



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar
Genel Müdürlüğü



Enstitü Yayın No: 109

KOMPOST EL KİTAPÇIĞI



Prof. Dr. Kamil EKİNCİ
Prof. Dr. İsmail TOSUN
Dr. Nurhan VAROL

Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
YALOVA-2021

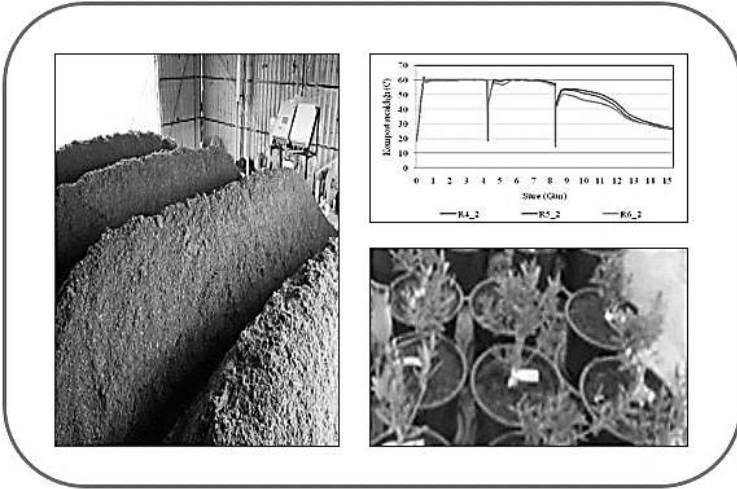


T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar
Genel Müdürlüğü

TAGEM
AR GE & İYİ OYAKLON

Enstitü Yayın No: 109

KOMPOST EL KİTAPÇIĞI



Prof. Dr. Kamil EKİNCİ
Prof. Dr. İsmail TOSUN
Dr. Nurhan VAROL

Atatürk Horticultural Central Research Institute
YALOVA-2021

Bu kitap; TÜBİTAK 1007 Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı tarafından desteklenen "Organik Bitkisel Üretimde Değerlendirilmek Üzere Girdi Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi" isimli 111G055 no.lu proje kapsamında elde edilen sonuçlar/çıktılar ile yazılmıştır.

Editörler:

Dr. Gülay BEŞİRLİ
Dr. Barış ALBAYRAK
Dr. İbrahim SÖNMEZ

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta
e-posta: kamilekinci@isparta.edu.tr

Prof. Dr. İsmail TOSUN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta
e-posta: ismailtosun@sdu.edu.tr

Dr. Nurhan VAROL

Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bornova/İzmir
e-posta: nurhan.varol@tarimorman.gov.tr,
varol.nurhan@gmail.com

1. Baskı

Yayın Yılı: 2021

ISBN: 978-625-8451-27-6

©Tüm hakkı saklıdır. Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsünün izni olmaksızın, basılamaz, elektronik, mekanik sistemlerle kayıt yoluyla ya da başka şekilde kopyalanamaz. Kaynak gösterilmek koşulu ile yararlanılabilir.

ÖNSÖZ

Ülkemizde organik tarım faaliyetleri 5262 Sayılı "Organik Tarım Kanunu" ve "Organik Tarımın Esasları ve Uygulamasına İlişkin Yönetmelik" esaslarına göre yürütülmektedir. İlgili Kanununun 10. maddesinde "bitkisel üretimde kullanılan çoğaltım materyalleri (tohum, fide, fidan vb.) organik tarım koşullarında üretilmiş olmalıdır" ifadesi yer almaktadır. 2092/91 no.lu Avrupa Birliği "Organik Tarım Yönetmeliği" aday ülkeler dahil birlik kapsamında olan tüm ülkelerin organik çoğaltım materyali temini yönünde kendi alt yapılarını oluşturması gerektiğine vurgu yapmaktadır.

Türkiye'de 1984 yılında başlayan organik tarım geçen 35 yıllık zaman diliminde önemli gelişmeler göstermiş ancak organik çoğaltım materyali temini bu gelişmeye eşlik edememiştir. Ülkemizdeki bu açığı gidermek üzere Enstitümüz koordinatörlüğünde 111G055 no.lu ve "Organik Bitkisel Üretimde Değerlendirilmek Üzere Girdi Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi" isimli proje hazırlanmıştır. TÜBİTAK/KAMAG Başkanlığı tarafından desteklenen proje 1 Nisan 2013-1 Nisan 2017 yılları arasında yürütülmüştür. Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı 8 araştırma enstitüsü ve 3 üniversite ile işbirliği halinde yürütülen projede 45 araştırmacı görev almış olup söz konusu proje başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

Bu kitabın yazılmasına konu olan teknik bilginin elde edilmesini sağlayan proje araştırma ekibine teşekkür eder, konuya ilgi duyan araştırmacı, teknik personel ve üreticilere katkı sağlamasını dilerim.

Dr. Yılmaz BOZ
Enstitü Müdürü

YAZAR ÖNSÖZÜ

Bu el kitapçığı, TÜBİTAK 1007 programı kapsamında desteklenen 111G055 no.lu "Organik Bitkisel Üretimde Değerlendirilmek Üzere Girdi Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi" isimli projenin 1.1 no.lu alt iş paketi kapsamında yer alan "Gül ve Zeytinyağı İşleme Atıklarından Kompost Üretimi İçin İşletme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Gül Atıklarından Üretilen Kompostun Zenginleştirilmesi" konulu alt proje çıktılarından hazırlanmıştır. Bu alt iş paketi kapsamında, gül ve zeytinyağı işleme atıkları ile hayvan gübrelere kompostlaşması için en uygun karışım oranları belirlenerek reçeteler hazırlanmış, gül atıklarından kompost üretimi yapılan pilot ölçekli model bir tesis kurulmuş ve gül atıklarından üretilen kompostun zenginleştirilmesi yapılmıştır. Projenin PSUP planı kapsamında, projeden elde edilen bulgulardan faydalanarak üreticiler için pratikte uygulamaya yönelik olarak kitap/kitapçık yazımı öngörülmüştür.

Günümüzde bitkisel ve hayvansal atıkların yönetimine ilişkin problemler devam etmektedir. Bu çalışmada gülyağı ve zeytinyağı işlemeden kaynaklanan atıklar ile hayvansal atıklar (sığır gübresi ve tavuk gübresi) ele alınmıştır. Bu atıkların uygun yöntemlerle bertaraf edilmemesi ve denetimsiz olarak doğaya bırakılması sonucu, yeraltı ve yüzeysel su kirliliği, toprak kirliliği, koku problemi, hava kirliliği, görüntü kirliliği ve hastalık riski gibi birçok çevre sorunu ortaya çıkmaktadır. Organik atıkların bertarafında kompostlaştırma işleminin tercih edilmesi durumunda bu sorunlar önemli ölçüde çözümlenirken, atıkların geri kazanımı sağlanmakta ve elde edilen kompostlar tarımsal faaliyetler için önemli bir girdi oluşturmaktadır. Kompost ürününün ekonomik değerinin olması, organik tarım için girdi sağlaması, depolama alanında depolanacak atık yükünün azaltılması ve daha az çevresel riskleri sebebiyle kompostlaştırma işlemi önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu kitapçıkta, "gül ve zeytinyağı işleme atıkları için kompostlaştırma reçeteleri" ve pilot ölçekli gül kompostu üretimine ilişkin bulgular sunulmuştur. Bu çalışmalar Süleyman

Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Kompost Laboratuvarında, laboratuvar ölçekli otomasyon sistemli reaktörlerde yapılmıştır. Reçete deneme çalışmaları 15 adet reaktörden oluşan kompostlama sisteminde dört etap halinde yürütülmüştür. Bu denemeler aşağıda sıralanmıştır.

i) GP kompostlaması: Gül posasının, saman, sığır gübresi ve tavuk gübresi ile kompostlanması

ii) 2FP kompostlaması: 2 fazlı sistem pirinasının saman, sığır gübresi ve tavuk gübresi ile kompostlanması

iii) 3FP kompostlaması: 3 fazlı sistem pirinasının karasu, saman, sığır gübresi ve tavuk gübresi ile kompostlanması

iv) KT kompostlaması: Karasu tortusunun saman, sığır gübresi ve tavuk gübresi ile kompostlanması

Reçete denemelerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak Pilot Ölçekli Statik Yığın Kompostlama Tesisinde, "Gül Yağı İşleme Atıklarının, Sığır Gübresi, Tavuk Gübresi ve Saman Karışımlarından Kompost Üretimi" gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
YAZAR ÖNSÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER	v
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOSTLAŞTIRMA İŞLEMİ.....	2
2.1. Kompostlaştırma.....	2
2.2. Kompostlaştırma İşlemini Etkileyen Faktörler	4
2.2.1. Sıcaklık	4
2.2.2. Karbon Azot Oranı (C/N).....	6
2.2.3. pH	6
2.2.4. Su muhtevası	7
2.2.5. Havalandırma ve karıştırma	7
2.2.6. Mikroorganizmalar	8
2.3. Kompostlaştırma Yöntemleri.....	9
2.3.1. Pasif kompostlama	9
2.3.2. Aktarmalı yığında kompostlaştırma	11
2.3.3. Havalandırmalı yığında kompostlaştırma	11
3. KOMPOST REÇETESİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI	13
3.1. Materyal ve Yöntem.....	13
3.1.1. Kompostlama reaktörleri	13
3.1.2. Otomasyon sistemi.....	13
3.1.2.1. Kompost sıcaklığı ölçüm düzeni	13
3.1.2.2. Anlık CO ₂ /O ₂ ölçüm düzeni.....	14
3.1.2.3. Hava verdisi ölçüm düzeni.....	14
3.1.2.4. Havalandırma sistemi ve stratejisi	14
3.1.3. Kompost materyali hazırlama ekipmanları.....	15
3.1.4. Kompostlamada kullanılan materyaller.....	16
3.2. Reçete Çalışması Sonuçları	18
3.2.1. Gül posasının kompostlaştırılması	19
3.2.1.1. Kompostlaştırılması süreci.....	19
3.2.1.2. Kompostlaştırma sürecinin değerlendirilmesi	21
3.2.2. İki fazlı pirininin kompostlanması	24
3.2.2.1. Kompostlaştırılması süreci.....	24

3.2.2.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi	25
3.2.3. Üç fazlı pirinanın kompostlanması	28
3.2.3.1. Kompostlaştırılması süreci	28
3.2.3.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi	30
3.2.4. Karasu tortusunun kompostlanması	33
3.2.4.1. Kompostlaştırılması süreci	33
3.2.4.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi	35
4. KOMPOST ÜRETİM ÇALIşMALARı	38
4.1. Pilot Ölçekli Statik Yığın Kompostlama Tesisi	38
4.2. Gül Posası Kompostu Üretimi	41
4.2.1. Sıcaklık değişimleri	41
4.2.2. Komposlaştırma sürecinde yapılan analizlerin değerlendirilmesi	42
5. KAYNAKLAR	45

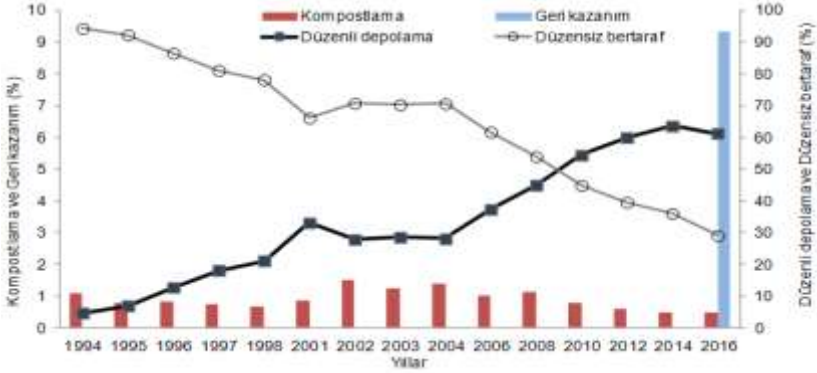
1. GİRİŞ

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye’de 2016 yılında 31.6 milyon ton belediye atığı toplandığı, bu atıkların %61.2’sinin düzenli olarak depolandığı, %29’unun düzensiz yöntemlerle bertaraf edildiği, %9.3’ünün geri kazanım tesislerinde değerlendirildiği ve sadece %0.5’inin kompost tesislerinde işlendiği görülmektedir. 1994-2016 yılları arasında belediye atıklarının bertarafında kullanılan yöntemlerin zamanla değişimi Şekil 1’de gösterilmiştir. Buna göre, atıkların bertarafında düzensiz bertaraf yöntemi oranı azalırken, düzenli depolama yönteminin arttığı, kompostlama yöntemi ile atık bertarafının ise %0.5-1.5 seviyelerinde kaldığı görülmektedir.

Avrupa Birliği direktifleri ve Atık Yönetimi Yönetmeliğine göre depolama alanlarına gidecek atık miktarlarının azalması gerekirken, tam aksine belediye atıklarının yaklaşık %90’ı düzenli/düzensiz depolama alanlarında bertaraf edilmiştir. Bu durum atık yönetiminin sağlıklı yapılmadığını ve Avrupa Birliği direktifleri ve ülkemiz mevzuatı bakımından uygun bir atık yönetimi stratejisinin oluşturulmadığını göstermektedir. Düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atıkların azaltılması için, atıkların kompostlaştırma, biyogaz üretimi veya enerji/madde geri kazanımı gibi yöntemlerle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durumda evsel içerikli organik atıkların kaynağında ayrıştırılarak, kirletici atık bileşenler ile karıştırılmadan kompostlaştırma işlemi ile değerlendirilmesi cazip bir yöntem olarak görünmektedir. Böylece, hem depolama alanlarına ihtiyaç azalacak hem de organik atıklar toprak iyileştirici maddeye dönüştürülerek yeşil alanları da kullanılabilir. Bu geçiş sürecinde ülkemizde de sürdürülebilir bir atık yönetimi için organik atıkların bertarafına ilişkin stratejilerin hazırlanması gerekmektedir.

Ülkemizde bitkisel ve hayvansal ürünlerin üretimi ve işlenmesi aşamalarında organik atıklar ortaya çıkmakta ve bu atıklar düzensiz şartlarda bertaraf edilmektedir. Bu atıklardan zeytin işleme atıkları ve gülyağı işleme atıklarının kompostlaştırılmasına yönelik çalışmaların artırılması

gerekmektedir. Önemli bir çevre problemi olan bu atıkların çevre ile uyumlu bir yapıya dönüştürülmesi ve tarımda önemli bir girdi olarak kullanılabilmesi gerekmektedir (Eskicioğlu, 2013).



Şekil 1.1. Belediye atıklarının bertaraf yöntemlerinin yıllara göre değişimi

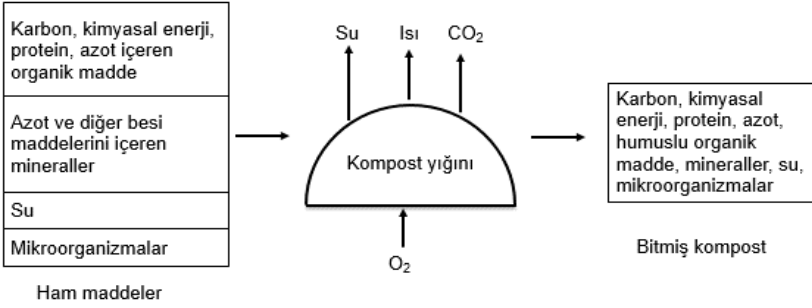
2. KOMPOSTLAŞTIRMA İŞLEMİ

2.1. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, organik maddelerin biyolojik olarak ayrışmasını kapsayan bir süreçtir (Epstein, 1997). Kompostlaştırma, uygun yöntem ve ekipmanlar kullanılarak katı atık içinde bulunan organik maddelerin kontrollü bir şekilde mikroorganizmalar tarafından çürütülerek, toprak için faydalı olan humus benzeri bir maddeye dönüştürülmesidir. Kompostlaştırma işleminde mikroorganizmalar oksijen kullanarak organik maddeleri tüketirken, proses boyunca ısı ve karbondioksit ve su buharı açığa çıkar (Şekil 2.1).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak işletilmekle birlikte, aerobik kompostlaştırma işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Aerobik kompostlaştırma madde ayrışmasını hızlandırır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir.

Aerobik kompostlaştırma aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimize eder.



Şekil 2.1. Kompostlaştırma prosesi (Rynk, 1992)

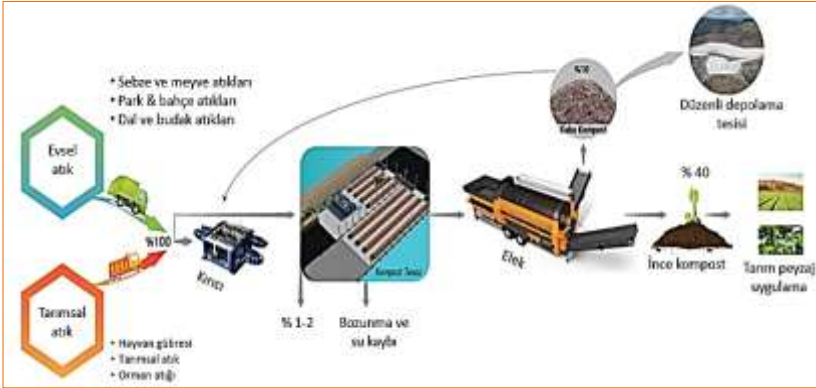
Katı ve sıvı atıklar içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşiklere, bilhassa CO₂ ve H₂O'ya dönüşür. Mikroorganizmaların metabolizma olayları neticesinde açığa çıkan ısı ile materyal 60-65°C'ye kadar ısınır. Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi 3 fazda gerçekleşmektedir:

1. Faz: Şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddelerin kuvvetli ısı çıkışıyla birlikte kısa sürede parçalanması,
2. Faz: Zor ayrışan bileşiklerin (hemiselüloz, yağ, lignin, reçine vs.) nispeten uzun süren parçalanması,
3. Faz: Mineralizasyon.

Kompostlaştırmanın genel hedefleri;

1. Ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek,
2. Katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve yabancı ot tohumlarını yok etmek,
3. Maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak,
4. Bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir (Tchobanoglous, 1993).

Kaynağında ayrı toplanmış biyoatıkların kompostlaştırılması organik madde geri kazanımı için ulusal stratejinin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Belediye atıklarının kompostlaştırılmasında kaynağında ayrı toplamanın yanı sıra atık seçimi gerekmektedir. Kompost prosesinde park ve bahçe atıkları ile sebze ve meyve atıkları öncelikli olarak tercih edilmeli, hayvan gübresi, tarım ve orman atıkları ile entegre olarak planlanmalıdır (Şekil 2.2). Proses olarak yüksek maliyetli tesisler yerine atık kabul ve ürün depolama alanı yağışlara karşı kapalı olan açık alanda kompostlaştırmanın tercih edilmesi ilk yatırım maliyeti açısından önemlidir (Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, 2016-2023).



Şekil 2.2. Kaynağında ayrı toplanmış biyoatık kompostlaştırma tesisi şeması

2.2. Kompostlaştırma İşlemini Etkileyen Faktörler

Kompostlaştırma işlemi üzerinde birçok faktörün etkili olduğu bilinmekle birlikte en fazla etkisi olan parametreler; sıcaklık, pH, C/N oranı, havalandırma ve karıştırma, su muhtevası ve partikül boyutu olarak sıralanabilir.

2.2.1. Sıcaklık

Sıcaklık, kompostlaştırmaya etki eden en önemli faktörlerden birisidir. Kompost ortamında sıcaklığın yükselmesi kompost matrisi içinde meydana gelen metabolik ısı üretiminin

ve üretilen ısı enerjisinin korunumunun bir fonksiyonudur. Sıcaklık, kompost ekosisteminin temel karakteristiğidir ve kompostlaştırma süresince yüksek ayrışmaya katkı sağlamaktadır (Miller, 1993).

Mikroorganizmalar organik maddelerle beslenirken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi mikroorganizmaların aktivitesinin yüksek olduğunun bir göstergesi olurken aynı zamanda çıkan ısı patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakteriler sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlaşan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerini yeni duruma adapte olan türler alır. Bu da genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. Buna karşın 55°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlaştırma verimi ve hızı önemli oranda düşer. Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasına sebep olur. Devam eden mikrobiyal aktivitenin ürettiği ısı, kompost maddesinin kendini çürütme özelliği yüzünden sıcaklık 70°C'nin üzerine yükselebilir. Bu sıcaklıkta birçok mikroorganizma tahrip olur veya canlılığını yitirir, işlem durur ve mikroorganizmaların popülasyonu eski durumuna gelene kadar başlamaz. Bu gibi durumların önüne geçmek için sıcaklık sürekli izlenmelidir. Genel kural olarak, patojenleri yok edilmesi için kompost materyalinin 3 gün süreyle 55°C'den büyük sıcaklıklarda kalması gerekir (Keener ve ark., 2000).

Yüksek sıcaklıklarda hastalığa sebep olan organizmalar yok olduğu için, kompostun yüksek sıcaklığa ulaşması halk sağlığı açısından önemlidir. Ancak yüksek sıcaklığı dikkate alarak kompostlaştırma verimini ölçmek yanıştır. Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75°C veya 85°C'ye yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı muhtemelen azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını artırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekir. Maksimum çözünme için sıcaklığın etkisini ortaya koymak için yapılan

çalışmalarda optimum sıcaklık 40°C ila 50°C arasında bulunmuştur.

2.2.2. Karbon Azot Oranı (C/N)

Mikroorganizmalar, karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve diğer eser elementlerden besin maddesi olarak faydalanırlar. Karbon, mikroorganizmaların enerji ihtiyacını karşılamada ve büyümeleri için kullanılırken, azot protein sentezi için kullanılır. Hücre içine dahil olan azot mikroorganizmalar öldüğünde tekrar mevcudiyeti devam ederken; karbonun büyük kısmı solunum esnasında CO₂ olarak ortamdaki uzaklaşır. Kalan kısmı da mikrobiyal büyüme için azotla birleşir. Genelde karbona göre daha az bulunan azot elementinin yeterli oranda bulunması, kompostlaştırmanın devamı için büyük önem taşır. Bu yüzden, bitkisel proteini baskın biçimde içeren evsel veya endüstriyel atık türleri kompost yapılabilme açısından çok elverişlidir.

Hızlı ayrışmanın olması için başlangıç karbon azot oranınının 20-35 olması önerilmektedir. Eğer C/N oranı 30'u gezerse, biyolojik aktivite yavaşlar ve prosesin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulur. Diğer taraftan, tam tersi bir durumda yani azot miktarı fazla ise, başka bir deyişle C/N oranı 25'in altındaysa, amonyak açığa çıkar bu da mikroorganizmalara zarar verir ve koku oluşmasına yol aar. Bu nedenlerle, eğer atıkların C/N oranı oldukça yüksekse atığa azotlu maddeler eklenerek bu oran düşürölür, yok eğer C/N oranı oldukça düşükse karbonlu atıklar ilave edilir.

2.2.3. pH

Her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Genel olarak bakterilerin optimum pH aralığınının, 6.0-8.0 arasında olduğu söylenebilir. Buna karşılık mantarlar asidik ortamı tercih ederler. Başlangıç değerine ne olursa olsun kompostlaşma süresi sonunda pH 7.8-8.0 arasında stabil hale gelir. Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değerine yaklaşık 5.0-6.0 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8.0-8.5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum

çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir.

2.2.4. Su muhtevası

Mikroorganizmaların metabolik işlemleri için neme ihtiyaçları vardır. Su kimyasal reaksiyonlar için uygun ortamı ve mikroorganizma hareketini sağlar ve besi maddelerini taşır. Nem muhtevası genelde kompostlama ilerledikçe düştüğünden, başlangıçtaki nem muhtevası %40'dan büyük olmalıdır. Birçok kompost karışımında çok kuru maddelerin nem muhtevasını %50-60'e getirmek amacıyla çok nemli maddelerle karıştırılır. Bazen yaprak gibi kuru maddeler ve su doğrudan eklenir. Kompost materyali gözeneğini dolduran su ve hava birbiri ile ters orantılıdır. Su miktarının fazla olması halinde, boşluklar su ile dolacağı için, ortamdaki hava ceryanı engellenmiş olur. Evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında su muhtevası %50-60 olarak önerilmektedir.

2.2.5. Havalandırma ve karıştırma

Başarılı bir kompostlaştırmanın ana unsurlarından birisi de kompost ortamındaki O₂ varlığıdır. Organik atıkların ayrıştırılması sürecinde aerobik mikroorganizmalar için O₂ gerekmektedir. Mikroorganizmalar büyümeleri ve gelişmeleri için gereksinim duydukları enerjiyi elde etmek için karbonu okside ederler. Bu işlem sonucunda, O₂'yi tüketip CO₂'yi üretirler. Kompost havasındaki oksijen konsantrasyonu, mikroorganizma tarafından kullanılan oksijen miktarı ve havalandırma sisteminin (pasif veya aktif havalandırma) sağladığı oksijen miktarının fonksiyonu olarak değişmektedir. Oksijenin mikroorganizma tarafından alımı fiziksel faktörlerden çok fazla etkilenmektedir (Haug, 1993). Kompostlamanın ilk günlerinde ham organik maddelerin kolay çözülebilir kısımları hızlı metabolize olur. Bu nedenle, oksijen veya hava ihtiyacı ve ısı üretimi en fazla ilk basamaklarda olur ve işlem ilerledikçe azalır.

Kompost yığınlarında, karıştırma işleminden çok kısa bir süre sonra yığının iç kısımlarında oksijen tükenmektedir. Bu

durumdaki yığınlar çevrildiği zaman kötü kokular açığa çıkar. Statik yığınlarda, fanlar kapatıldıktan sonraki 20 dakika içinde oksijen çok düşük seviyelere iner. Bundan dolayı havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırmada fanlar hem sıcaklık hem de zamana göre ayarlanır. Açıp kapama periyodu arasındaki aralık yaklaşık 15 dakika olarak önerilmiştir. Aerobik mikroorganizmalar %5 oksijene kadar hayatiyetlerini devam ettirebilirler. Ancak optimum oksijen konsantrasyonunun %10'dan daha büyük olması dikkate alınır. Bu değer %14-17 olarak önerilmiştir. Eğer oksijen veya hava kaynağı sınırlıysa kompostlama işlemi yavaş olarak gerçekleşir. Aerobik koşulları sağlamak için kompost ortamında oksijen konsantrasyonu en az %5 (Schulze, 1962) olmalıdır. Bu konsantrasyon değeri, mikroorganizmanın yaşamını riske etmeden devam ettirebileceği sınır değerdir.

2.2.6. Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. İlk aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, maya ve diğer mantarlar; yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Protozoa; bakteri ve mantarlarla beslenir. Sıcaklık 40-50°C'ye ulaştığında kompostlaştırmayı başlatan organizmaların hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70°C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Kompostun 60-70°C sıcaklığa ulaşan kısımda, bir kaç sporun dışında temel olarak bütün patojenik organizmalar bir kaç saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan kompostta, geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalır (Uğurlu, 1995).

Reaksiyona hakim olan organizmaların cinsi katı atık boyutuna, su muhtevasına, oksijen teminine, sıcaklık çıkışına ve indirgenme derecesine bağlıdır. Bakteriler çok değişik çevre şartlarında ve değişik sıcaklık ve nem durumlarında yaşayabilirler. Mantarlar 20-30°C arasında daha kuvvetle çoğalırlar. Maddeleri indirgeyip vitamin, pigment, antibiyotik ve benzeri bileşikler sentez edilebilir. Aktinomisetler de 30-40°C arasında daha iyi yaşarlar. Bunlar selüloz, yağ, fenol ve lignini indirgerler. Bakteri ve mantar yiyen protozoalar, 40°C üzerinde ölürler. Kompostlaşan materyal içinde sinekler, böcekler, küçük hayvancıklar ve benzerleri bulunabilir.

2.3. Kompostlaştırma Yöntemleri

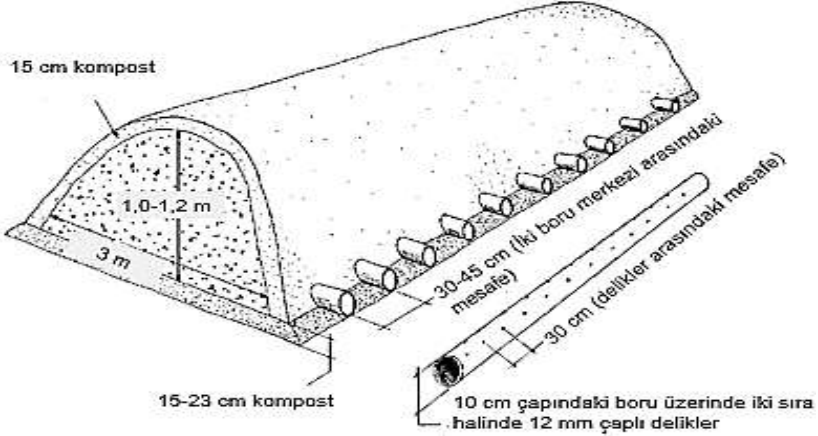
Açık kompostlaştırma (yığın) ve kapalı kompostlaştırma (silo, hücre) adı altında birçok yöntem geliştirilmiştir. Açık kompostlaştırma, doğal şartlara cereyan etmektedir. Kapalı kompostlaştırma işlemlerinin avantajları; yüksek kapasiteli olmaları, kısa sürede tam olgun kompost üretebilmeleri ve iklim şartlarına bağlı kalmaksızın sürekli ve kontrollü üretim yapabilmeleridir. Dezavantajları ise kuruluş maliyetleri ile bakım giderlerinin yüksek oluşu ve fazla enerji ihtiyacıdır. Yığın kompostlama yöntemlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Pasif kompostlama

Pasif yığınlarda kompostlaştırma genellikle küçük ve orta büyüklükte yerleşimler için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemde kompost materyali yığın haline getirilir karıştırma işlemine tabi tutulmadan stabil ürün oluncaya kadar beklenir. Doğal hava hareketinden yararlanmak için küçük yığınlar halinde tasarlanırlar. Kompost yığını içerden ısınırken, sıcak hava yükselerek yığından ayrılır, yanlardan ve tabandan da temiz ve soğuk havayı yığının içine çeker. Pasif yığınlarda kompostlama yöntemi Şekil 2.3'de ve yığınlardan görünüm de Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

Ağaç yaprakları, çeşitli kabuklar, hayvan altı altlıklar ve hızar talaşları gibi gözenekli organik maddelerin kompostlaması için pratiktir. Yığındaki gübre aerobik kompostlama için gereken

şartları her zaman karşılamaz. Gübrenin azot muhtevası yüksek ve karbon muhtevası düşüktür. Eğer altlık yoksa yığından çok az miktarda hava geçer. Bu şartlar altında anaerobik mikroorganizmalar ortama hakim olur ve düşük sıcaklık oluşumu yanı sıra, yavaş bozunma, hidrojen sülfürün ve diğer kokulu bileşikler oluşur. Havalandırma oranı düşük olduğundan pasif kompostlama yavaştır ve koku problemi fazladır.



Şekil 2.3. Pasif yığınarda kompostlama (Rynk, 1992)



Şekil 2.4. Pasif kompostlama yığınlarından görünüm

2.3.2. Aktarmalı yığında kompostlaştırma

Bu yöntemde hazırlanan kompost materyalinden uzun yığınlar oluşturulur. Bu yığınlar kompostlama süresince belli aralıklarla karıştırılarak su muhtevası, organik madde, pH, porozite, mikroorganizma, C/N oranı vb. parametreler bakımından homojen hale getirilmesi sağlanır. Bu yöntemde yığınlardaki materyal termofilik şartlara maruz kaldığından patojenlerin ölümü ve yabancı ot tohumlarının in-aktif hale gelmesi sağlanmış olur.

Aktarmalı yığında kompostlaştırma işleminde karıştırma ve çevirme işlemleri yükleyici iş makineleri ve özel çevirme ekipmanları ile yapılabilmektedir (Şekil 2.5). Çok amaçlı olarak kullanılan yükleyici iş makineleri ile yürütülen işlem genellikle küçük veya orta büyüklükteki işletmeler için uygundur. İlave bir ekipman ya da yatırım gerekmez. Yığınlar yükleyici iş makinesi ile çevrilirler. Kapasiteleri yıllık 100-10000 m³ arasında değişir. Birçok işletme özel çevirme ekipmanları kullanarak yığınları aktarmakta ve havalandırmaktadır. Küçük bir traktöre bağlı çevirici ile saatte 400 ton madde işlenebildiği gibi kendinden tahrikli daha büyük aktarma makineleri ile saatte 4000 tonun üzerinde madde işlenebilmektedir. Bu yöntem genellikle orta veya büyük işletmeler için uygundur.



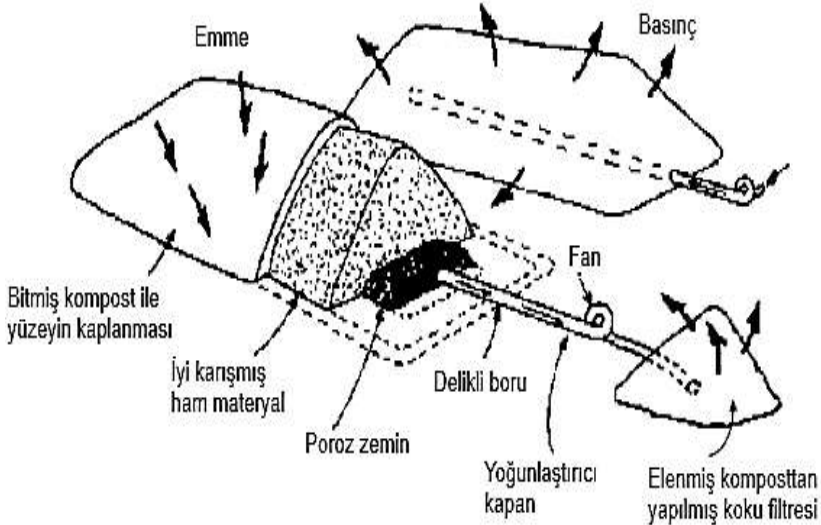
Şekil 2.5. Karıştırmalı yığınlarda kompostlamadan görünüm

2.3.3. Havalandırmalı yığında kompostlaştırma

Havalandırmalı statik yığınlar dışarıda açıkta yapılan ya da sundurma gibi bir yapıyla üzeri kapatılan kontrollü yığınlardır.

Pasif ve basınçlı havalandırma olmak üzere iki türlü statik yığın oluşturulabilir. Pasif havalandırmalı statik yığınlar, yığının içine gömülü bir ucu açık delikli borular vardır. Yığındaki sıcak gazlar yükselirken, tabandaki borulardan yığın içerisine taze hava girişi olur ve yığından yukarı doğru salınır. Basınçlı havalandırmada negatif (emme) ve pozitif (basınçlı) havalandırma olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Her iki sistemde de havalandırma hava üfleyici (blower) ile yığının tabanından sağlanır. Negatif basınçlı sistemler, genelde koku problemini önlemek için kullanılırlar. Koku kontrolü, emilen havanın biyofiltreye yönlendirilmesi ile sağlanır. Basınçlı havalandırma sistemleri genelde kompost sürecinin doğrudan kontrolünü sağlar ve daha büyük yığınların oluşturulması sağlar.

Havalandırmalı statik yığının ilk yüksekliği 1.5-2.5 metredir. Yığının üstüne serilecek kompost veya bir boşluk artırıcı madde tabakası yığın sıcaklığının korunması sağlarken aynı zamanda amonyak ve diğer koku yapıcı maddelerin filtrelenmesini sağlar. Havalandırmalı statik yığın kompostlaması şematik olarak Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Havalandırmalı statik yığın kompostlaması (Rynk, 1992)

3. KOMPOST REÇETESİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI

3.1. Materyal ve Yöntem

3.1.1. Kompostlama reaktörleri

Reçete çalışmaları kapsamında yapılan reaktör kompostlama sistemi 15 adet ve efektif hacmi 100 lt olan paslanmaz çelikten silindirik formda yapılmıştır. Reaktörlerin iç çapı 47.3 cm ve yüksekliği 57.0 cm'dir. Reaktörlerde giriş havasının kompost materyalinde düzgün olarak dağılımını sağlamak için, reaktör taban boşluğu (plenum) oluşturulmuştur. Taban boşluğu, reaktör tabanından 13 cm yükseklikte, üzerine kompost yığınının yerleştirileceği 4 mm delikli sac malzeme ile yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kompost reaktörü

3.1.2. Otomasyon sistemi

3.1.2.1. Kompost sıcaklığı ölçüm düzeni

Kompost sıcaklığının ölçülmesi K tipi ısı çifti ile gerçekleştirilmektedir. Her bir reaktör üzerinde 3 adet ısı çifti olmak üzere sistemde toplam 45 adet ısı çifti bulunmaktadır. Isıl çiftler reaktör tabanından 10.5 cm, 27.5 ve 44.1 cm yüksekliklerde özel aparatlar aracılığı ile reaktörlere

bağlanmıştır. Isıl çiftler reaktör dikey merkezinde ölçüm yapabilmek için 35 cm uzunluğunda ve 3 mm çapında özel olarak yaptırılmıştır. Ölçülen sıcaklıklar kompostlama işleminin takibinde ve kontrolü amaçlı olarak PLC'de TC modülüne bağlanmıştır. Kompost sıcaklığı ölçümü bir dakikalık aralıklarla yapılmıştır.

3.1.2.2. Anlık CO₂/O₂ ölçüm düzeni

Bu sistemde, anlık CO₂/O₂ konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak ölçümü için otomatik gaz örnekleme sistemi tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Anlık CO₂/O₂ konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak ölçümü için Qantek 902 P model O₂ ölçüm cihazı ve Draeger PIR 7000 CO₂ kullanılmıştır. Gaz örnekleme sistemi, 15 adet reaktörden sırasıyla belirli aralıklarla ve belirli bir süre ile gazların bir vakum pompası ile çekilmesi, valf sistemi ile yönlendirilmesi, CO₂/O₂ analizörü ile analiz edilmesi ve analiz edilen gazların dışarı atılması prensibi ile çalışmaktadır. Gaz örnekleme işlemi reaktör üst çıkış noktasından 6 mm'lik şeffaf borular ile gerçekleştirilmiştir. Örnekleme işlemi için reaktörlerde havalandırma fanları belirli bir süre için (örneğin 2 dakikalık duraksama) durdurulmuştur.

3.1.2.3. Hava verdisi ölçüm düzeni

Reaktörlere havanın verilmesi 0.25 W'lık 150 m³/h kapasiteli özel yapım körük fanlar ile sağlanmıştır. Körük fanlar reaktörlere 50 mm'lik PVC borularla bağlanmıştır. Her bir fan yerden 50 cm yükseklikte PVC'den yapılmış özel sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Hava debisinin ölçülebilmesi için PVC boruya özel bir aparatlarla (delrin malzemesi) kızgın tel anemometresi (Siemens QVM62.1) bağlanmıştır. Kızgın tel anemometresinden alınan hız değerleri PLC'de ADC modülüne (0-5 volt) gönderilmektedir.

3.1.2.4. Havalandırma sistemi ve stratejisi

Kompostlaştırma prosesinin kontrolü, Rutgers havalandırma stratejisine dayalı olup havalandırma fanlarının

sıcaklık geri beslemeli kontrolü ile gerçekleştirilmektedir. Rutgers havalandırma stratejisinin amacı sıcaklık kontrolü ile maksimum mikroorganizma aktivitesinin sağlanmasıdır. Sistemde sıcaklık kontrol edilen değişken, hava debisi ise ayarlanan değişkendir. Isıl çiftten alınan sinyal, kompost sıcaklığının belirlenen sıcaklıktan daha az olduğunu bildirir ise havalandırma fanı oksijen ihtiyacının karşılanması için minimum havalandırma debisi ile önceden belirlenmiş açık-kapalı modda (on-off) çalıştırılır. Fakat kompost sıcaklığı TSP'den yüksek ise kontrol ünitesi kompost sıcaklığını belirlenen sıcaklıktan daha aşağı bir noktaya getirmek (soğutarak) için fanı daha yüksek debilerde çalıştıracaktır. Kompost sıcaklık kontrolünün belirli bir sıcaklık bandında (tolerans) gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Havalandırma kontrol stratejisinin uygulanması PLC ve kompost prosesi kontrol yazılımı kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

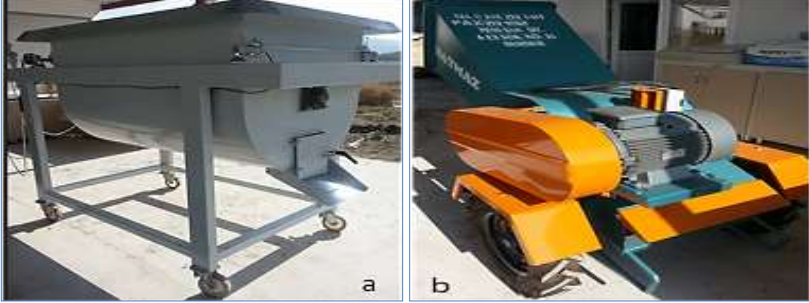
Reaktör fanlarının kontrolünde ayrıca debi kontrolü de yapılmaktadır. Fanların debi kontrolü, hava hızı geri beslemeli sistem ile belirlenir. Bu sistemde, havalandırma debisi anemometrenin takıldığı boru kesit alanının anemometreden ölçülen hızın çarpımı ile elde edilmektedir. Havalandırma fanına bağlı hız sürücüler bulunmaktadır. Sistemde set edilen hava debisine bakılarak fanların çalışma frekansları hız sürücüler vasıtasıyla azaltılır veya artırılır.

Kompostlama işleminin kontrolü otomatik veya manuel olarak gerçekleştirilebilmektedir. Manuel modun hazırlanma amacı sistemde yaşanacak sıkıntılarda denemeleri aksatmadan parametrelerin takip edilmesi ve kontrolün gerçekleştirilebilmesidir.

3.1.3. Kompost materyali hazırlama ekipmanları

Kompostlama ana materyallerinin kompostlama işlemine hazırlanması için karıştırıcı ve parçalayıcı kullanılmaktadır. Karıştırıcı, 7.5 BG gücünde 3 fazlı elektrik motoru tahrikli ve 1 m³ karıştırma kapasiteli olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.2a). Karıştırıcı yüklenen kompost ana materyallerinin ağırlıklarının tartılabilmesi için yükleme hücreli (load cell) olarak

tasarlanmıştır. Karıştırıcı yaklaşık olarak 35 devir/dakika dönü hızına sahiptir. Karıştırıcı alt-ön noktadan boşaltma yapabilmektedir. Kompost ana materyallerinin büyüklüklerinin belirli çap ve uzunluktan büyük olması durumunda ana materyallerin küçültülmesi gerekmektedir. Parçalayıcı dönüş hızı 2800 devir/dak.'dır (Şekil 3.2b).



Şekil 3.2. Kompost materyali hazırlama ekipmanları (a: karıştırıcı, b: parçalayıcı)

3.1.4. Kompostlamada kullanılan materyaller

Proje kapsamında, ana materyal olarak gül posası, zeytinyağı işleme, 2 fazlı sistem pirnası, 3 fazlı sistem pirnası, karasu ve karasu tortusu kullanılmıştır. Kompostlama işleminde optimum karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla, C/N oranları esas alınarak dört etapta çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Her bir etapta 5 farklı C/N oranında (20, 25, 30, 35, 40) 3 tekerrürlü olarak karışımlar hazırlanmıştır. Toplam 15 reaktörde denemeler eş zamanlı olarak yürütülerek iklimsel faktörlerden kaynaklanabilecek deney hatalarının önüne geçilmiştir.

Denemelerde kullanılan kompost ana materyalleri (tavuk gübresi hariç) organik üretim sertifikasına sahip işletmelerden temin edilmiştir. Gül posası organik sertifikalı üretim yapan Afyon ili S.S. Basmakçı 1 no.lu Tarımsal Kalkınma Kooperatifi'ne ait Gül Yağı İşleme Tesisinden, büyük baş hayvan gübresi, Aydın-Arif Gürdal Süt İnekçiliği İşletmesinden, 2 fazlı ve 3 fazlı sistem pirnası, karasu tortusu ve karasu, Zeytincilik Araştırma İstasyonu tarafından TARIŞ Zeytin ve

Zeytinyağı Tarım Satış Kooperatifleri Birliği'nden, karbon kaynağı ve boşluk yapıcı malzeme olan organik buğday samanı organik sertifikalı üretim yapan Yaşam Tarım Firmasından temin edilmiştir.

Tavuk gübresi konvansiyonel bir işletme olan ve 10.000 kapasiteye sahip Isparta Merkez Güreli Tavuk İşletmesinden temin edilmiştir. Tavuk gübresinde Zn, Cu, Cr, Pb, Ni ve Cd analizleri yapılmış olup, elde edilen değerler "Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmeliğin" (18.08.2010 tarih 27676 sayılı Resmî Gazete) ekinde yer alan kompost edilmiş veya fermente evsel atıklar için verilen sınır değerleri sağlamıştır.

Denemelerdeki kullanılan kompost materyalleri Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Sepere siğir gübresi



Gül yağı işleme atığı (gül posası)



Tavuk gübresi



Buğday samanı



2 fazlı sistem pirinası



2 ve 3 faz sistem pirinası, karasu ve karasu tortusu

Şekil 3.3. Denemelerdeki kullanılan kompost materyalleri

3.2. Reçete Çalışması Sonuçları

Kompostlamada kullanılan ana materyalleri kompostlaştırma parametreleri bakımından daha uygun hale getirebilmek için bölgede bulunabilecek diğer atıklar ile karışımları sağlanmıştır. Bu amaçla ana materyalin C/N oranı, su muhtevası, pH, FAS oranı, mikroorganizma vb. bakımdan kompost oluşum şartlarını optimize etmek için ana materyale büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi ve saman eklenmiştir. Reçete belirleme çalışmalarında kompost materyalleri farklı C/N oranlarında hazırlanmış, kompost reaktörlerinde denemeler gerçekleştirilmiş ve en uygun karışım oranları belirlenmiştir.

Kompost reçetelerinin belirlenmesinde temel parametre olarak C/N oranları, ikinci parametre olarak da FAS oranları dikkate alınmıştır. Reçetenin oluşturulmasında kullanılan hammaddelerin karışım içerisindeki oranları kuru madde bazında belirlenmiştir. Böylece reçete sonuçlarını kullanacak uygulayıcılar için benzer karışımı oluşturabilmeleri hedeflenmiştir.

Hammaddelerin içerikleri bazen temin edilen işletme ve işletmede uygulanan proseslere göre değişebilmektedir. Bu durum, sadece kuru bazda karışım oranları dikkate alınarak oluşturulan yığınların C/N oranlarının reçetede belirtilen değerden farklı olmasına neden olabilir. Bu durumda reçete değerlerini kullanıp aynı karışımı oluşturacak kullanıcıların temin ettikleri hammaddelerin analiz sonuçlarına göre kuru bazda karışım oranlarında küçük düzeltmeler yaparak, reçetede belirtilen C/N oranını sağlaması gerekmektedir.

Kompostlaştırma çalışmalarında kullanılan hammadde türü aynı olsa bile bölgeden bölgeye ya da aynı bölge içinde kaynakların farklı olması kompost karışımının özelliklerin farklı olmasına sebebiyet verebilecektir. Bu amaçla bu çalışmada elde edilen reçetelerin kullanılması başlangıç çalışmaları için yeterli olmakla birlikte, her atık üreticisinin kendi işletmesine yönelik daha spesifik çalışma yapılması önerilmektedir.

Reçete deneme çalışmaları 15 adet reaktörden oluşan kompostlama sisteminde 4 etap halinde yürütülmüştür. Bu denemeler aşağıda sıralanmıştır.

- i) GP kompostlaması: Gül posasının (GP) saman, büyükbaş hayvan ve tavuk gübresi ile kompostlanması,
- ii) 2FP kompostlaması: 2 faz pirininin (2FP) saman, büyükbaş hayvan ve tavuk gübresi ile kompostlanması,
- iii) 3FP kompostlaması: 3 faz pirininin (3FP) karasu, saman, büyükbaş hayvan ve tavuk gübresi ile kompostlanması,
- iv) KT kompostlaması: Karasu tortusunun (KT) saman, büyükbaş hayvan ve tavuk gübresi ile kompostlanması.

3.2.1. Gül posasının kompostlaştırılması

3.2.1.1. Kompostlaştırılması süreci

Gül posasının (GP) hayvan gübresi, tavuk gübresi ve saman ile kompostlanmasında reçete denemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Kompost Laboratuvarında, laboratuvar ölçekli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde gül posasının kompostlaştırılmasında kullanılan kompost materyallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, kompostlaştırma işlemi için akım şeması oluşturulmuş ve deneme sonuçları ortaya konmuştur. Gül posasının kompostlama süreci grafiksel özet olarak Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Denemede ortam sıcaklığı genelde 20-25°C arasında, ortam nemi ise %25-37 arasında değişmiştir.

Gül posasının kompostlanmasında kullanılan gül posası, büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi ve samanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çalışmalar 5 farklı C/N oranında (20-40 arası) ve 3 tekerrürlü olarak 15 reaktörde gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında 2 kez karıştırma yapılmış ve proses 15 gün boyunca izlenmiştir.



Şekil 3.4. GP'nın kompostlanmasının grafiksel özeti

Çizelge 3.1. GP'nın kompostlanmasındaki hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Gül posası	Büyükbaş hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman
Nem (%)	81.68	71.55	75.83	7.52
OM (%)	68.45	89.81	89.84	94.51
EC (dS m ⁻¹)	0.73	2.24	13.57	0.87
pH	7.37	8.95	8.33	6.25
Toplam C (%)	46.79	43.47	33.00	42.09
Toplam N (%)	2.66	1.22	3.71	0.48
C/N	17.59	35.63	8.89	87.69
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	2124	146	2270	496
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	264	1037	894	883
P (%)	0.25	0.15	3.39	0.06
Pb (mg kg ⁻¹)	0.16	0.20	0.22	0.17
Cd (mg kg ⁻¹)	0.02	0.02	0.03	0.03
Cr (mg kg ⁻¹)	1.08	2.35	1.16	1.85
Cu (mg kg ⁻¹)	1.12	8.07	9.19	5.51
Ni (mg kg ⁻¹)	1.24	1.36	3.26	2.22
Zn (mg kg ⁻¹)	Eser miktarda	Eser miktarda	33.75	12.08

3.2.1.2. Komposlaştırma s¼recinin değerlendirilmesi

Komposlaştırma s¼resince havalandırma fanları normal ve s¼rekli olmak üzere iki farklı modda çalıştırılmıştır. Fanlar, kompost reakt¼rlerindeki sıcaklık 60°C'nin altında iken; 0.4-0.6 m³/h debide 5 dakika açık, 25 dakika kapalı olacak şekilde açık/kapalı modda ve 60°C ve ¼zeri sıcaklıklarda ise; bu sıcaklık değerinin altına d¼ř¼nceye kadar 1.6-2.5 m³/h debide ve s¼rekli olarak çalıştırılmıştır.

Denemeler s¼resince mikrobiyel aktivitenin ve ayrışmanın bir g¼stergesi olan O₂ kullanımı kompostlaşma esnasında reakt¼rlerin çıkış noktasından ¼l¼lm¼ř ve karışımın O₂ konsantrasyonu %5'in ¼zerinde seyretmiştir. T¼m karışımlar için CO₂ konsantrasyonları %5-10 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.2. GP kompostu karışımlarının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal ¼zellikleri

Parametreler	Başlangıç	Bitiş
Nem (%)	72.76	80.81
OM (%)	87.75	73.46
EC (dS m ⁻¹)	4.07	3.32
pH	8.04	8.27
Toplam C (%)	42.63	31.86
Toplam N (%)	1.76	3.79
C/N	24.22	8.41
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	433	197
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	491	1958
P (%)	0.40	0.41
Pb (mg kg ⁻¹)	0.29	0.30
Cd (mg kg ⁻¹)	0.03	0.03
Cr (mg kg ⁻¹)	2.07	5.72
Cu (mg kg ⁻¹)	6.96	10.28
Ni (mg kg ⁻¹)	2.16	6.03
Zn (mg kg ⁻¹)	10.14	20.85

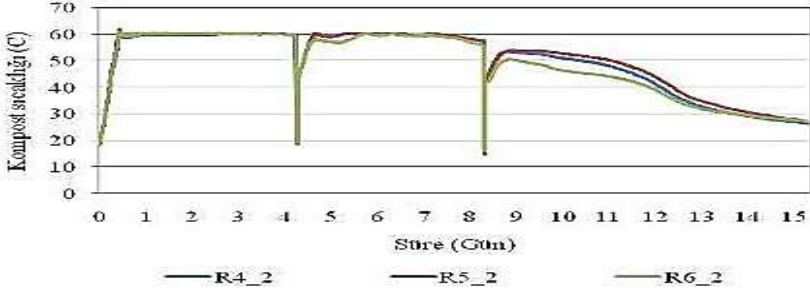
Komposlaştırma s¼reci boyunca her bir reakt¼rde ¼ farklı seviyede sıcaklık ¼l¼lm¼řt¼r (şekil 3.5). Kompost sıcaklığının 60°C'nin ¼zerine çıkması için otomasyon sistemi ile kontrol

edilmiştir. Bir hafta boyunca sıcaklıkların kontrol noktası olan 60°C'de devam ettiği, 2. karıştırmadan sonra ise sıcaklıkların düşmeye başladığı görülmüştür. Paralel reaktörlerin sıcaklık gelişimleri benzer eğilim göstermiştir.

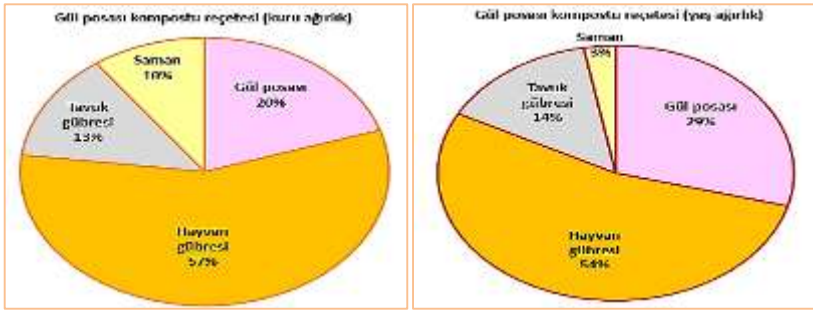
Gül posasının kompostlanmasında optimum kompost karışımının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kompostlamada kullanılan hammaddelerin nem içerikleri yüksek olduğundan su eklemesi yapılmamıştır. Kompost karışımının başlangıç nem oranı (yaş bazda) %72.76 iken, bitiş nem oranı %80.81 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç organik madde içeriği, karışımların bileşimine göre farklılık göstermiştir. Tüm karışımların organik maddeleri, biyolojik parçalanma sırasında azalmıştır. Karışımın pH değeri, proses başlangıcında 8.04 iken, bitmiş kompostta 8.27 olarak ölçülmüştür. Karışımın EC değeri, proses başlangıcında 4.07 dS m⁻¹ aralığında iken, bitmiş kompostta 3.32 dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür. Karışımın başlangıç C/N oranı 24.22 iken, 15 günlük kompostlama sonucunda 8.41 seviyesine düşmüştür. C/N oranlarının değişimi organik maddedeki değişimlerle paralel olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda gül posası kompostu için reçete elde edilmiştir. 1 ton katı madde baz alınarak yapılan hesaplamalarda karışımı oluşturan her bir materyalin yaş ve kuru bazda miktarları ve karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 3.3, Şekil 3.6).

2 fazlı pirininin (2FP) büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi ve saman ile kompostlanmasında reçete denemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Kompost Laboratuvarında, laboratuvar ölçekli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde 2FP'nin kompostlaştırılmasında kullanılan kompost materyallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, kompostlaştırma işlemi için akım şeması oluşturulmuş ve deneme sonuçları ortaya konmuştur. 2FP'nin kompostlama süreci grafiksel özet olarak Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Denemede ortam sıcaklığı genelde 20-25°C arasında, ortam nemi ise %25-37 arasında değişmiştir.



Şekil 3.5. GP'nın kompostlanmasında sıcaklığın zamanla değişimi



Şekil 3.6. GP kompostunda kullanılan materyallerin kuru ve yaş bazda karışım oranları



Şekil 3.7. 2FP'nın kompostlanmasının grafiksel özeti

Çizelge 3.3. Gül posası kompostu için belirlenen kompost reçetesi (1 ton KM)

Gül posası kompostlaması	Gül posası	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman	Karışım**
C/N oranı	17.59	35.63	8.89	87.69	24.22
Su Muh. (%)	81.68	71.55	75.83	7.52	73.27
Karışım miktarları (kg kuru madde)	200	570	130	100	1.000
Karışım miktarları (kg yaş madde)*	1091.7	2003.5	537.9	108.1	3.741
Karışım oranları (% kuru madde)	20	57	13	10	100
Karışım miktarları (% yaş madde)	29.2	53.6	14.4	2.9	100

*Ham Atık Miktarı = Kuru Madde Miktarı (KM) / (1-SM), **FAS oranı %32

3.2.2. İki fazlı pirinanın kompostlanması

3.2.2.1. Kompostlaştırılması süreci

Çizelge 3.4. 2FP'nın kompostlanmasındaki hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	2 faz pirina	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman
Nem (%)	59.91	69.22	73.81	3.12
OM (%)	94.73	90.25	78.77	93.09
EC (dS m ⁻¹)	3.5	2.16	13.57	0.98
pH	5.68	8.79	7.73	6.11
Toplam C (%)	51.00	43.10	35.41	42.50
Toplam N (%)	1.21	1.18	5.87	0.34
C/N	42.15	36.53	6.03	125.00
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	322	1368	2942	343
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	207	815	575	759
P (%)	0.13	0.19	0.90	0.03
Pb (mg kg ⁻¹)	0.06	0.04	0.09	0.10
Cd (mg kg ⁻¹)	0.00	0.01	0.01	0.00
Cr (mg kg ⁻¹)	0.51	0.77	0.43	0.46
Cu (mg kg ⁻¹)	0.34	0.94	1.00	0.18
Ni (mg kg ⁻¹)	0.48	0.86	0.52	0.26
Zn (mg kg ⁻¹)	0.76	3.14	4.94	0.32

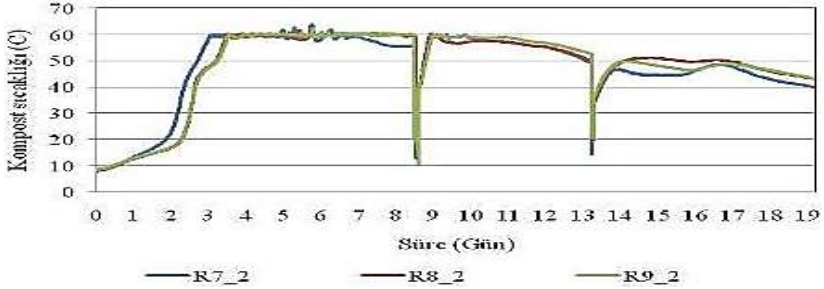
2FP'nın kompostlaştırılmasında kullanılan 2FP, büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi ve samanın kompostlamasının grafiksel şeması Şekil 3.7'de fiziksel ve kimyasal özellikleri ile Çizelge 3.4'de verilmiştir. Çalışmalar 5 farklı C/N oranında (20-40 arası) ve 3 tekerrürlü olarak 15 reaktörde gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında 2 kez karıştırma yapılmış ve proses yaklaşık 20 gün boyunca izlenmiştir.

3.2.2.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi

Komposlaştırma süresince havalandırma fanları normal ve sürekli olmak üzere iki farklı modda çalıştırılmıştır. Fanlar, kompost reaktörlerindeki sıcaklık 60°C'nin altında iken; 0.4-1.0 m³/h debide 5 dakika açık 25 dakika kapalı olacak şekilde açık/kapalı modda ve 60°C ve üzeri sıcaklıklarda ise; bu sıcaklık değerinin altına düşüncüye kadar 1.6-4.0 m³/h debide ve sürekli olarak çalıştırılmıştır.

Denemeler süresince mikrobiyel aktivitenin ve ayrışmanın bir göstergesi olan O₂ kullanımı kompostlaşma esnasında reaktörlerin çıkış noktasından ölçülmüştür. Karışımlardaki O₂ konsantrasyonunun %5'in altına düştüğü gözlenmesine rağmen, havalandırma debilerinin yükseltilmesi ile O₂ konsantrasyonu değeri daha yüksek değerlere çekilmiştir. Denemenin daha sonraki aşamalarında O₂ konsantrasyonları %5'in üzerinde ölçülmüştür. Karışımlarda CO₂ konsantrasyonları %10'a kadar çıkmıştır. CO₂ konsantrasyonları pik değerlere ulaştıktan sonra kademeli olarak düşmeye başlamış ve deneme sonunda %1'in altına inmiştir.

Komposlaştırma süreci boyunca her bir reaktörde üç farklı seviyede sıcaklık ölçülmüştür (Şekil 3.8). Kompost sıcaklığının 60°C'nin üzerine çıkmaması için otomasyon sistemi ile kontrol edilmiştir. Sıcaklıklar kontrol noktası olan 60°C'ye ulaştıktan sonra yaklaşık 10. güne kadar bu seviyelerde devam ettiği, daha sonra ise sıcaklıkların düşmeye başladığı görülmüştür. Paralel reaktörlerin sıcaklık gelişimleri benzer eğilim göstermiştir.



Şekil 3.8. 2FP'nin kompostlanmasında sıcaklığın zamanla değişimi

Çizelge 3.5. 2FP kompostu karışımlarının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Başlangıç	Bitiş
Nem (%)	65.14	67.21
OM (%)	91.63	86.63
EC (dS m ⁻¹)	4.22	3.27
pH	6.29	8.75
Toplam C (%)	47.11	42.14
Toplam N (%)	1.56	2.13
C/N	30.20	19.78
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	661	339
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	273	4904
P (%)	0.23	0.20
Pb (mg kg ⁻¹)	0.06	0.06
Cd (mg kg ⁻¹)	0.00	0.00
Cr (mg kg ⁻¹)	0.66	1.43
Cu (mg kg ⁻¹)	0.48	0.65
Ni (mg kg ⁻¹)	0.61	1.11
Zn (mg kg ⁻¹)	1.63	2.14

2FP'nin kompostlanmasında optimum kompost karışımının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5'da verilmiştir. Kompostlamada kullanılan hammaddelerin nem içerikleri optimum değerlerin (Rynk, 1992) biraz üstünde olduğundan su eklemesi yapılmamıştır. Kompost karışımının başlangıç nem oranı (yaş bazda) %65.14 iken, bitiş

nem oranı %67.21 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç organik madde içeriği, karışımların bileşimine göre farklılık göstermiştir. Tüm karışımların organik maddeleri, biyolojik parçalanma sırasında azalmıştır. Optimum karışımın pH değeri, proses başlangıcında 6.29 iken, bitmiş kompostta 8.75 ve EC değeri ise, proses başlangıcında 4.22 dS m⁻¹ iken, bitmiş kompostta 3.27 dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür. Karışımın başlangıç C/N oranı 30.20 iken, kompostlama sonucunda 19.78 seviyesine düşmüştür. C/N oranlarının değişimi organik maddedeki değişimlerle paralel olarak gerçekleşmiştir.

Çalışmalarda başarılı kompostlaştırma işlemi sağlayan kompost karışımının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında geliştirilecek reçetenin işletmeler tarafından teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği önem taşımaktadır. 2FP ile yapılan denemelerde kullanılan hammaddelerden pirina dışındakilerin temini için ödenecek ekonomik bedel pirinadan çok daha yüksektir.

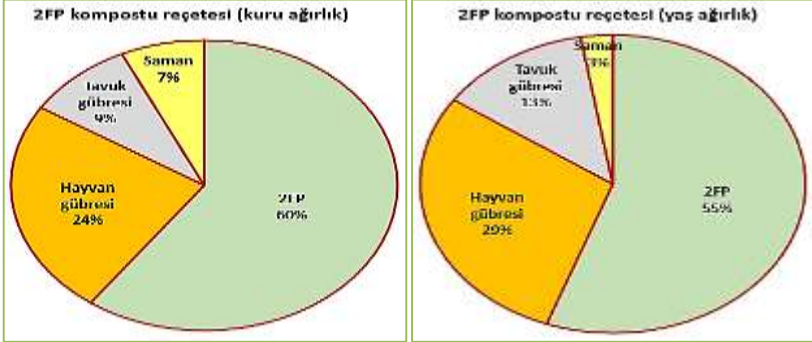
Çizelge 3.6. 2FP kompostu için belirlenen kompost reçetesi (1 ton KM)

2FP kompostlaması	2FP	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman	Karışım**
C/N oranı	42.15	36.53	6.03	125	30.20
Su Muh. (%)	59.91	69.22	73.81	3.12	62.86
Karışım miktarları (kg kuru madde)	600	240	90	70	1000
Karışım miktarları (kg yaş madde)*	1496.6	779.7	343.6	72.3	2692
Karışım oranları (% kuru madde)	60	24	9	7	100
Karışım miktarları (% yaş madde)	55.6	29.0	12.8	2.7	100

*Ham Atık Miktarı=Kuru Madde Miktarı (KM) / (1-SM), **FAS oranı %34

Ayrıca pirina çevre açısından olumsuz etkileri yüksek ve işletmelerin bertarafı için çözüm aradıkları bir atıktır. Bu nedenle kullanılacak reçetede pirina oranının yüksek olması tercih edilmiştir. Seçilen karışımın pirina oranı %60 seviyesindedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 2FP kompostu için reçete elde edilmiştir. 1 ton katı madde baz alınarak yapılan hesaplamalarda karışımı oluşturan her bir materyalin yaş ve kuru bazda miktarları ve karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 3.6, Şekil 3.9).

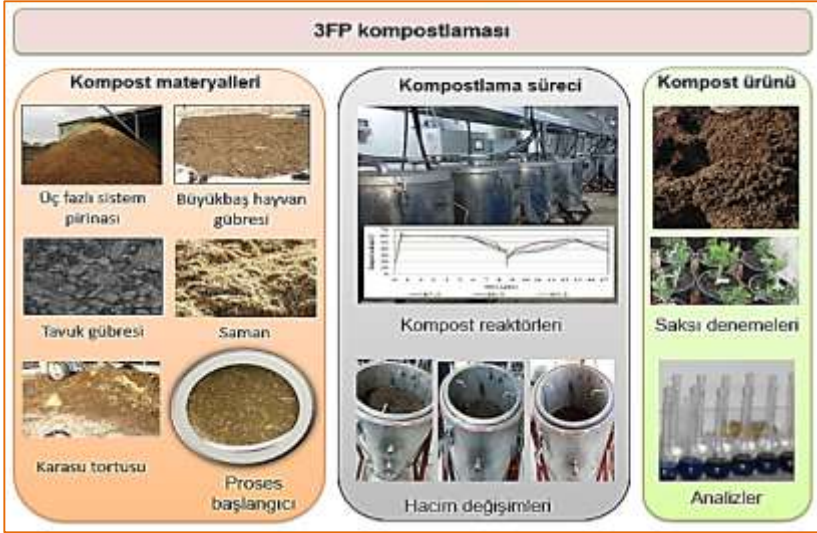


Şekil 3.9. 2FP kompostunda kullanılan materyallerin kuru ve yaş bazda karışım oranları

3.2.3. Üç fazlı pirinanın kompostlanması

3.2.3.1. Kompostlaştırılması süreci

3 fazlı pirinanın (3FP) büyükbaş hayvan, tavuk gübresi, saman ve karasu ile kompostlanmasında reçete denemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Kompost Laboratuvarında, laboratuvar ölçekli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde 2FP'nin kompostlaştırılmasında kullanılan kompost materyallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, kompostlaştırma işlemi için akım şeması oluşturulmuş ve deneme sonuçları ortaya konmuştur. 3FP'nin kompostlama süreci grafiksel özet olarak Şekil 3.10'de gösterilmiştir. Denemede ortam sıcaklığı genelde 20-25°C arasında, ortam nemi ise %25-37 arasında değişmiştir (Çizelge 3.7).



Şekil 3.10. 3FP'nın kompostlanmasının grafiksel özeti

Çizelge 3.7. 3FP'nın kompostlanmasında hammaddelerin kimyasal özellikleri

Parametreler	3 faz pirina	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman	Karasu
Nem (%)	11.68	73.11	71.84	5.49	97.52
OM (%)	91.22	90.29	67.70	91.66	64.52
EC (dS m ⁻¹)	2.66	2.54	13.57	1.09	7.51
pH	6.41	8.98	7.13	5.96	4.02
Toplam C (%)	47.59	46.11	37.83	45.62	33.63*
Toplam N (%)	1.48	1.41	5.08	0.26	0.01
C/N	32.16	32.70	7.45	175.46	3363
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	84	242	1585	446	444
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	438	497	43	895	1866
P (%)	0.08	0.15	1.03	0.04	0.10
Pb (mg kg ⁻¹)	0.18	0.21	0.23	0.17	0.14
Cd (mg kg ⁻¹)	0.02	0.03	0.02	0.01	0.09
Cr (mg kg ⁻¹)	0.82	0.51	0.25	0.30	0.61
Cu (mg kg ⁻¹)	0.55	1.02	0.79	0.18	4.25
Ni (mg kg ⁻¹)	0.34	0.53	0.40	0.16	2.25
Zn (mg kg ⁻¹)	0.76	3.06	4.57	0.60	Eseri

3FP'nın kompostlaştırılmasında kullanılan 3FP, büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi, samanın ve karasuyun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. Çalışmalar 5 farklı C/N oranında (20-40 arası) ve 3 tekerrürlü olarak 15 reaktörde gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında 2 kez karıştırma yapılmış ve proses yaklaşık 17 gün boyunca izlenmiştir.

3.2.3.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi

Komposlaştırma süresince havalandırma fanları normal ve sürekli olmak üzere iki farklı modda çalıştırılmıştır. Fanlar, kompost reaktörlerindeki sıcaklık 60°C'nin altında iken; 0.4-1.0 m³/h debide 5 dakika açık 25 dakika kapalı olacak şekilde açık/kapalı modda ve 60°C ve üzeri sıcaklıklarda ise; bu sıcaklık değerinin altına düşünceye kadar 1.6-4.0 m³/h debide ve sürekli olarak çalıştırılmıştır.

Denemeler süresince mikrobiyel aktivitenin ve ayrışmanın bir göstergesi olan O₂ kullanımı kompostlaşma esnasında reaktörlerin çıkış noktasından ölçülmüştür. Karışımlardaki O₂ konsantrasyonu başlangıç aşamalarında %5'in altına düştüğü gözlenmesine rağmen, havalandırma debilerinin yükseltilmesi ile O₂ konsantrasyonu değeri daha yüksek değerlere çekilmiş ve denemenin daha sonraki aşamalarında O₂ konsantrasyonları %10'un üzerinde ölçülmüştür. Karışımlarda CO₂ konsantrasyonları %4-10 arasında değişmiştir. CO₂ konsantrasyonları pik değerlere ulaştıktan sonra kademeli olarak düşmeye başlamış ve deneme sonunda %1'in altına inmiştir.

Komposlaştırma süreci boyunca her bir reaktörde üç farklı seviyede sıcaklık ölçülmüştür (Şekil 3.11). Kompost sıcaklığının 60°C'nin üzerine çıkması 0.5 gün sürmüştür. Sıcaklıkların 60°C'nin üzerine çıkmaması için otomasyon sistemi ile kontrol edilmiştir. Sıcaklıklar kontrol noktası olan 60°C'ye ulaştıktan sonra yaklaşık 5 gün boyunca bu seviyelerde devam ettiği, daha sonra ise sıcaklıkların düşmeye başladığı görülmüştür. Paralel reaktörlerin sıcaklık gelişimleri benzer eğilim göstermiştir.

3FP'nın büyükbaş hayvan, tavuk gübresi, saman ve karasu ile kompostlanmasında optimum kompost karışımının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Kompostlamada kullanılan 3FP'nın nem içeriği düşük olmasına rağmen, tavuk gübresi, hayvan gübresi ve karasuyunkinin yüksek olması nedeniyle nem içerikleri başlangıçta olması gereken limitten daha yüksek olmuştur. Optimum karışımın nem oranı (yaş bazda) başlangıçta %66.67 iken, bitişte 66.98 olmuştur. Karışımın başlangıçtaki organik madde içeriği %88.1 olarak ölçülmüştür. Tüm karışımların organik madde değerleri biyolojik parçalanma işlemi sırasında azalmıştır.

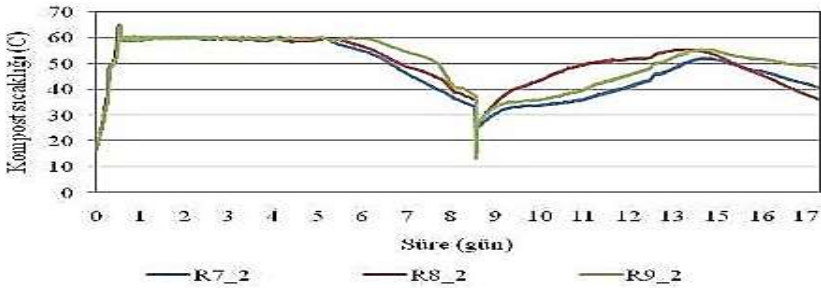
Çizelge 3.8. 3FP kompostu karışımlarının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Başlangıç	Bitiş
Nem (%)	66.67	66.98
OM (%)	88.81	85.29
EC (dS m ⁻¹)	3.27	2.84
pH	7.69	8.58
Toplam C (%)	47.27	40.64
Toplam N (%)	1.87	2.12
C/N	25.28	19.17
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	232	216
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	315	2049
P (%)	0.20	0.30
Pb (mg kg ⁻¹)	0.18	0.07
Cd (mg kg ⁻¹)	0.02	0.01
Cr (mg kg ⁻¹)	0.53	0.82
Cu (mg kg ⁻¹)	0.84	0.94
Ni (mg kg ⁻¹)	0.48	0.80
Zn (mg kg ⁻¹)	2.83	2.88

Çalışmalarda başarılı kompostlaştırma işlemi sağlayan kompost karışımının belirlenmesi hedeflenmektedir. Denemede kullanılan 3 faz pirina çevre açısından olumsuz etkileri yüksek ve işletmelerin bertarafı için çözüm aradıkları bir atıktır. 3 faz pirina miktarının karışım içindeki miktarını artırmak için

büyükbaş hayvan gübresi miktarını artırıp tavuk gübresi miktarını azaltmak gerekmiştir. Bu nedenle kullanılacak reçetede pirina oranının yüksek olması tercih edilmiştir. Seçilen karışımın pirina oranı %46 seviyesindedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 3FP kompostu için reçete elde edilmiştir. 1 ton katı madde baz alınarak yapılan hesaplamalarda karışımı oluşturan her bir materyalin yaş ve kuru bazda miktarları ve karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 3.9, Şekil 3.12).

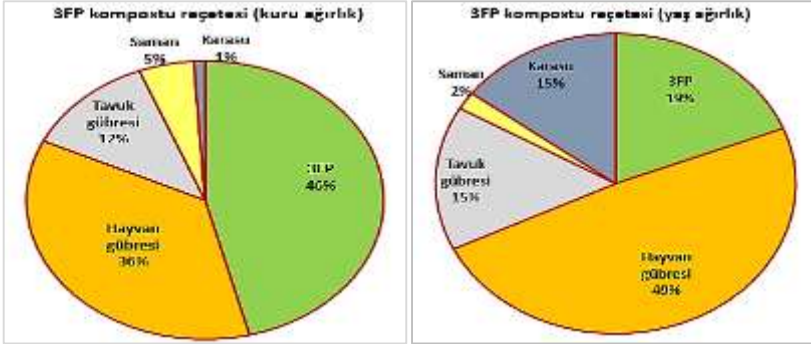


Şekil 3.11. 3FP'nın kompostlanmasında sıcaklığın zamanla değişimi

Çizelge 3.9. 3FP kompostu için belirlenen kompost reçetesi (1 ton KM)

3FP kompostlaması	3FP	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman	Karasu	Karışım**
C/N oranı	32.16	32.7	7.45	175.46	3363	25.28
Su Muh. (%)	11.68	73.11	71.84	5.49	97.52	63.53
Karışım miktarları (kg kuru madde)	460	360	120	50	10	1000
Karışım miktarları (kg yaş madde)*	520.8	1338.8	426.1	52.9	403.2	2742
Karışım oranları (% kuru madde)	46	36	12	5	1	100
Karışım miktarları (% yaş madde)	19.0	48.8	15.5	1.9	14.7	100

*Ham Atık Miktarı=Kuru Madde Miktarı (KM) / (1-SM), **FAS oranı %27



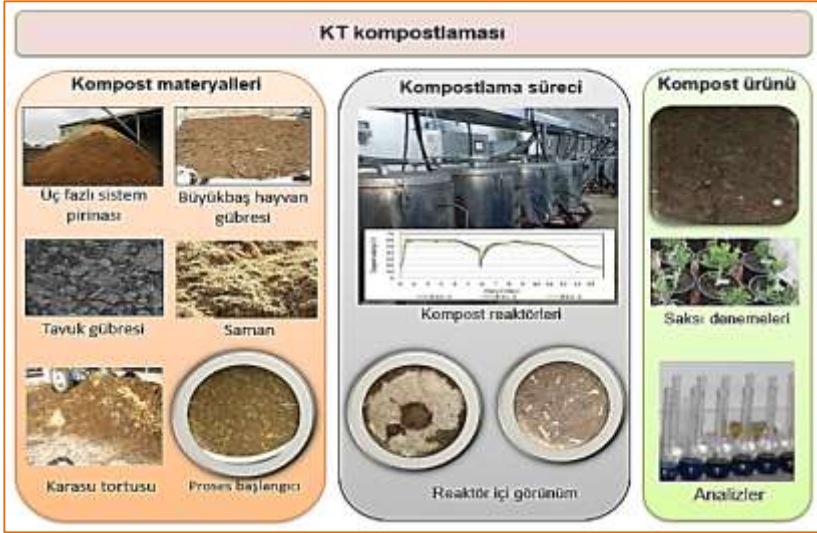
Şekil 3.12. 3FP kompostunda kullanılan materyallerin kuru ve yaş bazda karışım oranları

3.2.4. Karasu tortusunun kompostlanması

3.2.4.1. Kompostlaştırılması süreci

Karasu tortusunun (KT) hayvan gübresi, tavuk gübresi ve saman ile kompostlanmasında reçete denemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Kompost Laboratuvarında, laboratuvar ölçekli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde KT'nun kompostlaştırılmasında kullanılan kompost materyallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, kompostlaştırma işlemi için akım şeması oluşturulmuş ve deneme sonuçları ortaya konmuştur. KT'nun kompostlama süreci grafiksel özet olarak Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Denemede ortam sıcaklığı genelde 20-25°C arasında, ortam nemi ise %25-37 arasında değişmiştir.

KT'nun kompostlaştırılmasında kullanılan, büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi ve samanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.10'de verilmiştir. Çalışmalar 5 farklı C/N oranında (15-35 arası) ve 3 tekerrürlü olarak 15 reaktörde gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında 2 kez karıştırma yapılmış ve proses 15 gün boyunca izlenmiştir.



Şekil 3.13. KT'nun kompostlanması grafiksel özeti

Çizelge 3.10. KT'nun kompostlanmasındaki hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Karasu tortusu	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman
Nem (%)	17.37	72.89	71.84	5.49
OM (%)	50.00	90.68	67.70	91.66
EC (dS m ⁻¹)	1.51	2.07	13.57	1.09
pH	3.94	8.62	7.13	5.96
Toplam C (%)	42.90	41.93	40.56	39.87
Toplam N (%)	1.22	1.40	1.62	1.98
C/N	35.16	29.95	25.04	20.14
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	326	242	1585	446
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	581	497	43	895
P (%)	0.10	0.15	1.03	0.04
Pb (mg kg ⁻¹)	1.57	0.15	0.23	0.17
Cd (mg kg ⁻¹)	0.04	0.07	0.02	0.01
Cr (mg kg ⁻¹)	18.84	2.60	0.25	0.30
Cu (mg kg ⁻¹)	12.80	7.33	0.79	0.18
Ni (mg kg ⁻¹)	16.12	3.29	0.40	0.16
Zn (mg kg ⁻¹)	36.17	14.03	4.57	0.60

3.2.4.2. Komposlaştırma sürecinin değerlendirilmesi

Komposlaştırma süresince havalandırma fanları normal ve sürekli olmak üzere iki farklı modda çalıştırılmıştır. Fanlar, kompost reaktörlerindeki sıcaklık 60°C'nin altında iken; 0.4-1.0 m³/h debide 5 dakika açık 25 dakika kapalı olacak şekilde açık/kapalı modda ve 60°C ve üzeri sıcaklıklarda ise; bu sıcaklık değerinin altına düşünceye kadar 1.0-2.5 m³/h debide ve sürekli olarak çalıştırılmıştır.

Denemeler süresince mikrobiyel aktivitenin ve ayrışmanın bir göstergesi olan O₂ kullanımı kompostlaşma esnasında reaktörlerin çıkış noktasından ölçülmüştür. Karışımlardaki O₂ konsantrasyonları deneme süresince tüm reaktörlerde %5'in üzerinde gerçekleşmiştir. Karışımlarda CO₂ konsantrasyonları kompostlama süresince %5.5-9.0 aralığında gerçekleşmiş, deneme sonunda da %1'in altına inmiştir.

Komposlaştırma süreci boyunca her bir reaktörde üç farklı seviyede sıcaklık ölçülmüştür (şekil 3.14). Kompost sıcaklığının 60°C'nin üzerine çıkması için otomasyon sistemi ile kontrol edilmiştir. Sıcaklıklar kontrol noktası olan 60°C'ye ulaşması 0.5-1 gün sürmüştür. Kompost hijyenizasyonu açısında tüm karışımlar 55°C'de 4 günden fazla kalmış ve sonra sıcaklık düşüşe geçmiştir. Karıştırma sonrası sıcaklıklar tekrar yükselerek 60°C'ye yaklaşmış ve sonra sıcaklıkların düşmeye başladığı görülmüştür. Paralel reaktörlerin sıcaklık gelişimleri benzer eğilim göstermiştir.

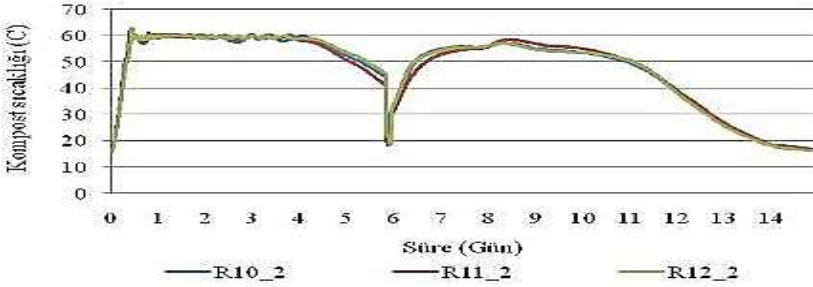
KT'nun kompostlaştırılmasında optimum kompost karışımının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri izelge 3.12'de verilmiştir. Kompostlamada kullanılan hammaddelerin nem içerikleri optimum değerlerin (Rynk, 1992) stnde olduğundan su eklemesi yapılmamıştır. Optimum kompost karışımının nem oranı (yaş bazda) başlangıçta %67.46 iken, bitişte %72.60 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç organik madde içeriği, karışımların bileşimine göre farklılık göstermiştir. Tüm karışımların organik maddeleri, biyolojik parçalanma sırasında azalmıştır. Karışımın pH değeri, proses başlangıcında 8.72 iken, bitmiş kompostta 8.0, EC değeri ise, proses başlangıcında 3.81 dS m⁻¹ iken, bitmiş kompostta 3.82

dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür. Karışımın başlangıç C/N oranları 20.14 iken, kompostlama sonucunda 13.14 seviyesine düşmüştür. C/N oranlarının değişimi organik maddedeki değişimlerle paralel olarak gerçekleşmiştir.

Karasu tortusu çevresel etkileri olan ve işletmelerin bertarafı için çözüm aradıkları bir atıktır. Çalışmalarda başarılı kompostlaştırma işlemini sağlayan kompost karışımının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bunun yanında geliştirilecek reçetenin işletmeler tarafından teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği önem taşımaktadır. Bu nedenle uygun karışım belirlenirken çevresel ve ekonomik faktörler göz önünde tutulmuştur. KT ile yapılan kompost denemelerinde karasu tortusunun dışındaki diğer materyallerin ekonomik değeri karasu tortusundan daha yüksektir. Bu nedenle karasu tortusunun en yüksek oranda kullanıldığı karışım tercih edilmelidir. Seçilen karışımın kuru bazda kullanılan karasu tortusu oranı %20'dir.

Çizelge 3.11. KT kompostu karışımlarının başlangıç ve bitiş fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametreler	Başlangıç	Bitiş
Nem (%)	67.46	72.60
OM (%)	80.52	67.94
EC (dS m ⁻¹)	3.81	3.82
pH	8.72	8.80
Toplam C (%)	39.87	31.81
Toplam N (%)	1.98	2.42
C/N	20.14	13.14
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	279	535
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	788	4657
TP (%)	0.26	0.19
Pb (mg kg ⁻¹)	0.49	0.67
Cd (mg kg ⁻¹)	0.03	0.03
Cr (mg kg ⁻¹)	4.86	6.71
Cu (mg kg ⁻¹)	8.75	9.60
Ni (mg kg ⁻¹)	5.23	6.59
Zn (mg kg ⁻¹)	13.04	16.73



Şekil 3.14. KT'nun kompostlanmasında sıcaklığın zamanla değişimi

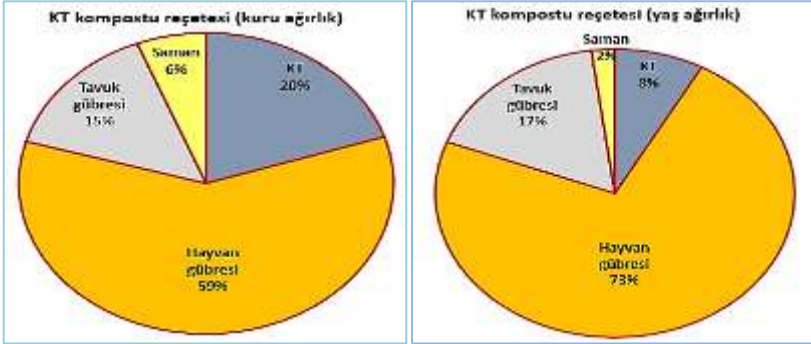
Yapılan çalışmalar sonucunda KT kompostu için reçete elde edilmiştir. 1 ton katı madde baz alınarak yapılan hesaplamalarda karışımı oluşturan her bir materyalin yaş ve kuru bazda miktarları ve karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 3.12, Şekil 3.15).

Çizelge 3.12. Karasu tortusu kompostu için belirlenen kompost reçetesi (1 ton KM)

KT kompostlaması	KT	Hayvan gübresi	Tavuk gübresi	Saman	Karışım**
C/N oranı	35.16	29.95	25.04	20.14	20.14
Su Muh. (%)	17.37	72.89	71.84	5.49	66.83
Karışım miktarları (kg kuru madde)	200	595	145	60	1000
Karışım miktarları (kg yaş madde)*	242.0	2194.8	514.9	63.5	3015
Karışım oranları (% kuru madde)	20	59.5	14.5	6	100
Karışım miktarları (% yaş madde)	8.0	72.8	17.1	2.1	100

*Ham Atık Miktarı=Kuru Madde Miktarı (KM) / (1-SM)

**FAS oranı %32



Şekil 3.15. KT kompostunda kullanılan materyallerin kuru ve yaş bazda karışım oranları

4. KOMPOST ÜRETİM ÇALIŞMALARI

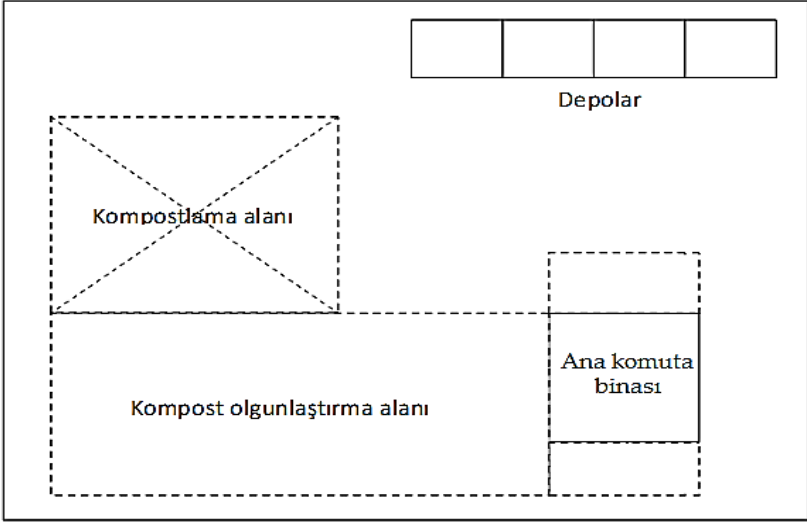
4.1. Pilot Ölçekli Statik Yiğın Kompostlama Tesisi

Proje içinde gül işleme atıklarından kompost üretimi amacıyla zorlamalı havalandırma prensibi ile çalışan statik yiğın tipi bir tesis kurulmuştur. Pilot statik yiğın kompostlama tesisinin yerleşim planı ve genel görünümü Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görülmektedir.

Yıllık 10 ton kompost işleme kapasitesine sahip olan pilot statik yiğın kompostlama tesisinin tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Havalandırmalı statik kompostlama sisteminden çekilen resim Şekil 4.3'te ve sistemin 4 bağımsız yiğını kompostlaştıracak şekilde konumlandırılmış yerleşim planı ise Şekil 4.4'te sunulmuştur. Sistem 9 m genişliğinde, 12 m uzunluğunda, toplam alanı 108 m² ve efektif kompostlama alanı 48 m² olan sundurma ve beton zeminden oluşturulmuştur.

Karışım oranı belirleme denemeleri sonucunda gülyağı işleme atıkları için geliştirilen reçeteye göre pilot ölçekte kompost üretimi gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında gülyağı işleme atıklarının kompostlaştırılması amacıyla kurulan pilot kompost tesisi tüm atıkların kompostlaştırılabileceği özelliklerde tasarlanmıştır. Bu sistem büyük ölçekte kompost üretiminde oluşabilecek sorunların teşhisinde kullanılabilecektir. Proje kapsamında gül işleme atıklarının statik yiğınlarda

kompostlaması sonucunda atık üreticilerine yol gösterici bilgiler elde edilmiştir.



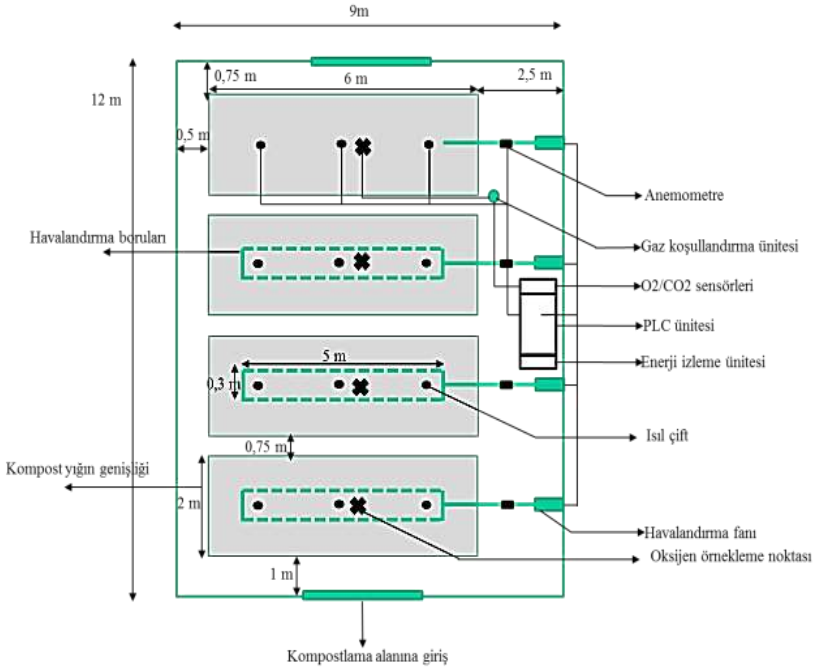
Şekil 4.1. Pilot statik yığın kompostlama tesisi yerleşim planı



Şekil 4.2. Pilot statik yığın kompostlama tesisi



Şekil 4.3. Havalandırmalı statik kompostlama sistemi



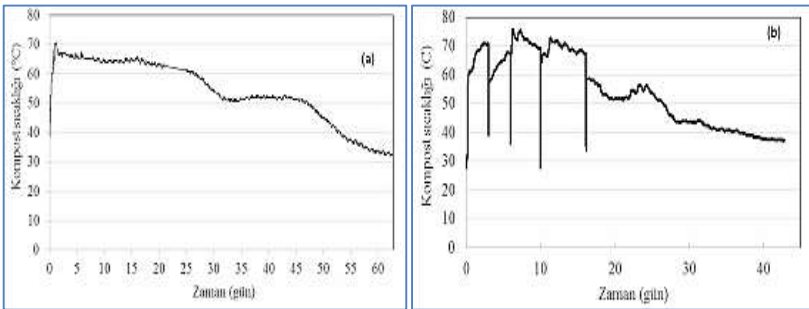
Şekil 4.4. Havalandırmalı statik kompostlama sistemi yerleşim planı

4.2. Gül Posası Kompostu Üretimi

Laboratuvar ölçekli reaktör sisteminde Gül işleme atıklarının sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman karışımlarının kompostlaması için belirlenen en uygun reçete dikkate alınarak Pilot Ölçekli Statik Yığın Kompost Tesisinde gül posası kompostu üretimi gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Sıcaklık değişimleri

Gül posası kompostlamasında aktif ve olgunlaşma dönemine ait sıcaklık değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir. Aktif kompostlama aşaması 62.7 gün sürmüştür. Sıcaklıkların 70°C’ye çıkmasına izin verilmiştir. 24.12.2011 tarihli ve 28152 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği’nin (Resmi Gazete, 28152) 19.uncu maddesine dayanılarak, Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 142/2011/EU no.lu Komisyon Tüzüğüne paralel olarak T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’nca hazırlanan "Hayvansal Yan Ürün Kullanılan Biyogaz ve Kompost Tesislerinin Çalışma Usul İle Esaslarına İlişkin Talimat" ta, kompost tesislerinde hammadde olarak kullanılacak olan materyallerin sıcaklığının aralıksız olarak asgari 60 dakika süreyle en az 70°C olması şartı getirilmiştir. Kompostlama esnasında bu koşulun sağlandığı görülmektedir. Lopez ve Foster (1985) patojenlerin yok edilmesi için kompost sıcaklığın 55°C’de 3 gün kalması gerektiğini bildirmiştir.



Şekil 4.5. Sıcaklık değişimi (a: aktif, b: olgunlaşma)

4.2.2. Kompostlaştırma sürecinde yapılan analizlerin değerlendirilmesi

Aktif aşama kompost yığınının başlangıç nem içeriği önerilen nem içeriğinden (Rynk, 1992) daha yüksektir Bunun nedeni olarak karışımda oransal olarak daha fazla kullanılan sığır gübresinin nem içeriğinin yüksek olmasıdır. Aktif aşama sonunda yığının nem içeriği %43.6'ya kadar düşmüştür. Kompostlama esnasında su ilavesi yapılmamıştır. Olgunlaşma aşamasında da kompostlaşma işlemi devam ettiğinden nem içeriği azalmaya devam etmiştir.

Kompost yığnında, biyolojik parçalanma ile organik maddede azalma meydana gelmiştir. Kompostlama esnasında organik maddenin kararsız (labil) kısmı daha kararlı (stabil) bileşiklere dönüşmektedir (Gao ve ark., 2010). En yüksek organik madde kaybı termofilik aşamada gerçekleşmektedir (Ekinci ve ark., 2004). Olgunlaşma aşamasında biyolojik ayrışma işlemi devam etmiştir. Olgunlaşma sonucu organik madde içeriği %72.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer "Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik" te belirtilen organik madde içeriğinden (en az %40) daha yüksektir (Resmi Gazete, 2014).

Kompost yığının başlangıç C/N oranı 28.56 olarak ölçülmüş olup önerilen sınırlar arasında (25-35) kalmıştır (Barrington ve ark., 2002; Charest ve Beauchamp, 2002). Kompostlama işleminin ilerlemesi ile karbon ve azotta meydana gelen değişimler nedeni ile C/N oranı azalmıştır. Bu oran, termofilik aşama sonucunda sabit kalmıştır. Aktif kompostlaşma sonunda C/N oranı 17'ye düşmüştür. Olgunlaşma aşamasında C/N oranı zamanla değişimi çok az olup 115 gün sonunda 13 olarak sonuçlanmıştır. Bitmiş kompostun C/N oranınının 25'den düşük olması önerilmektedir (TMMC, 2002).

Kompostlama işleminde biyolojik ayrışma ile pH değerinde değişimler olmuştur. Aktif aşamanın sonuna doğru pH değerindeki değişim azalmıştır. Aktif aşama pH değeri 8.5 ile bitmiştir. Olgunlaşma aşaması sonunda pH değeri 9.1

değerine yükselmiştir. Aktif kompostla sürecinde yığındaki EC değeri 3.23 dS m⁻¹'den 4.02 dS m⁻¹ değerine yükselmiştir. EC değeri düşük olan kompostlar doğrudan kullanılırken, EC değeri yüksek olan kompostlar EC değeri düşük toprak veya diğer materyaller ile karıştırılmalıdır (Chen, 1999). Olgunlaşma aşaması sonucunda EC değeri 2.88 dS m⁻¹ olarak ölçülmüştür. Bu değer 4 dS m⁻¹ değerinin altında olup, T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından çıkarılan, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatına göre tuzsuz sınıfına girmektedir.

Olgunlaşma aşamasında NH₄⁺ – N içeriği 375 mg kg⁻¹ seviyesine yükselmiştir. Olgunlaşmış kompostta maksimum NH₄⁺ – N içeriğinin 400 mg kg⁻¹ seviyesinden daha fazla olmamasını önermişlerdir. Aktif aşamada, yığın NO₃⁻ – N içeriği 267.15 mg kg⁻¹ seviyesinden 566 mg kg⁻¹ seviyesine kadar sürekli olarak yükselmiştir. Olgunlaşma aşamasında yığının NO₃⁻ – N içeriği 270 mg kg⁻¹ seviyesine düşmüştür. Kompost ve kompostlama test metodları ile ilgili standartlarda, olgun bir kompostta NH₄⁺ – N/NO₃⁻ – N oranının 0.5-3.0 arasında olması gerektiği bildirilmiştir (TMECC, 2002). Bu projede elde edilen bu oran 1.39 olup belirtilen sınırlar içinde kalmaktadır.

Aktif aşamada toplam fosfor içeriği %0.21 seviyesinden %0.5 seviyesine çıkmıştır. Benzer bir şekilde, 2 fazlı pirina kompostlama çalışmasında toplam fosfor içeriğinin %0.3'ten %0.6 seviyesine yükseldiğini bildirmişlerdir. Olgunlaşma aşamasında toplam fosfor çok az miktarda değişmiştir.

Çimlenme testi kompost materyalinin olgunluğu ve fitotoksitesini değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Gül Yağı İşleme Atıkları, sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman karışımlarından elde edilen kompostta yapılan çim testi sonuçlarına göre, GI değerleri %50 ve %25 seyrelmelerde %80'in üzerinde çıkmıştır. GI değerinin %80'in üzerinde olmasının, kompostun olgunluğunun ve fitotoksik olmadığını göstergesi olduğunu ifade etmiştir.

Havalandırılmalı statik kompostlama metoduyla elde edilen gül posası kompostunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Kompost yığınının ağır metal başlangıç, aktif ve olgunlaşma aşaması değerlerinin Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik Ağır Metal Limit Değerler ve Eco-Label Limitleri ile karşılaştırılması Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere, hem aktif aşama hem de olgunlaşma aşaması ağır metal değerleri her iki standart için verilen değerlerin altında kalarak gerekli olan koşulu yerine getirmiştir.

Çizelge 4.1. Gül posası kompostunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Parametreler	2016
Nem (%)	34.11
OM (%)	73.96
EC (dS m ⁻¹)	2.78
pH	8.25
Toplam C (%)	36.61
Toplam N (%)	2.32
C/N	15.75
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	301.52
NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	281.00
TP (%)	0.12
K (%)	0.62
Ca (%)	2.33
Mg (%)	0.80
Fe (%)	0.61
Mn (mg kg ⁻¹)	136.10

Çizelge 4.2. Kompost ağır metal değerleri (mg kg⁻¹)

Ağır metaller	Bitiş		Organik tarımın esasları ve uygulanmasına ilişkin yönetmelik limit değerleri	Eco-label limit değerleri
	Aktif aşama	Olgunlaşma aşaması		
Pb	0.30±0.03	0.42±0.2	45	100
Cd	ND*	ND*	0.7	1
Cr	4.46±0.00	4.78±1.03	70	100
Cu	24.6±0.51	35.16±0.71	70	100
Ni	10.1±1.52	14.67±0.04	25	50
Zn	72.28±3.35	81.7±0.25	200	300

*Belirlenemedi.

5. KAYNAKLAR

- Anonim, 2008. Toprak ve arazi sınıflaması standartları teknik talimatı ve ilgili mevzuat. T.C. Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı, TÜGEM, Ankara.
- APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. (20. ed.) American Public Health Association, Washington DC.
- Baeta-Hall, L., Săagua, M.C., Bartolomeu, M.L., Anselmo, A.M., Rosa, M.F., 2005. Biodegradation of olive husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology* 96:69-78.
- Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M., Knight, W., 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *bioresour. Technology* 83(3):189-194.
- Cai, Q.Y., Mo, C.H., Wu, Q.T., Zeng, Q.Y., Katsoyiannis, A., 2007. Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts. *J. Hazard. Mater.* 147(2007):1063-1072.
- Canet, R., Pomares, F., Cabot, B., Chaves, C., Ferrer, E., Ribò, M., Albiach, R., 2008. Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste Management* 28:2585-2592.
- Charest, M.H., Beauchamp, C.J., 2002. Composting of deinking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behavior of physico-chemical parameters. *Bioresource Technology* 81(1):7-17.
- Chen, J.H., 1999. Characteristic and applications of domestic animal wastes. In: 1999 Animal Waste Products Quality and Treatment Alternatives Manual, Soil Survey and Testing Center, Department of Soil and Environmental Science. National Chung Hsing University, Taiwan, 15-22.
- Eco-Label, 2006. 2006/799/EC: Commission Decision of 3 November 2006 Establishing Revised Ecological Criteria and the Related Assessment and Verification

Requirements for the Award of the Community Eco-Label to Soil Improvers (notified under document number C (2006) 5369) (text with EEA relevance).

- Ekinci, K., 1997. Evaluation of decomposition rate, airflow rate and ammonia control of short paper fiber with broiler litter and additives-hiclay alumina, alum and sulfuric acid (Master's thesis). The Ohio State University, Columbus, Ohio.
- Ekinci, K., 2001. Theoretical and experimental study on the effects of aeration strategies on the composting process (PhD dissertation). The Ohio State University, Columbus, Ohio.
- Ekinci, K., 2005. Computer model for predicting the effect of airflow on energy use of intermittent base aeration used in a pilot-scale composting reactor. Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture, September, pp:27-29, Izmir-Turkey.
- Ekinci, K., H.M. Keener, D. Akbolat, 2004. Effect of thermocouple location on the optimum composting rate. *Biosystems Engineering* 89(3):345-353.
- Ekinci, K., H.M. Keener, F.C. Michel, D.L. Elwell, 2004. Modeling composting rate as a function of temperature and initial moisture content. *Compost Science and Utilization* 12(4):356-364.
- Ekinci, K., H.M. Keener, D. Akbolat, 2006. Effects of feedstock, airflow rate, and recirculation ratio on performance of composting systems with air recirculation. *Bioresource Technology* 97(7):922-932.
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldız, O., Ertekin, C., 2010. The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey. *Energy Exploitation and Exploration* 28(3):187-206.

- Fernandez, L., Sartaj, M., 1997. Comparative study of static pile composting using natural. Forced and Passive Aeration Methods Compost Science & Utilization 5(4).
- Finstein, M.S., Miller, F.C., 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control and cost effectiveness. In: Gasser, J.K.R. (ed.), Composting of Agricultural and Other Wastes. Elsevier Applied Science Publications, Barking, Essex, pp:13-26.
- Finstein, M.S., F.C. Miller, Strom, P.F., 1986. Waste treatment composting as a controlled system. In Biotechnology, Vol.8. Eds, H.J. Rehm and G. Reed. pp:363-398. VCH Verlagsgesellschaft: Weinheim, Germany.
- Gao, M., Li, B., Yu, A., Liang, F., Yang, L., Sun, Y., 2010. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. Bioresource Technology 101(6):1899-1903.
- Gürgün, V., Halkman, A.K., 1988. Mikrobiyolojide sayım yöntemleri. San Matbaası, Ankara, 6-14.
- Hachichaa, S., Sellamia, F., Cegarrab, J., Hachichaa, R., Drirac, N., Medhiouba, K., Ammara, E., 2009. Biological activity during co-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manure-physico-chemical characterization of the processed organic matter. Journal of Hazardous Materials 162(2009):402-409.
- Harper, E., Miller, F.C., Macauley, B.J., 1992. Physical management and interpretation of an environmentally controlled composting ecosystem. Australian Journal of Experimental Agriculture 32:657-667.
- Haug, R.T., 1993. The practical handbook of compost engineering. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- http://www.tarim.gov.tr/belgeler/mevzuat/talimatlar/toprakarazi_siniflamasistandartlaritekniktalimativeilgilimevzuat_yeni.pdf.
- Keener, H.M., Marugg, C., Hansen, R.C., Hoitink, H.A.J., 1993. Optimizing the efficiency of the composting process. In: Hoitink, H.A.J., Keener, H.M. (Eds.), Science and

- Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications, Ohio, pp:59-94.
- Keener, H.M., K. Ekinci, F.C. Michel, D.L. Elwell, 1999. Mathematics of composting: facility design and process control. pp:164-197. In: P.R. Warman and B.R. Taylor (eds.) Proceedings International Composting Symposium (ICS'99) Vol.1. CBA Press Inc., Nova Scotia, Canada.
- Keener, H.M., Dick, W.A., Hoitink, H.A.J., 2000. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. Chapter 10. pp:315-341. In: J.F. Power et al. (eds.) Beneficial uses of Agricultural, Industrial and Municipal by-Products. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Keener, H.M., K. Ekinci, F.C. Michel, 2005. Composting process optimization using on/off controls. *Compost Science and Utilization* 13(4):288-299.
- Lopez, R.J., Foster, 1985. Plant pathogen survival during the composting of agricultural wastes. *Composting of Agriculture and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Maliye Bakanlığı, 2013. <http://www.gib.gov.tr/index.php?id=270> (Erişim Tarihi: 10.11.2014).
- Mari, I., Balis, C., Georgakakis, D., Ehaliotis, C., Kotsou M., 2003. Respiration profile in monitoring the composting of by products from olive oil agro-industry. *Bioresource Technology* 87(2003):331-336.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J., Keener, H.M., 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science & Utilization* 12(4):323-334.
- Miller, F., 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: *Soil Microbial Ecology*. Edited by F. Blaine Metting, Jr. Marcel Decker Inc.
- Montemurro, F., Diacono, M., Vitti, C., Debiase, G., 2009. Biodegradation of olive husk mixed with other agricultural wastes. *Bioresource Technology* 100:2969-2974.

- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., Kubota, H., 1993. Effect of pH control composting of garbage. *Waste Manag. Res.* 11(2):117-125.
- Öztürk, M., 2008. Hayvan gübresinden ve atıklardan kompost üretimi. Ankara.
- Rasapoor, M., Nasrabadi, T., Kamali, M., Hoveidi, H., 2009. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Management* 29(2009):570-573.
- Rehber, E., Erkuş, A., 2007. Tarımda proje hazırlama tekniği. Ders Kitabı, Bursa.
- Resmi Gazete, 2010. Organik tarımın esasları ve uygulanmasına ilişkin yönetmelik. Tarih: 18.08.2010. Resmi Gazete Sayısı: 27676.
- Resmi Gazete, 2011. İnsan tüketimi amacıyla kullanılmayan hayvansal yan ürünler yönetmeliği. Tarih: 24.12.2011. Resmi Gazete Sayısı: 28152.
- Resmi Gazete, 2014. Tarımda kullanılan organik, organomineral gübreler ve toprak düzenleyiciler ile mikrobiyal, enzim içerikli ve organik kaynaklı diğer ürünlerin üretimi, ithalatı, ihracatı ve piyasaya arzına dair yönetmelik. Tarihi: 29.03.2014. Resmi Gazete Sayısı: 28956.
- Rynk, R., 1992. On farm composting handbook. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca NY, USA.
- Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P., 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology* 78:301-308.
- Sarıaslan, H., 2010. Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi planlama, analiz, fizibilite. Turhan Kitabevi, Ankara, 316s.
- Schulze, K.L., 1962. Continuous thermophilic composting. *Applied Microbiology* 10:108-122.

- Sellami, F., Jarboui, R., Hachicha, S., Medhioub, K., Ammar, E., 2008. Co-composting of oil exhausted olive-cake, poultry manure and industrial residues of agro-food activity for soil amendment. *Bioresource Technology* 99:1177-1188.
- Soumaré, M., Demeyer, A., Tack, F.M.G., 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology* 81:97-101.
- Sparks, D.L., 1996. *Methods of soil analysis: chemical methods. Part 3.* (Editor), Bartel, J.M. (Managing Editor), SSSA.
- SSSA, 1993. *Methods of soil analysis: chemical methods. Part 3.*
- Subba Rao, 1977. *Soil microorganisms and plant growth.* Oxford and IBH Publishing Co., India.
- Suler, D.J., Finstein, M.S., 1977. Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 33(2):345-350.
- Tomati, U., Madejon, E., Galli, E., Capitani, D., Segre, A.L., 2001. Structural changes of humic acids during olive mill pomace composting. *Compost Science & Utilization* 9, 134e142.
- Tortosa, G., Albuquerque, J.A., Ait Baddi, G., Cegarra, J., 2012. The production of commercial organic amendments and fertilizers by composting of two-phase olive mill waste ("Alperujo"). *J. Clean. Prod.* 26, 48e55.
- Yurdakul, O., 1999. Proje hazırlama ve değerlendirme. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 147, Ders Kitapları Yayın No: A-48, Adana.
- Zheng, G.D., Gao, D., Chen, T.B., Luo, W., 2007. Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting. *J. Hazard. Mater.* 142(2007):216-221.

