

Kompostlaştırma Sistemleri için Egzoz Gazı İçeriğini Temel Alan Proses Kontrol ve Yönetim Cihazının Geliştirilmesi

Ahmet SÜSLÜ¹, Recep KÜLCÜ^{2,*}

1-Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE, ssl.ahmet@gmail.com.

2-Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE, recepkulcu@sdu.edu.tr.

Geliş tarihi: 15.11.2016, Yayına kabul tarihi: 30.11.2016

Özet

Ülkemizde ve dünyada atık miktarları hızla artmakta ve toplanan atıklar çevre ve insan sağlığı için risk oluşturmaktadır. Toplanan atıklar içerisinde organik kısımlar büyük bir yer tutmaktadır. Kentsel, tarımsal ve sanayi kökenli organik atıkların değerlendirilmesinde kompost ve biyogaz teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompostlaştırma işlemi organik atık yığınları içerisinde oksijenli şartlar sağlanarak mikroorganizmaların bu atıkları ayrıştırması ve kompost üretmesi sağlanır. Üretilen kompost toprak düzenleyici/bitki besleme materyali veya mantarcılık işletmelerinde mantar yetiştirme ortamı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde kentsel ve tarımsal atıklardan kompost üretimi yapılmaktadır. Ancak kompost üretim sistemleri konusunda pratiğe aktarılmış veya ticari ürüne dönüştürülmüş teknoloji konusunda sıkıntılar yaşanmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde kompost sektörünün ihtiyaç duyduğu kapalı sistemler için yerli teknoloji üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında işlem parametrelerini belirlemek amacıyla reaktör denemeleri yapılmış ve bu denemelerin sonuçları doğrultusunda prototip sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Reaktör denemelerinde egzoz gazının oksijen içeriğini kullanarak, kompost matrisindeki oksijen içeriğini tahmin eden 5 farklı denklem geliştirilmiştir. Bu denklemler proses kontrol cihazında uygulanmıştır.

Bu çalışma TÜBİTAK 214O266 ve SDÜ BAP 4459-YL1-15 numaralı projeler tarafından desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompostlaştırma, egzoz gazı, proses kontrol cihazı

(Development of Process Control and Management System Based on Exhaust Gas Content for Composting Systems)

Abstract

The amount of wastes has been increasing rapidly and they create risks for health and environmental problems. The major part of the collected wastes is organic. Composting and biogas technologies are commonly used for utilization of residential, agricultural and industrial wastes. Microorganisms degrade wastes and transform to compost while maintaining the oxygenated conditions in a pile of organic wastes. The compost produced is used for soil conditioner, soil nutrients, and substrates for mushroom growers. Compost is produced from residential and agricultural wastes in Turkey. However, the technologies developed for compost production in Turkey have their own problems in this sector.

In this study, it is aimed to produce domestic technologies for closed systems for composting sector in Turkey and to develop process control equipment for mobile tunnel composting system with air recirculation. Within the study, experiments in reactors were carried out and design of prototype was realized through the direction of the results of experiments. In the reactor experiments, 5 different equations were developed and these equations were used in process control device.

This study supported by TUBİTAK 214O266 and SDU BAP 4459-YL1-15 projects.

Keywords: Composting, exhaust gas, process control device

Giriş

Kompostlaştırma organik atıkların oksijenli şartlar altında aerobik mikroorganizmalar yoluyla ayrıştırılması işlemidir (Richard vd., 2002; Zaha vd., 2011; Bonoli vd., 2012). Bu işlemin temel amaçları; atıkların pastörizasyonunu gerçekleştirmek, atıklar içerisindeki bitki besin elementlerinin mineralleşerek gübre değerini arttırmak ve atıkların çevre dostu bir sistem içerisinde yönetilmesini sağlamaktır. Kompostlaştırma işleminde tarımsal, kentsel ve gıda sanayi kökenli organik atıklar kullanılabilir. Organik atıkların kompostlaştırılmasında; kullanılan atığın karakteristikleri, üretilmesi istenen kompostun nitelikleri ve ekonomik şartlara bağlı olarak farklı kompostlaştırma sistemleri kullanılmaktadır (Diaz vd., 1993; Polpasert, 1996; Kulcu ve Yaldiz, 2005). Kompostlaştırma sistemleri yığınların atmosfere açık olma durumuna göre kapalı ve açık sistemler olarak sınıflandırılırken, proses süresince yığına yapılan fiziksel müdahalelere göre karıştırmalı ve statik yığın olarak kategorize edilebilmektedir (Haug, 1993). Kapalı sistemlerde kompost yığınları tamamen atmosferik şartlardan izole edilmektedir. Bu durum maliyeti arttırırken, proses ve ürün kalitesini yükseltmektedir.

Kompostlaştırma sistemlerinde proses kalitesini arttıran en önemli etmen, yığın içerisindeki oksijen konsantrasyonudur. Yığınlar içerisindeki oksijen konsantrasyonu %5'in altına düştüğünde aerobik mikroorganizmaların yerini anaerobik mikroorganizmalar almaktadır (Polpasert, 1996; Adhikari vd., 2008). Bu durum; proses hızını yavaşlatmakta, yığın sıcaklıklarının yükselememesine neden olmakta ve metan oluşumu gerçekleşmektedir. Anaerobik mikroorganizmalar sera gazı etkinliği yüksek metan salınımına neden olduklarından dolayı işlemin çevre dostu yapısını da bozmaktadır.

Açık ve yarı açık sistemlerde proses kontrolü tam olarak sağlanamadığından, ürün kalitesi düşmektedir. Karıştırmalı ve statik sistemlerde kompostlaştırma işlemini gerçekleştiren aerobik mikroorganizmalara oksijen desteği farklı yöntemlerle sağlanmaktadır. Karıştırmalı sistemlerde, yığınlar periyodik olarak karıştırılarak oksijen desteği sağlanmaktadır. Statik sistemlerde ise ortam havası fanlar yardımıyla yığın içerisine gönderilmektedir. Karıştırmalı sistemlerde yığın içerisine oksijen desteği tam olarak sağlanamamakta ve 3,5 veya 7 günlük periyodlarla uygulanan karıştırma işlemi yığınların proses süresince aerobik şartları koruması için yeterli olmamaktadır. Bu nedenlerle ürün kalitesinin ve pastörizasyon etkinliğinin yüksek olması istenilen durumlarda kapalı ve statik sistemler tercih edilmektedir.

Akademik ve ticari çalışmalarda kullanılan kompostlaştırma sistemleri ve reaktörlerinde prosesin gösterge parametreleri olarak, yığın sıcaklığı ve yığınların oksijen içerikleri takip edilmektedir. Yığın sıcaklığı aerobik mikroorganizma aktivitesini gösteren temel indikatördür (Kulcu and Yaldiz, 2004; Kumar vd., 2010; Petric vd., 2012). Kompost sıcaklıkları sistemlerde genellikle ısı çiftleri veya dijital sensörlerin doğrudan yığın içerisine konumlandırılması yoluyla ölçülmektedir. Bu kapsamda yapılan uygulamalar basit bir otomasyon sistemiyle başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Ancak yığınlardan oksijen konsantrasyonlarının ölçümlerinde bazı sıkıntılar yaşanmaktadır. Özellikle büyük sistemlerde yığınlar içerisinden gaz örnekleri almak ve bunların analizlerinin gerçekleştirilmesi zorlaşmaktadır. Bunların nedenleri; kompost matrisinin aşırı nemli ve topaklaşmış yapısından dolayı gaz örnekleme kısımlarının tıkanması, oksijen sensörlerine gübreli su giderek sensörlerin çalışmasını engellemesi ve sensör konulan bölgenin yığının tüm bölgelerini temsil edememesidir. Bu durumdan dolayı literatürde yer alan birçok

akademik çalışma ve ticari uygulamalarda prosesin oksijen takibi egzoz gazı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak kompostlaştırma işleminde kritik olan egzoz gazı değil yığın matrisindeki oksijen konsantrasyonunun %5 değerinin altına düşmemesidir.

Bu çalışma kapsamında kompostlaştırma işleminde egzoz gazının oksijen konsantrasyonu ile yığın matrisinden alınan gaz örneklerinin oksijen konsantrasyonları arasındaki ilişkiler belirlenerek, bu ilişkileri kullanan bir otomasyon yazılımı ve donanımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 5 farklı kompost reaktöründe, sırasıyla %0, 20, 40, 60 ve 80 oranında egzoz gazı geri dönüşümü uygulamaları yapılarak her bir uygulama için yığın içi ve egzoz gazı oksijen konsantrasyonları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Belirlenen eşitlikler PLC (Programmable Logic Controller) tabanlı proses kontrol cihazı yazılımına eklenmiştir. Çalışma TÜBİTAK 214O266 numaralı “Yüksek Kaliteli Kompost Üretimi için Proses Havası Geri Dönüşümlü Mobil Tünel Tipi Kompostlaştırma Sistemi ve Proses Kontrol Cihazının Geliştirilmesi” başlıklı projenin bir ayağını oluşturmaktadır. Proje kapsamında geliştirilen otomasyon yazılımı ve donanımı ilerleyen süreçte tünel tipi kompost sisteminde kullanılarak proses başarısı ve ürün kaliteleri değerlendirilecektir.

Materyal ve Yöntem

Reaktör denemelerinde kompostlaştırılacak hammadde olarak büyükbaş hayvan gübresi ve samandan oluşturulan karışımlar kullanılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi ve saman Süleyman Demirel Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan hayvancılık işletmelerinden temin edilmiştir. Reaktörler içerisine yerleştirilen yığınlar kuru ağırlık bazında % 10 saman

ve % 90 büyükbaş hayvan gübresi olacak şekilde hazırlanmıştır. Her reaktöre toplam 10 kg kuru madde materyal yerleştirilmiştir. Karışımların nem oranları %76,18 seviyesine ayarlanmış ve denemelere bu koşullarda başlanmıştır.

Tablo 1. Reaktörlerde uygulanan egzoz gazı geri dönüşüm oranları

ReaktörNo	Egzoz Havası Geri Dönüşüm Oranı (%)
R1	0
R2	20
R3	40
R4	60
R5	80

Kompost reaktörleri

Kompostlama sisteminde yığın içindeki oksijen konsantrasyonu ile egzoz havası arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla kurulmuş, 5 reaktörlü sisteme ait reaktör şeması ve fotoğrafı Şekil 1’de gösterilmiştir.

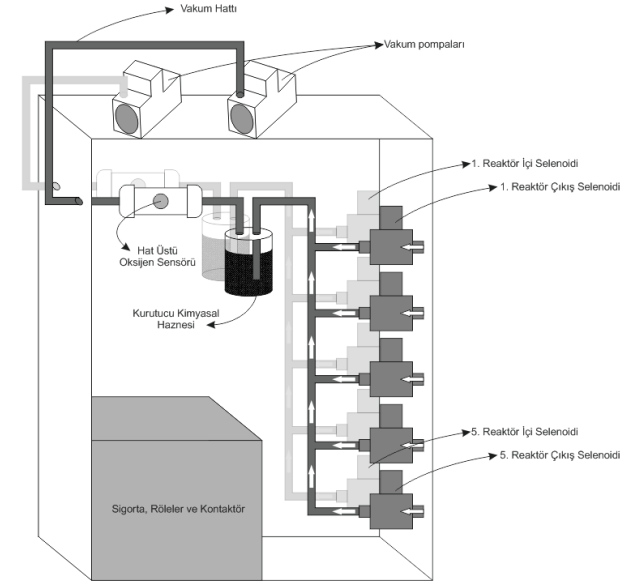
Reaktörlerden her biri aynı tasarıma sahip olmasına karşın üzerinde bulunan temiz hava ve geri dönüş vanaları ile farklı varyasyonlarda geri dönüşüm oranları yaratılabilmektedir. Deney sisteminde kullanılan reaktörlerin her biri 120 litrelik boş hacme sahiptir. Aktif hacim olarak 60 litre belirlenmiş ve bu hacme %10 saman içeren toplam 10 kg kuru madde içeren karışımdan oluşturulan yığınlar yerleştirilmiştir. Deneme, materyalin reaktör içerisindeki sıcaklık değerlerinin ortam sıcaklığına yaklaştığı güne kadar (yaklaşık 15 gün) sürdürülmüştür. Bu süreç boyunca yığın içerisinde 2 farklı noktadan alınan sıcaklık değerleri, yığın içerisinden alınan oksijen örneği ve çıkış havasından alınan oksijen örneği analiz edilebilecek şekilde kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Reaktörlerin şeması ve reaktörlerin fotoğrafı

Deney sisteminde Grove marka ortam tipi ölçümü yapabilen oksijen sensörü PPRC borular üzerine sabitlenerek, hat tipi ölçüm yapabilen bir sensöre dönüştürülmüştür. Bu tasarımla AITCOOL marka vakum pompası ile çekilen gaz örnekleri, hat üzerine alınarak analizi gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerin analiz odasına uzaklıkları farklı olmasından dolayı, oluşabilecek eşitsizliklerin giderilmesi amacıyla, bağlantıyı sağlayan boru uzunlukları eşit tutulmuştur. Oksijen analizi yapan sensörlerin elektrokimyasal tipte ölçüm yapmalarından dolayı kimyasal azalması/tükenmesi gibi etkenler sonucu farklı sonuçlar alınabilmektedir. Bu durumun analizlerin doğruluğunu etkilememesi için deney boyunca eş zamanlı çalışan iki oksijen sensörü kullanılmıştır. Bunlardan birincisi 5 farklı reaktöre ait egzoz gazını ve diğeri sensör üzerinden 5 farklı yığın içerisinde alınan gazları analiz etmiştir. Aynı hat üzerinden 5 farklı reaktörün analizinin yapıldığı gaz şartlandırma ve sıralayıcı sistem selenoid valflerden oluşturulmuştur. Selenoid

valflerin kontrolü ve hatta gelen gazın analizleri Delta marka bir PLC ile gerçekleştirilmiştir. Gaz şartlandırma ve sıralayıcı sisteme ait akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Gaz şartlandırma ve sıralayıcı sistem

Otomasyon sistemine ait donanım ve yazılım

Çalışma boyunca prosesin yönetimi ve sisteme ait verilerin kayıt altına alınması bir PLC'nin programlanması ile yapılmıştır. Geliştirilen program, kullanıcıya saatteki havalandırma miktarı ve diğer analiz parametrelerinin girişine imkânı sağlamanın yanı sıra prosesin bulunduğu anlık duruma ait bilgileri vermek üzere de tasarlanmıştır. Bu girişlerin yapılabilmesi ve sistem değerlerinin görüntülenmesi Delta marka bir HMI (Human Machine Interface) ile gerçekleştirilmiştir. Olası elektrik kesintisinde PLC’de oluşabilecek veri kaybını önlemek için kalıcı kayıt sistemi kullanılmış, kalıcı datalar ile kaldığı yerden devam etme imkânı sağlanmış ve prosesin olumsuz etkilenmesi engellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan otomasyon sistemine ait görüntü Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Otomasyon sistemi

Otomasyon yazılımı temel olarak 3 bölümden oluşmaktadır. Bunlar, “Otomasyonu başlatma/durdurma”, “Ayarlar” ve “Sistem” göstergeleridir. Kullanıcı otomasyonu başlatmadan önce “Ayarlar” menüsünden işletmeyle ilgili parametreler olan havalandırma süreleri, gaz örnekleme başlangıç dakikası ve analizlerde izlenecek prosedürleri belirlemektedir. Otomasyonun başlatılmasıyla birlikte girilen havalandırma süresi boyunca 5 reaktör boru bağlantıları üzerinde bulunan vanalar ile ayarlanmış temiz hava, geri dönüş havası oranlarında havalandırılmaktadır. “Ayarlar” menüsünden girilen saatteki havalandırma süresi dakika cinsinden girilmekte ve 60 dakikadan çıkarılarak durarak geçireceği süreyi hesaplayacak şekilde programlanmıştır. Bu işlem deneme süresince PLC tarafından tekrarlanarak periyodik bir havalandırma gerçekleştirilmiştir. “Ayarlar” menüsünden belirlenen diğer parametreler analiz sürecinin yönetilmesi sağlamaktadır. Burada belirlenmesi gereken parametreler ve işleyiş sırası aşağıdaki şekildedir;

1. Havalandırma sürecinin bitiminden sonraki kaçınıcı dakikada analizlerin başlayacağı,
2. Yığın içinden alınacak örnek için vakum süresi,
3. Yığın içinden alınan gazın hat üzerinde bekletilerek analiz edilme süresi,
4. 2. ve 3. maddelerin tekerrür sayısının belirlenmesi,

5. Egzoz gazı analizi öncesi tahliye amaçlı havalandırma süresi,
6. Egzozdan alınacak örnek için vakum süresi,
7. Egzozdan alınan gazın hat üzerinde bekletilerek analiz edilme süresi,
8. 6. ve 7. maddelerin tekerrür sayısının belirlenmesi.

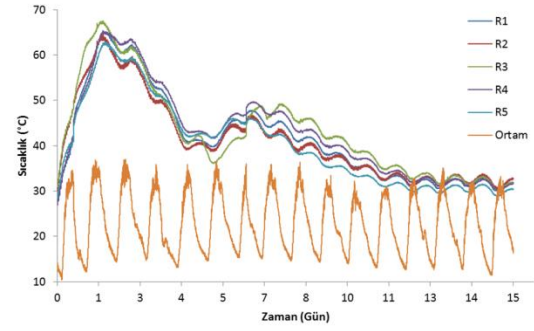
Bu parametreler belirlendikten sonra “Otomasyonu Başlat” butonuyla otomasyonun devreye alınması sağlanmaktadır. Kullanıcı otomasyonu başlattıktan sonra “Sistem Göstergeleri” menüsünden sıcaklıklar, son okunan oksijen değerleri, havalandırma çalışıyor ise veya duruyor ise bunlara ait geçen süreleri görüntülenebilmektedir. Otomasyon başladıktan sonra uygulanması istenen yazılıma ait pseudocode (sözde kod) aşağıda verilmiştir.

- ❖ Havalandırma ve Analiz parametrelerini gir,
- ❖ Analizi yapılacak reaktör numarasını bir değişkene ata ve 1 değerini ata ($x=1$),
- ❖ 60’dan fanların çalışma süresini çıkar ve sonucu bir değişkene ata (y),
- ❖ Otomasyonu başlat,
- ❖ Sıcaklıkları otomasyon durdurulana kadar diske kaydet,
- ❖ Fanların bağlı olduğu röleleri aç ve belirtilen çalışma süresi için sayaç başlat,
- ❖ Sayaç tetiklemesi ile fanları durdur ve durarak geçirilen sürenin belirlenmesi için yeni bir sayaç başlat,
- ❖ Yeni başlatılan sayaç belirlenen analizin başlayacağı dakikaya gelince vakum pompası ve x . reaktöre ait selenoidleri aç ve vakum süresi sayacını başlat,
- ❖ Sayaç tetiklemesi ile vakumu durdur, selenoidleri kapat ve analiz süresi sayacını başlat,
- ❖ Analiz süresi sayacı tetiklenene kadar okunan oksijen verilerini diske yaz,

- ❖ Analiz süreci sayacı tetiklemesiyle x değerini bir artırır $x=5$ ise $x'e$ 1 değerini ata,
- ❖ Durarak geçirilen sürenin belirlenmesi için oluşturulan sayaç y'ye eşitse ve otomasyon durdurulmamışsa fanları tekrar çalıştır.

Sonuçlar

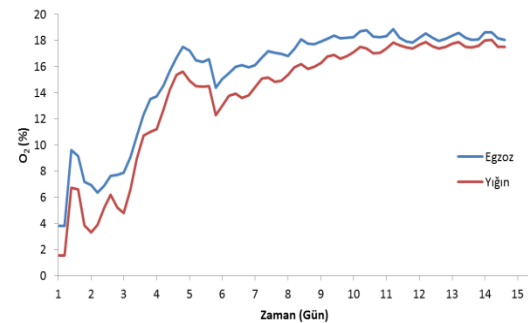
Kompostlaştırma denemesi süresince rektörlerden ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamalarının zamana bağlı değişimleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Kompostlaştırma işleminde proses sıcaklığı ilk günlerde hızlı ısınma evresi süresince yüksek sıcaklıklara çıkar, daha sonra bu seviyelerde bir süre devam ettikten sonra düşük sıcaklıkta olgunlaşma dönemine girer. Şekil 4'de gösterilen sıcaklık değerleri, bütün rektörlerde bu değişimi takip etmiştir. Reaktörlerin sıcaklıkları arasında uygulanan geri dönüşüm oranına bağlı olarak bazı farklılıklar olduğu gözlenmiştir. İşlemin ilk 2 gününde tüm reaktörlerin sıcaklıkları $62-69^{\circ}\text{C}$ aralığına yükselmiş, 2-4. günlerde $36-44^{\circ}\text{C}$ seviyelerine gerilemiştir. Daha sonra 5-7. günlerde sıcaklıklar ikinci yükselme aşamasına girmiş ve 11. günden sonra $30-34^{\circ}\text{C}$ aralığında stabil sayılabilecek olgunlaşma evresine girmiş ve ortam sıcaklığı seviyelerine yaklaşmıştır. İşlem süresinde en yüksek sıcaklık R3 rektöründe $69,3^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık bağlamında R3 rektörünü sırasıyla $67,4^{\circ}\text{C}$ seviyesiyle R2, $66,3^{\circ}\text{C}$ seviyesiyle R1 rektörleri izlemiştir. En yüksek sıcaklıklar arasında bazı farklılıklar olsa da bütün rektörlerin termofilik aşamayı görerek başarılı bir kompostlaştırma işlemi gerçekleştirdikleri tespit edilmiştir.



Şekil 4. Reaktörlerden ölçülen işlem sıcaklıklarının zamana göre değişimi

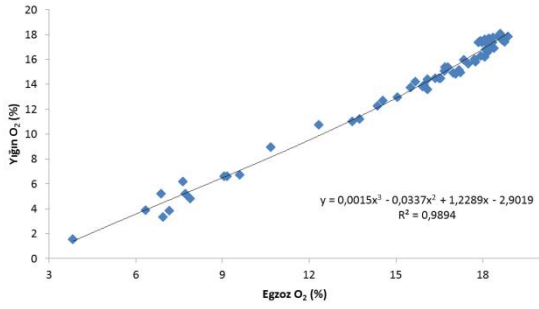
Çalışmanın asıl hedefi kompostlaştırma işleminde egzoz gazının oksijen konsantrasyonu ile yığın içerisindeki havanın oksijen konsantrasyonları arasındaki ilişkileri ortaya çıkartarak bu ilişkiyi matematiksel bir modelle ifade etmektir. Bu kapsamda reaktörlerin egzoz çıkış kanalları ve yığınların içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler 5-14 numaralı şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 5'de R1 reaktörünün oksijen değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Her iki gaz ölçüm noktasından ölçülen oksijen konsantrasyonları sıcaklığın yüksek olduğu termofilik evrede düşük, diğer dönemlerde yüksek ölçülmüştür. Oksijen konsantrasyonları ilk 3 gün 1,8-9 arasında değişirken, 3. günden sonra kademeli olarak %18 seviyelerine kadar artmıştır. Oksijen konsantrasyonu değişimlerinin büyük oranda paralel değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.



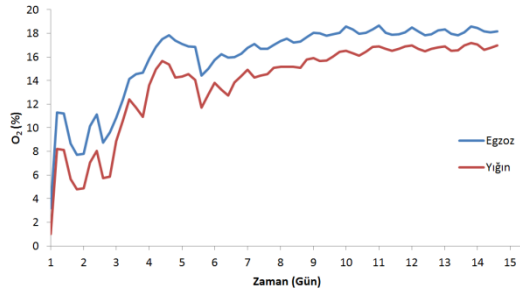
Şekil 5. R1 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları

Şekil 6’da R1 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılım 3. derece polinom ile modellendiğinde, eşitliğin r^2 değeri %98,94 seviyesindedir. Oldukça yüksek olan r^2 değeri eşitliğin tahmin yeteneğinin başarılı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 6. R1 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı

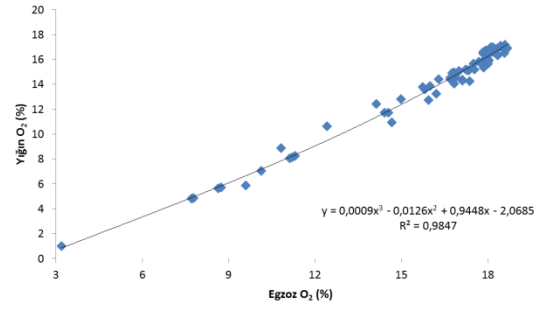
Şekil 7’de R2 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonlarının değişimleri gösterilmiştir. Oksijen konsantrasyonları R1 reaktörüne benzer şekilde ilk günler düşük sonraki günlerde yüksek ölçülmüştür. Oksijen konsantrasyonları eş zamanlı değişim göstermiştir.



Şekil 7. R2 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları

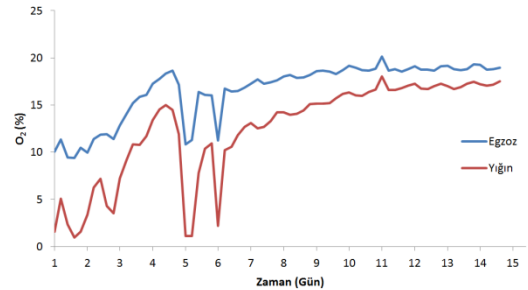
Şekil 8’de R2 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonlarının değişimleri ve bu reaktör için geliştirilen model gösterilmiştir. R2 reaktörü için kullanılan modelin r^2 değeri %98,47 seviyesinde hesaplanmıştır. Bu değer, ilgili modelin yığının oksijen konsantrasyonunu

tahminlemede başarılı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 8. R2 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı

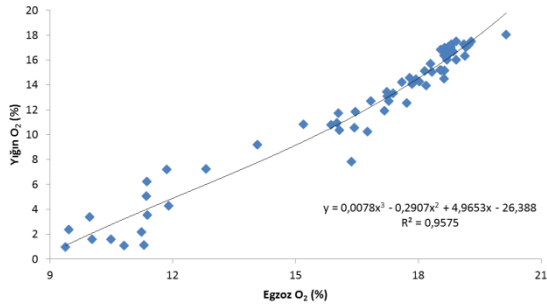
Şekil 9’da R3 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonlarının değişimleri gösterilmiştir. R3 reaktörünün oksijen konsantrasyonu diğer reaktörlerden farklı olarak beş ve altıncı günlerde ani düşmeler göstermiştir. Bu düşüş hem egzoz hem de yığın içinden alınan gaz örneklerinde eş zamanlı olmuştur. Deneme süresince ölçümler arasında bir paralellik olduğu görülmektedir.



Şekil 9. R3 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları

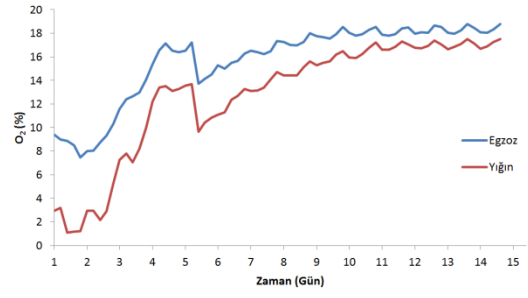
Şekil 10’da R3 reaktöründen ölçülen oksijen değerlerinin karşılıklı dağılımları ve iki oksijen konsantrasyonu değeri arasındaki ilişkiyi 3. dereceden polinom ile tahminleyen modelin r^2 değeri gösterilmiştir. R3 reaktöründen ölçülen değeri tahminlemede kullanılan modelin r^2 değeri %95,75 olarak bulunmuştur. Bu değer diğer modellerin katsayılarından düşük olmasına rağmen, modelin tahmin yeteneğinin başarılı olduğunu ifade

etmektedir. İşlemin 5. ve 6. günlerinde bütün reaktörlerde oksijen seviyelerinde bazı dalgalanmalar gözlenirken, R3 reaktöründe oksijen konsantrasyonlarındaki düşüşler çok sert olmuştur. Bu durum Şekil 9’da net olarak görülmektedir. Şekil 10’da modelin tahmin eğrisi ile değerleri ifade eden noktalar arasındaki ilişkiler incelendiğinde, özellikle oksijen konsantrasyonlarının düşük olduğu bölgelerde, değerlerin modelin tahmin eğrisinden uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum özellikle 5. ve 6. günde yaşanan ani düşüşün modelin tahmin yeteneğini olumsuz etkilediğini ve bunun sonucunda R3 modelinin r^2 değerinin diğerlerinden düşük hesaplandığını işaret etmektedir.



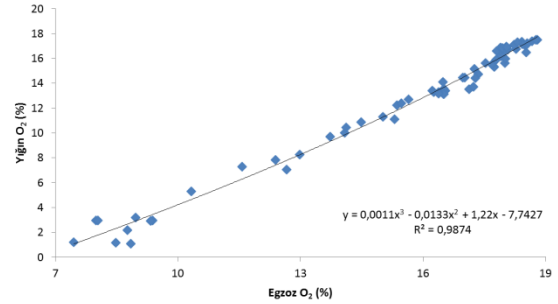
Şekil 10. R3 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı

Şekil 11’de R4 reaktöründen alınan gaz örneklerinin oksijen konsantrasyonlarının değişimi gösterilmiştir. R4 reaktörünün egzoz gazından alınan örnekler ile yığın içerisinde alınan örneklerin oksijen konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimlerinin paralellik arz ettiği gözlenmiştir. Bu paralelliğin özellikle işlemin 4. gününden sonra daha netleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 11. R4 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları

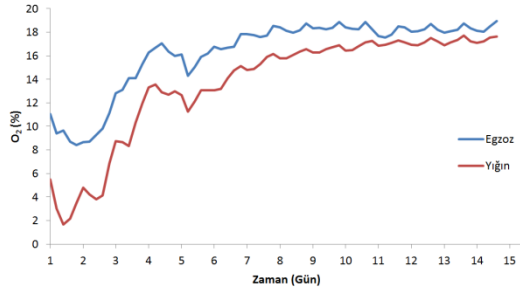
Şekil 12’de R4 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonlarının karşılıklı dağılımları ve egzoz değerlerini kullanarak yığın içerisindeki değeri tahmin eden model ile modelin r^2 değeri gösterilmiştir. Dağılım grafiğinde oksijen değerlerinin düşük olduğu (yığın için %2-4, egzoz için %7-10) dönemlerde değerler ile modelin tahmin eğrisi arasında farkların arttığı, yüksek seviyelerde azaldığı görülmektedir. R4 reaktörü için kullanılan modelin tahmin yeteneği %98,74 olarak hesaplanmıştır. Bu değer modelin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 12. R4 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı

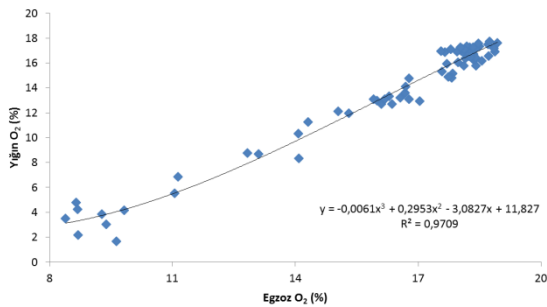
Şekil 13’de R5 reaktöründen ölçülen oksijen konsantrasyonu değerlerinin işlem süresince değişimleri gösterilmiştir. İşlemin ilk günlerinde mikroorganizma popülasyonunun artışına bağlı olarak oksijen seviyeleri azalmış ve devam eden günlerde ortam seviyesine yakın konuma erişmiştir. Egzoz ve yığından alınan gaz örneklerinin oksijen seviyeleri önemli

ölçüde paralellik göstermiştir. Ancak iki farklı örnekleme noktasından ölçülen değerlerin değişimleri, yüksek seviyelerde birbirine benzer eğriler ortaya çıkartmıştır.



Şekil 13. R5 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonları

Şekil 14’de R5 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinden örneklenen gazların oksijen seviyelerindeki değişimler ve yığın içerisindeki seviyeyi tahmin eden model ile modelin r^2 değeri gösterilmiştir. Modelin tahmin eğrisi ve ölçüm noktaları değerlendirildiğinde, diğer reaktörlerden alınan ölçümlere benzer olarak düşük seviyelerde modelin tahmin yeteneği azalırken yüksek seviyelerde artmıştır. R5 reaktörünün yığın içi oksijen seviyesini tahmin eden modelin r^2 değeri %97,09 olarak hesaplanmıştır. Bu değer modelin tahmin yeteneğinin güçlü olduğunu göstermektedir.



Şekil 14. R5 reaktörünün egzoz hattı ve yığın içerisinde ölçülen oksijen konsantrasyonlarının dağılımı

Tartışma

Reaktörlerde gerçekleştirilen kompostlaştırma denemesi süresince ölçülen sıcaklık verileri, kompostlaştırma için istenen 55°C seviyelerini aşmıştır. İşlem süresinde ölçülen sıcaklık verileri tüm reaktörlerde başarılı bir kompostlaştırma işleminin gerçekleştiğini göstermiştir. Bu durum, çalışmanın asıl amacı olan, yığın içi oksijen seviyelerini tahmin etmek için yapılacak modelleme çalışmaları için kullanılacak verilerin, başarılı bir kompostlaştırma işlemini temsil edeceğini göstermiştir.

Denemelerde 5 farklı kompost reaktöründe %0, 20, 40, 60 ve 80 oranında egzoz havası geri dönüşümü yapılarak, her geri dönüşüm oranı için farklı bir model geliştirilmiştir. Bu modeller otomasyon sisteminin, farklı sistemler ve prosesler için kullanılabilirliğini arttıracaktır. Denemelerde 5 farklı reaktör için belirlenen modeller ve modellerin r^2 değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. Çizelge 2’de gösterilen r^2 değerleri bütün geri dönüşüm oranları için geliştirilen modellerin tahmin yeteneklerinin yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 2. Denemelerde geliştirilen modeller ve r^2 değerleri

Reaktör No	Egzoz Gazı Geri Dönüşüm Oranı (%)	Model	r^2
R1	0	$y = 0,0015x^3 - 0,0337x^2 + 1,2289x - 2,9019$	%98,94
R2	20	$y = 0,0009x^3 - 0,0126x^2 + 0,9448x - 2,0685$	%98,47
R3	40	$y = 0,0078x^3 - 0,2907x^2 + 4,9653x - 26,388$	%95,75
R4	60	$y = 0,0011x^3 - 0,0133x^2 + 1,22x - 7,7427$	%98,74
R5	80	$y = -0,0061x^3 + 0,2953x^2 - 3,0827x + 11,827$	%97,09

Sonuç olarak reaktör denemelerinden elde edilen tahmin modelleri PLC tabanlı otomasyon sisteminin yazılımına dahil edilerek, kompostlaştırma sistemleri için fan kontrolleri, sıcaklık ölçümü ve kaydı yapan, aynı zamanda egzoz gazının oksijen konsantrasyonunu analiz ederek yığın içerisindeki oksijen konsantrasyonunu tahmin edebilen bir proses kontrol sistemi geliştirilmiştir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında deney sistemleri ve ölçüm aletlerinin sağlanması için destek veren TÜBİTAK (2140266 numaralı proje) ve Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (SDÜ BAP 4459-YL1-15) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bonoli A., Ara A.D., Serranti S. 2012. A designed and tailored compost for different applications: innovative procedure applied to different compost property characterization. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11 (3), Supplement, s30.
- Haug R.T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Kulcu R., Yaldiz O. 2005. Composting dynamics and optimum mixture ratio of chicken manure and vineyard wastes. *Waste Management & Research*, 23 (2), 101-105.
- Kulcu, R., Yaldiz, O. 2004. Determination of Aeration Rate and Kinetics of Composting Some Agricultural Wastes. *Bioresouce Tecnology*, 93, 49-57.
- Kumar M., Ou Y.L., Lin J.G. 2010. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30, 602–609.
- Petric I, Helic A, Avdic E A. 2012. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. *Bioresource Technology*, 117: 107–116.
- Polprasert C. 1996. *Organic Waste Recycling: Technology and Management*, second ed. Wiley, Chichester, pp. 69–113.
- Polprasert C. 1996. *Organic Waste Recycling: Technology and Management*, second ed. Wiley, Chichester, pp. 69–113.
- Richard T.L., Hamelers H.V.M., Veeken A., H.M., Silva, T. 2002. Moisture relationships in composting processes, *Compost Sci. Util* 10 (4): 286–302.
- Zaha C., Saucius A., Dumitrescu L., Manciulea I. 2011. Aspects regarding recycling sludge by composting. *Environmental Engineering and Management Journal*, 10 (2), 219-224.