacılardır. Araştırıcılar, bitkinin kılcal köklerinde asit ve alkali fosfatazın artış gösterdiğini saptamışlardır. Benzer bir çalışma Joner ve Johansen (2000) tarafından da yürütülmüştür. Araştırmacılar, çalışmanın yürütüldüğü topraklardaki fosfataz aktivitesinin bitkilerin kılcal kök gelişimine etkisinin %2-4 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Fosfataz aktivitesinin ölçülmesi topraktaki fosfataz potansiyelinin bilinmesine yardımcı olur. Bu durum ise bitkiler için alınabilir durumdaki fosfor gübrelemesi için önemli bir durumu ortaya çıkarmaktadır. Fosfor gübrelemesi açısından önemli olan fosfataz aktivitesinin diğer toprak enzimleri ve toprak özellikleri ile ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Bonmati vd (1991), topraklarda fosfataz enzim aktivitesi üzerine yaptıkları çalışmada toprak örneklerini 1 yıl boyunca oda sıcaklığında muhafaza etmişlerdir. Araştırmalarında toplam azot, organik karbon, proteaz ile fosfataz arasında bir kolerasyon olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmadan farklı olarak Wright ve Reddy (2001), çeşitli ekstraselüler enzimlerin aktivitesine fosfor gübrelemesinin etkisini araştırmışlardır. Alkali fosfataz aktivitesi (APA) fosfor gübrelemesi tarafından etkilenen tek enzim olmuştur. APA, mikrobiyal biyokütle C ve N'la ve ayrıca toprağın fosfor konsantrasyonuyla negatif ilişkilidir. Aril-sülfataz, β-d-glukosidaz, proteaz ve fenol oksidaz fosfor yükleri tarafından etkilenmemiş ve toprağın C, N, P, S gibi biyokimyasal ve fiziksel parametreleri ile arasında bir ilişki tespit edilmemiştir. Yüzey katmanlarda enzim aktivitesi yüksek iken bu aktivite derinliğe bağlı olarak azalış göstermiştir. APA ve mikrobiyal parametreler arasında önemli bir ilişki olduğundan dolayı APA'nın nemli topraklarda P artışına etkisinin değerlendirilmesinde indikatör olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Diğer taraftan, Arcak ve Haktanır (1994), farklı vejetasyon uygulaması altındaki toprak örneklerinde (elma, çam, yonca, buğday ve nadas) üç farklı derinlikte (0-5, 5-15, 15-30 cm) alkali ve asit fosfataz enzim aktivitelerini araştırmışlardır. Araştırıcılar, her iki aktivitenin de yüksek değerlerine yonca yetiştirilen parsellerde, en düşük aktivite değerini ise buğday parselinden 0-5 cm derinlikten alınan örneklerde saptamışlardır. Derinliğe bağlı olarak alkali fosfataz aktivitelerindeki artışa

dikkat çekmişlerdir. Yonca ve nadas parsellerinden alınan örneklerde aktiviteler derinliğe bağlı olarak azalırken elma, çamlık ve buğday parsellerinden alınan örneklerde dağılım tam tersi olmuştur. Araştırıcılar, yonca ve nadas alanlarındaki parsellerde alkali fosfataz aktivitesinin yüksek olmasını bu parsellerdeki ilk 0-5 cm lik toprak tabakasındaki organik madde içeriğinin diğer parsellerden fazla olmasına bağlamışlar ve enzim aktivitelerinin, toprak derinliğine ve bitki desenine bağlı olarak farklılık gösterdiğini açıklamışlardır. Benzer şekilde, Sarapatka ve Dudova (2004), kültürel olarak yetiştirilen bitkilerin köklerinde fosfataz enzim aktivitesini incelemek için yaptıkları çalışmada tohum gelişiminin farklı aşamalarında kışlık buğday, arpa ve çavdar'ın değişik çeşitlerini kullanmışlardır. Tohumlar sterilize edilmiş ve pH'nın 5.6-6.8 arasında değiştiği ve fosfor kaynağı olarak 30-60 mg P_2O_5 içeren besin ortamlarına ekilmişlerdir. On gün sonra bitkileri hasat edip asit fosfataz aktivitesini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak farklı türlerin kök sistemlerinde ki asit fosfataz aktivitesi pH'ya ve besin ortamından alınabilir fosfor düzeylerinin artmasına bağlı olarak azalış göstermiştir. Sonuçlar değişik türlere göre fosfataz aktivitesinin değişebileceğini ve bu aktivitenin türlerin topraktan besin absorbe etme yeteneği ile ilgili olduğunu göstermiştir.

Toprak reaksiyonu birçok toprak bileşenine doğrudan etki etmektedir. Öyle ki bu durum toprak enzimlerini de kapsamaktadır. Juma ve Tabatabai'ye (1977) göre, topraklarda optimal fosfataz enzim aktivitesi nötral pH'da gerçekleşir. Asit fosfataz aktivitesi asit karakterli, alkali fosfataz aktivitesi ise alkali karakterli topraklarda baskındır. Toprak fosfataz aktivitesi toprağın reaksiyonuna göre değişkenlik göstermekle birlikte diğer toprak özelliklerine göre de farklılık gösterebilmektedir. Chunderova ve Zubets (1969), düşük organik madde içeren topraklarda fosfor gübrelemesiyle fosfataz aktivitesinin arttığını fakat fosforlu gübreyle iyileştirilmiş yüksek organik madde içeren bir toprağın fosfataz aktivitesinin değişim göstermediğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Arutyunyan ve Galstyan (1975), fosfataz aktivitesinin toprak derinliğiyle azalış gösterdiğini ve bu azalışın toprak profilindeki mikroorganizmaların dağılımı ve organik madde içeriğiyle benzer olduğunu açıklamışlardır. Bununla birlikte, toprak fosfataz aktivitesini toprak canlılarının da etkiledikleri bilinmektedir. Satchel ve Martin (1984), fosfataz aktivitesinin yer solucanları ve diğer toprak hayvanları tarafından da etkilenebileceğini belirtmişlerdir.

Bu araştırmacılar yer solucanı bulunan toprakla kontrol toprağını enzim aktivitesi yönünden karşılaştırmışlar ve yer solucanlarının toprakta bulunmasının enzim aktivitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Benzer bir çalışma Weiss ve Trespendorfer (1993) tarafından da yapılmıştır. Bu çalışmada da sonuçlar yer solucanlarının olduğu birçok toprak örneğinde kısa dönemde fosfataz, dehidrogenaz, proteaz ve nitrogenaz aktivitesinin arttığını göstermiştir.

Toprağa ilave edilen organik ve yeşil gübreler, bitkisel ve hayvansal artıklar, kompost ve benzeri materyaller toprak mikroorganizmalarını yakından ilgilendirmekte ve onların topraktaki mevcudiyetlerini sürdürmelerine yardımcı olabilmektedir. Nannipieri vd (1983), toprağa ilave edilen organik materyallerin topraklardaki enzim aktivitesini artırdığını dolayısıyla toprak enzim aktivitesinin topraktaki organik madde miktarındaki artışa paralel olarak arttığını ve bu durumun toprak mikrobiyota populasyon dinamikleriyle direkt ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Perucci vd (1984), çeşitli bitkisel ürün atıklarının toprağa verilmesiyle enzim aktivitesinde meydana gelen farklılıkları araştırmışlardır. Tütün ve ayçiçeği atıkları birçok enzim aktivitesinde artışa neden olurken, domates atığı sadece amilaz ve fosfodiesteraz aktivitesinde bir artışa neden olmuştur. Diğer taraftan, yapılan birçok çalışma (Dick vd 1988a, Verstraete ve Voets 1977, Martens vd 1992, Jordan vd 1995) artan düzeylerde toprağa uygulanan yeşil gübrelerin ve ürün artıklarının ıslah edilmemiş topraklardaki enzimlerin büyük bir kısmının aktivitesini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Araştırmacılar, organik atıklarla iyileştirilmiş topraklardaki aktivite artışının organik kaynaklardan çok mikrobiyal aktivitenin teşviki nedeniyle olabileceğini vurgulamışlardır. Benzer şekilde, Guan (1989), fosfataz aktivitesinin organik artıkların uygulanmasından sonra önemli bir artış gösterebildiğini ifade etmiştir. Kirchner vd (1993) ise azotlu gübrelemenin ve yeşil gübrelemenin enzim aktivitesine ve mikrobiyal biyokütleye etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, gübreleme yapılmış topraklarda gübrelenmemiş topraklara göre asit fosfataz aktivitesinin daha yüksek olduğunu buna karşın yeşil gübreleme yapılmış topraklarda azotlu gübreleme yapılmış topraklara göre alkali fosfataz aktivitesinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Organik artıkların bertaraf edilmesi ve yeniden tarımsal üretime döndürülmesinde önemli bir katkı sunan kompostlama işlemi ile elde edilen kompostun mikrobiyal varlığa ve toprak enzim aktivitelerine etkisini konu alan çalışmalarında Mondini vd (2004), enzimatik aktiviteyi kompostlama karekterizasyonu için incelemişler ve bunun için üç adet kompost kullanmışlardır. Bunlar; pamuk hasat artığı, bahçe artığı ve ikisinin karışımıdır. Bunları iki fraksiyona ayırmışlardır. İlk fraksiyonda mikrobiyal biyokütle-C'u (BC) ve enzim aktivitesi (β-glikozidaz, arilsülfataz ve alkali fosfataz) hemen analiz edilmiştir. İkinci fraksiyon hava kuru hale getirilip ekstrakte edilebilir C (CE), hümik asit benzeri C (CH), çözünmemiş C (DOC), toplam N (Ntot), organik C (CORG) analizleri yapılmıştır. BC değerinin 149 gün boyunca BC azaldığı, buna rağmen β-glukosidaz ve alkali fosfataz aktivitesinin 50. günde, arilsülfataz ve asit fosfataz aktivitesinin ise 90. günde sabit kaldığı saptanmıştır. Enzim aktivitesi her zaman hava kuru koşullarda azalış göstermiştir. Bu azalış β-glukosidaz için %40-80, arilsülfataz için %10-50, asit fosfataz için %10-70, alkali fosfataz için %50-90 oranında olmuştur. Hava kurusu koşullardaki enzim aktivitesi ve hümik asit benzeri maddelerin içeriği benzer özellik göstermiştir. Dikkat çeken yükseliş ilk 90 günlük periyot içerisinde gerçekleşmiştir. Bu periyottan sonra bir değişiklik olmamıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda topraklara uygulanan inorganik ve organik gübrelerin diğer toprak özelliklerine benzer şekilde toprak enzimleri üzerine de çeşitli etkilerinin olabileceği bildirilmektedir. Khan (1970), inorganik N, P, K, S gübrelerinin 40 yıl boyunca toprağa her yıl düzenli olarak uygulanmalarının enzim aktivitelerini arttırdığını fakat bu artışın istatistiki açıdan önemli olmadığını belirtmiştir. Serada 305 günlük periyot içinde tekrarlanan inorganik N uygulamalarının toprakta β-glukosidaz ve proteaz aktiviteleri üzerine önemli etkileri olmadığı da araştırma sonucunda belirlenmiştir. Benzer şekilde, Fauci ve Dick'e (1994) göre, organik iyileştiriciler enzim aktivitelerini inorganik gübrelere göre daha fazla teşvik etmektedir. Toprak verimliliğinde ve besin döngüsünde toprak organik madde içeriği ve mikrobiyal aktivitenin çok önemli göstergeler olduğunu bildiren Kanchikerimath ve Singh'e (2001) göre ise mikrobiyal biyokütle-C ve alkali fosfataz aktivitesi, hayvansal atık ilave edilmiş topraklarda kimyasal gübre uygulanmış topraklara göre daha fazla artış gösterir.

Besin maddeleri ve artıkların uygulanmasıyla toprak organik madde içeriği ve mikrobiyal aktivite artar.

Laic vd (2002), organik ve kimyasal gübreleri kombine ederek besin döngülerinde görev alan toprak enzimlerindeki değişimleri gözlemlemişlerdir. Pirinç-mısır rotasyon ürün sistemi ile ilgili denemede organik gübreler tek başlarına ve azot ile kompoze edilerek verilmiştir. Her bir parselden toprak örneklemesi yapılmış ve C, N, P ve S döngülerinde görev alan sekiz toprak enziminin aktivitesi (β-glukosidaz, L-asparginaz, üreaz, amilaz, asit fosfataz, fosfodiesteraz, arilsülfataz ve dehidrogenaz) ölçülmüştür. 1998-2001 yıllarındaki mısır ve pirinç ürün gelişim dönemi boyunca amonyum-N, nitrat-N, toplam inorganik-N, toplam-N, organik C, inorganik P, yarayışlı P ve pH'yı kapsayan diğer toprak özellikleri de ölçülmüştür. Sonuçlar, kompost + 1/3 kimyasal N ve kompost + 2/3 kimyasal N içeren gübreleme yönetimlerinde sekiz toprak enzim aktivitesinin en yüksek değerleri verdiğini ve bu değerlerin kontrol ve diğer gübre uygulamalarından nispeten daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca sekiz ayrı enzim aktivitesinin kendi arasında ve bu enzimler ile organik C, toplam ve yarayışlı N arasında önemli korelasyonlar olduğu bulunmuştur.

Organik menşeli gübrelerden farklı olarak tek başına kimyasal gübre uygulaması ile toprak enzim aktivitelerindeki değişimleri inceleyen Arcak ve Haktanır (1994) yaptıkları bir çalışmada, değişen oranlarda fosforlu gübre uygulanmış topraklarda pirofosfataz enzim aktivitesi üzerine substrat konsantrasyonunun, pH'nın, inkübasyon sıcaklığı ve süresinin etkisini araştırmışlardır. Farklı dozlarda fosforlu gübre (3, 6, 9 kg P_2O_5/da) uygulaması yapılmış toprak örneklerinde substrat konsantrasyonunun 15 mM'dan 70mM'a yükseltilmesi ile pirofosfataz enzim aktivitesinde artış olduğunu, gübreli ve gübresiz toprak örneklerinde 70 mM üzerindeki substrat konsantrasyonlarında reaksiyon hızının azalma gösterdiğini, yüksek substrat konsantrasyonun pirofosfataz enzim aktivitesini engellediğini ve pirofosfataz aktivitesinin substrat pH'sının 4.5'dan 6.0'ya değişmesi ile arttığını, pH'nın daha yüksek düzeylerinde ise azaldığını saptamışlardır. Diğer taraftan, araştırmacılar, dekara 9 kg P_2O_5 ilave edilen parsellerden 0-5 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pirofosfataz enzim aktivitesinin 30°C'lik inkübasyon sıcaklığında maksimum düzeye

ulaştığını belirlemişlerdir. Kimyasal gübre uygulamasından farklı olarak toprağa kireç uygulanması toprak enzim aktivitelerini farklı düzeyde etkileyebilmektedir. Haynes ve Swift'e (1988) göre, kireç ilavesi genellikle proteaz ve sülfataz aktivitesini artırırken, fosfataz aktivitesini azaltmıştır.

Toprak derinliklerine su ve havanın ulaşmasını sağlamanın yanı sıra düzgün bir tohum yatağı oluşturma, organik ve kimyasal gübrelerin toprağa karıştırılması gibi pek çok nedenle tarımsal üretim içerisinde sık sık uygulanan bir ritüel olan toprakların sürülmesi işlemi ile toprak mikroorganizmalarında ve de onların salgıladıkları enzimlerde değişikler meydana gelebilmektedir. Bununla ilgili olarak, uzun süre sürüm yapılmayan topraklarda enzim aktivitesi oranını araştıran Dick ve Tabatabai (1984), geleneksel sürüm yapılan topraklarla kıyaslandığında sürüm yapılmayan toprakların üst 0.075 m toprak profilinde alkali ve asit fosfataz aktivitesinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Grocholl ve Ahrens (1990) ise toprakların mikrobiyal aktivitesi üzerine toprak işlemenin etkisini araştırmışlardır. Alt-üst edilmeden yapılan sürüm uygulamalarına göre pullukla işlenen toprakların fosfataz aktivitesi daha düşük bulunmuştur. Benzer bir çalışmada, Hayness ve Knight (1989), sürüm yapılan topraklar ile sürüm yapılmayan toprakların enzim aktivitesini incelemişler, fosfataz aktivitesinin sürüm yapılmayan topraklarda 0.1-0.2 m derinlikte daha yüksek olduğunu, sürüm yapılmamış üst 0.075 m toprak derinliğinde fosfataz aktivitesi, C ve N mineralizasyonu, organik madde içeriği, mikrobiyal biyokütle-N'unun artış gösterdiğini saptamışlardır. Yine aynı şekilde, Zibilske vd (2004), geleneksel sürüm yapılmış ve yapılmamış alanlardan alınan topraklarda inkübasyon esnasında toprak fosfataz aktivitesi ve suda çözünebilir P oranlarını belirlemişler ve ayrıca toprakların biyolojik özelliklerine geleneksel sürümün etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, işlenmemiş toprakların hem asit hem de alkali fosfataz aktivitelerinin yüksek olduğunu, geleneksel sürüm yapılmış topraklarla karşılaştırıldığı zaman sürüm yapılmamış topraklarda mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, Handayani (1996), 23 yıl boyunca mısır yetiştirilen ve sıfır toprak işleme (no-till) ve geleneksel toprak işlemenin yapıldığı toprakta mikrobiyal populasyonların ve aktivitelerin, yarayışlı C ve N havuzlarının ve N döngüsünün nasıl değiştiğini araştırmıştır. Toprağın 0-7.5 cm derinliğinde toplam C ve N, toplam bakteri, aktinomiset, mantar sayılarının

yanı sıra dehidrogenaz ve fosfataz enzim aktivitelerinin geleneksel toprak işlemeye kıyasla sıfır toprak işlemede daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuca benzer şekilde Saviozzi vd (2001) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel toprak işleme uygulanmış alanla, doğal çayır ve orman sistemi karşılaştırdığında toprak kalitesinde değişimlerin olduğu, alkali fosfataz, proteaz, β-glukosidaz, üreaz, katalaz ve dehidrogenaz gibi enzim aktivitelerinin uzun dönem mısır yetiştirilen alanda doğal çayır ve orman ekosistemine kıyasla önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Gupta ve Germida (1988), toprak enzimlerinin sürüm uygulamalarına nasıl bir tepki verdiğini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında çim alanına yakın olan kültive edilmiş Kanada topraklarını 69 yıl boyunca karşılaştırmışlar ve kültivasyonun fosfataz (%49) ve arilsülfataz (%65) aktivitesini olumsuz etkilediğini bulmuşlardır. Araştırıcılar, koruyucu sürüm uygulamalarının geleneksel sürüm sistemlerine göre daha az toprak sorunları oluşturduğunu belirtmişlerdir. Dick vd (1988b) tarafından Amerika, Batı Oregon'da yapılan çalışmada ise ağaç kesimi yapılmış bir ormanda sıkışmış topraklara uygulanan çeşitli toprak sürüm uygulamalarının etkileri karşılaştırılmıştır. Uygulamaların başlamasından 4 yıl sonra fosfataz aktivitesinin iyileştirilmiş toprağa göre sıkışmış toprakta büyük ölçüde daha düşük olduğunu ve test edilen bütün enzim (fosfataz, amidaz, dehidrogenaz ve arilsülfataz) aktivitelerinin toprağın 10-20 cm derinliğinde %41'den %75'e varan oranlarda olumsuz etkilendiğini rapor etmişlerdir.

Çeşitli ülkelerde bölgesel ve iklimsel perspektifte toprak enzim aktivitelerinin değişimlerinin incelendiği çalışmalar da literatürde mevcuttur. Bu çalışmalarda bölgelerin iklimsel farklılıklarının ya da bölgede çevre sağlığı açısından tehdit oluşturan yapıların toprak enzim aktivitelerine olan etkileri incelenmiştir. Garcia vd (1994), İspanya'nın nemli bölgelerine göre kurak bölgelerinde toprak enzim aktivitelerinin daha düşük olduğunu ve bu bölgelerde toprak organik maddesinin ayrıştırılmasında özellikle dehidrogenaz, proteaz (N-abenzoil-L-argininamid substratı), fosfataz ve β-glukosidaz aktivitelerinin ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Jha vd'ne (1992) göre ise Güneybatı Hindistan'da, çatlama ya da yanma yoluyla bozulmuş topraklardaki dehidrogenaz, fosfataz ve üreaz aktivite düzeyleri doğal orman topraklarına göre sürekli olarak daha düşüktür. Her iki çalışmada da enzim aktiviteleri mikrobiyal biyokütle-C'u yada

mikrobiyal sayım gibi diğer mikrobiyolojik ölçümlerle ilişkili çıkmıştır. Diğer taraftan, Garcia vd (1994), toprağın elektriksel iletkenliği ile dehidrogenaz, fosfataz, üreaz ve β-glukosidaz aktiviteleri arasında negatif bir korelasyon bulmuşlardır ve enzim aktivitesindeki bu azalmanın düşük mikrobiyal biyokütleden ve enzim aktivitesi üzerine spesifik iyonların ve osmotik potansiyelin direkt etkilerinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Kısa dönemli bir inkübasyon (bir hafta) sürecinde Frankenberger ve Tabatabai (1982), toprak verimliliği üzerine negatif etkilere sahip olan çeşitli tuzların oranlarıyla toprak çözelti pH'sının değişiminin enzim aktivitelerini inhibe edici bir faktör olmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucunda araştırmacılar, enzim proteinlerinin tuz içermediğini ileri sürmüşler ve iyonların ozmotik etkisini tam olarak ifade edememelerine rağmen Cl^- içeren tuzların SO_4^- içeren tuzlara göre enzimatik aktiviteleri daha fazla inhibe edebildiğini belirtmişlerdir. Saa vd (1993) ise orman yangınına bağlı toprak bozulmasının enzim aktivitelerini nasıl etkilediğini belirlemek için yaptıkları çalışmalarında kontrollü orman yangınında toprağın 5 cm'lik üst katmanında 50°C'den düşük sıcaklıkta fosfataz aktivitesinin etkilenmediğini fakat toprak sıcaklığının daha da yükselmesi ile 10 cm derinlikte toprak enzim aktivitelerinin önemli derecede düştüğünü belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, termal stresin derecesini değerlendirmede enzim aktivitelerinin duyarlı birer indikatör olduğunu göstermiştir. Çevre sağlığı-toprak enzimi ilişkilerini inceleyen Karaca ve Haktanır (1996), Afşin-Elbistan Termik Santrali yakınlarında yaptıkları çalışmada asit fosfataz aktivitesinin uzaklığa bağlı olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli olacak şekilde artış gösterdiğini saptamışlardır. Santralin 15 ve 30 km uzaklığında bulunan toprakların asit fosfataz aktiviteleri normal topraklara yakın iken santrale yaklaştıkça 2 km uzaklığa kadar olan topraklarda aktivitenin normalin altında, 0.5 km'de ise oldukça düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Atıksu arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamurları organik ve inorganik bileşikler içerdikleri için gübre olarak yeniden kullanım açısından önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedirler. Arıtma çamurunun toprak yüzeyine uygulanmasıyla toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileşmekte ve toprağın gübre ihtiyacı kısmen karşılanmaktadır. Arıtma çamuru uygulaması toprağın biyolojik özelliklerini de etkilemekle ve ayrıca biyolojik aktivitedeki değişimler toprak kirliliğinin indikatörü

olarak da kullanılmaktadır. Toprak mikroorganizmalarının aktivitelerinin ölçümü zor olduğundan bunun belirlenmesi için topraktaki enzim aktiviteleri ölçülmektedir. Toprak mikrobiyal populasyonu ile enzim aktivitesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Böylece topraktaki mikrobiyal aktiviteler dolaylı olarak daha kolay bir şekilde ölçülmektedir. Marinari vd (2000) yaptıkları çalışmada, kum ve kil karışımlı toprağa evsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamurunu uygulamışlardır. Üç aylık inkübasyon döneminin sonunda toprakta asit fosfataz, dehidrogenaz ve proteaz gibi enzimlerin aktivitelerinin arttığı görülmüştür. Dikkate değer miktardaki azotun toprağa girmesiyle toprağın kendi organik maddesi etkilenmektedir. Açığa çıkan çözünebilir C ve N toprağın mikrobiyal biokütlesi için besin maddesi kaynağı olmaktadır. Böylece toprağın enzim aktiviteleri artmaktadır. Benzer şekilde, Albiach vd (2000) yaptıkları çalışmada, toprağa arıtma çamuru uygulayarak 5 yıllık deneme süresince toprağın dehidrogenaz, alkali fosfomonoesteraz, fosfodiesteraz, arilsülfataz ve üreaz enzim aktivitelerindeki değişimi incelemişlerdir. Dört ve 5 yıllık inkübasyon sonunda arıtma çamuru ilavesi ile toprağın enzim aktivitesi önemli düzeyde artmıştır. Pascual vd (1998) yaptıkları çalışmada, kurak bir toprağa farklı dozlarda arıtma çamuru uygulayarak 360 günlük inkübasyon süresi boyunca toprağın dehidrogenaz, katalaz, üreaz, kasein-hidroliz proteaz, alkali fosfataz ve β-glukosidaz aktivitesinin değişimini incelemişlerdir. İnkübasyon sonunda toprağın enzim aktivitesinin arttığı gözlenmiştir. Farklı olarak, Lee vd (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 selülaz, dehidrogenaz, üreaz ve alkali fosfomonoesteraz enzimleri arıtma çamuru tipine ve miktarına bağlı olarak ciddi boyutlarda inhibe olmuşlardır. Bununla bağlantılı şekilde arıtma çamuru içeriğindeki metallerin enzim aktiviteleri üzerindeki olumsuz etkilerini tespit eden bir çalışma yapılmıştır. Dar (1996) tarafından arıtma çamuru ve kadmiyumun topraktaki mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini belirlemek üzere 2 aylık bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Sadece arıtma çamuru uygulandığında topraktaki dehidrogenaz, ve alkali fosfataz aktiviteleri sırasıyla, %18–25 ve %9–23 oranında

artmıştır. Ortama 10 µg/g seviyesinde kadmiyum eklenmesi bu parametrelerde bir değişime yol açmazken, 50 µg/g konsantrasyonundaki kadmiyum enzim aktivitelerini önemli ölçüde inhibe ettiği tespit edilmiştir.

2.2. Sürdürülebilir Tarımsal Üretime Yardımcı Olabilecek Bir Gübre – Vermikompost

Tarımsal kimyasallar kullanılmadan kaliteli ve sağlıklı ürünler yetiştirmeyi hedefleyen sürdürülebilir tarım sisteminin geleceğini toprakların verimlilik durumları belirleyecektir. Toprakların verimliliklerini ise toprak organik maddesinin huminleşmesi ve ayrışmasından sorumlu olan başta mikroorganizmalar olmak üzere diğer toprak canlıları ve bitki kökleri belirlemektedir. Huminleşme, organik maddenin niteliksel ve niceliksel değişimi ve humin madde oluşumu olayıdır ve solucanların da bu olayda mikroorganizmalarla birlikte görev aldıkları bilinmektedir (Kadalli vd 2000, Manivannan vd 2004, Ranganathan ve Parthasarathi 2005, Parthasarathi 2007).



Resim 1. İnek gübresi vermikompostu

Huminleşme olayında görev alan solucanın bağırsağından organik atıkların geçmesi sırasındaki termofillik safhası olmayan mikrobiyal kompostlama işlemine vermikompostlama, elde edilen son ürüne ise vermikompost adı verilmektedir (Resim 1).

Vermikompostun tek başına veya diğer gübrelerle (organik, inorganik) beraber uygulanması durumunda bitki verimi ile birlikte toprak özelliklerinin (fiziksel, kimyasal, biyolojik) iyileştiği ve dolayısıyla da toprak verimliliğinin arttığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur.

2.2.1. Vermikompost nasıl elde edilir?

Vermikompostlama işleminde organik atıklar ortamdaki mikroorganizmalarca fermentasyona uğratılır ve daha sonrasında bunlar solucanların sindirim sisteminden geçerken hızlandırılmış bir huminleşme ve toksik maddelerin uzaklaştırılması işlemine tabi tutulur. Bioreaktör olarak da isimlendirilen solucan bağırsağı, organik atıklara normal kompostlama prosesine göre farklı özellikler kazandırır ve sürdürülebilir tarıma daha yatkın hale getirir. Parkin ve Berry (1994), vermikompostun toprağa göre mineral N bakımından daha zengin olduğunu ve ayrıca normal komposta göre daha düşük bir C/N oranına ve pH değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Gark vd de (2009), tekstil atıkları, inek ve at gübresi karışımlarından elde edilen vermikompostun pH, EC ve C/N oranının düşük, fosfor içeriğinin ise yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Vermikompostlama işlemi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en çok tercih edilenler basit açık alan yığın sıraları (windrow) ve kompleks kapalı sistem (continuous) reaktörleridir (Price 1987). Toprak üzerinde açık sıra-yığınlar şeklinde yapılan sıra metodunda süreç çok dikkatli takip edilmelidir. Yaklaşık olarak 50 cm'lik derinliğe sahip olan yataklarda organik artıkların düzenli aralıklarla solucanlara yedirildiği sistemler fazla işçilik gerektirmez ve uygulaması kolaydır. Soğuk iklimlerde bu sistemin bir örtüyle dış ortamdan izole edilmesi gerekir. Kasa, sandık/kutu şeklindeki basit kaplardaki (batch) üretim kullanışlıdır ve bu sisteme istenildiğinde besin ilavesi ve atıkların dışarı atımı için otomatik sistemler de monte edilebilir. Hem solucan hem de kompost (kest) üretimini maksimize etme amaçlı yeni tasarımlar geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Vermikompostlama alanındaki teknik gelişim ileri teknoloji ile insan gücü gereksinimini azaltarak minimum zamanda maksimum solucan biyokütle üretimini ve maksimum miktarda organik artığı işlemeyi hedeflemektedir (Edwards 1998).

Vermikompostlama alanındaki yöntemler genel olarak dört kategoriye ayrılabilir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. Kurması kolay ve teknolojisi basit olanlar, teknolojisi ve fiyatı yüksek olan sistemlerden daha fazla iş gücü gerektirir ve bu gruptaki yöntemlerin vermikompost üretiminde verim düzeyleri ikinci gruptakilere göre daha düşüktür. Çünkü ikinci gruptaki teknolojiler organik materyali çok hızlı işler. Bu sebeple, bir vermikompostlama işletmesinde hangi seviyede teknolojinin kullanılacağı alan büyüklüğüne, iş gücü kaynaklarına ve işlenecek atık tipine göre belirlenir (Edwards, 1998).

Vermikompost üretiminde kullanılan yöntemler şöyle sınıflandırılabilir:

1) Düşük maliyetli zemin yataklar veya sıralar (Low-Cost Floor Beds or Windrows): Açık alan sıra yığınları (windrow) veya basit duvarlarla çevrili yataklar (floor beds) vermikompostlama alanında kullanılan en basit yöntemlerdir (Resim 2). Bu yatakların büyüklükleri konusunda kısıtlama yoktur, fakat enine uzunluğun 2.4 m'yi geçmemesi yığının tamamının işlenmesini kolaylaştırır. Yığının uzunluğu çok daha az öneme sahiptir ve kullanım alanına bağlı olarak belirlenebilir. Vermikompost karışımı doğrudan toprak üzerinde olabilir. Bu metodun uygulamasında yeterli su ilavesi ve fazla suyun serbest şekilde yığını terk etmesi sağlanmalıdır. Bu zemin yataklar/sıralar organik maddeyi diğer yöntemlere göre daha yavaş (6-12 ay) işler. Bu süre zarfında buharlaşma ve sızıntı sebebiyle bitki besin kayıpları olabilir (Edwards, 1998).



Resim 2. Vermikompost üretiminde kullanılan zemin yataklar

2) Hareketli besleme-kapaklı yataklar (Gantry-Fed Beds): Vermikompostlama alanında işlem etkinliğini arttırmak için yatak derinliğinin en fazla 1 metre olması ve organik materyal katmanlarının 1-2 cm olarak sıkça ilave edilmesi önemlidir. Bu amaç yatak kenarları üzerinde yükselen hareketli bir kapak kullanımı ile gerçekleştirilebilir. Az ama sık besin ilavesi atık işleme etkinliğini en yüksek seviyeye çıkarır. Vermikompostlama sürecinde sıcaklığın en alt seviyede kalmasını ve solucanların devamlı olarak en taze besinle yüzeye yakın beslenmelerini temin eder (Edwards, 1998).

3) Konteynır veya kutular (Containers or Box Systems): Büyük veya küçük kutu/ kaplar içinde gerçekleştirilen yığın (batch) vermikompostlama metodunda çok fazla iş gücü gerektiğinden dolayı kullanılan alet ekipmanın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem daha çok küçük çaplı ev ve yemekhane gibi mekanlar için uygundur (Edwards 1988).

4) Yükseltilmiş hareketli-besleme kapaklı yataklar (Raised Gantry-Fed Beds): Solucan faaliyeti genelde üst 10-15 cm'lik organik çöp tabakasında gerçekleştiği için zamanla ilave edilen besin tabakaları içeriyi doldurur ki bunların boşaltılması gerekir. Çöplerin işlenme etkinlik ve hızını arttırmak için yatak malzemesine ayak ekleyerek yükseltmek ve böylece ürünü alttan almak mümkün olur. Yatak, delikli bir alt kısma sahipse elde edilen vermikompost alttaki hareketli (çekmece) bölüme dökülerek toplanabilir. Çöpler, yaylı bir üst kapaktan günlük olarak ince tabakalar halinde ilave edilerek işlenen besin alttan toplanırsa yatak içindeki solucanlar rahatsız edilmeden sistem sürekli kullanılabilir. Ayrıca, bu sisteme besin ilave edecek ve elde edilen vermikompostu toplayacak mekanik parçalar takılması da mümkündür (Price ve Phillips 1990, Edwards 1995).

2.2.2. Vermikompost üretiminde kullanılan solucan türü

Vermikompost üretmek için kurulan işletmelerde en fazla tercih edilen tür *Eisenia* spp'dir (Dickerson 2004). *Eisenia* spp'nin en fazla tercih edilen tür olmasında rol oynayan çok sayıda neden bulunmakla birlikte bunların arasında bu türün diğer türlere

oranla daha hızlı besin tüketmesi ve yeterli besin içeriğine sahip çevrelerde yaşama ve çoğalma kapasitesinin yüksek olması gösterilebilir (Edwards ve Bohlen 1996). Bu bağlamda *Eisenia* spp, özellikle ılıman iklim kuşağındaki alanlar başta olmak üzere tüm dünyada mevcut vermikompost işletmelerinde en fazla tercih edilen ve en fazla kültürü yapılan solucan türüdür (Resim 3).



Resim 3. Vermikompost üretiminde kullanılan *Eisenia* türü solucanlar

2.2.3. Vermikompost üretiminde kullanılan organik atıklar

Çok sayıda çeşitli organik atık vermikompost üretiminde kullanılabilir. Bu atıklara örnek olarak şehir kanalizasyon atıkları (Neuhauser vd 1988), bira, mantar ve kağıt endüstrisi gibi çeşitli endüstriyel işletme atıkları (Butt 1993), süpermarket ve restoran atıkları (Edwards 1995), işlenmiş patates atıkları, kanatlı hayvan ile büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde ortaya çıkan hayvansal atıklar (Edwards, 1988) ve bitkisel üretim sonucu oluşan organik atıklar sayılabilir. Vermikompostlama ile birçok şekilde açığa çıkan bu organik atıkların bertaraf edilmeleri ve gübre değeri kazanmaları sağlanabilmektedir.

2.2.4. Vermikompostlama sürecinde organik atıkta meydana gelen değişimler

Vermikompostlama işleminde görev alan solucanlar ve mikroorganizmalarlar arasında çeşitli ilişkiler söz konusudur. Bunlar:

1) Mikroorganizmalar solucanların besininin bir parçasına dönüşürler,

2) Mikroorganizmalar solucan bağırsağında ve onlara yiyecek olarak verilen organik atıkta çoğalırlar,

3) Solucanlar salgıladıkları mukus ile mikroorganizmaların bağırsak ve besinlerin içerisinde yayılmasına yardımcı olurlar,

4) Solucan bağırsağında ve besinlerde çoğalan mikroorganizmalar burada bulunan organik maddeyi mineralize etmeye başlar,

5) Solucan bağırsağında salgılanan mukus mikroorganizmalarca mineralize edilen besin elementlerinin şelatlanmasını sağlar.

Enzim aktiviteleri ve mikrobiyal varlık yönünden zengin bir organik gübre olan vermikompostun bitki besin elementleri bakımından da zengin bir içeriğine sahip olduğu bilinmektedir. Kale'ye (1996) göre, %9.15-17.98 organik karbon, %0.5-1.5 azot, %0.1-0.3 fosfor, %0.15-0.56 potasyum, %22.67-47.60 kalsiyum ve magnezyumun yanı sıra 128.7-548 ppm bakır içeren vermikompost gözenekliliğinin ve su tutma kapasitesinin yüksek olması sebebiyle de toprak düzenleyicisi olarak değerlendirilebilir.

Organik maddenin biyolojik olarak ayrıştırılması, enzimlerin anahtar rol oynadığı birçok biyokimyasal proses yoluyla gerçekleşir (Garcia vd 1992, Vuorinen 1999). Organik madde ayrıştırılmasında görev aldığı belirlenen solucanlar, aerobik ve anaerobik mikrofloranın ayrıştırıcı yardımları ile organik artıkları bitkiler için çok daha kullanışlı formlara dönüştürürler (Maboeta ve Rensburg 2003). Solucanın bağırsağından geçen organik atık solucan mukusu ve bağırsak mikroflorasının kombine etkisi ile fizikokimyasal ve biyokimyasal değişikliklere uğrar. Bu nedenle vermikompostun selülaz, amilaz, invertaz, proteaz, peroksidaz, üreaz, fosfataz ve dehidrogenaz enzim aktivitelerinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Edwards ve Bohlen 1996, Sharpley ve Syers 1976).

Enzim aktivitelerinin ölçülmesi ile elde edilen sayısal değerler ve mikrobiyal populasyon–çeşitlilik arasındaki kolerasyon solucanlarca kompostlanan atığın olgunlaşma durumu hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır (Tiquia 2005). Vermikompostlama sırasında enzim aktivitelerinin ve mikrobiyal varlığın durumunu

inceleyen bilimsel çalışmalar literatürde yaygın olarak bulunmaktadır. Vermikompostun mikrobiyal aktivite seviyesi topraktan 10 ila 20 kat daha yüksektir. Yüksek mikrobiyal çeşitlilik bitki gelişimini teşvik eden kimyasalların ve zararlı bitki patojenlerinin gelişimini baskılayan enzim ve diğer bazı bileşiklerin üretilmesini sağlamaktadır (Longsdon 1994). Bu durumla ilgili olarak; soğanlı süs bitkilerinin yetiştiriciliğinde kullanılan farklı içerikteki vermikompostların özellikle krizantem, salvoya, petunya bitkilerinin erken çiçeklenmesini teşvik ettiği ve bu etkinin vermikompostların bitkisel hormonları arttırması sonucu olabileceği ifade edilmiştir (Edwards 1988).

Solucan sindirim sistemindeki mukusun mikrobiyal populasyonlar için optimum bir ortam oluşturarak mikrobiyal sayı ve çeşitliliği arttırdığı düşünülmektedir. Sekiz hafta boyunca yapılan bir çalışmada domuz gübresi vermikompostu olgunlaşırken mikrobiyal biyokütle ve aktivitenin ilk 4 hafta boyunca yükseldiği, daha sonraki 4 hafta boyunca da azalma eğiliminde olduğu bildirilmiştir (Aira vd 2006). Buna karşın, Atiyeh vd (2000) ve Dominguez vd (2003) tarafından yapılan çalışmalarda, inek gübresinin vermikompostlanması sırasında mikrobiyal biyokütlenin değişmediği ancak mikrobiyal aktivitenin zamanla azaldığı bildirilmiştir. Aerobik şartlarda gerçekleşen vermikompostlama işlemi ile bazı fenolik madde içeren organik atıklardan elde edilen vermikompostlardaki fitotoksik maddelerin azaldığı düşünülmektedir. Bununla ilgili olarak yapılan bir çalışmada fenolik maddeler içeren zeytin kabuğu atıklarından elde edilen vermikompostun olgunlaşması sonrası fenolik madde içeriğinin azaldığı, buna karşın dehidrogenaz ve β-glukosidaz enzim aktivitelerinin arttığı bildirilmiştir (Nogales vd 2005).

2.2.5. Vermikompostun özellikleri

Solucanlar vasıtasıyla özel yataklarda üretilen vermikompost granülümsü, homojen bir yapıdadır ve kokusuzdur (Şekil 3). Mikrobiyolojik açıdan solucanın beslendiği materyalden daha aktiftir. Vermikompostta bulunan solucan mukusunun besin elementlerini çevreleyerek bunların yavaş bir şekilde ve bitkiler tarafından hemen kullanılabilecek formda salınmalarını sağladığı bildirilmiştir (Doube ve Brown 1998).

Bunun bir sonucu olarak besin elementlerinin topraktan yıkanma ile kaybedilmesi ve tuzluluk oluşturma riski düşüktür (Anonymous 1992).

2.2.5.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri

Gözenekli yapısının sağladığı yüksek havalanmanın yanı sıra yüksek su tutma kapasitesi, vermikompostun, toprak strüktürünü iyileştirmede kullanılabileceğini göstermektedir. Sahip olduğu fiziksel özellikler sayesinde vermikompost, bitki köklerini aşırı sıcaklıklardan korur, erozyonu ve yabancı ot gelişimini azaltır. İnek gübresi vermikompostunun fiziksel özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. İnek gübresi vermikompostunun fiziksel özellikleri (Manivanannan vd 2004)

Özellik	**Değer**	**Özellik**	**Değer**
Toplam Porozite (%)	75	Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	0.20
Yarayışlı Su (%)	30	Hava İle Dolu Boşluk (%)	15

Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi inek gübresi vermikompostu iyi bir havalanma ve yarayışlı su değerine sahip olan oldukça hafif bir materyaldir. Fiziksel özelliklerinin iyi olmasının yanında, vermikompostun mikrobiyal açıdan da oldukça aktif olması ve humin maddeler içermesi nedeniyle bu gübre, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek üzere toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilir.

Vermikompostlama işlemi sırasında gerçekleşen oksijenli parçalanmanın ardından solucanın bünyesine aldığı besinler sindirim sisteminde daha ileri seviyede parçalanır. Bu nedenle vermikompost bitkiye doğrudan doğruya yarayışlı formlardaki (ileri parçalanma gerekmeden bitkinin alabildiği formda) besin elementlerini yüksek oranda bulundurur (Buchanan vd 1988). Nitekim, vermikompost ortalama bir toprakla karşılaştırıldığında 5 kat daha fazla mineral azot, 7 kat daha fazla alınabilir fosfor ve 3 kat daha fazla kalsiyum içerir (Barley 1961). Çizelge 2.4'de, tipik bir inek gübresi vermikompostunun kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. İnek gübresi vermikompostunun kimyasal özellikleri (Barley 1961)

Özellik	Değer	Özellik	Değer
pH	6.80	Ca (%)	1.89
EC (µS/cm)	3450	Mn (ppm)	500
Organik karbon (%)	27.2	Zn (ppm)	100
Toplam N (%)	1.90	Cu (ppm)	44
P_2O_5 (%)	2.05	Fe (ppm)	1575
K_2O (%)	0.80	C/N	14.3

Çizelge 2.4'de görüldüğü üzere vermikompostun yaklaşık nötr pH'ya sahip, azot, fosfor ve kalsiyumca zengin bir organik gübre olduğu söylenebilir. Vermikompostun bazı bitkilerin yetiştiriciliğinde (örneğin: yaprağı yenen sebzeler) başka gübrelere ihtiyaç duyulmadan tek başına kullanılabileceği bildirilmektedir (Kale ve Bano 1986).

2.2.5.2. Biyolojik özellikleri

Solucanların organik atıkları tam olarak sindirmemesi sonucu zengin besin içeriğine sahip olan vermikompostlardaki enzim aktivitesinin ve mikrobiyal populasyonun yüksek olduğu bilinmektedir. Solucanlar beslenmeleri sırasında substratı parçalar ve böylelikle daha sonraki mikrobiyal kolonizasyon için yüzey alanını arttırmış olurlar. Atıklar solucan bağırsağından geçerken bağırsak mikroorganizmaları da vermikomposta karışır. Elde edilen vermikompost toprağa uygulandığında toprağa yeni yararlı mikroorganizmalar katılmış olur. Bu özelliğinden dolayı, toprağın biyolojik özellikleri üzerine vermikompostun çiftlik gübresine göre daha etkili olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumla ilgili olarak, vermikompost uygulanmış bir topraktaki dehidrogenaz aktivitesinin kompost uygulamasına göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Pramanik vd 2006).

Topraktaki selülozun ayrıştırılmasında görev alan enzimlerden olan amilaz ve invertaz aktivitelerine organik madde miktarı büyük oranda etki etmektedir. Bu olayda görev alan enzimleri salgılayan mikroorganizmalardan olan *Aspergillus spp*., *Fusarium spp*., *Mucor spp*., *Rhizopus spp*. ve *Bacillus* Subtilis'in selülozca zengin hasat artıkları

vermikompostunda bol miktarda bulunduğu bildirilmiştir (Parthasarathi ve Ranganathan 2000). Benzer şekilde, ayrışmaya dayanıklı organik atıkların solucanlarla vermikompostlanması ile ilgili bir çalışma sonucunda *solucan bağırsağında bulunan Aspergillus Niger*, *Aspergillus flavas* ve *Bacillus Subtillus'*un vermikompostun proteaz aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir (Parthasarathi 2007).

Vermikompostun mikrobiyal aktivite seviyesinin termofilik komposta göre çok yüksek olması durumu (Hoitink ve Boehm 1999) vermikompostun toprak kökenli bitki çürüklük etmenleri üzerindeki hastalık baskılama potansiyelini arttıran ana etmen olarak düşünülmektedir (Edwards ve Arancon 2004). *Fusarium* spp. ile yapılan bir çalışmada (Szczech 1999) hastalık oluşumu veya şiddetini baskılama etkisinin diğer patojenlerde olduğu gibi mikrobiyal kökenli olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada büyükbaş hayvan gübresinden üretilen vermikompostun, *Phytophthora nicotiana* üzerindeki baskılama etkisinin fungitoksik değil fungistatik olduğu öngörülmüştür. *Rhizoctonia* spp. hastalıkları üzerinde yapılan çalışmalarda, aynı seviyede hastalık baskılama etkisinin oluşması için *Phythium* spp. ve *Phytophthora* spp.'ye göre daha yüksek (%40 hacim) miktarda vermikompost kullanımı gerektiği rapor edilmiştir (Szczech ve Smolinska 2001).

2.2.6. Vermikompostun toprak ortamına etkisi

2.2.6.1. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Vermikompost uygulamasının toprağın bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkilediği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu organik materyalin toprakta meydana getirdiği etkiler öncelikle uygulandığı toprağın özelliklerine ve iklim gibi faktörlere bağlı olmakla birlikte vermikompostun cins ve miktarı, kimyasal ve fiziksel kompozisyonu ile de yakından ilgilidir. Diğer organik gübrelere benzer şekilde vermikompost, uygulandığı toprağın strüktürünü iyileştirerek toprağa iyi fiziksel özellikler kazandırır. Örneğin, vermikompost toprağın infiltrasyon gücünü ve su tutma kapasitesini arttırarak toprak içerisine hem daha fazla suyun girmesini ve hem de suyun toprakta muhafaza edilmesini kolaylaştırır. Manivannan vd (2009), iki farklı toprak

tipinde sırık fasulye yetiştirmişlerdir. Sonuçta kil bünyeli toprağa 500 kg/da vermikompost uygulamasının kum bünyeli toprağa göre toprağın gözenekliliğini, yarayışlı su miktarını ve katyon değişim kapasitesini daha fazla arttırdığını ve buna bağlı olarak fasulye veriminin de söz konusu toprakta arttığını bildirmişlerdir.

Vermikompost toprağa gerekli humusu sağlamakla toprağın fiziksel özellikleri yanında kimyasal özelliklerini de iyileştirmektedir. Yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olan humus kolloidleri bitki besin maddelerini tutarlar. Bu durum özellikle hafif bünyeli topraklar için ayrı bir öneme sahiptir. Vermikompost ayrıca topraktaki besin maddelerinin çözünebilirlik derecelerini de arttırmaktadır. Öyle ki, Azarmi vd (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, tarla domatesi yetiştirilen toprağa 1500 kg/da domuz gübresi vermikompostu uygulanmış ve toprağın organik karbon, toplam azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, çinko ve mangan içeriğinin arttığı, toprağın pH'sının ve hacim ağırlığının ise düştüğü belirlenmiştir.

2.2.6.2. Toprağın mikrobiyal varlığı ve enzim aktiviteleri üzerine etkisi

Vermikompost uygulamasının toprağın biyolojik özelliklerinden mikrobiyal varlık ve enzim aktivitelerine olan etkisi ile ilgili sınırlı sayıda da olsa çalışmalar mevcuttur. Saha vd (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, toprağa vermikompost uygulanmış ve bu uygulama ile alkali fosfataz aktivitesindeki artışa bağlı olarak yarayışlı fosfor miktarının arttığı ve dolayısıyla toprakta P çevriminin hızlandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Truu vd (2008) tarafından yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlara göre, dehidrogenaz aktivitesi, potansiyel nitrifikasyon, N mineralizasyonu ve mikrobiyal biyokütle gibi toprak verimliliğini belirleyen faktörlerin toprak yönetimiyle doğrudan ilişkili olduğu ve toprağa uygulanan vermikompost ile bu faktörlerin olumlu yönde etkilendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, Romero vd (2010) tarafından yapılan çalışmanın sonucuna göre, vermikompost uygulanmış toprağın dehidrogenaz aktivitesinde artış olmasına rağmen toprak üreaz aktivitesinde bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Sebastian vd (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, kalitesiz su ile sulanan topraklara hasat artıkları vermikompostu (15t/ha) uygulanmış ve bu uygulama ile topraktaki mikrobiyal populasyon ve enzim aktivitelerinin önemli oranda

arttığı ve sudan kaynaklanan tuz stresinin baskılanabildiği belirtilmiştir. Kannan vd (2005), saksı denemesi şeklinde yürütülen bir çalışmada saksılara kuru ağırlık hesabına göre %75 oranında vermikompost uygulamışlar ve bu uygulama ile toprak mikroorganizma sayısının ve toprak verimliliğinin arttığını, dolayısıyla bu gübrenin organik tarım için kullanımının yerinde olacağını belirtmişlerdir. Kızılkaya (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, toprak ortamında bulunan *Lumbricus terrestris*'e buğday samanı, çay ve tütün fabrikası artığı, sığır gübresi ve fındık zurufu yedirilmiş ve toprağa da artan dozlarda Zn uygulanmış, solucanın ürettiği vermikomposttaki dehidrogenaz aktivitesinin Zn uygulamasına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Ferreras vd (2006) tarafından farklı organik gübrelerin toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, toprağa 20 t/ha vermikompost uygulanmış ve bu uygulama sonucunda toprak agregatlaşmasının, toprak organik karbonunun ve mikrobiyal solunumun aynı oranda tavşan, tavuk ve at gübresi uygulamasına göre daha fazla arttığı tespit edilmiştir.

2.2.7. Vermikompostun bitki gelişimi ve verime etkisi

Vermikompostun toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu yönde etkilemesinden dolayı bu gübrenin kullanımı ile yetiştirilen birçok bitkide verim ve kalite artışları elde edilmektedir. Arancon vd (2003) yaptıkları tarla denemesi sonucunda, vermikompostun domates ve biberde sürgün uzunluğu ve yaprak alanını, çilekte ise meyve pazar değerini önemli oranda arttırdığını saptamışlardır. Buna karşın, Singh vd (2008), vermikompost uygulamasının kimyasal gübre uygulamasına kıyasla çileğin pazar değerini düşürdüğünü ancak *Fusarium spp.* gibi bitki patojenlerini baskıladığını ve ayrıca çilek yetiştiriciliği için en uygun vermikompost dozunun 750 kg/da olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Jat ve Ahlawat (2006), toprağa 300 kg/da vermikompost uygulamasının şeker mısırın protein içeriğini, kuru ağırlığını ve ayrıca toprağın alınabilir azot ve fosfor miktarını önemli ölçüde arttırdığını saptamışlardır. Alam vd (2007) tarafından yapılan çalışmada ise vermikompost ve kimyasal gübreler beraber kullanılmış ve bu uygulama ile patates veriminin önemli ölçüde arttığı, en yüksek verim artışının 500-1000 kg/da vermikompost ve tavsiye edilen dozda kimyasal gübre uygulaması ile elde edildiği görülmüştür. Benzer şekilde, Ali vd (2007) tarafından

yapılan çalışmada, kompost ve vermikompost marul yetiştirme ortamı olarak kullanılmış ve en iyi marul gelişiminin 20/80 (kompost/vermikompost) karışımında gerçekleştiği gözlenmiştir. Rangarajan vd (2008) da vermikompostun termofilik komposta göre lahana verimini daha fazla arttırdığını belirtmişlerdir. Gutierrez-Miceli vd (2007) tarafından yapılan çalışma sonucunda ise koyun gübresinden elde edilen vermikompostun domates bitkisinin ağırlığını önemli oranda arttırdığı, toprağın pH'sını düşürdüğü ve besinlerin çözünürlüğünü arttırdığı saptanmıştır.

2.3. Sürdürülebilir Tarımsal Üretimin Destekçisi – Çiftlik Gübresi

Hayvanların yedikleri yemlerde bulunan organik madde ve mineral maddelerin bir kısmı hayvanların büyümeleri, yaşamaları ve vücut sıcaklıklarını devam ettirebilmeleri için sindirim yoluyla vücuda alınır. Önemli bir kısmı ise sindirilemeyerek dışkı halinde dışarıya atılır. Yemler hayvanların sindirim sistemlerinde kimyasal değişmelere uğramaktadırlar. Bu değişmeler kısmen sindirim sistemlerindeki enzimler kısmen de sindirim sistemlerinde yaşayan bakteriler tarafından yapılmaktadır. Öyle ki, katı dışkının %2-3 kadarını yaşayan veya ölü bakteri hücreleri oluşturmaktadır (Ergene 1987). Yemlerde bulunan maddeler farklı şekilde ayrışmaya uğrarlar. Şekerler ve nişastalar kolaylıkla ayrışırlarken, selüloz ve hemiselülozlar zor ayrışırlar. Ligninler ise ayrışmaya oldukça dayanıklıdırlar. Proteinler de ayrışmaları bakımından önemli farklılıklar gösterirler. Kesif yemlerdeki proteinler kaba yemlerdeki proteinlere göre daha kolay ayrışırlar. Yemlerdeki organik maddelerin yarısı sindirim sırasında parçalanırlar. Yemlerdeki potasyumun büyük bir kısmı sindirim sırasında absorbe edilerek idrar ile dışarı atılır. Fosfor ise sindirim sisteminde çok fazla absorbe edilmez ve gübrenin katı kısmı ile dışarı atılır.

Organik ve mineral madde bakımından zengin olan çiftlik gübresi, büyük ve küçükbaş hayvanların katı ve sıvı dışkıları ile yataklık olarak kullanılan bitkisel materyallerden oluşur. Tamamına yakını organik yapıda olduğu için mikroorganizmalar için uygun bir gelişme ortamı oluştururlar. Genellikle tarımsal işletmelerin faaliyetleri sonucu açığa çıkan bu gübreler toprakların verimliliği için değerlendirilmesi gereken önemli kaynaklardır.

2.3.1. Çiftlik gübresinin özellikleri

Çiftlik gübresi katı ve sıvı olmak üzere iki kısma ayrılır. Katı kısım hayvan tarafından atılan azotun yarısından fazlasını, potasyumun üçte birini, fosforun da neredeyse tümünü içermektedir. Katı dışkıda bulunan azot iki şekilde bulunur: Birisi sindirim sırasında ayrışmaya dayanıklı proteinler, diğeri de bakteri hücrelerinde sentez edilmiş olan azottur. Gübredeki azotun yarısından fazlası bakteri hücresinde sentezlenmiş azot olabilir. Bu durum gübre toprağa verildiğinde azotun hızlı bir şekilde elverişli hale gelmesini sağlar. Genelde hayvanlar yemlerdeki azot, potasyum ve fosforun çok az bir kısmını absorbe ederler. Bu nedenle hayvan gübreleri makro ve mikro besin elementleri yönünden önemli bir kaynaktır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Değişik hayvan gübrelerinin bazı besin elementi içerikleri

Gübre	Besin elementi, % kuru madde		
	N	**P**	**K**
Sığır gübresi (Follett vd 1981)	2.0	1.0	2.0
At gübresi (Follett vd 1981)	1.7	0.3	1.5
Koyun gübresi (Follett vd 1981)	4.0	0.6	2.9
Domuz gübresi (Follett vd 1981)	2.0	0.6	1.5
Tavuk gübresi (Kovancı vd 1989)	3.9	2.1	1.8

Çiftlik gübresi bir yandan toprağın yapısını olumlu yönde etkilerken diğer yandan bitkiler için gerekli besin elementlerini sağlayarak ürün miktarı üzerine olumlu etki yapar. Çiftlik gübresi içerdiği mikro elementler nedeniyle tarımsal üretim için ayrı bir öneme sahiptir. Çizelge 2.6.'da da görüldüğü gibi çiftlik gübresinde dikkate değer düzeyde Mn, Zn, B ve Cu bulunmaktadır.

Çizelge 2.6. Çiftlik gübresinin mikro element içeriği (Simpson 1991)

Mikro elementler	Miktar, g/t
Mangan (Mn)	50-100
Çinko (Zn)	20-40
Bor (B)	10-15
Bakır (Cu)	10-12
Molibden (Mo)	0.4-0.7
Kobalt (Co)	0.8-1.2

Gübrelerin içerikleri üzerine çeşitli etmenler etki yapmaktadır. Hayvanların yetiştirilme şekli, yaş durumu, altlık materyalinin cinsi ve gübrenin saklanma şekli gibi faktörler gübrenin içeriğini önemli derecede etkiler. çiftlik gübresinde bulunan bitki besin elementlerinin büyük bir bölümü suda çözünebilir haldedir (Çizelge 2.7). Bitkiler için ahır gübresindeki fosfor, kimyasal gübrelerdeki fosfora göre çok daha yararlıdır.

Çizelge 2.7. Değişik hayvanlara ait yataklık içeren gübrelerin organik madde ile bitki besin elementlerinin suda çözünebilme oranları, % (Tisdale ve Nelson 1956)

Hayvanın cinsi	Organik madde	Azot	Fosfor	Potasyum
At	5	53	53	76
Süt inekleri	7	50	50	97
Koyun	7	42	58	97

2.3.2. Çiftlik gübresinin toprak ortamına ve bitkisel üretime etkisi

Ülkemiz topraklarının büyük bir bölümü organik madde bakımdan fakir veya yetersiz durumdadır. Özellikle İç Anadolu Bölgesi topraklarının organik madde seviyeleri %1'in altındadır. Tarım topraklarına çeşitli organik materyaller karıştırılarak organik madde düzeyleri artırılmaya çalışılmaktadır. Çiftlik gübresi bol miktarda bulunması ve uygulama kolaylığı sebebiyle bunların başında gelmektedir. Çiftlik gübresi hem organik madde hem de geniş mikroorganizma kapsamı ile toprağa çok yönlü yararlar sağlayan bir gübre çeşididir.

Çiftlik gübresinin toprağın niteliklerine etkisi kısaca şu şekilde özetlenebilir; Toprağın su tutma kapasitesini arttırır. Suyun toprak yüzeyinde bağımsızca akmasına, buharlaşmasına engel olur, zerreleri birbirine yapıştırarak toprağın su ve rüzgâr erozyonuna dayanmasına katkıda bulunur. Toprağın kolay tava gelmesini sağlar, işlenmesini kolaylaştırır. Toprak ısısını bitki gelişmesine uygun duruma getirir. Toprakların reaksiyonu (pH) üzerinde etkili olmaktadır. Toprağa uygulanan ticari azotlu gübreler (özellikle amonyum nitrat gübresi) sulama ve yağış suları ile kolayca yıkanmaktadır. Buna karşılık çiftlik gübresi ise organik artıklardan oluştuğundan bitkininin ihtiyaç duyduğu bütün elementleri (azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve mikro elementler) içermekte olup özellikle en önemli bitki besini olan azotun sürekli kaynağını oluşturmaktadır. Bitkiler için çiftlik gübresindeki fosfor, kimyasal gübrelerdeki fosfora göre çok daha yararlıdır. Özellikle kireçli topraklarda fosfor bitki tarafından yararlanılamaz şekilde tutulmaktadır. Bitkiler kimyasal gübreler şeklinde toprağa verilen fosforun genellikle %5-30'undan yararlanabilmektedir. Çiftlik gübresinde bulunan organik fosfor bileşikleri ise toprakta bitki tarafından alınabilir formda tutulur. Çiftlik gübresinin toprakta yavaş mineralize olması sonucu bağımsız şekle dönüşen fosfordan bitkiler kolaylıkla yararlanırlar. Bunun yanı sıra çiftlik gübresi organik yapısı nedeni ile toprağın havalanmasına olumlu etki yapar ve toprakta parçalanması sonucu oluşan karbondioksit ve organik asitler bitki besin elementlerini bitkiler için yarayışlı formlara dönüştürülür.

Çiftlik gübresi toprakta özellikle heterotrof mikroorganizmalar için enerji kaynağı teşkil etmekte olduğundan biyolojik aktiviteyi arttırmakta ve böylece toprağın biyolojik özelliğini de olumlu yönde etkilemektedir. Toprağa organik gübre uygulanması ile topraktaki biyolojik özelliklerin değişimi ve bu toprakta yetiştirilen bitkinin verimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Chitravadivu vd (2009), yemek artıklarından elde ettikleri termofilik kompostu ve çiftlik gübresini fındık bahçesi toprağına uygulamışlar ve toprağın bakteriyel, fungal populasyonunun ve mikrobiyal biyokütlesinin ve aynı zamanda fındık rekoltesinin de arttığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Lee vd (2004) tarafından yemek artıkları kompostu ve çiftlik gübresi uygulaması ile sera ortamında marul yetiştiriciliği yapılmış ve bu gübrelerin topraktaki bakteri, fungus populasyonu,

enzim aktiviteleri ve marul gelişimini arttırdığı bununla birlikte bu gübrelerin toprağın pH, EC, toplam N ve organik madde kapsamını da arttırdığını bildirmişlerdir.

Sonuç olarak çiftlik gübresinin etkisi kimyasal gübreler gibi tek yönlü değildir. Bu gübre bir yandan toprağa bitki için gerekli besin maddelerini sağlarken öte yandan da toprağın yapısını tarım için uygun hale getirmektedir. Ancak, mutlaka uygun koşullarda olgunlaştırılmış çiftlik gübresi kullanılmalıdır. Çiftlik gübresinin etkisi 3-4 yıl sürmektedir. Tarım topraklarına çiftlik gübresi uygulayarak hem toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzeltmiş hem de sürdürülebilir tarım için önemli bir kaynak doğru bir şekilde kullanılmış olur. Çiftlik gübresi bitkiye besin elementi sağlar, su tutma kapasitesini artırır, düzenli su hareketini sağlar, mikrobiyal aktiviteyi hızlandırır, besin maddelerinin elverişliliğinin artırır, toprak düzenleyicisi olarak görev yaparak dolaylı olarak bitki gelişmesine katkıda bulunur ve ürün miktarının artışını sağlar.

Çiftlik gübresinin etkinlik süresi uzun olduğundan bitkinin değişik dönemlerindeki besin elementleri ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olarak bitki gelişimine katkıda bulunur. Bu gübrenin bitki gelişmesine olan etkisi bitkilerin cinslerine, verilen gübrenin kalitesine ve verilme zamanına göre değişmektedir. Eğer gübre olgunlaştırılma sırasında iyi bir şekilde korunmuşsa bunun etkinliği daha yüksek olacağından verilecek miktar da daha az olacaktır. Çiftlik gübresinin kullanılmasıyla toprağın bütün verimlilik problemlerinin çözümleneceği sanılmamalıdır. Bitkilerle topraktan kaldırılan besin elementlerinin tümünün çiftlik gübresi ile toprağa dönmesi mümkün olmadığından sadece çiftlik gübresi kullanıldığı takdirde toprağın verim gücünün zamanla düşmesi doğaldır. Toprak verimliliğini ayakta tutmak için çiftlik gübresinin süper fosfat gübresi ile takviyesinden başka asit karakterli topraklarda kireçleme yapılması, münavebede baklagillere yer verilmesi, uygun bir toprak işleme yapılması, yabancı otlarla mücadele, gerekli suyun sağlanması ve erozyon kontrolü gibi önlemlerin alınması gerekmektedir (Ergene 1987). Ayrıca, yapılan araştırmalara göre çiftlik gübresi uygulamalarında %57 ile en fazla ürün artışının yoncada, %12 ile de en az ürün artışının buğdayda olduğu belirlenmiştir (Sezen 1984).

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Tohumculuk Araştırma ve Uygulama Merkezine ait cam serada 5 lt'lik saksılarda toprak gübre karışımında inkübasyon denemesi olarak yürütülmüştür.

3.1.1. Toprak materyali

Vermikompostun ve çiftlik gübresinin uygulanacağı toprak örneği Antalya-Hurma Köyü bölgesinde Boğaçay mevki yakınında bulunan ve daha önce narenciye bahçesi olarak kullanılan bir tarım arazisinden alınmıştır.

İnkübasyon denemesinde kullanılan toprağın bazı kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği gibi toprağın pH değeri 7.62 ve elektriksel iletkenlik değeri 110 µS/cm'dir. Toprak killi tın bünyelidir. Toprak örneğinin değişebilir Ca miktarı 4084 ppm, alınabilir Mg miktarı 969 ppm, alınabilir K miktarı 2317 ppm, alınabilir P miktarı 30 ppm, alınabilir Fe miktarı 1.2 ppm, alınabilir Mn miktarı 2.67 ppm, alınabilir Zn miktarı 0.47 ppm ve alınabilir Cu miktarı 0.25 ppm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre denemede kullandığımız toprak; hafif alkali reaksiyonlu, fazla kireçli, tuzsuz bir yapıya sahip olmakla birlikte P, K, Ca, Mg ve Cu elementlerince zengin Fe, Mn ve Zn elementleri yönünden fakirdir.

Toprak örneğinin organik madde kapsamı %2.1 olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan toprak Ünal ve Başkaya (1981) tarafından bildirilen sınır değerlere göre, humusça orta sınıfa girmektedir. Toprak örneğinin toplam azot içeriği %0.09 olarak bulunmuştur. Çoğu tarım toprağında üst topraktaki toplam azotun %0.06 ila %0.5 arasında değiştiği bildirilmektedir (Kacar 1994). Bununla birlikte denemede kullanılan toprağın C/N oranı 13.53 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan toprak örneğinin bazı kimyasal özellikleri

Parametre	Metod	Sonuç
Bünye	Bouyocous	Killi Tın
pH (1/2.5 su)		7.62
EC (µS/cm)		110
Kireç (%)	Scheibler	17.7
Organik Madde (%)	Walkley-Black	2.1
Toplam N (%)	Kjeldahl	0.09
P (ppm)	Olsen	30
K (ppm)	A.Asetat	2317
Ca (ppm)	A.Asetat	4084
Mg (ppm)	A.Asetat	969
Fe (ppm)	DTPA	1.2
Mn (ppm)	DTPA	2.67
Zn (ppm)	DTPA	0.47
Cu (ppm)	DTPA	0.25
C/N		13.53

3.1.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi

Araştırmada kullanılan vermikompost Antalya ili Varsak mevkiinde bulunan ve vermikompost üretimi yapan ticari bir işletmeden temin edilmiştir. İşletmede havuzlar içerisinde yaklaşık 10 milyon solucan ve bitkisel artıklar kullanılarak vermikompost üretimi yapılmaktadır. Vermikompost üretim tesisine gelen bitkisel artıklar genel olarak bitki hasat artıkları ve evsel yemek artıklarından oluşmaktadır. Tesise giren artıklar öncelikle küçük parçalara ayrılmakta ve kontrollü olarak solucanlara yedirilmektedir. Ayrıca, solucanların hayatta kalabilmeleri için bulundukları ortamın nem ve hava

durumu sürekli olarak kontrol edilmektedir. Bir m^3'lük alanda 250.000 solucan olacak şekilde ayarlanan yataklarda 3 aylık periyotlarda üretilen vermikompost derhal paketlenmekte ve satışa sunulmaktadır.

Araştırmada vermikompostla kıyaslanmak üzere kullanılan çiftlik gübresi ise Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı'na bağlı Kampus Çiftliği'nden temin edilmiştir. Çiftlikte bulunan 50-100 başlık süt sığırcılığı tesisinden elde edilen altlıklı ham dışkı 1 yıl boyunca sert toprak zeminde yağmur görmeyecek şekilde olgunlaştırıldıktan sonra yine çiftlik içerisinde bulunan domates ve biber seraları başta olmak üzere zeytin, portakal ve nar bahçelerinde organik gübre olarak kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan vermikompostun ve çiftlik gübresinin bazı kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Vermikompostun pH değeri 7.80 ve elektriksel iletkenlik değeri 1450 µS/cm iken çiftlik gübresinin pH değeri 8.19 ve elektriksel iletkenlik değeri ise 4500 µS/cm'dir. Denemede kullanılan vermikompost bitki besin elementleri yönünden incelendiğinde; (%) 1.89 Ca, 2.05 P_2O_5, 0.80 K_2O ve 500 ppm Mn, 100 ppm Zn, 44 ppm Cu, 1575 ppm Fe içerdiği buna karşın çiftlik gübresinin (%) 3.03 Ca, 0.78 P_2O_5, 2.56 K_2O ve 741 ppm Mn, 52.62 ppm Zn, 72 ppm Cu, 565 ppm Fe içerdiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre vermikompostun Fe ve P_2O_5'ca çiftlik gübresinin ise Ca ve K_2O'ca zengin olduğu anlaşılmaktadır.

Vermikompostun organik maddesi %48.95, toplam azotu ise %1.90 olarak bulunmuş iken çiftlik gübresinin organik maddesi %67.87, toplam azotu ise %1.49 olarak bulunmuştur. Vermikompostta belirlenen toplam azot konsantrasyonu bu gübrenin potansiyel olarak çiftlik gübresine alternatif bir azotlu gübre olduğunu göstermektedir. Vermikompostun C/N oranı 14.94, çiftlik gübresinin ise 26.41 olarak bulunmuştur. Organik gübrelerin tarımsal üretimde hangi bitkiye ne zaman ve ne kadar uygulanması gerektiğini belirleyen en önemli faktörlerden biri de bu gübrelerin sahip oldukları tuzluluk miktarıdır. Çalışmada kullanılan vermikompostun çiftlik gübresine kıyasla daha düşük elektriksel iletkenliğe sahip olması ve C/N oranının da yüksek olması sebebiyle bu gübrenin toprakta tuzluluk oluşturmayacak bir yapıda olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan gübrelerin bazı kimyasal özellikleri

Özellik	Vermikompost	Çiftlik Gübresi
pH (1/2.5)	7.80	8.19
EC (1/2.5) µS/cm	1450	4500
Organik Madde (%)	48.95	67.87
Toplam N (%)	1.90	1.49
C/N	14.94	26.41
P_2O_5 (%)	2.05	0.78
K_2O (%)	0.80	2.56
Ca (%)	1.89	3.03
Mn (ppm)	500	741
Zn (ppm)	100	52.62
Cu (ppm)	44	72
Fe (ppm)	1575	565

3.1.3. Deneme alanı iklim özellikleri

Araştırma alanı Akdeniz iklimi özellikleri taşımaktadır. Antalya Meteoroloji Bölge İstasyonundan alınan ve deneme süresini kapsayan iklim verileri Çizelge 3.3.'de verilmiştir (Anonim 2011).

Çizelge 3.3. Antalya ili 2011 yılı deneme aylarına ait bazı önemli iklim verileri

Deneme Süreci	Max. Sıcaklık (ºC)	Min. Sıcaklık (ºC)	Ort. Sıcaklık (ºC)	Ort. Nispi Nem (%)
Nisan	18.23	11.01	14.62	62.58
Mayıs	25.23	11.97	18.6	71.37
Haziran	30.12	15.87	22.99	67.47
Temmuz	38.11	21.91	30.01	71.30
Ağustos	42.24	28.55	35.39	79.90
Eylül	36.20	19.28	27.74	69.52

3.2. Metot

3.2.1. Deneme kurulmadan önce toprak, vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerinde yapılan analizler

Laboratuvara getirilen vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerinde % katı madde tayini derhal yapılmış, bir kısım gübre ise kimyasal analizler için havada kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruyan örnekler havanda ezilerek 2 mm'lik eleklerden elenmiş ve uygun şekilde muhafaza edilmiştir. Çalışmada kullanılan vermikompost ve çiftlik gübresinde aşağıda belirtilen parametreler belirlenmiştir:

A) % Katı madde:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki % katı madde miktarı nemin 105°C'de buharlaştırılması suretiyle belirlenmiştir (Anonymous 1985).

B) Organik madde:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki organik madde oranları Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Nelson ve Sommers 1982).

C) Toplam azot:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki toplam azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Bremner ve Mulvanaey 1982).

D) Alınabilir fosfor:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki alınabilir fosfor miktarlarının belirlenmesi için sodyum bikarbonat ekstraksiyonu uygulanmıştır (Olsen ve Sommers 1982).

E) C/N oranı:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki organik karbon ve toplam azot değerlerinden hesaplanmıştır.

F) Elektriksel iletkenlik ve pH:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki elektriksel iletkenlik ve pH değerleri 1/2.5 gübre su karışımında iletkenlik ve pH ölçer cihazları (WTW-400) kullanılarak belirlenmiştir.

G) Mikro elementler:

Vermikompost ve çiftlik gübresi örneklerindeki alınabilir mikro elementlerin belirlenmesi için örnekler DTPA ile ekstrakte edilmiş elde edilen eksratlarda demir, çinko, mangan ve bakır ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Toprak örneğinin karakterize edilmesi için % nem, organik madde, kireç, toplam azot, C/N oranı, alınabilir fosfor, pH ve EC daha önce belirtilen yöntemlerle tespit edilmiştir. Toprağın bünye analizi Bouyoucos hidrometre yöntemine göre (Bouyoucos 1951) kireç analizi ise Çağlar'a (1949) göre yapılmıştır.

3.2.2. Denemenin kurulması

Araştırma inkübasyon denemesi şeklinde yürütülmüş olup vermikompost ve çiftlik gübresi olmak üzere 2 materyal, hava kurusu olacak şekilde 5 doz (0, 1, 2, 3, 4 t/da) ve 4 tekerrür olacak şekilde 36 saksı ile tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur (Çizelge 3.4). Antalya ili Hurma Köyü Boğaçay mevkiinden temin edilen topraklar 4 mm'lik elekten elenmiş, vermikompost ve çiftlik gübresi ile karıştırıldıktan sonra 5 lt'lik saksılara (10x35x15) doldurulmuşlardır. Kontrol uygulamasına herhangi bir gübre uygulaması yapılmamıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.4. Saksılara uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresi miktarları

Uygulama	**Uygulama No**
Kontrol	1
V 1 t/da	2
V 2 t/da	3
V 3 t/da	4
V 4 t/da	5
Ç.G. 1 /da	6
Ç.G. 2 t/da	7
Ç.G. 3 t/da	8
Ç.G. 4/da	9

Saksılardaki karışımın nem düzeyi toprak tarla kapasitesinin %60'ı olacak şekilde sulama yapılmış ve inkübasyon süresince saksılardan eksilen su miktarı her gün eklenerek nemin sabit kalması sağlanmıştır. Analizler için toprak örneği alınırken saksıyı temsil edecek şekilde örnekleme yapılmış ve toprak örneklerinin yüzeyden itibaren 3-5 cm derinlikten alınmasına özen gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış saksıların seradaki konumları

Sebze Fidesi Serası

1. Blok	2. Blok	3. Blok	4. Blok
1	6	9	3
8	3	7	2
5	2	1	5
7	4	8	7
2	9	6	9
4	7	4	1
3	8	5	4
6	1	2	6
9	5	3	8

Topraksız Kültür Serası

3.2.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda inkübasyon süresince izlenen parametreler

Deneme kurulduktan sonra 0, 1, 4, 7, 10, 13 ve 16. haftalarda saksılardan alınan toprak örneklerinde üreaz, dehidrogenaz, β-glukosidaz, alkalin fosfataz aktiviteleri ve toplam aerobik bakteri sayısı belirlenmiş ve ayrıca pH ve EC değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, hesaplamalarda kullanılmak üzere her bir örneğin nem içeriği belirlenmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda da toplam azot, organik madde ve alınabilir fosfor analizleri tekrar yapılmıştır.

İnkübasyon süresi boyunca aşağıda belirtilen enzimlerin topraktaki aktiviteleri belirlenmiştir.

A) Üreaz aktivitesi:

Üreaz aktivitesinin belirlenmesi için 5 g toprak örneğine 0.2 ml toluen (Merck 1.08323.2500), 9 ml THAM tampon çözeltisi (6.1 g Tris 0,2 M H_2SO_4 ile titre edilerek pH 9'a ayarlanmış ve son hacim saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır) ve 1 ml 0.2 M üre çözeltisi (1.2 g üre 100 ml Tris tamponda çözülmüştür) eklenmiş topraklar 37°C'de 2 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından topraklara yaklaşık 35 ml KCI-Ag_2SO_4 (100 mg Ag_2SO_4 ve 188 g KCI 1000 ml'de çözülmüştür) eklenerek aktivite durdurulmuş, üzerinde 30 ml işareti olan 50 ml'lik erlene 5 ml borik asit&indikatör çözeltisi (40 g borik asit sıcak saf suda eritilmiş soğuduktan sonra üzerine 40 ml indikatör çözelti ve 400 ml etanol ilave edilmiştir. Çözeltinin rengi pembeden yeşile dönene kadar NaOH ile titre edilerek son hacim saf su ile 2000 ml'ye tamamlanmıştır) ve azot tüpüne de 20 ml toprak çözeltisi ve 0.2 g magnezyum oksit ilave edilip buhar destilasyonu ile toprak süspansiyonundaki amonyum azotu miktarı belirlenmiştir. Sonuçlar µg NH^+_4-N/ g kuru toprak. sa cinsinden hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

B) Alkali fosfataz aktivitesi:

Fosfataz aktivitesinin belirlenmesi için 1 g toprak örneğine 0.2 ml toluen (Merck 1.08323.2500), 4 ml MUB (12.1 g Tris, 11.6 g maleik asit, 14.0 g sitrik asit ve 6.3 g borik asit 500 ml NaOH' te eritilir ve 0.1 M NaOH ile pH 11'e ayarlanarak son hacim saf su 1000 ml'ye tamamlanır) ve substrat olarak aynı tamponla hazırlanmış 1 ml ρ-nitrofenil fosfat (0.835 g PNP Fosfat 50 ml MUB çözeltisinde çözülür) eklenmiştir. Toprak örnekleri 37ºC'de 1 saat inkübe edilmiş, inkübasyonun ardından toprak örneklerine 1 ml 0.5 M $CaCI_2$ (73.5 g kalsiyum klorür saf suda çözülür ve son hacim saf suyla 1000 ml'ye tamamlanır) ve 4 ml 0.5 M NaOH (20 g sodyum hidroksit saf suda eritilir ve son hacim saf suyla 1000 ml'ye tamamlanır) eklenerek aktivite durdurulmuş ve toprak süspansiyonu katlı filtreden süzülmüştür. Oluşan sarı renk yoğunluğu 410 nm'de belirlenmiştir. Filtratın ρ-nitrofenol (PNP) içeriği saf ρ-nitrofenolle (1 g p-nitrofenol 70 ml saf suda eritilip son hacim saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır) hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar µg PNP/g kuru toprak. sa olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

C) Dehidrogenaz aktivitesi:

Dehidrogenaz aktivitesini belirlemek üzere kapaklı erlenlere 5 g nemli toprak tartılmış ve üzerine 5 ml TTC (0.8 g 2,3,5 – Trifeniltetrazolyum klorid 100 ml saf suda çözülmüştür) çözeltisi eklenmiştir. Erlenlerin ağzı kapanarak 30ºC'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından karışıma 40 ml aseton (Merck 100013.2500) eklenerek 2 saat karanlıkta bekletilmiştir. Elde edilen süspansiyon mavi bantlı filtreden süzülmüştür. Elde edilen kırmızı renk 546 nm'de ölçülmüştür. Filtratın TPF içeriği TPF standart çözeltisinden (50 mg Trifenil formazan 100 ml asetonda çözülmüştür) hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar µg TPF/g kuru toprak. sa olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

D) β-Glukosidaz aktivitesi:

β-glukosidaz aktivitesini belirlemek üzere 1 g toprak üzerine 0.25 ml toluen (Merck 1.08323.2500), 4 ml MUB (12.1 g Tris, 11.6 g maleik asit, 14.0 g sitrik asit ve 6.3 g borik asit 500 ml NaOH' te eritilir ve 0.1 M HCI ile pH 6'ya ayarlanarak son hacim saf su 1000 ml'ye tamamlanır) ve 1 ml PNG (ρ-nitrofenil-β-D-glukosit: 0.654 g β-D Glukozit 50 ml MUB çözeltisinde çözülerek hazırlanır) eklenmiştir. 37ºC'de 1 saat inkübe edildikten sonra örnekler üzerine 1 ml 0.5 M $CaCI_2$ (73.5 g kalsiyum klorür saf suda çözülür ve son hacim saf suyla 1000 ml'ye tamamlanır) ve 4 ml 0.1 M THAM tampon çözeltisi (12.2 g Tris 1000 ml saf suda eritilir) eklenmiştir. Katlı filtreden süzülen toprak süspansiyonundaki sarı renk yoğunluğu 410 nm'de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Filtratın ρ-nitrofenol (PNP) içeriği saf ρ-nitrofenolle (1 g p-nitrofenol 70 ml saf suda eritilip son hacim saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır) hazırlanan kalibrasyon serisiyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar µg PNG/g kuru toprak. sa olarak hesaplanmıştır (Tabatabai 1982).

E) Toplam aerobik mezofilik bakteri sayımı:

Erimiş steril agarlı (Nutrient agar: 3 g beef ekstrakt, 5 g pepton, 15 g agar 1000 ml fizyolojik su içerir) besiyeri (42–45^{o}C) steril petrilere 15–20 cm döküldükten sonra

katılaşması ve yüzeyin kuruması için 1 gün beklenmiştir. Her toprak örneği 5 g tartılıp 45 ml (-1 dilüsyonu) fizyolojik su içeren steril cam kapaklı şişeye ilave edilmiş bu şişeden 1 ml toprak çözeltisi alınıp içinde 9 ml fizyolojik su bulunan kapaklı cam tüpe aktarılmıştır. Böylece -2 dilüsyonu elde edilmiş olup -13'e kadar dilüsyonlar oluşturulmuştur. Elde edilen dilüsyondan 0.1ml alınarak petrilere ekim yapılmış, steril drigalski özeleri ile besiyeri üzerinde homojen dağılım sağlanmıştır. Yayma işleminden sonra petri kutuları 10-15 dakika bekletilip 30^{o}C'de 3 gün süre ile inkübasyona alınmıştır. 3 gün boyunca her gün koloni sayımları yapılmıştır. Bakteri sayılarının belirlenmesinde ekimler 0.1'er ml yapıldığından, bulunan değerler seyreltim faktörü yanında 10 ile çarpılarak örneğin gram mikroorganizma sayısı olarak belirtilmiştir (kob/g).

3.2.4. İstatistiksel analiz

Çalışmadan elde edilen sonuçlar 'SPSS 17.0' istatistik paket programı kullanılarak tesadüf parselleri deneme düzeninde varyans analizi tekniğine göre değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi sonucunda farkları tespit etmede çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan Testi kullanılmıştır. Ayrıca incelenen parametreler arasındaki korelasyon Pearson Korelasyon Testi uygulanarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Vermikompost ve Çiftlik Gübresi Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresi Sonunda Meydana Gelen Değişiklikler

4.1.1. Organik madde

Vermikompost ve çiftlik gübresinin farklı dozlarının uygulandığı topraklarda inkübasyon süresi sonunda organik madde, toplam azot ve alınabilir fosfora olan etkileri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarının toprakta organik madde, toplam azot ve alınabilir fosfor üzerine etkisi

Uygulama	Toplam Azot (%)	Alınabilir Fosfor (ppm)	Organik Madde (%)
Kontrol	0.10 c	38.00 d	1.92 c
V 1 t/da	0.25 b	81.00 c	2.30 b
V 2 t/da	0.28 a	88.00 b	2.52 b
V 3 t/da	0.29 a	90.00 b	2.90 a
V 4 t/da	0.29 a	109.25 a	3.00 a
Ç.G. 1 t/da	0.24 b	79.25 c	2.32 b
Ç.G. 2 t/da	0.28 a	85.00 bc	2.50 b
Ç.G. 3 t/da	0.28 a	88.00 b	3.05 a
Ç.G. 4 t/da	0.28 a	108.25 a	3.10 a
Ortalama	0.25	85.19	2.62
Önemlilik	***	***	***

Aynı harflerle gösterilmeyen ortalamalar arasındaki fark $p<0.05$ düzeyinde önemlidir (Duncan)

***: % 0.1 düzeyinde önemli **: %1 düzeyinde önemli *: %5 düzeyinde önemli

İnkübasyon başlamadan önce toprağın organik madde değeri %2.1 iken doza ve zamana bağlı olarak bu değerler değişmiş ve inkübasyonun son haftası olan 16. haftada toprakların organik madde miktarı %1.92 (kontrol) - %3.1 (4 t/da çiftlik gübresi) değerleri arasında değişim göstermiştir. İnkübasyonun başlamasıyla birlikte tüm vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında belirlenen organik madde değerleri inkübasyonun son haftası olan 16. haftada artış göstermiş ve uygulamalar arasındaki bu fark istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Uygulama dozları kendi aralarında kıyaslanacak olursa; inkübasyon sonunda en yüksek organik madde değeri 4 t/da çiftlik gübresi ve en düşük değerde kontrol toprağında belirlenmiş olup uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bunun yanı sıra, toprağa uygulanan her iki gübre de artan doza bağlı olarak organik madde miktarlarını kontrol topraklarına göre arttırmıştır. Ancak, bu gübrelerin aynı doz uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir.

İnkübasyonun 16. haftası baz alınarak yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların organik madde değerleri ile üreaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.653$ ve $r= 0.576$) bulunmuş iken vermikompost uygulanmış toprakların organik madde değerleri ile dehidrogenaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.472$) ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.734$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Lee vd (2004) tarafından yapılan çalışmada da kompost ve çiftlik gübresi uygulanan toprakların organik madde değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ve üreaz aktivitesi değerleri arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir.

4.1.2. Toplam azot

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda 16. hafta sonunda en düşük toplam azot değeri kontrol toprağında %0.1 en yüksek toplam azot değeri 3 ve 4 t/da vermikompost uygulamalarında %0.29 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

İnkübasyon başlamadan önce toprağın toplam azot değeri %0.09 iken doza ve zamana bağlı olarak bu değerler değişmiş ve inkübasyonun sonunda toprakların toplam azot miktarı %0.1 (kontrol) - %0.29 (3 ve 4t/da vermikompost) değerleri şeklinde değişim göstermiş olup uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. İnkübasyonun başlamasıyla birlikte kontrol dahil olmak üzere tüm vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında belirlenen toplam azot değerleri inkübasyonun sonunda artış göstermiştir.

Deneme topraklarına yapılan farklı dozdaki vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamaları topraklardaki toplam azot içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır. Uygulanan gübre dozu arttıkça toprağın toplam azot içeriği de genel olarak artmıştır. Ancak, toprağın toplam azot değerlerindeki artışla ilgili olarak vermikompost ve çiftlik gübresi dozları arasında istatistiksel açıdan herhangi bir farklılık belirlenmemiştir. Bununla birlikte, kontrole göre görülen bu artış mevcut inkübasyon şartları altında denitrifikasyon ve/veya amonifikasyona bağlı gaz halde azot kayıplarının nispeten daha az meydana gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. Anonymous (1992) ve Doube vd (1998) yaptıkları çalışmalarda, organik gübrelerin besin elementlerini şelatlayıcı özelliğinin bulunduğunu ve bu elementlerin bitkilerin kullanımı için toprağa yavaş bir şekilde salındıklarını tespit etmişler ve bu durumun da özellikle yıkanma veya gaz şeklinde azot kaybının önüne geçtiğini bildirmişlerdir.

İnkübasyonun 16. haftası baz alınarak yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların toplam azot değerleri ile alınabilir fosfor değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.941$ ve $r= 0.930$), organik madde değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.795$ ve $r= 0.766$), üreaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.904$ ve $r= 0.822$), pH değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.553$ ve $r= 0.481$), toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.876$ ve $r= 0.607$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Lee vd (2004) tarafından yapılan çalışmada da kompost ve çiftlik gübresi uygulanan toprakların toplam azot değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ve üreaz aktivitesi değerleri arasında pozitif

korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, Jat ve Ahlawat (2006) tarafından yapılan çalışmada da vermikompost uygulanan toprakların toplam azot değerleri ile alınabilir fosfor değerleri arasında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Vermikompost uygulanmış toprakların toplam azot değerleri ile alkali fosfataz aktivitesi değerleri arasında ise $p<0.05$ düzeyinde önemli negatif bir ilişki ($r= -0.550$) bulunmuştur.

4.1.3. Alınabilir fosfor

İnkübasyon başlamadan önce toprağın alınabilir fosfor değeri 30 ppm iken doza ve zamana bağlı olarak bu değerler değişmiş ve inkübasyonun sonunda toprakların alınabilir fosfor içerikleri 38 pmm ile 109.25 ppm arasında değişmiştir (Çizelge 4.1). En yüksek alınabilir fosfor değeri 4 t/da vermikompost ve en düşük değerde kontrol toprağında belirlenmiş olup uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. İnkübasyonun başlamasıyla birlikte kontrol dahil olmak üzere tüm vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında belirlenen alınabilir fosfor değerleri inkübasyonun sonunda artış göstermiştir.

Her iki organik gübrede artan doza bağlı olarak toprakların alınabilir fosfor kapsamını arttırmıştır. Farklı dozlarda ilave edilen vermikompost ve çiftlik gübresi toprakların alınabilir fosfor kapsamlarını kontrol toprağına kıyasla artırırken alınabilir fosfor değerlerinin artışında gübrelerin aynı dozları arasında istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Vermikompost uygulanan toprakta alınabilir fosfor değerlerinin aynı dozlarda uygulanan çiftlik gübresine benzer şekilde çıkmış olması vermikompostun fosforca zengin bir gübre olduğunu düşündürmektedir. Nitekim, vermikompostun besin elementlerinden özellikle fosfor yönünden oldukça zengin olduğu ve bu fosforun bitkilerce kolay alınabilir formda olduğu birçok çalışmada tespit edilmiştir (Kale vd 1987, Nethra vd 1999, Lazcano vd 2008). Ayrıca, vermikompostun içindeki bitki besin elementlerinin %97'sinin özellikle de fosforun bitki tarafından büyüme sırasında doğrudan alınabilir formda olduğu bildirilmiştir (Barley 1961).

İnkübasyonun 16. haftası baz alınarak yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların alınabilir fosfor değerleri ile

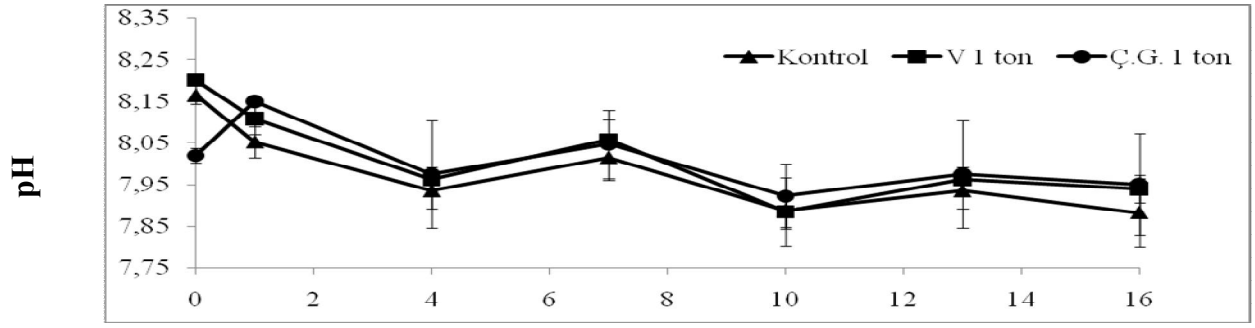
üreaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.868$ ve $r= 0.798$), toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.896$ ve $r= 0.647$) bulunmuştur.

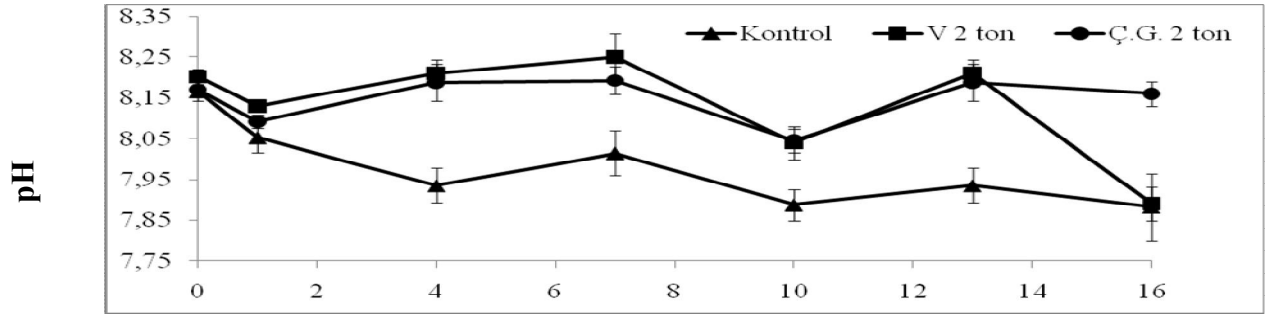
Vermikompost uygulanmış toprakların alınabilir fosfor değerleri ile alkali fosfataz aktivitesi değerleri arasında ise $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.536$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Saha vd (2008) tarafından yapılan çalışmada da vermikompost uygulanmış toprakların alınabilir fosfor değerleri ile alkali fosfataz aktivitesi değerleri arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Vermikompost uygulanmış toprakların alınabilir fosfor değerleri ile organik madde değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.848$) bulunmuştur. Diğer taraftan, çiftlik gübresi uygulanmış toprakların alınabilir fosfor değerleri ile pH değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.479$) bulunmuştur.

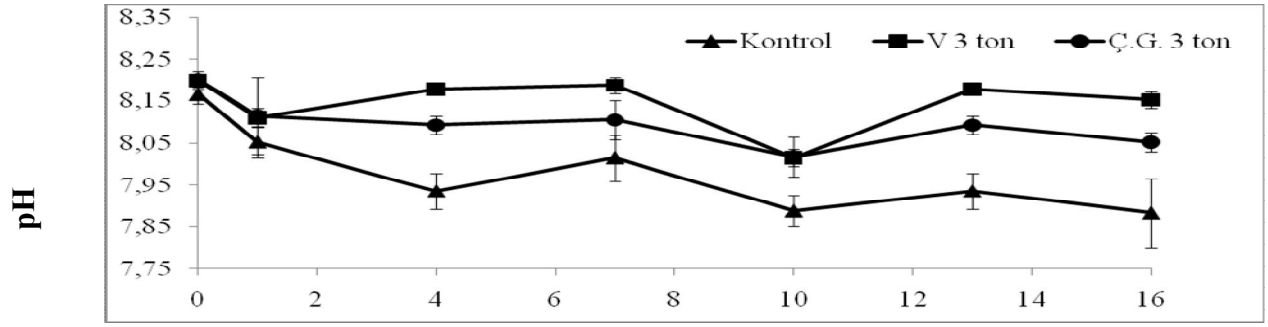
4.2. Vermikompost ve Çiftlik Gübresi Uygulanan Topraklarda İnkübasyon Süresince Meydana Gelen Değişiklikler

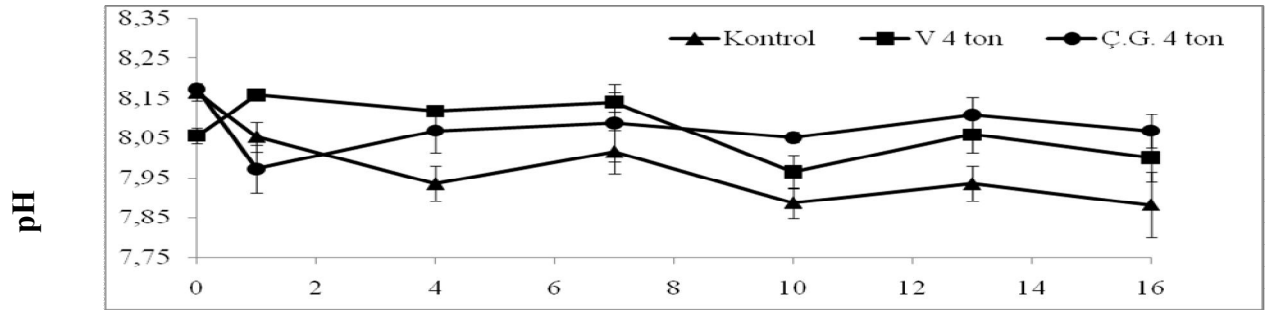
4.2.1. pH

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince pH'da meydana gelen değişimler şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak pH değerlerinde değişimler meydana gelmiş ve genel olarak gübre uygulanmış topraklara göre kontrol topraklarında pH değerleri daha düşük bulunmuştur. Toprağa 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması sonucu pH değerleri haftalara bağlı olarak dalgalanma göstermiş ve kontrole benzer şekilde bir miktar düşüş göstermiştir. İnkübasyon süresince kontrolden sonra pH'yı en çok 2 t/da vermikompost uygulaması (16. hafta) düşürmüştür. Bunun yanı sıra, toprağa 3 ve 4 t/da gübre uygulamalarında pH değerleri kontrol değerlerinin üzerinde kalmış özellikle de 3 t/da çiftlik gübresi dozu (4, 7, 13, 16. haftalar) toprağın pH'sını aynı dozda uygulanan vermikomposta göre daha fazla düşürmüştür.









Şekil 4.1. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince pH'da meydana gelen değişimler

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen pH değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; kontrol topraklarında inkübasyon süresince pH değerlerleri 8.16 – 7.88 arasında değişmiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı pH değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin pH değerleri sırasıyla 8.20 – 7.94 ve 8.02 – 7.95 arasında değişmiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 1 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin pH değerleri sırasıyla 8.20 – 7.89 ve 8.17 – 8.16 arasında değişmiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin pH değerleri sırasıyla 8.19 – 8.15 ve 8.20 – 8.05 arasında değişmiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 3 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin pH değerleri sırasıyla 8.05 – 8.00 ve 8.17 – 8.06 arasında değişmiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 4 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri pH değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca pH değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada gübre dozlarına bağlı olarak pH değerleri 8.16 (kontrol) ve 8.20 (1 ve 2t/da vermikompost ve 3t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Birinci haftada pH değerleri 7.97 (4t/da çiftlik gübresi) ve 8.15 (4t/da vermikompost ve 1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Dördüncü haftada pH değerleri 7.93 (kontrol) ve 8.21 (2t/da vermikompost) arasında değişmiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Yedinci haftada pH değerleri 7.91 (kontrol) ve 8.25 (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Onuncu haftada gübre dozlarına bağlı olarak pH değerleri 7.88 (kontrol ve 1t/da vermikompost) ve 8.05 (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

On üçüncü haftada pH değerleri 7.93 (kontrol) ve 8.21 (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. On altıncı haftada pH değerleri 7.88 (kontrol) ve 8.16 (2t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen pH değerleri

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	8.16 Aa[1,2,3]	8.20 Aa	8.20 Aab	8.19 Aa	8.05 Bab	8.02 Ba	8.17 Aa	8.20 Aa	8.17 Aa
1	8.05 ABab	8.10 Aa	8.13 Abc	8.11 Ab	8.15 Aa	8.15 Aa	8.09 ABab	8.11 Aab	7.97 Bb
4	7.93 Cbc	7.96 BCb	8.21 Aab	8.17 Aa	8.11 Aba	7.97 BCa	8.18 Aa	8.09 ABCab	8.06 ABCab
7	7.91 Bbc	7.92 Bb	8.25 Aa	8.18 Aa	8.14 Aa	7.95 Ba	8.19 Aa	8.10 ABab	8.08 ABab
10	7.88 ABc	7.88 Bb	8.04 ABc	8.01 ABc	7.96 ABb	7.92 ABa	8.04 ABb	8.01 ABb	8.05 Aab
13	7.93 Bbc	7.96 Bb	8.21 Aab	8.17 Aa	8.05 ABab	7.97 Ba	8.18 Aa	8.09 ABab	8.10 ABab
16	7.88 Bc	7.94 Bb	7.89 Aab	8.15 Aab	8.00 ABb	7.95 Ba	8.16 Aa	8.05 ABab	8.06 ABab

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen pH değerleri sırasıyla 7.94, 7.89, 8.15 ve 8.00 olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen pH değerleri sırasıyla 7.95, 8.16, 8.05 ve 8.06 olarak tespit edilmiştir.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması yapılan ve yapılmayan topraklarda inkübasyon süresine bağlı bir azalma eğilimi olduğu gözlenmiş, 2 t/da vermikompost dozunun (16. hafta) kontrolden sonra pH'yı en fazla düşüren gübre dozu olduğu görülmüştür. Vermikompost ve çiftlik gübresi ile toprak ortamına katılan organik maddelerin huminleşme ve mineralizasyonları esnasında biyolojik aktiviteye bağlı olarak oluşan küçük moleküllü organik ve inorganik asitlerin aktif asitliği arttırdığı ve muhtemelen pH değerini düşürmüş olabileceği sanılmaktadır. Benzer şekilde, vermikompost ve çiftlik gübresinin toprak pH'sını düşürücü etkisinin olduğu bazı çalışmalarda vurgulanmıştır (Lee vd 2004, Gutierrez-Miceli vd 2007, Azarmi vd 2008). Bunun yanı sıra, topraklara uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresinin dozları arttıkça pH değerinde önemli bir azalma meydana gelmemiştir. Her iki gübrenin dozları arttıkça pH değerlerinde kontrol toprağına benzer şekilde düşüş olmamasına sebep olarak denemede kullanılan toprağın pH değerinin (7.62) uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresinin pH değerlerinden daha düşük olması (sırasıyla 7.80 ve 8.19) gösterilebilir.

Yapılan korelasyon analizi sonucunda çiftlik gübresi uygulanmış toprakların pH değerleri ile EC değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli negatif ilişki ($r= -0.214$) bulunmuş iken vermikompost uygulanmış toprakların pH değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.274$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Lee vd (2004) tarafından yapılan çalışmada da kompost ve çiftlik gübresi uygulanan toprakta pH ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir.

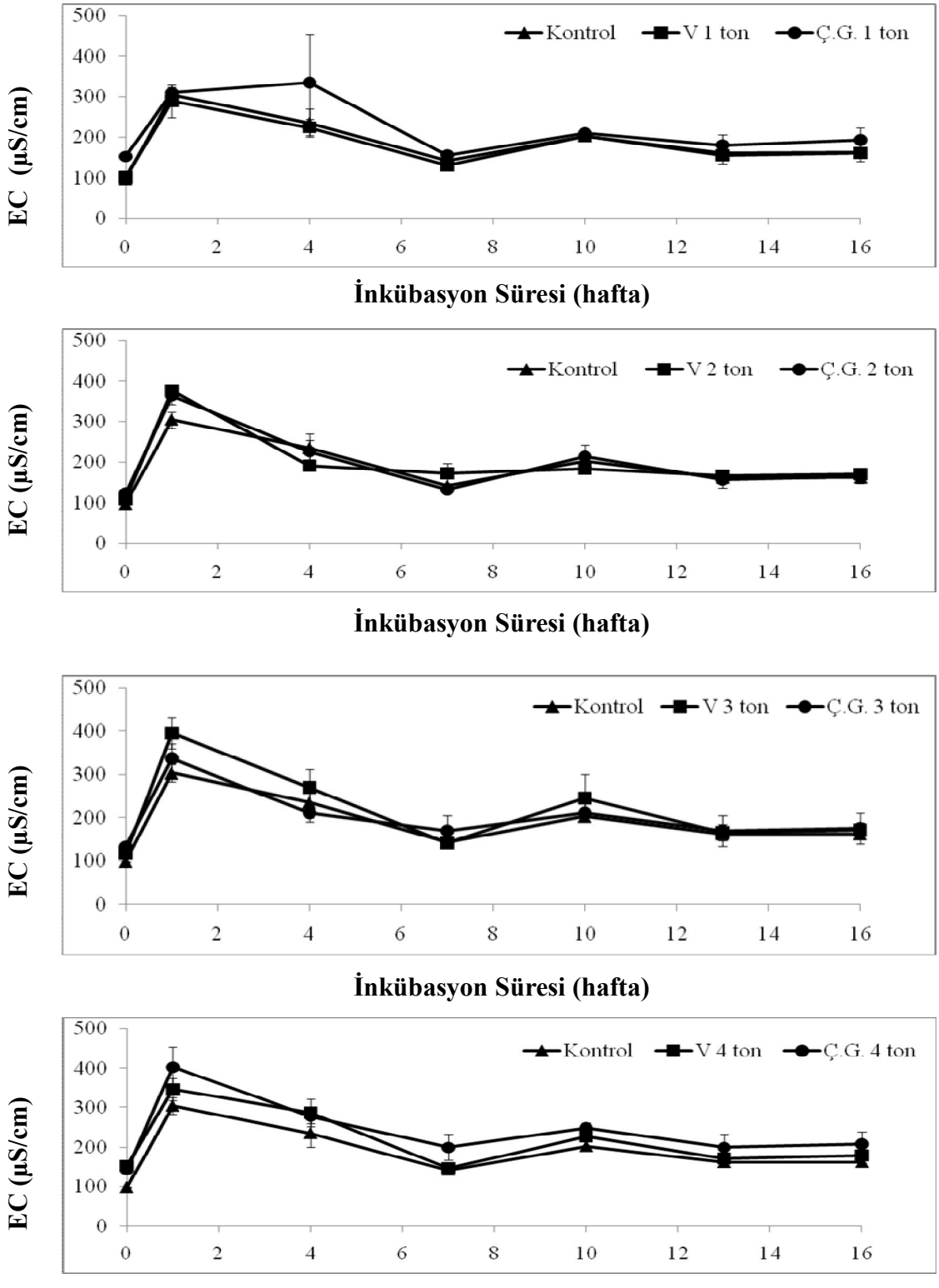
4.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC)

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince EC'de meydana gelen değişimler şekil 4.2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak EC değerlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Gübre uygulaması yapılmış ve yapılmamış toprak örnekleri EC değerlerinin haftalara bağlı olarak dalgalanma gösterse de artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Sadece, 1. haftada vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların EC değerleri kontrol toprağı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Ancak, EC'deki bu artışla ilgili olarak gübre uygulamaları arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen EC değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; kontrol topraklarında inkübasyon süresince EC değerlerleri 97.77 µS/cm – 161.80 µS/cm arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı EC değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin EC değerleri sırasıyla 101.65 µS/cm – 160.45 µS/cm ve 152.40 µS/cm – 193.72 µS/cm arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 1 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.



Şekil 4.2. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince EC'de meydana gelen değişimler

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin EC değerleri sırasıyla 109.50 µS/cm – 170.35 µS/cm ve 123.15 µS/cm – 165.10 µS/cm arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bunun yanı sıra, 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin EC değerleri sırasıyla 116.40 µS/cm – 170.85 µS/cm ve 132.10 µS/cm – 174.67 µS/cm arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 3 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer taraftan, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin EC değerleri sırasıyla 152.15 µS/cm – 179.85 µS/cm ve 141.97 µS/cm – 207.75 µS/cm arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri EC değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca EC değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada EC değerleri 97.77 (kontrol) ve 152.40 µS/cm (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Birinci haftada EC değerleri 289.02 (1t/da vermikompost) ve 402.45 µS/cm (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dördüncü haftada EC değerleri 190.85 (2t/da vermikompost) ve 334.60 µS/cm (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yedinci haftada EC değerleri 129.75 (1t/da vermikompost) ve 199.75 µS/cm (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen EC değerleri (µS/cm)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	97.77 Ge[1,2,3]	101.65 FGd	109.50 EFc	116.40 DEd	152.15 Acd	152.40 Ab	123.15 Dd	132.10 Cb	141.97 Bc
1	303.65 ABa	289.02 Ba	376.20 ABa	394.97 Aa	345.57 ABa	308.92 ABab	364.02 ABa	336.47 ABa	402.45 Aa
4	234.90 Ab	224.47 Ab	190.85 Ab	270.25 Ab	287.00 Aab	334.60 Aa	226.60 Abc	211.20 Ab	277.75 Ab
7	141.47 ABde	129.75 Bd	172.22 ABb	140.30 ABd	147.05 ABd	155.80 ABb	132.12 Bd	169.10 ABb	199.75 Abc
10	202.40 Abc	201.97 Abc	183.60 Ab	245.75 Abc	227.00 Abc	210.10 Aab	214.85 Abc	211.20 Ab	248.25 Ab
13	161.47 Acd	154.75 Acd	167.22 Ab	165.30 Acd	172.05 Acd	180.80 Aab	157.12 Acd	169.10 Ab	199.75 Abc
16	161.80 Acd	160.45 Acd	170.35 Ab	170.85 Acd	179.85 Acd	193.72 Aab	165.10 Abcd	174.67 Ab	207.75 Abc

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

Onuncu haftada EC değerleri 183.60 (2 t/da vermikompost) ve 248.25 µS/cm (4 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On üçüncü haftada EC değerleri 154.75 (1 t/da vermikompost) ve 199.75 µS/cm (4 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On altıncı haftada EC değerleri 160.45 (1 t/da vermikompost) ve 207.75 µS/cm (4 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen EC değerleri sırasıyla 160.45, 170.35, 170.85 ve 179.85 µS/cm olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen EC değerleri sırasıyla 193.72, 165.10, 174.67 ve 207.75 µS/cm olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost uygulaması hariç diğer tüm dozlar kontrole göre toprağın EC'sini daha fazla arttırmışlardır. Ayrıca, 4 t/da çiftlik gübresi dozunun (1. hafta) EC'yi en fazla arttıran gübre dozu olduğu görülmüştür. Kontrol uygulamasına karşın vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklardaki EC artışı her ne kadar önemli gözükse de bu artış toprakta tuzluluğa sebep olacak boyutlarda olmamıştır. Nitekim, vermikompost ve çiftlik gübresinin toprak tuzluluğunu ciddi boyutlarda arttırmadığı bazı çalışmalarda vurgulanmıştır (Anonymous 1992, Parkin ve Berry 1994, Doube ve Brown 1998, Lee vd 2004, Gark vd 2009).

Yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların EC değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.317$ ve $r= 0.216$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Lee vd (2004) tarafından yapılan çalışmada da kompost ve çiftlik gübresi uygulanan toprakta EC ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir.

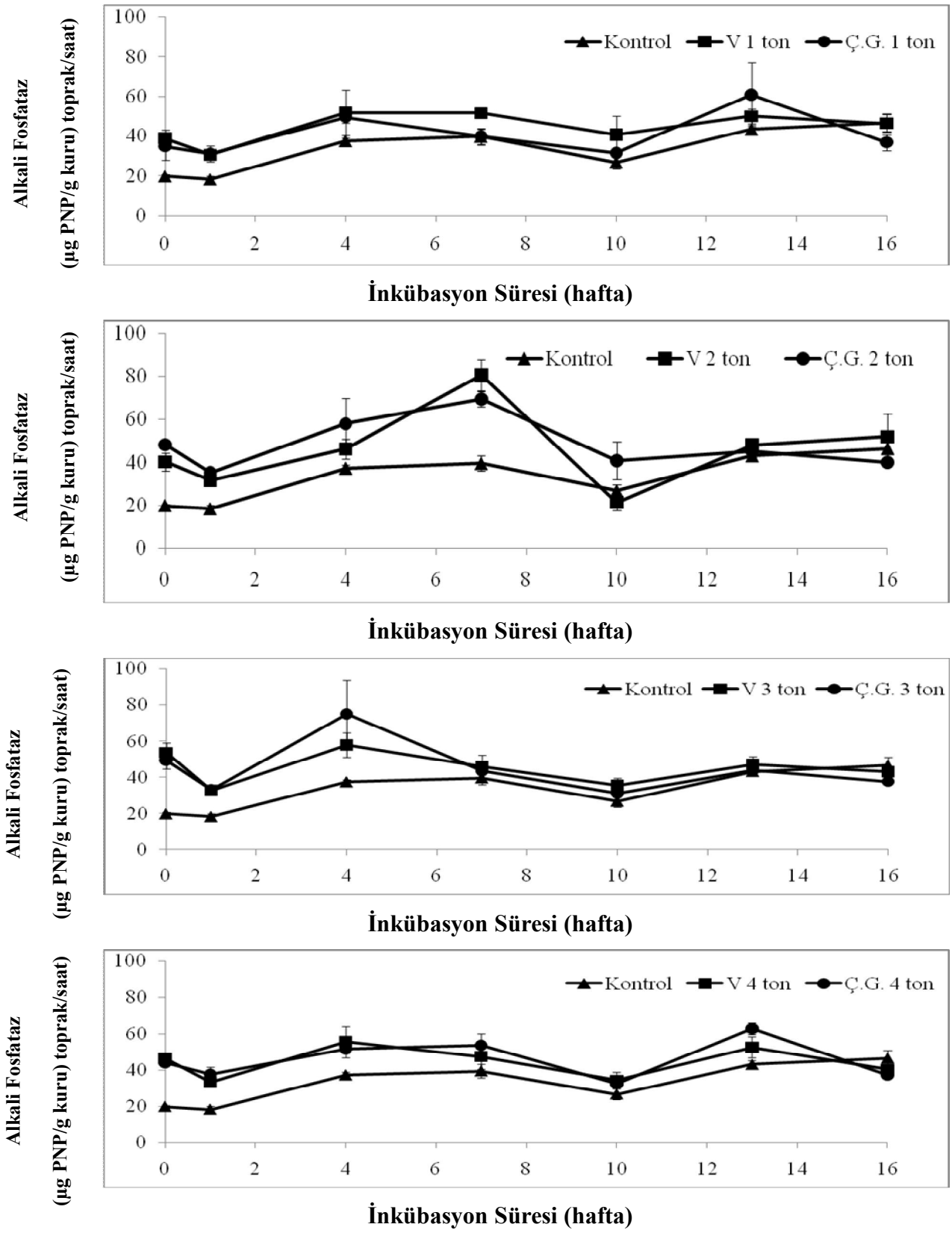
4.2.3. Enzim aktiviteleri

4.2.3.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimler şekil 4.3'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Toprağa 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi ile 2 t/da vermikompost uygulaması sonucu alkali fosfataz aktivitesi değerlerinin haftalara bağlı olarak dalgalanma gösterse de artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, inkübasyon süresince bazı haftalarda alkali fosfataz aktivitesi değerleri kontrole göre vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında artış göstermiştir. Özellikle, 2 t/da organik gübre uygulanması ile 4 ve 10. haftalarda çiftlik gübresi, 7. haftada da vermikompost uygulanmış toprakların alkali fosfataz aktiviteleri daha fazla artmıştır.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen alkali fosfataz aktivitesi değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince alkali fosfataz aktivitesi değerleri 19.80 µg PNP/g kuru toprak/saat – 46.63 µg PNP/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı alkali fosfataz aktivitesi değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.3. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince alkali fosfataz aktivitesinde meydana gelen değişimler

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 38.72 µg PNP/g kuru toprak/saat – 46.25 µg PNP/g kuru toprak/saat ve 34.71 µg PNP/g kuru toprak/saat – 36.70 µg PNP/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 40.34 µg PNP/g kuru toprak/saat – 51.91 µg PNP/g kuru toprak/saat ve 48.31 µg PNP/g kuru toprak/saat – 40.01 µg PNP/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 2 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 53.67 µg PNP/g kuru toprak/saat – 43.02 µg PNP/g kuru toprak/saat ve 49.49 µg PNP/g kuru toprak/saat – 37.66 µg PNP/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 46.49 µg PNP/g kuru toprak/saat – 40.39 µg PNP/g kuru toprak/saat ve 44.20 µg PNP/g kuru toprak/saat – 37.42 µg PNP/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 4 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri alkali fosfataz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen alkali fosfataz aktiviteleri (µg PNP/g kuru toprak/saat)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	19.80 Dc[1,2,3]	38.72 BCab	40.34 BCab	53.67 Aa	46.49 ABCab	34.71 Cb	48.31 ABb	49.49 ABb	44.20 ABCbc
1	18.29 Bc	30.45 Ab	31.51 Abc	32.68 Ab	33.43 Ab	31.05 Ab	35.19 Aa	33.01 Ab	37.88 Acd
4	37.38 Cb	51.73 ABCa	46.32 BCab	57.85 ABCa	55.66 ABCa	49.40 BCab	57.90 Aa	74.94 Aba	51.79 ABCb
7	39.55 Bab	51.51 ABa	80.45 Aa	45.77 ABab	47.54 ABab	39.65 Bab	38.48 Bb	43.44 ABb	53.80 ABab
10	26.74 ABc	40.58 Aab	21.37 Bc	35.36 ABb	34.43 ABb	31.35 ABb	40.90 Ab	31.07 ABb	32.59 ABd
13	43.16 Aab	49.96 Aab	48.00 Aab	47.18 Aab	52.67 Aa	60.77 Aa	45.39 Ab	43.70 Ab	62.89 Aa
16	46.63 Aa	46.25 Aab	51.91 Aa	43.02 Aab	40.39 Aab	36.70 Ab	40.01 Ab	37.66 Ab	37.42 Acd

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

İnkübasyon süresi boyunca alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 19.80 (kontrol) ve 53.67 µg PNP/g kuru toprak/saat (3t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Birinci haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 18.29 (kontrol) ve 37.88 µg PNP/g kuru toprak/saat (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Dördüncü haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 37.38 (kontrol) ve 57.90 µg PNP/g kuru toprak/saat (2t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yedinci haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 38.48 (2t/da çiftlik gübresi) ve 80.45 µg PNP/g kuru toprak/saat (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Onuncu haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 21.37 (2t/da vermikompost) ve 40.90 µg PNP/g kuru toprak/saat (2t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On üçüncü haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 43.16 (kontrol) ve 60.77 µg PNP/g kuru toprak/saat (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On altıncı haftada alkali fosfataz aktivitesi değerleri 36.70 (1t/da çiftlik gübresi) ve 51.91 µg PNP/g kuru toprak/saat (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

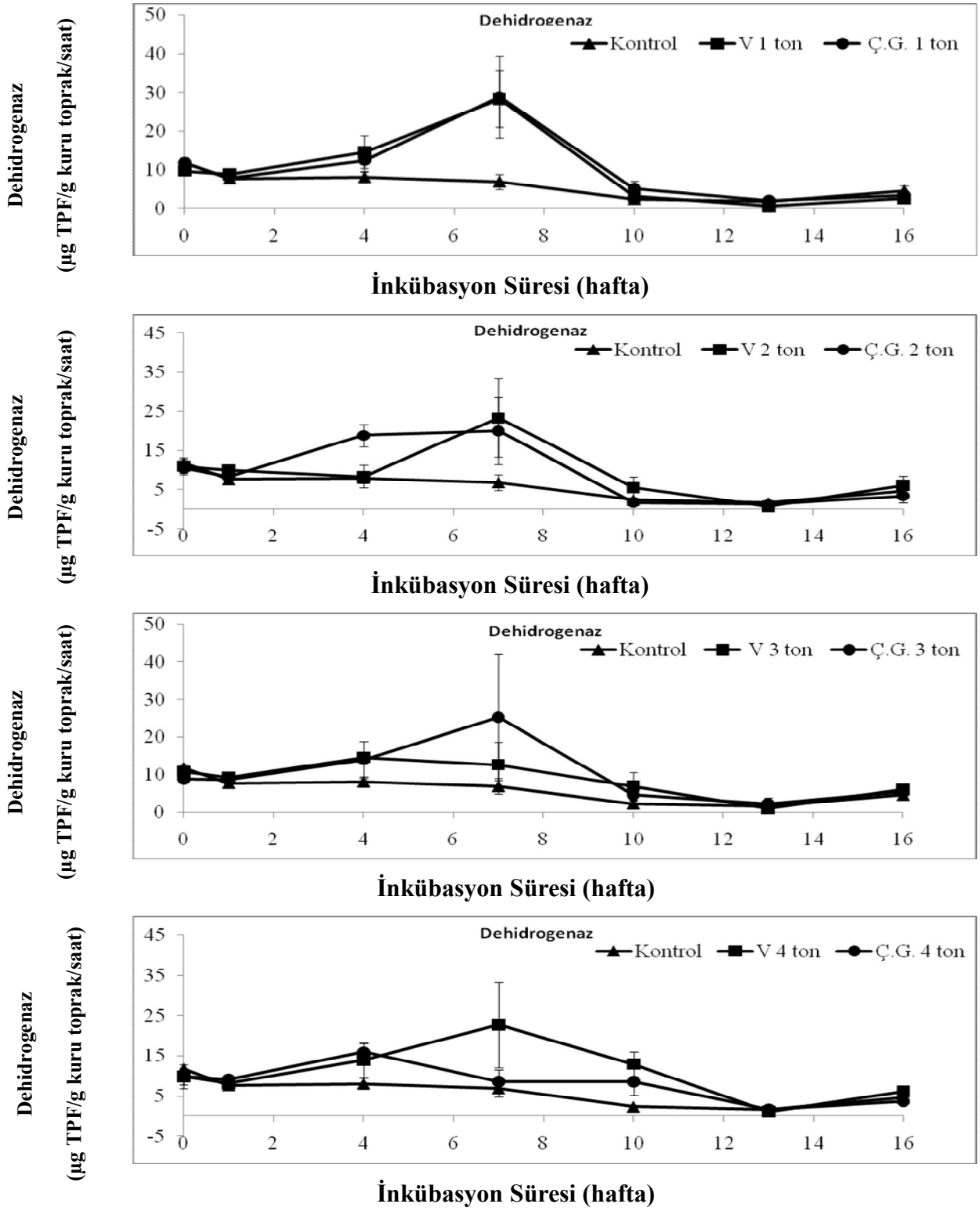
On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 46.25, 51.91, 43.02 ve 40.39 µg PNP/g kuru toprak/saat olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen alkali fosfataz aktivitesi değerleri sırasıyla 36.70, 40.01, 37.66 ve 37.42 olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince en yüksek alkali fosfataz aktivitesi değeri ise 2 t/da vermikompost uygulanan toprakta (7. hafta) ölçülmüştür. Ayrıca, genel olarak vermikompost ve çiftlik gübresinin kontrole göre toprağın alkali fosfataz aktivitesini daha fazla arttırdığı görülmüştür. Ancak, toprağın alkali fosfataz aktivitesinde meydana gelen değişiklikler bakımından uygulanan her iki gübrenin aynı dozları arasında genel olarak istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

Çiftlik gübresine benzer şekilde vermikompostun toprağın alkali fosfataz aktivitesini kontrole göre daha fazla arttırması bu gübrenin alkali fosfataz aktivitesinin yüksek olduğunu düşündürmektedir. Nitekim, yüksek alkali fosfataz enzim aktivitesine sahip olduğu bildirilen vermikompostun toprağa uygulanması ile toprakta alkali fosfataz aktivitesinin ve dolayısıyla alınabilir fosfor miktarının arttığını vurgulayan çalışmalar literatürde mevcuttur (Benitez vd 2000, Vinotha vd 2000, Pramanik vd 2006, Prabha vd 2007, Aira vd 2007, Saha vd 2008).

Yapılan korelasyon analizi sonucunda ise vermikompost uygulanmış toprakların alkali fosfataz değerleri ile dehidrogenaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.196$) bulunmuş iken EC değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli negatif ilişki ($r= -0.251$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Dar (1996) tarafından yapılan çalışmada da arıtma çamuru uygulanan toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerleri ile dehidrogenaz aktivitesi değerleri arasında pozitif bir ilişki bulunmuş iken Garcia (1994) tarafından yapılan çalışmada ise nemli bölge toprağının alkali fosfataz aktivitesi değerleri ile EC değerleri arasında negatif bir korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, çiftlik gübresi uygulanmış toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerleri ile üreaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.237$) ve pH değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.196$) bulunmuştur.

4.2.3.2. Dehidrogenaz aktivitesi

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimler şekil 4.4'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Tüm gübre uygulanmış ve uygulanmamış toprak örneklerinde dehidrogenaz aktivitesi değerlerinin haftalara bağlı olarak dalgalanma gösterse de azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4 Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince dehidrogenaz aktivitesinde meydana gelen değişimler

İnkübasyon süresince bazı haftalarda dehidrogenaz aktivitesi değerleri kontrole göre vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında (1, 4, 7. haftalarda) daha yüksek çıkmıştır. Özellikle, 1 ve 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların dehidrogenaz aktiviteleri kontrole göre daha fazla artmış (7. hafta) ancak bu artışla ilgili olarak gübre dozları arasında bir farklılık gözlenmemiştir.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen dehidrogenaz aktivitesi değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince dehidrogenaz aktivitesi değerlerleri 11.79 µg TPF/g kuru toprak/saat – 4.59 µg TPF/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı dehidrogenaz aktivitesi değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 9.72 µg TPF/g kuru toprak/saat - 2.44 µg TPF/g kuru toprak/saat ve 11.84 µg TPF/g kuru toprak/saat – 3.37 µg TPF/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde bulunmuş iken çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen dehidrogenaz aktiviteleri (µg TPF/g kuru toprak/saat)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	11.79 Aa[1,2,3]	9.72 Abc	11.01 Aab	10.81 Aa	9.86 Aab	11.84 Ab	10.56 Aabc	8.81 Aab	9.86 Aab
1	7.69 Ab	8.80 Abc	10.03 Ab	9.16 Aab	8.15 Aab	7.92 Ab	8.36 Abc	8.59 Aab	9.21 Aab
4	8.05 ABb	14.62 Ab	8.36 ABb	14.59 Aa	13.95 Aab	12.49 Ab	18.86 Aab	13.98 Aab	15.93 Aa
7	6.88 ABb	28.40 Aa	23.31 Aa	12.63 Aa	22.76 Aa	28.88 Aa	20.03 Aa	25.18 Aa	8.59 Abc
10	2.35 Bc	3.18 Bc	5.58 Bb	6.89 ABab	12.92 Aab	5.16 Bb	1.71 Bc	4.68 Bab	8.53 ABbc
13	1.66 Ac	0.59 Ac	0.74 Ab	1.08 Ab	1.06 Ab	1.97 Ab	1.22 Ac	2.24 Ab	1.74 Ac
16	4.59 Abc	2.44 Ac	6.07 Ab	5.99 Aab	6.18 Ab	3.37 Ab	3.40 Ac	5.37 Aab	3.68 Abc

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 11.01 µg TPF/g kuru toprak/saat – 6.07 µg TPF/g kuru toprak/saat ve 10.56 µg TPF/g kuru toprak/saat – 3.40 µg TPF/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 2 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 10.81 µg TPF/g kuru toprak/saat – 5.99 µg TPF/g kuru toprak/saat ve 8.81 µg TPF/g kuru toprak/saat – 5.37 µg TPF/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş iken çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 9.86 µg TPF/g kuru toprak/saat – 6.18 µg TPF/g kuru toprak/saat ve 9.86 µg TPF/g kuru toprak/saat – 3.68 µg TPF/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş iken 4 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri dehidrogenaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca dehidrogenaz aktivitesi değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 8.81 (3t/da çiftlik gübresi) ve 11.84 µg TPF/g kuru toprak/saat (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Birinci haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 7.69 (kontrol) ve 10.03 µg TPF/g kuru

toprak/saat (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dördüncü haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 8.05 (kontrol) ve 18.86 µg TPF/g kuru toprak/saat (2t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yedinci haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 6.88 (kontrol) ve 28.88 µg TPF/g kuru toprak/saat (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Onuncu haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 1.71 (2t/da çiftlik gübresi) ve 12.92 µg TPF/g kuru toprak/saat (4t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On üçüncü haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 0.59 (1t/da vermikompost) ve 2.24 µg TPF/g kuru toprak/saat (3t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On altıncı haftada dehidrogenaz aktivitesi değerleri 2.44 (1t/da vermikompost) ve 6.18 µg TPF/g kuru toprak/saat (4t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 2.44, 6.07, 5.59 ve 6.18 µg TPF/g kuru toprak/saat olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen dehidrogenaz aktivitesi değerleri sırasıyla 3.37, 3.40, 5.37 ve 3.68 µg TPF/g kuru toprak/saat olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince bütün gübre uygulanan ve uygulanmayan toprak örneklerinde dehidrogenaz aktivitesinin düşüş gösterdiği görülmüş ve en yüksek dehidrogenaz aktivitesi değeri 1 t/da çiftlik gübresi uygulanan toprakta ölçülmüştür. Ancak, toprağın dehidrogenaz aktivitesinde meydana gelen değişiklikler bakımından uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresinin aynı dozları arasında genel olarak istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

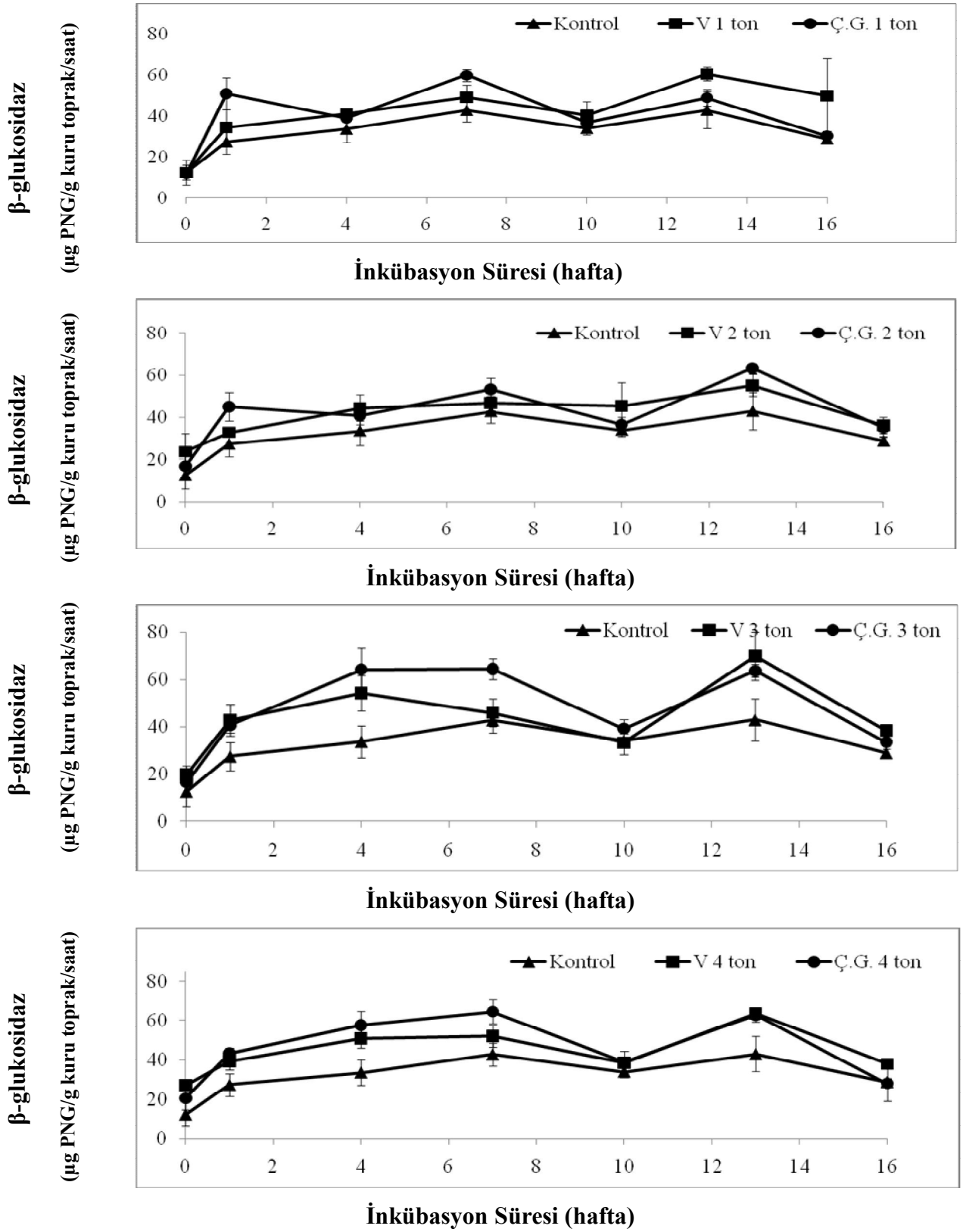
Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda özellikle inkübasyonun 10. haftasından sonra dehidrogenaz aktivitesinin kontrol seviyelere düşmesinde nitrifikasyon sonucu büyük miktarda NO_3-N'un toprakta birikmesinin etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Literatürde de nitrifikasyon sonucu toprakta meydana

gelen NO^{-}_{2} ve NO^{-}_{3} birikimlerinin dehidrogenaz aktivitesini inhibe edebildiği belirtilmiştir (Lai vd 1999). Aynı zamanda, literatürde bizim çalışmamızdan farklı olarak vermikompost uygulanmış topraklarda dehidrogenaz aktivitesinin arttığı bildirilmektedir. Nitekim, çeşitli organik materyaller kullanılarak üretilen vermikompostların genel olarak dehidrogenaz aktivitelerinin yüksek olduğu ve bu vermikompostların toprağa uygulanması ile topraktaki dehidrogenaz aktivitesininde yükseldiği bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Edwards ve Bohlen 1996, Sürücü vd 1998, Romero vd 2001, Nogales vd 2005, Truu vd 2008).

Yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerleri ile üreaz aktivitesi değerleri arasında sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$ düzeyinde önemli negatif ilişki (sırasıyla $r= -0.224$ ve $r= -0.178$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Romero vd (2010) tarafından yapılan çalışmada da toprağın dehidrogenaz aktivitesi değerleri ile üreaz aktivitesi değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, vermikompost uygulanmış toprakların dehidrogenaz aktivitesi değerleri ile pH değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli negatif ilişki ($r= -0.041$) bulunmuştur.

4.2.3.3. β-Glukosidaz aktivitesi

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince β-glukosidaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimler şekil 4.5'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak β-glukosidaz aktivitesi değerlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Tüm gübre uygulanmış ve uygulanmamış toprak örneklerinde β-glukosidaz aktivitesi değerlerinin haftalara bağlı olarak dalgalanmalar göstermekle birlikte artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, inkübasyon süresince bazı haftalarda β-glukosidaz aktivitesi değerleri kontrole göre vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.5 Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince β-glukosidaz aktivitesinde meydana gelen değişimler

Gübre dozları arasındaki farklılıklar göz önüne alınırsa; 1 t/da organik gübre uygulamalarında 7. haftada çiftlik gübresi, 13. haftada vermikompost, 2 t/da organik gübre uygulamalarında 1. haftada çiftlik gübresi, 3 t/da organik gübre uygulamalarında 7. haftada çiftlik gübresi ve 4 t/da organik gübre uygulamalarında 7. haftada çiftlik gübresi toprakların β-glukosidaz aktivitesi değerlerini daha fazla arttırmışlardır.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen β-glukosidaz aktivitesi değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince β-glukosidaz aktivitesi değerlerleri 12.39 µg PNG/g kuru toprak/saat – 28.74 µg PNG/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı β-glukosidaz aktivitesi değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 12.39 µg PNG/g kuru toprak/saat – 49.82 µg PNG/g kuru toprak/saat ve 11.80 µg PNG/g kuru toprak/saat – 30.29 µg PNG/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde bulunmuş iken çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 23.72 µg PNG/g kuru toprak/saat – 36.22 µg PNG/g kuru toprak/saat ve 16.72 µg PNG/g kuru toprak/saat – 35.01 µg PNG/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 2 t/da çiftlik

gübresi uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 19.50 µg PNG/g kuru toprak/saat – 38.36 µg PNG/g kuru toprak/saat ve 16.34 µg PNG/g kuru toprak/saat – 33.37 µg PNG/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 3 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 26.99 µg PNG/g kuru toprak/saat – 38.01 µg PNG/g kuru toprak/saat ve 20.48 µg PNG/g kuru toprak/saat – 27.94 µg PNG/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri β-glukosidaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca β-glukosidaz aktivitesi değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 11.80 (1t/da çiftlik gübresi) ve 26.99 µg PNG/g kuru toprak/saat (4t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Birinci haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 27.27 (kontrol) ve 50.99 µg PNG/g kuru toprak/saat (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dördüncü haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 33.54 (kontrol) ve 64.29 µg PNG/g kuru toprak/saat (3t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen β-glukosidaz aktiviteleri (µg PNG/g kuru toprak/saat)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	12.39 Ab[1,2,3]	12.39 Ab	23.72 Aa	19.50 Ad	26.99 Ad	11,80 Ad	16.72 Ad	16.34 Ac	20.48 Ad
1	27.27 Bab	34.39 ABab	32.81 ABbc	42.67 ABbc	39.26 ABc	50,99 Aab	45.06 ABbc	40.54 ABb	43.34 ABbc
4	33.54 Ca	41.08 BCa	44.42 BCab	54.30 ABab	50.79 ABCb	39,05 BCbc	40.84 BCbc	64.29 Aa	57.49 ABab
7	42.79 Ca	49.19 BCa	46.85 Cab	45.89 Cbc	51.99 BCb	59,95 ABCa	53.22 BCab	64.42 Aba	74.53 Aa
10	33.94 Aa	40.49 Aa	45.48 Aab	33.06 Acd	38.43 Ac	36,75 Ac	36.68 Ac	39.10 Ab	38.74 Abcd
13	42.95 Ba	60.57 Aa	55.11 Aba	69.91 Aa	63.49 Aa	48,99 ABab	63.12 Aa	63.69 Aa	62.64 Aa
16	28.74 Aab	49.82 Aa	36.22 Aabc	38.36 Abcd	38.01 Ac	30,29 Ac	35.01 Ac	33.37 Ab	27.94 Acd

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

Yedinci haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 42.79 (kontrol) ve 74.53 µg PNG/g kuru toprak/saat (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Onuncu haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 33.06 (3t/da vermikompost) ve 45.48 µg PNG/g kuru toprak/saat (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On üçüncü haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 42.95 (kontrol) ve 69.91 µg PNG/g kuru toprak/saat (3t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. On altıncı haftada β-glukosidaz aktivitesi değerleri 27.94 (4t/da çiftlik gübresi) ve 49.82 µg PNG/g kuru toprak/saat (1t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 49.82, 36.22, 38.36 ve 38.01 µg PNG/g kuru toprak/saat olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen β-glukosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 30.29, 35.01, 33.37 ve 27.94 µg PNG/g kuru toprak/saat olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince bütün gübre uygulanan ve uygulanmayan toprak örneklerinde β-glukosidaz aktivitesinin yükselme eğiliminde olduğu görülmüş ve en yüksek β-glukosidaz aktivitesi değeri 3 t/da vermikompost uygulanan toprakta (13. hafta) ölçülmüştür. Ancak, toprağın β-glukosidaz aktivitesinde meydana gelen değişiklikler bakımından uygulanan her iki gübrenin aynı dozları arasında genel olarak istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

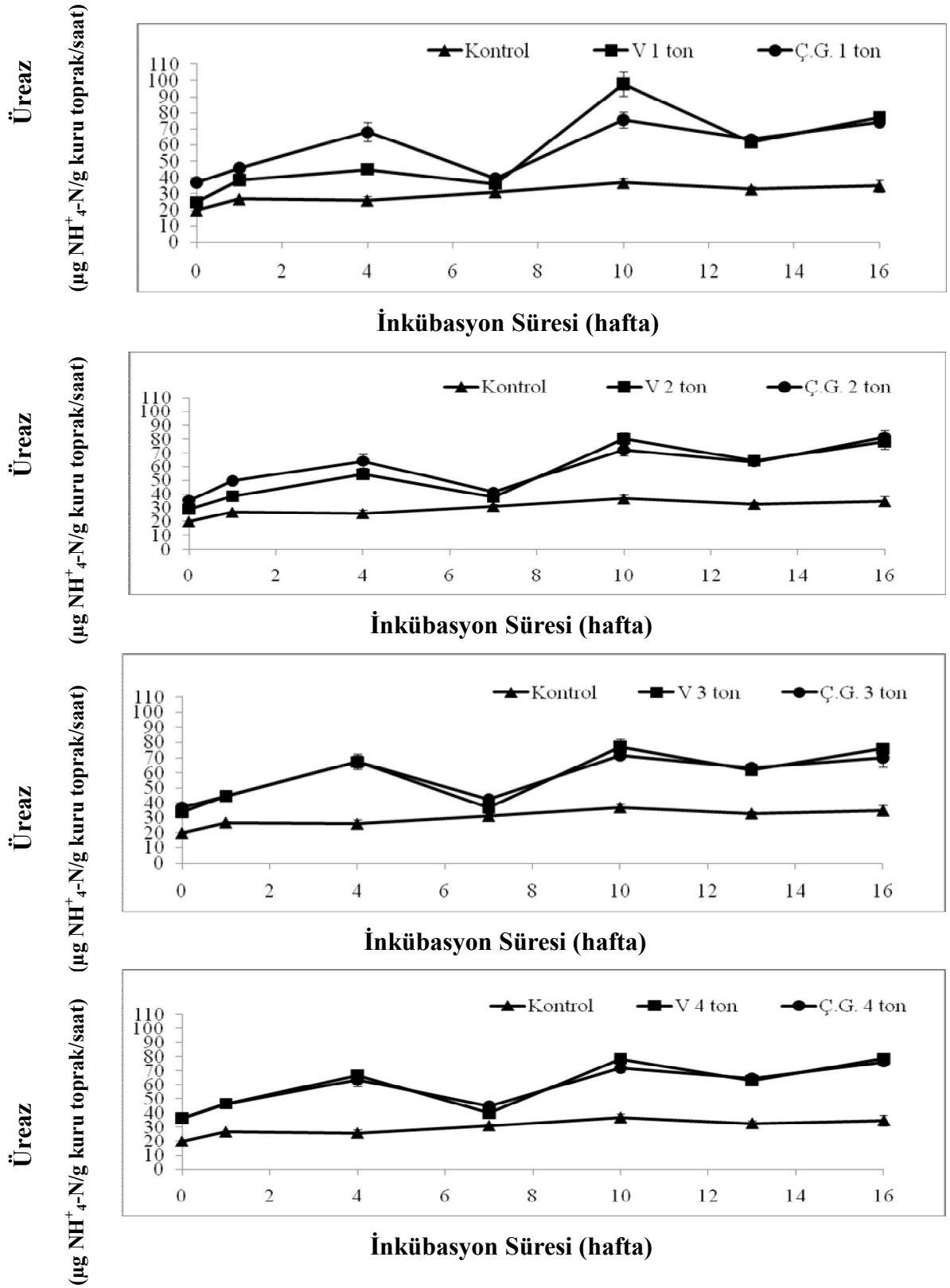
On altı haftalık toplam inkübasyon periyodu baz alındığında yapılan farklı vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarının organik karbon bileşiklerinin parçalanmasında önemli rol oynayan β-glukosidaz aktivitelerini arttırmış olduğu görülmüştür. Çiftlik gübresi gibi vermikompostun da toprağın β-glukosidaz aktivitesini kontrole göre daha fazla arttırması bu gübrenin β-glukosidaz aktivitesinin yüksek olduğunu akla getirmektedir. Benzer şekilde, çeşitli organik materyaller kullanılarak üretilen vermikompostların genel olarak β-glukosidaz aktivitelerinin yüksek olduğu ve bu vermikompostların toprağa uygulanması ile topraktaki β-glukosidaz aktivitesinin de

yükseldiği bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Aira vd 2006, Parthasarathi ve Ranganathan 2000, Edwards ve Bohlen 1996, Sharpley ve Syers 1976).

Yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların β-glukosidaz aktivitesi değerleri ile alkali fosfataz aktivitesi arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.237$ ve $r= 0.251$) ve üreaz aktivitesi değerleri arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.347$ ve $r= 0.231$) bulunmuştur. Benzer şekilde, Pascual vd (1998) tarafından yapılan çalışmada da arıtma çamuru uygulanan toprakların β-glukosidaz aktivitesi değerleri ile alkali fosfataz ve üreaz aktivitesi değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların β-glukosidaz değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.260$ ve $r= 0.195$) bulunmuştur.

4.2.3.4. Üreaz aktivitesi

Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince üreaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimler şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak üreaz aktivitesi değerlerinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Tüm gübre uygulanmış ve uygulanmamış toprak örneklerinde üreaz aktivitesi değerlerinin haftalara bağlı olarak dalgalanmalar göstermekle birlikte artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, inkübasyon süresince bazı haftalarda üreaz aktivitesi değerleri kontrole göre vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında daha yüksek çıkmıştır. Vermikompost ve çiftlik gübresi toprağın üreaz aktivitesini arttırmada karşılaştırılırsa; 1 t/da organik gübre uygulamalarında 4. haftada çiftlik gübresi ve 10. haftada vermikompost toprakların üreaz aktivitesi değerlerini daha fazla arttırmışlardır.



Şekil 4.6 Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince üreaz aktivitesinde meydana gelen değişimler

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen üreaz aktivitesi değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince üreaz aktivitesi değerlerleri 19.90 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 34.80 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı üreaz aktivitesi değerindeki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 24.81 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 77.33 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat ve 36.83 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 74.25 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri üreaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 28.89 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat - 78.10 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat ve 35.59 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 81.62 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri üreaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 33.65 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 75.92 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat ve 36.85 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 70.07 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri üreaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen üreaz aktiviteleri (μg NH^{+}_{4}-N/g kuru toprak/saat)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	19.90 Ec[1,2,3]	24.81 De	28.89 Cd	33.65 Bd	36.11 ABd	36.83 Ac	35.59 ABd	36.85 Ab	36.52 ABe
1	26.80 Dbc	38.49 Cd	38.46 Cd	44.39 Bc	46.41 ABc	45.85 ABc	49.67 Ac	44.22 Bb	46.47 ABd
4	25.95 Cbc	45.08 Bd	54.37 ABc	67.25 Ab	66.91 Ab	67.99 Aab	64.19 Ab	67.28 Aa	63.61 Ac
7	31.16 Dab	36.18 Cd	37.84 BCd	36.71 Ccd	40.09 ABCcd	39.49 BCc	41.52 ABCcd	42.38 ABb	44.77 Ad
10	36.75 Ca	98.08 Aa	80.55 Ba	77.08 Ba	78.46 Ba	75.72 Ba	72.29 Bab	71.50 Ba	71.95 Bab
13	32.74 Bab	61.84 Ac	64.47 Ab	61.80 Ab	63.14 Ab	63.54 Ab	63.72 Ab	63.57 Aa	64.62 Abc
16	34.80 Ba	77.33 Ab	78.10 Aa	75.92 Aa	78.56 Aa	74.25 Aa	81.62 Aa	70.07 Aa	76.43 Aa

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 36.11 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 78.56 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat ve 36.52 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat – 76.43 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri üreaz aktivitesi değerlerindeki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca üreaz aktivitesi değerlerinde doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada üreaz aktivitesi değerleri 19.90 (kontrol) ve 36.85 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (3 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Birinci haftada üreaz aktivitesi değerleri 26.80 (kontrol) ve 49.67 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (2 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Dördüncü haftada üreaz aktivitesi değerleri 25.95 (kontrol) ve 67.99 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (1 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yedinci haftada üreaz aktivitesi değerleri 31.16 (kontrol) ve 44.77 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (4 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Onuncu haftada üreaz aktivitesi değerleri 36.75 (kontrol) ve 98.08 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (1 t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. On üçüncü haftada üreaz aktivitesi değerleri 32.74 (kontrol) ve 64.62 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (4t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. On altıncı haftada üreaz aktivitesi değerleri 34.80 (kontrol) ve 81.62 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat (2 t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 77.33, 78.10, 75.92 ve 78.56 µg NH^+_4-N/g kuru toprak/saat olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen üreaz aktivitesi değerleri sırasıyla 74.25, 81.62,

70.07 ve 76.43 µg NH^{+}_{4}-N/g kuru toprak/saat olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince bütün gübre uygulanan ve uygulanmayan toprak örneklerinde üreaz aktivitesinin yükselme eğiliminde olduğu görülmüş ve en yüksek üreaz aktivitesi değeri 1 t/da vermikompost uygulanan toprakta (10. hafta) ölçülmüştür. Ancak, toprağın üreaz aktivitesinde meydana gelen değişiklikler bakımından uygulanan her iki gübrenin aynı dozları arasında genel olarak istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakta kontrole göre genel olarak üreaz aktivitesinin yüksek çıkmasına vermikompostun çiftlik gübresine benzer şekilde üreaz aktivitesi ve mikrobiyal biyokütlece zengin olması neden olmuş olabilir. Nitekim, yapılan bir çalışmada üreaz aktivitesinin vermikompostun mikrobiyal biyokütlesi ile yakından ilişkili olduğu ve ayrıca vermikompostlamada kullanılan organik atıkların besin içeriği tarafından da etkilendiği bildirilmiştir (Pramanik vd 2006). Bir başka çalışmada ise toprakların üreaz enzim aktivitesi ile organik madde, tekstür, pH, KDK gibi önemli toprak özellikleri arasında önemli bir ilişki olduğu ve toprağa ilave edilen organik atıkların üreaz aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir (Burns 1978).

Yapılan korelasyon analizi sonucunda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprakların üreaz aktivitesi değerleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli pozitif ilişki (sırasıyla $r= 0.442$ ve $r= 0.423$) bulunmuş iken çiftlik gübresi uygulanmış toprakların üreaz aktivitesi değerleri ile EC değerleri arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli pozitif ilişki ($r= 0.177$) bulunmuştur. Garcia (1994) tarafından yapılan çalışmada ise toprağın üreaz aktivitesi değeri ile EC değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

4.2.4. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

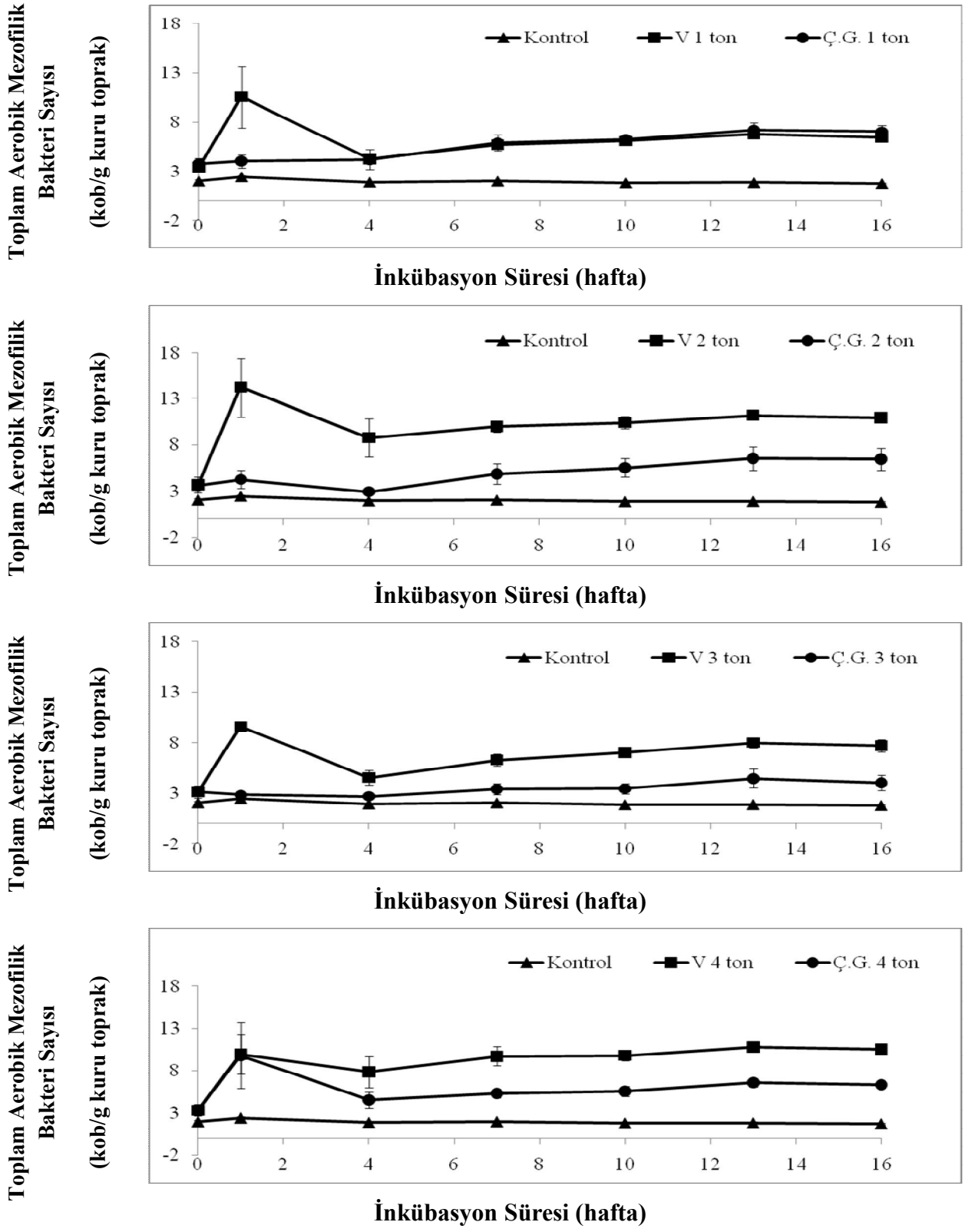
Toprağa 1, 2, 3, 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulaması ile inkübasyon süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında meydana gelen değişimler şekil 4.7'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, organik gübre uygulanmış toprak örneklerinde haftalara ve gübre dozlarına bağlı olarak toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında bazı değişimler meydana gelmiştir. Kontrol hariç tüm gübre uygulanmış

toprak örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarının haftalara bağlı olarak dalgalanma gösterse de artma eğiliminde olduğu görülmüştür. İnkübasyon süresince genel olarak tüm haftalarda toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları kontrole göre vermikompost ve çiftlik gübresi uygulamalarında daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, hemen hemen bütün haftalarda vermikompost toprakların toplam aerobik mezofilik bakteri varlığı değerlerini çiftlik gübresine göre daha fazla arttırmıştır.

Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları çizelge 4.8'de verilmiştir.

İnkübasyon süresi boyunca zamana bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmamış toprak örneklerinde inkübasyon süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $2.02x10^6$ kob/g – $1.71x10^6$ kob/g arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak kontrol toprağı toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki bu değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 1 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $3.40x10^6$ kob/g – $6.45x10^6$ kob/g ve $3.77x10^6$ kob/g – $7.02x10^6$ kob/g arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 1 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde bulunmuş iken 1 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.7 Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda inkübasyon süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında meydana gelen değişimler

İnkübasyon süresince 2 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $3.67x10^6$ kob/g – $10.95x10^6$ kob/g ve $3.62x10^6$ kob/g – $6.45x10^6$ kob/g arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 2 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 2 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 3 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $3.15x10^6$ kob/g – $7.70x10^6$ kob/g ve $3.15x10^6$ kob/g – $4.05x10^6$ kob/g arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 3 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 3 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresince 4 t/da vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış toprak örneklerinin toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $3.32x10^6$ kob/g – $10.57x10^6$ kob/g ve $3.35x10^6$ kob/g – $6.32x10^6$ kob/g arasında değişim göstermiştir. Haftalara bağlı olarak 4 t/da vermikompost uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuş iken 4 t/da çiftlik gübresi uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca uygulanmış toprak örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarında doza bağlı olan değişkenlik göz önüne alınırsa; 0. haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $2.02x10^6$ (kontrol) ve $3.77x10^6$ kob/g (1t/da çiftlik gübresi) arasında değişim göstermiş ancak bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Birinci haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $2.45x10^6$ (kontrol) ve $14.22x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda dozlara bağlı olarak inkübasyon süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı x10^6 (kob/g kuru toprak)

Hafta	**Kontrol**	**V 1 t/da**	**V 2 t/da**	**V 3 t/da**	**V 4 t/da**	**Ç.G. 1 t/da**	**Ç.G. 2 t/da**	**Ç.G. 3 t/da**	**Ç.G. 4 t/da**
0	2.02 Bb[1,2,3]	3.40 ABb	3.67 ABc	3.15 ABc	3.32 ABb	3.77 Ac	3.62 ABab	3.15 ABa	3.35 ABb
1	2.45 Da	10.55 ABa	14.22 Aa	9.60 BCa	9.95 ABa	4.02 BCDbc	4.27 BCDab	2.85 CDa	9.80 ABCa
4	1.92 Bb	4.22 Bb	8.77 Ab	4.55 Bc	7.85 Aa	4.15 Bbc	2.92 Bb	2.70 Ba	4.55 Bb
7	2.02 Db	5.67 BCb	10.00 Aab	6.27 Bb	9.72 Aa	5.87 Bab	4.87 BCab	3.42 CDa	5.32 BCab
10	1.85 Cb	6.07 Bb	10.42 Aab	7.00 Bb	9.82 Aa	6.22 Ba	5.52 Bab	3.47 Ca	5.57 Bab
13	1.87 Db	6.75 Bb	11.21 Aab	8.00 Bab	10.82 Aa	7.22 Ba	6.52 Ba	4.47 Ca	6.57 Bab
16	1.71 Db	6.45 Bb	10.95 Aab	7.70 Bb	10.57 Aa	7.02 Ba	6.45 Ba	4.05 Ca	6.32 Bab

[1] Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark % 5 düzeyinde önemlidir
[2] Büyük harfle gösterilen değerler dozlar arasındaki farkı göstermektedir
[3] Küçük harfle gösterilen değerler her bir doza ait hafta bazındaki farklılıkları göstermektedir

Dördüncü haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $1.92x10^6$ (kontrol) ve $8.77x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Yedinci haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $2.02x10^6$ (kontrol) ve $10.00x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Onuncu haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $1.85x10^6$ (kontrol) ve $10.42x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. On üçüncü haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $1.87x10^6$ (kontrol) ve $11.21x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. On altıncı haftada toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları $1.71x10^6$ (kontrol) ve $10.95x10^6$ kob/g (2t/da vermikompost) arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

On altı haftalık inkübasyon süresinin sonunda toprağa 1, 2, 3 ve 4 t/da vermikompost uygulaması için elde edilen toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $6.45x10^6$, $10.95x10^6$, $7.70x10^6$ ve $10.57x10^6$ kob/g olarak bulunmuş iken aynı dozlarda çiftlik gübresi için elde edilen toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları sırasıyla $7.02x10^6$, $6.45x10^6$, $4.05x10^6$ ve $6.32x10^6$ kob/g olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresince en yüksek toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı 2 t/da vermikompost uygulanan toprakta (1. hafta) ölçülmüştür. Ayrıca, toprağın toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında meydana gelen değişiklikler açısından uygulanan her iki gübrenin aynı dozları arasında istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Farklı dozlarda vermikompost uygulamalarının toprak verimliliğinin önemli göstergelerinden olan toplam aerobik mezofilik bakteri sayısını aynı dozlarda uygulanan çiftlik gübresi göre daha fazla arttırdığı görülmüştür. Genel olarak vermikompost uygulanmış toprakta kontrol ve çiftlik gübresi uygulanmış toprağa göre toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarının yüksek çıkmasına vermikompostun mikrobiyal varlık ve çeşitliliğinin yüksek olması neden olmuş olabilir. Nitekim, vermikompost uygulaması

ile topraktaki mikrobiyal populasyon ve çeşitliliğinin yükseldiği bazı çalışmalarda vurgulanmıştır (Sebastian 2009, Kannan vd 2005, Atiyeh vd 2000, Dominguez vd 2003, Aira vd 2007).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprağa farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmasıyla, 16 hafta süren bir inkübasyon döneminin ardından organik madde içeriği zengin olan vermikompost ve çiftlik gübresinin mineralize olduğu izlenimi edinilmiştir. Bu mineralizasyona bağlı olarak toprakların organik madde, toplam azot ve alınabilir fosfor içeriklerinin kontrole göre önemli ölçüde arttığı görülmüştür. En yüksek organik madde artışı çiftlik gübresi uygulanmış topraklarda, en yüksek toplam azot artışı vermikompost uygulanmış topraklarda ve en yüksek alınabilir fosfor artışı da yine vermikompost uygulanmış toprakta belirlenmiştir. Ancak, organik madde, toplam azot ve alınabilir fosfor gibi toprağın besin içeriğini yakından ilgilendiren kimyasal özelliklerinin toprağa uygulanan vermikompost ve çiftlik gübresinin aynı dozları kıyaslandığında benzer şekilde değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Vermikompost ve çiftlik gübresinin düşük dozlarında toprakların pH'larında önemli bir değişiklik meydana gelmezken küçük düşüşlerin olduğu görülmüştür. Ancak, her iki gübrenin artan dozlarında toprakların pH'ları kontrol değerleri kadar düşüş göstermemiştir. Diğer yandan, EC değerlerinin muhtemelen organik maddenin mineralizasyonu sonucu zamana bağlı bir artış eğilimi gösterdiği ve çiftlik gübresinin vermikomposta benzer şekilde toprak EC'sini arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak, her iki gübre de toprakta tuzluluğa sebep olacak ölçüde EC artışına neden olmamışlardır.

Çalışma kapsamında kullanılan vermikompost ve çiftlik gübresindeki organik madde, besin elementleri ve biyokütlenin topraktaki alkali fosfataz, β-glukosidaz, üreaz aktivitelerini ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısını önemli derecede arttırdığı buna karşın dehidrogenaz aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir. İnkübasyon süresi boyunca enzim aktivitelerinde ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında artış ve azalmaya bağlı genel bir dalgalanma durumu gözlenmiştir. On altı haftalık toplam inkübasyon süresi sonunda toprakların alkali fosfataz, dehidrogenaz (10. haftaya kadar), β-glukosidaz, üreaz aktiviteleri ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı belirgin olarak kontrol seviyelerinin üzerinde kalmıştır.

İnkübasyon süresince vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanmış topraklar yapılan uygulamalar açısından kıyaslandığında genel olarak enzim aktivitelerinin vermikompost ve çiftlik gübresi uygulanan topraklarda benzer şekilde seyrettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek alkali fosfataz, β-glukosidaz ve üreaz aktivite değerleri vermikompost uygulanan topraklarda ve en yüksek dehidrogenaz aktivite değeri ise çiftlik gübresi uygulanan topraklarda tespit edilmiştir. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının ise çiftlik gübresi uygulanan topraklara göre vermikompost uygulanan topraklarda inkübasyon süresi boyunca daha yüksek seviyede seyrettiği görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak vermikompostun çiftlik gübresine alternatif oluşturabilecek bir gübre olduğu doğrultusundadır. İncelenen parametreler itibarıyla vermikompostun tarımsal üretimde önemli faydalar sağlayabilme potansiyeli olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, vermikompostun toprak özellikleri, tarımsal üretim üzerindeki etkileri ve bölgemiz açısından sahip olduğu potansiyelin daha detaylı bir şekilde ortaya konulması amacıyla bitki içeren daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

6.KAYNAKLAR

AIRA, M., LAZCANO, C. and DOMINGUEZ, J. 2007. Earthworms trigger enzymatic activities through the increase of microbial biomass and activity during vermicomposting of pig slurry, compost and digestate: sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production. Proceedings of the international congress, CODIS pp: 285-288.

AIRA, M., MONROY, F. and DOMINGUEZ, J. 2006. Microbial biomass governs enzyme activity decay during aging of worm-worked substrates through vermicomposting, J Environ Qual, 36: 448-452.

ALAM, M.N., JAHAN, M.S., ALI, M.K., ASHRAF, M.A. and ISLAM, M.K. 2007. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on growth, yield and yield components of potato in barind soils of Bangladesh. J. Appl. Sci. Res., 3 (12): 1879-1888.

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

ALI, M., GRIFFITHS, A.J., WILLIAMS, K.P. and JONES, D.L. 2007. Evaluating the growth charecteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. European Journal of Soil Biology, 43: S316-S319.

AL-KHAFAJI, A.A. and TABATABAI, M.A. 1979. Effects of trace elements on arylsulfatase activity in soils. Soil Sci., 127: 129-133.

ANONİM. 2011. http://tumas.meteoroloji.gov.tr

ANONYMOUS. 1985. Standart methods for the examination of water and wastewater. APHA-AWA-WPC Copyright by American Public Health Association, Washington, 1269 p.

ANONYMOUS. 1992.“Vermigro” premium earthworm soil product. sold by canyon recycling, San Diego, Ca. worm watch, Education Department of South Australia.

APPIAH, M.R. and AHENKORAH, Y. 1989. Determination of available sulphate in some soils of Ghana using five extraction methods. Biol. Fertil. Soils, 8: 80-86.

APPIAH, M.R., HALM, B.J. and AHENKORAH, Y. 1985. Phosphatase activity of soils as affected by cocoa pod ash. Soil Biol. Biochem., 17: 823-826.

ARANCON, N.Q., EDWARDS, C.A., BIERMAN, P., METZGER, J.D., LEE, S. and WELCH, C. 2003. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and stawberries. Pedobiologia, 47: 731-735.

ARCAK, S. ve HAKTANIR, K. 1994. Bitki deseninin asit ve alkali fosfataz toprak enzim aktivitelerine etkileri. Bilimsel Araştırmalar ve İncelemeler: 775. Yayın No: 1394. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara.

ARUTYUNYAN, E.A. and GALSTYAN, A.S.H. 1975. Determination of the activity of alkaline and acid phosphatase in soils. Agrochimija, 5: 128-133.

ATIYEH, R.M., DOMINGUEZ, J., SUBLER, S. and EDWARDS, C.A. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouchei) and the effects on seedling growth. Pedobiologia, 44: 709–724.

AZARMI, R., GIGLOU, M.T. and TALESHMIKAIL, R.D. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and phsical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. Afr. J. Biotechnol., 7 (14): 2397-2401.

BAHL, O.P. and AGRAWAL, K.M.L. 1972. Alfa-Galactosidase, β-glucosidase and β-N-acetylglucosaminidase from Aspergillus niger. In: Methods in Enzymology, vol 28.Gingsburg

BARLEY, K.P. 1961. Plant nutrition levels of vermicast. Advances in Agronomy. 13: 251.

BECK, T.H. 1984. Microbiologische und biochemische charakterisierung landwirtschaflich genutzter Böden. Z Pflanzenernahr Bodenkd., 147: 456-466.

BECK, T.H. 1973. Über die eignung von modelversuchen bei der messung der biologischen aktivitat von böden. Bayer Landw Jb, 50: 270-288.

BENITEZ, E., MELGAR, R., SAINZ, H., GOMEZ, M. and NOGALES, R. 2000. Enzyme activities in rizosphere of pepper (*Capsicum annuum*, L.) grown with olive cake mulches. Soil Biology & Biochemistry, 32: 1829-1835.

BONMATI, M., CECCANTI, B. and NANNIPIERI, P. 1991. Spatial variability of phosphatase, urease, protease, organic carbon and total nitrogen in soil. Soil Biology and Biochemistry, 23(4): 391-396.

BOUYOUCOS, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43: 434-438.

BREMNER, J.M. and MULVANEY, C.S. 1982. Nitrogen-Total. Methods of soil analysis, part 2. chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 595-622.

BUCHANAN, M.A., RUSSELL, E. and BLOCK, S.D. 1988. Chemical characterization and nitrogen earthworms in environmental and waste management In C.A.Edwards and E.F. Neuhauser (Eds.), SPB Acad. Publ., the Netherlands, 231-239.

BURNS, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and possible role in microbial ecology. Soil Biol. Biochem., 14: 423-427.

BURNS, R.G. 1986. Interaction of enzymes with soil minerals and organic colloids. In: Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Huang PM, Schnitzer M (eds). Soil Science Society of America, Special Publication Number 17, Madison, Wl, pp.429-451.

BURNS, R.G. 1978. Soil Enzymes. Academic Pres. Inc. London. ISBN: 0-12-14580-4.

BUTT, K.R. 1993. Utilization of solid paper mill sludge and spent brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms. Biosource Technology, 44: 105-107.

CASIDA, L.E. J.R. 1977. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. Appl. Environ. Microbiol., 34: 630-636.

CASIDA, L.E. J.R., KLEIN, D.A. and SANTORO, T. 1964. Soil dehydrogenase activity. Soil Sci., 98: 371-376.

CHEN, M.M., SINSABAUGH, R.L., REPERT, D.A. and PANKHURST, D.F. 2004. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. Ecology, 81: 2359–2365.

CHENDRAYAN, K. ADHYA, T.K. and SETHUNATHAN, N. 1979. Dehydrogenase and invertase activities of flooded soils. Soil Biol. Biochem., 12: 217-273.

CHITRAVADIVU, C., BALAKRISHAN, V., MANIKANDAN, J., ELAVAZHAGAN, T. and JAYAKUMAR, S. 2009. Application of food waste compost on soil microbial population in groundnut cultivated soil, India. Middle-East J. Sci, Res., 4 (2): 90-93.

CHONKAR, P.K. and TARAFDAR, J.C. 1981. Characteristics and location of phosphatases in soil-plant systems. J Indian Soc. Soil Sci., 29: 215-219.

CHUNDEROVA, A.I. and ZUBETS, T. 1969. Phosphatase activity in dernopodzolic soils. Pochvovedeniye, 11: 47-53.

COCHRAN, J.E., LAWRENCE, L.D., ODELL, K.S. and GARTIN, S.A. 1989. Relationsip between job and marital satisfaction of secondary agriculture teachers and their spouses. Paper presented at 43rd Eastern Region Agricultural Edication Research Conference, Mystic, CT.

ÇAĞLAR, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Sayı:10.

ÇAKMAKÇI, S. ve ÇELİK, İ. 1994. Gıda Katkı Maddeleri. Atatürk Üniv. Zir. Fak. Ders Notu No: 164 s.249.

DAR, G.H. 1996. Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 58: p. 234-240.

DEY, P.M. and PRIDHAM, J.B. 1972. Biochemistry of alfa-galactosidases. In: Advances in Enzymology, vol 36. Meister A (ed.). Willey, New York, pp. 91-130.

DICK, R.P., MAYROLD, D.D. and KERLE, E.A. 1988b. Microbial biomass and soil enyzme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils. Soil Sciences Society of America Journal, 52: 512-516.

DICK, R.P. RASMUSSEN, P.E. and KERLE, E.A. 1988a. Influence of long-term residue management on soil enzyme activity in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. Biology and Fertility of Soils, 6: 159-164.

DICK, W.A. and TABATABAI, M.A. 1983. Effects of soils on acid phosphatases and inorganic pyrophosphatase of corn roots. Soil Sci. 136: 19-25.

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

DICKERSON, G.W. 2004. Vermicomposting. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. Available at http://www.cahe.nmsu.edu/Pubs/_h/h_164.pdf.

DODGSON, K.S. and ROSE, F.A. 1976. Sulfohydrolases. In: Metabolism of Sulfur Compounds Vol. 7, Metabolic Pathways (Greenberg DM. Ed.), pp. 359-431. Academic Press, London.

DOELMAN, P.L., HAANSTRA, H., LOONEN, H. and VOS, A. 1989. Decomposition of alpha-hexachlorocyclohexane and beta-hexachlorocyclohexane in soil under field conditions in a temperate climate. Soil Biol. Biochem., 22: 629-639.

DOMINGUEZ, J., PARMELEE, R.W. and EDWARDS, C.A. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations in cattle manure and biosolids. Pedobiologia, 47: 53-60.

DOUBE, B.M. and BROWN, G.G. 1998. Life in a complex community: functional interactions between earthworms, organic matter, microorganisms, and plants. In Earthworm Ecology. Ed. Clive Edwards, St Lucie Press, 179-211.

EDWARDS, C.A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. Agriculture, Ecosystems and Environment, 24: 21-31.

EDWARDS, C.A. 1995. Commercial and environmental potential of vermicomposting: A historical overview. BioCycle, June, 62-63.

EDWARDS, C.A. 1998. The use of earthworm in the breakdown and management of organic waste. In: Earthworm Ecology. ACA Press LLC, Boca Raton, FL, pp. 327-354.

EDWARDS, C.A. and ARANCON, N. 2004. Vermicomposts suppress plant pests and disease attacks. BioCycle, 45(3): 51-54.

EDWARDS, C.A. and BOHLEN, P.J. 1996. Biology and ecology of earthworms. 3rd. Ed. Chapman and Hall, New York.

EIVAZI, F. and TABATABAI, M.A. 1977. Phosphatases in soils. Soil Biol. Biochem., 9: 167-172.

ERGENE, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniv. Yayınları. No. 635, Ders kitapları serisi. No. 47: 222-232.

FAUCI, M.F. and DICK, R.P. 1994. Soil microbial dynamics: short-and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. Soil Sciences Society of America Journal, 58: 801-806.

FERRERAS, L., GOMEZ, E., TORESANI, S., FIRPO, I. and ROTONDO, R. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. Bioresource Technology, 97: 635-640.

FITZGERALD, J.W. 1976. Sulphate ester formation and hydrolysis: a potentially important yet often ignored aspect of the sulphur cycle of aerobic soils. Bacteriol. Rev., 40: 628-721.

FITZGERALD, J.W., WATWOOD, M.E. and ROSE, F.A. 1985. Forest floor and soil arylsulfatase: hydrolysis of tyrosin sulfate, an environmental relevant substrate for the enzyme. Soil Biol. Biochem., 17: 885-887.

FOLLET, R.H., MURPHY, L.S. and DONAHUE, R.L. 1981. Fertilizers and soil amendments. Prentice-Hall. Engelwood Cliffs, pp. 393-422.

FRANKENBERGER, W.T. and TABATABAI, M.A. 1982. Amidase and urease activities in plants. Plant Soil, 64: 153-166.

GADKARI, D. 1984. Influence of the herbicide on the extracellular urease and phosphatase in suspended soil. Zbl Mikrobiol., 139: 415- 424.

GARCIA, C., HERNANDEZ, T. and COSTA, F. 1994. Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. Soil Biology and Biochemistry, 26: 1185-1191.

GARCIA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F., CECCANTI, B. and CIARDI, C. 1992. Changes in ATP content, enzyme activity and inorganic nitrogen species during composting of organic wastes. Can. J. Soil Sci., 72: 243-253.

GARK, V.K., GUPTA, R. and KAUSHIK, P. 2009. Vermicomposting of solid textile mill sludge spiked with cow dung and horse dung: a pilot-scale study. International Journal of Environment and Pollution, 38-4: 385-396.

GISPERT, M.A. and ARCARA, P.G. 1988. A study of the biological activity of different soils of the Mediterrannean region: the relationship between enzyme activities, rates of respiration and bacteral biomass. Agrochimica, 32: 491-499.

GROCHOLL, J. and AHRENS, E. 1990. Einfluss langjahrig differenzierter boden-earbeitung auf die mikrobielle Aktivitat eines schluffigen Lehmes und eines schluffigen Sandes. Verband Deutscher Landwirttschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstallen N 30, Bayreuth: 491-496.

GUAN, S.Y. 1989. Studies on the factors influencing soil enzyme activities: Effects of organic manures on soil enzyme activities and N and P transformations. Acta Pedologica Sinica, 26(1):72-78.

GUPTA, V.V.S.R. and GERMIDA, J.J. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil agregate size classes as affected by cultivation. Soil Biology and Biochemistry, 20: 777-786.

GUTIERREZ-MICELI, F.A., SANTIAGO-BORRAZ, J., MOLINA, J.A.M., NAFATE, C.C., ABUD-ARCHILA, M., LLAVEN, M.A.O., RINCON-ROSALES, R. and DENDOOVEN, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (Lycopersicum esculentum). Bioresource Technology, 98: 2781-2786.

HAKTANIR, K. 1973. Ankara şartlarında nadas ve buğday-baklagil ekim nöbetinin önemli toprak enzimlerinin aktiviteleri üzerindeki etkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 613, 82s.

HAKTANIR, K. ve ARCAK, S. 1997. Toprak biyolojisi: Toprak ekosistemine giriş. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No. 447, Ankara.

HANDAYANI, I.P. 1996. Soil carbon and nitrogen pools and transformations after 23 years of no-tillage and conventional tillage. Ph. D.thesis, University of Kentucky.

HAYNES, R.J. and KNIGHT, K.L. 1989. Comparison of chemical properties, enzyme activities, level of biomass N and aggregate stability in the soil profile under conventional and no tillage in Canterbury, New Zealand. Soil and Tillage Research, 14(3):17-208.

HAYNES, R.J. and SWIFT, R.S. 1988. Effect of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulphur and phosphorus in acid soil. Biology and Fertility of Soils, 6(2): 153-158.

HEDLEY, M.J., NYE, P.H. and WHITE, R.E. 1983. Plant-induce changes in the rhizosphere of rape (*Bassica napus var. Eperald*) seedling. IV. The effect of rhizosphere phosphorus status on the pH, phosphatase activity and on the cation-anion balance in the plants. New Phytologist, 95(1): 69-82.

HOFFMANN, G. 1967. Eine photometrische methode zur bestimmung der phosphatase-aktivitat in böden. Z Pflanzenernaehr Bodenkd., 118: 161-172.

HOFFMAN, H.S., SEARLE, J.L., SHARON, T. and KOZMA, F., J.R. 1966. Behavioral control by an imprinted stimulus. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 9: 177-189.

HOITINK, H.A.J. and BOEHM, M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. Annu. Rev. Phytopathol. 37: 427-446.

JAMBOR, B. 1960. Tetrazoliumsalze in der Biologie Universat Jena, Jena.

JARVIS, N.J., LEEDS-HARRISON, P.B. and DOSSER, J.M. 1987. The use of tension infiltrometers to assess routes and rates of infiltration in a clay soil. J. Soil Sci., 38: 633-640.

JAT, R.S. and AHLAWAT, I.P.S. 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers phophorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize. Journal of Sustainable Agriculture, 28 (1): 41-54.

JHA, D.K., SHARMA, G.D. and MISHRA, R.R. 1992. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. Soil Biology and Biochemistry, 24: 761-767.

JONER, E.J. and JOHANSEN, A. 2000. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. Mycol Res., 104: 81-86.

JORDAN, D., KREMER, R.J., BERGFIELD, W.A., KIM, K.Y. and CACNIO, V.N. 1995. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. Biology and Fertility of Soils, 25: 297-302.

JUMA, N.G and TABATABAI, M.A. 1977. Effects of trace elements on phosphatase avtivity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol, 41: 343-346.

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.

KADALLI, G.G., DEVI, L.S., SIDDARAMAPPA, R. and JOHN, E. 2000. Characterization of humic fractions extracted from coirdust-based composts. Ind. Soc. Soil Sci., 48: 51-55.

KALE, D.R. 1996. Earthworms. The significant cotributers to organic farming and sustainable agriculture. *Proceedings of the National Seminar on Organic Farming and Sustainable Agriculture,* UAS, Bangalore, India, 9-11 October, 1996, pp. 5-57.

KALE, R.D. and BANO, K. 1986. Field trials with vermicompost (vee comp. E. 8. UAS) on organic fertilizers. In: Proceedings of the national seminar on organic waste utilization (Eds.: M.C. Dass, B.K. Senapati and P.C. Mishra). Vermicompost, part b, verms and vermicomposts. Sri Artatrana Pont Burla, pp. 151-157.

KALE, R.D., BANO, K., SREENIVASA, M.N., VINAYAK, K. and BAGYARAJ, D.J. 1987. In: Incidence of cellulolytic and lignolytic organisms in the earthworm worked soils (Eds.: G.K. Veeresh, D. Rajagopal and C.A. Viraktamath). Pro. Ml. Zoo. Collg. Bangalore. pp. 659-665.

KANCHIKERIMATH, M. and SINGH, D. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. Agriculture, Ecosystems and Environment, 86(2): 155-162.

KANNAN, P., SARAVANAN, A., KRISHNAKUMAR, S. and NATARAJAN, S.K. 2005. Biological properties of soil as influenced by different organic manures. Res. J. Agric. & Biol. Sci., 1 (2): 181-183.

KARACA, A. ve HAKTANIR, K. 1996. Afşin-Elbistan termik santrali emisyonlarının çevre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri. (Doktora Tezi). Proje No: KTÇAG-125, Sy: 120.

KHAN, S.W. 1970. Enzymatic activity in a gray wooded soil as influenced by cropping systems and fertilizers. Soil Biology and Biochemistry, 2: 137-139.

KING, K.R., HOLLIBAUGH, J.T. and AZAM, F. 1980. Predator-prey interactions between the larvacean *Oikopleura dioica* and bacterioplankton in enclosed water columns. Mar. Biol., 56: 49-57.

KIRCHNER, M.J., WOLLUM, A.G. and KING, L.D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil Science Society of America Journal, 57(5): 1289-1295.

KISS, S., DRAGAN-BULARDA, M. and RADULESCU, D. 1976. Biological significance of enzymes accumulated in soil. Adv. Agron., 27: 25–87.

KIZILKAYA, R. 2008. Dehidrogenase activity in *Lumbricus terrestris* casts and surrounding soil affected by addition of different organic wastes and Zn. Bioresource Technology, 99: 946-953.

KLEIN, D.A., LOH, T.C. and GOULDING, R.L. 1971. A rapid procedure to evaluate the dehidrogenase activity of soils low in organic matter. Soil Biol. Biochem., 3: 385-387.

KOVANCI, F., HAKERLER, H. ve OKTAY, M. 1989. Tavuk gübresi ile çöp gübresinin tarımda organik gübre olarak kullanılmasına dair bir araştırma. E.Ü.Araştırma Fonu, Proje No:113.

LAI, K.M., Ye, D.Y. and WONG, J.W.C. 1999. Enzyme activities in a sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash. Water Air and Soil Pollution, 113: 261-272.

LAIC, C.M., LIU, K.L., JENG, G.L. AND HELEN, W. 2002. Effects of fertilization management on soil enzyme activities related to the C, N, P and S cycles in soils. Symposium no. 12, s: 1382, Thailand.

LAZCANO, C., BRANDON-GOMEZ, M. and DOMINGUEZ, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere, 72: 1013–1019.

LEE, S.B., NA, Y.E., KOH, M.H., KWON, S.L., SEONG, K.S. and EOM, K.C. 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.

LEE, J.J., PARK, R.D., KIM, Y.W., SHIM, J.H., CHAE, D.H., RIM, Y.S., SOHN, B.K., KIM, T.H. and KIM, K.Y. 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. Bioresource Technology, 93: 21-28.

LENHARD, G. 1956. The Dehidrogenase activity in soil as a measure of the activity of soil microorganisms. Z Pflanzenernah Düng Bodenkd., 73: 1-11.

LOGSDON, G. 1994. Worldwide progress in vermikomposting. Biocycle, October, 63.

LOPEZ-HERNANDEZ, D., NINO, M., NANNIPIERI, P. and FARDEAU, J.C. 1989. Phosphatase activity in nasutitermes ephratae termite nests. Biol. Fertil. Soils, 7: 134-137.

MABOETA, M.S. and RENSBURG, L.V. 2003. Vermicomposting of industrially produced wood chips and sewage sludge utilizing *Eisenia foetida*. Ecotoxicol. Environ. Saf., 56: 265-270.

MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M., DUNLAP, P.V. and CLARK, D.P. 2008. Brock biology of microorganisms. 12th Edn., Benjamin Cummings, USA.

MANIVANNAN, S., BALAMURUGAN, M., PARTHASARATHI, K., GUNASEKERAN, G. and RANGANATHAN, L.S. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity – beans (Phaseolus vulgaris). J. Environ. Biol., 30 (2): 275-281.

MANIVANNAN, S., RAMAMOORTHY, P., PARTHASARATHI K. and RANGANATHAN, L.S. 2004. Effect of sugar industrial waster on the growth and reproduction of earthworms. Ind. J. Exp. Zool., 7: 29-37.

MARINARI, S., MASCIANDORA, G., CECCANTI, B. and GREGO, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology, 72: 9-17.

MARTENS, D.A., JOHANSON, J.B. and FRANKENBERGER, W.T., JR. 1992. Production and persistence of soil enzymes. With repeated additions of organic residues. Soil Science, 153: 53-61.

MATHE, P. and KOVACS, G. 1980. Effects of Mn and Zn on the activity of phosphate in soil: I.Phosphatase activity of a calcareous chernozen soil under maize. Agrokem Talajtan, 29: 441-446.

MATHUR, S.P. and SANDERSON, R.B. 1978. Relationship between copper contents, rates of soil respiration and phosphatase activities of some histozols in an area of Southwestern Quebec in the summer and the fall. Con. J Soil Sci., 58: 125-134.

MATTSON, A.M., JENSEN, C.O. and DUTCHER, A.R. 1947. Triphenyltetrazoliumchloride as a dye for vital tissue. Science, 106: 294-295.

MONDINI, C., FORNASIER, F and SINICCO, T. 2004. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. Istituto Sperimentale per la Nutrizione dele Piante di Gorizia Via Trieste, 23: 134-170.

NAKAS, J.P., GOULD, W.D. and KLEIN, D.A. 1987. Origin and expression of phosphatase activity in a semiarid grassland soil. Soil. Biol. Biochem., 19: 13-18.

NANNIPIERI, P., CECCANTI, B. and BIANCHI, B. 1988. Characterization of humusphosphate complexes extracted from soil. Soil Biol. Biochem., 20: 683-691.

NANNIPIERI, P., JOHNSON, R.L. and PAUL, A.E., 1978. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. Soil Biology and Biochemistry, 10: 223–229.

NANNIPIERI, P., MUCCINI, L., and CIARDI, C. 1983. Microbial biomass and enzyme activities: Production and persistance. Soil Biol. Bioc., 15: 679-685.

NELSON, D.W. and SOMMERS, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, methods of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 539-577.

NETHRA, N.N., JAYAPRASAD, K.V. and KALE, R.D. 1999. China aster [*Callistephus chinensis* (L)] cultivation using vermicompost as organic amendment. Crop Research, Hisar, 17(2): 209–215.

NEUHAUSER, E.F., LOEHR, R.C. and MALECKI, M.R. 1988. The Potential of earthworms for managing sewage sludge. In earthworms and Waste Management. C.A.Edwards and E.F. Neuhauser (ed.) SPB Academic Publishing, The Netherlands, 9-20.

NICHOLLS, J., CARMICHAEL, I.S.E. and STORMER, J.C. JR. 1971. Silica activity and P (total) in igneous rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 33: 1-20.

NIEHAUS, F., BERTOLDO, C., KAHLER, M. and ANTRANIKIAN, G. 1999. Extremophiles as a source of novel enzymes for industrial application. Appl. Microbiol. Biotechnol., 51: 711-729.

NOGALES, R., CIFUENTES, C. and BENITEZ, E. 2005. Vermicomposting of winery wastes: a laboratory study. J. Environ. Sci. Health B, 49: 659–673.

OLSEN, S.R. and L.E. SOMMERS. 1982. Phosphorus. Methods of soil snalysis, part 2. chemical and microbiological properties agronomy monograph no:9 (2nd ed.) ASASSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 403-427.

PARKIN, T. and BERYY, E. 1994. Nitrogen transformations associated with earthworm casts. Soil Biol Biochem., 26: 1233-1238.

PARTHASARATHI, K. 2007. Aging of pressmud vermicasts of *lampito mauritii* (Kinberg) and *eudrilus eugeniae* (Kinberg) reduction in microbial population and activity. J. Environ. Biol., 27: 221-224.

PARTHASARATHI, K. and RANGANATHAN, L.S. 2000. Aging effect on enzyme activities in pressmud vermicasts of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Eudrilus eugeniae* (Kinberg). Biol. Fertil. Soils, 30: 347–350.

PASCUAL, J.A., T. HERNANDEZ, C. GARCIA and M. AYUSO. 1998. Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: laboratory experiment. Bioresource Technology, 64: 131-138.

PERUCCI, P., SCARPONI, L., and BUSINELLI, M. 1984. Enzymes activities in a clay-loam soil amended with various crop residues. Plant and Soil, 81: 345-351

PETRENKO, M.B. 1973. Change of biochemical characteristics of bacteria as a result of adaptation to the Plant Biol. Nauki, 6: 101-106.

PRABHA, L.M., JAYRAAJ, I.A., JEYARAAJ, R. and SRINIVASA, R. 2007. Comparative studies on the levels of vitamins during vermicomposting of fruit wastes by *Eudrilus Euganiae* and *Eisenia Fetida*. Ecology and Environmental Research, 5(1): 57-61.

PRAMANIK, P., GHOSH, G.K., GHOSAL, P.K. and BANIK, P. 2006. Changes in organic –C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. Bioresource Technology, 98: 2485–2494.

PRICE, J.S. 1987. Development of vermicomposting system. Proceedings of the 4'the International CIEC Symposium on Agricultural Waste and Management Environmental Protection, 1: 294-300.

PRICE, J.S. and PHILLIPS, V.R. 1990. An improved mechanical separator for removing live worms from worm-worked organic wastes. Biological wastes, 33: 25-37.

RANGANATHAN, L.S. and PARTHASARATHI, K. 2005. Humification of cane sugar mill waster by e*udrilus eugeniae* (Kinberg). J. Ann. Uni., 41: 1-8.

RANGARAJAN, A., LEONARD, B. and JACK, A. 2008. Cabbage transplant production using organic media on farm. In: Proceedings of National Seminar on Sustainable Environment. N. Sukumaran (Ed). Bharathiar University, Coimbatore, pp. 45-53.

RASTIN, N., ROSENPLANTER, K. and HUTTERMANN, A. 1988. Seasonal variation of enzyme activity and their dependence on certain soil factors in beech forest soil. Soil. Biol. Biochem., 20: 637-642.

RITZ, K., MCHUGH, M. and HARRIS, J. 2003. Biological diversity and function in soils: contempory perspectives and implications in relation to the formulation of effective indicators. Proceedings "OECD Expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators", Rome, March 25-28.

REDDY, M.V. and OHKURA, K. 2004. Vermicomposting of rice-straw and its effects on sorghum growth. Tropical Ecology, 45 (2): 327-331.

ROMERO, E., FERNANDEZ-BAYO, J., DIAZ, J.M.C. and NOGALES, R. 2010. Enzyme activities and diuron persistence in soil amended with vermicompost derived from spent grape marc and treated with urea. Applied Soil Ecology, 44: 198-204.

ROMERO, S., FERRERA-CERRATO, R., ALMRAZ, S., GALVIZ-SPINOLA, A. and BAROIS-BOULLARD, I. 2001. Dynamics and relationships among microorganisms, C-organic and N-total during composting and vermicomposting. Agrociencia, 35: 377-384.

SAA, A., TRASAR-CEPEDIA, C., GIL-SORTES, F. and CARBALLAS, T. 1993. Changes in soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fires. Soil Biology and Biochemistry, 25: 1223-1230.

SAHA, S., MINA, B.L., GOPINATH, K.A., KUNDU, S. and GUPTA, H.S. 2008. Relative changes in phosphatase activities as influenced by source and application rate of organic composts in field crops. Bioresource Technology, 99: 1750-1757.

SARAPATKA, B. and DUDOVA L. 2004. Acid phosphatase activity in cereals roots cultivated on a medium with different pH and phosphate supplies. Department of Ecology and Environmental Sciences, Palacky University, t. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Czech Republic. Symposium no: 06 Paper no: 1030.

SARKAR, J.M., LEONOWICZ, A. and BOLLAG, Y.J.M. 1989. Immobilization of enzymes on clays and soils. Soil Biol. Biochem., 21: 223-230.

SATCHELL, J.E. and MARTIN, K. 1984. Phosphatase activity in earthworm faeces. Soil Biology and Biochemistry, 16(2): 191-194.

SAVIOZZI, A., LEVI- MINZI, R., CARDELLI and RIFFALDI, R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. Plant and Soil, 223:251-259.

SEBASTIAN, S.P., UDAYASOORIAN, C., JAYABALAKRISHNAN, R.M. and PARAMESWARİ, E. 2009. Improving Soil Microbial Biomass and Enzyme Activities by Amendments under Poor Quality Irrigation Water. World Appl. Sci. J., 7(7): 885-890.

SEZEN, Y. 1984. Gübreler Ve Gübreleme, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:19, Sayfa: 39-83.

SHARPLEY, A.N. and SYERS, J.K. 1976. Potential role of earthworm casts for the phosphorous enrichment of run off waters. Soil Biol. Biochem., 8: 341-346.

SIMPSON, T.W. 1991. Agronomic use of poultry industry waste. J. of Poultry Science, 70: 1126-1131.

SINGH, R., SHARMA, R.R., KUMAR, S., GUPTA, R.K. and PATIL, R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physioligical disorders, fruit yield and quality of strawberry (fragaria x ananassa duch). Bioresource Technology, 99: 8507-8511.

SKUJINS, J. 1973. Dehydrogenase: an indicator of biological activities in arid soils. Bull. Ecol. Commun., (Stockholm) 17: 97-110.

SPARLING, G.P., SPEIR, T.W. and WHALE, K.N. 1986. Changes in microbial biomass C, ATP content, soil phophomonoesterase and phosphodiesterase activity following air-drying of soils. Soil Biol. Biochem., 18: 363-370.

SPEIR, T.W. and ROSS, D.J. 1978. Soil phosphatase and sulfatase. In: Soil Enzymes. Burns RG (ed.). Academic Press, London, pp. 197- 250.

SÜRÜCÜ, A., KIZILKAYA, R. ve BAYRAKLI, F. 1998. Farklı organik atıkların toprakların biyolojik özelliklerine ve topraktaki Fe, Cu, Zn, Mn ve Ni yarayışlılığına etkileri. XIV. Ulusal Biyoloji Kongresi, O.M.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi, Samsun, 7-10 Eylül.

SZCZECH, M.M. 1999. Suppresiveness of vermicompost against fusarium wilt of tomato. J. of Phytopathology, 147: 155.

SZCZECH, M. and SMOLINSKA, U. 2001. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora Breda de Haan var.* nicotianae. Phytopath-Z, 149(2): 77-82.

TABATABAI, MA. 1982. Soil Enzymes, methods of soil analysis, part 2. chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph No:9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. USA, p. 903-943.

TABATABAI, M.A. and BREMNER, J.M. 1970a. Arylsulphatase activity of soils. SSSAP, 34: 225-229.

TABATABAI, M.A. and BREMNER, J.M. 1970b. Factors affecting soil arylsulphatase activity. SSSAP, 34: 427-429.

TABATABAI, M.A. and BREMMER, J.M. 1969. Use of p-nitrophely phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem., 1: 301-307.

TARAFDAR, J.C. and JUNGK, A. 1987. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biol. Fertil Soils., 3: 199-204.

TARAFDAR, J.C. and MARSCHNER, H. 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phoshorus. Spil Biol. Biochem., 26: 387-395.

TARAFDAR, J.C., RAO, A.V. and DRAVEEN, K. 1992. Effects of different phosphatase producing fungi on growth and nutrition of mung bean (Vigna radiata(L.) Wilczek) in an arid soil. Biol. Fert. Soil., 13: 35-38.

THALMANN, A. 1968. Zur methodik der bestimmung der dehydrogenase aktivitat im boden mittels triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch Forsch, 21: 249-258.

THORNTON, I., WATLING, H. and DARRACOTT, A. 1975. Geochemical studies in several rivers and estuaries used for oyster rearing. Sci. Total Environ., 4: 325-345.

TIQUIA, S.M. 2005. Microbial parameters as indicators of compost maturity, J. Appl. Microbiol., 99: 816-828.

TISDALE S.L. and NELSON, W.L. 1956. Soil fertility and fertilizers. MacMillan, NY. 430 pp.

TOSUN, F., MANGA, I., ALTIN, M. and SERIN, Y. 1975. A research on arid rangeland improvement in Erzurum conditions. TUBITAK V. Science Congress. Agriculture and Forestry Group.

TRASAR-CEPEDA, C., LEIROS, M.C., SEAANE, S. and GIL-SOTRES, F. 1988. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. Soil Biology and Biochemistry, 32: 1867- 1875.

TRUU, M., TRUU, J. And IVASK, M. 2008. Soil microbiological and biochemical properties for assessing the effect of agricultural management practices in Estonian cultivated soils. European Journal of Soil Biology, 44: 231-237.

UZ, İ. 2009. Toprak biyolojisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Ders Notu, 6: 16-21.

ÜNAL, H. 1967. Rize çay topraklarının enzim aktiviteleri ve bu aktivitelerle önemli toprak özellikleri arasındaki ilgiler. Ankara Basımevi, Ankara, 79 s.

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

VERSTRAETE, W. and VOETS, J.P. 1977. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. Soil Biol. Biochem., 9: 253-258.

VINOTHA, S.P., PARTHASARATHI, K. and RANGANATHAN, L.S. 2000. Enhanced phosphatase activity in earthworm casts is more of microbial origin. Current Science, 79: 1158–1159.

VUORINEN, A.H. 1999. Phosphatases in horse and chicken manure composts. Compost Sci. Utilization, 7: 47-54.

WALLENFELS, K. and WEIL, R. 1972. β-Galactosidase. In: The Enzymes, vol 7, 3rd edn. Boyer PD (ed.). Academic Press, New York, pp. 617-663.

WEISS, B. and TRESPENDORFER, I. 1993. Einfluss von regenwurmern auf mikrobielle aktivitaten-labor-und freilandexperimente. Mittilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 69: 155-158.

WILKE, B.M. 1988. Langzeitwirkungen potentieller anorganischer Shadstoffe auf die mikrobielle aktivitat einer sandigen Braunerde. Z Pflanzenernahr Bodenkd, 151: 131-136.

WRIGHT, A.L. and REDDY, K.R. 2001. Phosphorus loading effect on extracellular enzyme activity in everglades wetland soils. Soil Science Soiety of America Journal, 65: 588-595.

ZIBILSKE, L. 2004. National organic standards board. Compost Tea Task Force Report. USDA/ARS.

EKLER

Ek 1. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı pH değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	1.25	0.157	15.99	0.000
Zaman	6	0.601	0.100	10.198	0.000
Doz*Zaman	48	0.681	0.014	1.445	0.044
Hata	189	1.85	0.010		
Toplam	252	16433.30			

Ek 2. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı EC değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	76910.89	9613.86	3.14	0.002
Zaman	6	1201001.49	200166.91	65.47	0.000
Doz*Zaman	48	99092.89	2064.43	0.675	0.045
Hata	189	577847.57	3057.39		
Toplam	252	1.260E7			

Ek 3. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı alkali fosfataz aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	3895.91	486.98	3.81	0.080
Zaman	6	17269.46	2878.24	22.55	0.000
Doz*Zaman	48	11392.82	237.35	1.86	0.765
Hata	189	24123.84	127.63		
Toplam	252	522966.42			

Ek 4. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı dehidrogenaz aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	403.315	50.41	0.811	0.594
Zaman	6	8058.21	1343.03	21.59	0.000
Doz*Zaman	48	2684.56	55.92	0.899	0.660
Hata	189	11752.32	62.18		
Toplam	252	43844.31			

Ek 5. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı β-glukosidaz aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	4325.068	540.63	4.03	0.000
Zaman	6	39790.69	6631.78	49.47	0.000
Doz*Zaman	48	8648.86	180.18	1.34	0.085
Hata	189	25336.49	134.056		
Toplam	252	513770.31			

Ek 6. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı üreaz aktivitesi değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	S.D.	K.T.	K.O.	F	P
Doz	8	18774.83	2346.85	66.80	0.000
Zaman	6	57563.072	9593.84	273.076	0.000
Doz*Zaman	48	9087.43	189.32	5.38	0.000
Hata	189	6640.055	35.133		
Toplam	252	822529.466			

Ek 7. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda zamana ve doza bağlı toplam aerobik mezofilik bakteri varlığı değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F**	**P**
Doz	8	1340.236	167.529	37.76	0.000
Zaman	6	482.628	80.43	18.13	0.000
Doz*Zaman	48	375.86	7.83	1.76	0.004
Hata	189	838.48	4.43		
Toplam	252	11860.85			

Ek 8. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda doza bağlı organik madde değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F**	**P**
Doz	8	5.33	0.667	22.16	0.000
Hata	27	0.813	0.030		
Toplam	36	254.21			

Ek 9. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda doza bağlı toplam N değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F**	**P**
Doz	8	0.121	0.015	67.309	0.000
Hata	27	0.006	0.000		
Toplam	36	2.49			

Ek 10. Farklı dozlarda vermikompost ve çiftlik gübresi ilave edilen topraklarda doza bağlı alınabilir P değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Kaynak	**S.D.**	**K.T.**	**K.O.**	**F**	**P**
Doz	8	13717.38	1714.67	107.105	0.000
Hata	27	432.25	16.00		
Toplam	36	275441.00			

ÖZGEÇMİŞ

İsmail Emrah TAVALI 1984 yılında Elmalı/Antalya'da doğdu. İlköğretimi Elmalı'da, liseyi ise Antalya'da tamamladı. 2003 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. Bir yıllık özel sektör deneyimi ve askerlik görevinden sonra 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim dalında Yüksek Lisansa başladı ve aynı yıl bu bölüme Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu bölümde lisansüstü çalışmalarına devam etmektedir.