

Kompostlaştırma İşleminde Periyodik Karıştırma Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma

I- Deneysel Sonuçlar

Kamil EKİNCİ¹, Harold M. KEENER², Davut AKBOLAT¹, Emrah ONURSAL¹

¹SDÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Çünür Isparta,

²Dept. of Food, Agricultural, and Biological Engineering OARDC/The Ohio State University
Wooster, Ohio 44691
kekinci@ziraat.sdu.edu.tr

Özet: Bu çalışmanın I. bölümünde, nümerik kompost modelinin geçerliliğinin sağlanması için, kısa lifli kağıt artıkları ile tavuk gübresi, 3 adet 208 litrelik kompost reaktöründe kompostlaştırılmıştır. Reaktörlerde, sıcaklık, oksijen ve karbondioksit konsantrasyonu, kütle, nem, pH, kül içeriği, C/N oranı zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Kompostlaştırma işlemi 10.92 gün sürmüştür. Kompostlaştırma işleminin 3.92 ve 6.92'nci günlerinde kompost materyali beton zemin üzerine dökülmüş ve kürekle karıştırma işlemi yapılarak kompost kütlesine; sıcaklık, karbondioksit ve oksijen konsantrasyonları dikkate alınarak belirli miktarlarda su ilavesi yapılmıştır. Kompostlaştırma işleminde sıcaklığın 3.5 gün içinde 60°C'ye ulaştığı gözlenmiştir. Çalışma sonunda, her üç reaktörden alınan kompostlaştırma parametreleri, kompost modelinin geçerliliğinin sağlanmasında kullanılmak üzere modele aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kompostlaştırma, periyodik karıştırma, proses kontrol

A Study on the Factors Affecting the Periodic Mixing of Composting Process

I- Experimental Results

Abstract: This study aimed at composting of short paper fiber with broiler litter at there-208 liter compost reactors to test the validity of theoretical compost model. Three similar batches of compost mixtures were prepared and loaded into reactors. Reactors were monitored for temperature, CO₂ and O₂ concentrations, mass, moisture, pH, ash, C/N ratio as a function of time. Composting trials lasted 10.92 days. Compost material was dumped into concrete pad and mixed by shovel at 3.92th and 6.92th days of composting. A certain amount of water was added into mixture based on temperature, CO₂ and O₂ concentrations at each remixing. Compost temperature reached to 60°C within 3.5 days composting. The data taken from the experiments was transferred into compost model to test its validation.

Key words: Composting, periodic mixing, process control

GİRİŞ

Son yıllardaki endüstriyel gelişmeler çevresel atık problemini de beraberinde getirmiştir. Çevresel atıkların (endüstriyel ve tarımsal) yok edilmesi veya değerlendirilmesi, günümüz toplumları için kaçınılmaz hale gelmiştir. Organik maddelerin ayrışmasını ve stabilizasyonunu hızlandıran bir işlem olan kompostlaştırma işlemi, tarımsal ve endüstriyel atıkları çevresel olarak zararsız hale getirir ve aynı zamanda tarımsal amaçlı kullanımını da sağlayan bir yöntemdir. Bunun yanında katı atıklar kompostlaştırma işlemi ile

yararlı, kullanılabilir ve ekonomik ürünlere dönüştürülmektedir. Kompostlaştırma; fiziksel, biyolojik ve kimyasal bir işlem olduğundan kompost oluşumuna etkili bir çok faktör bulunmaktadır. Özellikle bu faktörlerden, sıcaklık, nem, besin maddeleri, parçacık boyutu ve organik materyale ait kinetik parametreler kompostlaştırma işleminin ekonomik olarak yürütülmesinde çok büyük öneme sahiptirler. Bu faktörlerden kompost nemi, maksimum ayrışma ve minimum koku üretimi için çok önemlidir.

Başarılı bir kompostlaştırma işlemi için, optimum başlangıç neminin (kullanılan materyale bağlı olarak) %55-65 arasında olması gerekir (Jeris ve Regan, 1973). Kompostlaştırma işlemi, kompost sistemlerinde genellikle havalandırma ile yapılmaktadır. Kompost nemi havalandırmanın yapılmasından dolayı zamana bağlı olarak azalmaktadır. Kompost nemi öyle bir noktaya ulaşmaktadır ki, mikrobiyel aktivite negatif yönde etkilenmekte ve dolayısıyla organik maddenin ayrışma hızı da azalmaktadır. Kompostlaştırma işlemi süresince, yüksek mikrobiyel aktivite ve ayrışma için, kompost nem düzeyi %45 veya daha yüksek bir noktada tutulması gerekir (Jeris ve Regan 1973). Diğer bir deyişle, kompost sistemlerinde başarılı bir kompostlaştırma için, kompostlaştırma işlemi süresince nem kontrolü yapılmak zorundadır. Bu işlem ancak periyodik karıştırma ve su ilavesi ile yapılmaktadır.

Kompostlaştırma işleminde karıştırmayı (karıştırma zamanı ve sıklığı, su ilave miktarı vb..) etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır. Bunlar, çevresel faktörler (hava nemi ve sıcaklığı), organik materyale ait parametreler (ayrışma hızı, kompost denge kütlesi ve yanma ısı), kompost sıcaklığı, vb. dir. Bu parametrelerin karıştırmaya olan etkilerinin belirlenmesi laboratuvar koşullarında faktöriyel bir deneme gerektirmektedir. Laboratuvar çalışmasına alternatif olarak diğer bir yöntem de, model geliştirilmesi ve geliştirilen modelin geçerliliğinin deneylerle sağlanmasından sonra simülasyon tekniği ile faktörlerin etkilerinin belirlenmesidir. Böylece bu yöntem zaman açısından daha ekonomik olmaktadır (Keener ve ark., 1993; Haug, 1993; Das, 1997). Bu nedenle, bu çalışmada modelleme ve simülasyon tekniği ile kompostlaştırma işleminde periyodik karıştırmaya etkili olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma iki bölümden meydana gelmektedir. I. bölüm laboratuvar koşullarında periyodik karıştırmanın ve su ilavesinin yapıldığı kompostlaştırma işlemi içermektedir. II. bölüm ise model geliştirilmesi, deneylerden elde edilen sonuçlarla modelin geçerliliğinin sağlanması ve faktörlerin karıştırmaya olan etkilerinin belirlenmesi için simülasyon çalışmalarını içermektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada kısa lifli kağıt atıkları ve tavuk gübresi kullanılmıştır. Kısa lifli kağıt atıkları (SPF) kağıt üretim aşamasında, liflerin kısa olması nedeniyle bir daha üretimde kullanılamayan kağıt atıklarını içermektedir. Bu atıklar karbon yönünden zengindirler (Ekinci ve ark., 2001). Tavuk gübresi (BL), tarım kesiminin atıkları olup yüksek azot içerir ve yanma ısı değeri yüksektir. Bu iki atık materyalin belirli oranlarda karıştırılıp kompost elde edilebileceği bildirilmiştir. (Ekinci ve ark., 2001). SPF ve BL'nin özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir.

SPF ve BL' yi kullanarak benzeri özellikleri taşıyan üç karışım (Karışım-1, Karışım-2 ve Karışım-3) hazırlanmıştır. Microsoft Excel™ spreadsheet'i kullanarak C/N oranı=25 ve başlangıç kompost karışım nemi %44 (yaş baz) olacak şekilde karışımların hazırlanması hedeflenmiştir. Karışımından alınan örneklerle analiz yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1 de verilmiştir. Başlangıç kompost nemi ve C/N oranı asıl deneylere başlamadan önce yapılan gözlemler doğrultusunda sırasıyla yaklaşık olarak %44 (yaş baz) ve 25 olması gerektiği belirlenmiştir. Başlangıç neminin bu kadar düşük olmasının sebebi, SPF'nin su tutma kapasitesinin düşük olmasından ileri geldiği söylenebilir. Başlangıç kül içeriği her üç karışım için yaklaşık %54 olarak belirlenmesine rağmen, Karışım-3'un kül içeriği değeri hedeften %14 sapsmıştır.

Deneysel Düzenek ve Yöntem

Bu çalışmada, üç adet, 208 L hacminde, iç çapı 57 cm ve yüksekliği 81.6 cm (izalasyon malzemesi kalınlığı hariç) olan reaktörler kullanılmıştır (Şekil 1). Her bir reaktörde giriş havasının kompost materyalinde düzgün olarak dağılımını sağlamak için, reaktör taban boşluğu (plenum) oluşturulmuştur. Taban boşluğu, yüksekliği 13 cm olup kompost yığınının altında her birinin çapı 3.2 mm olan deliklerden meydana gelen delikli saçlar (açıklık alanı %40) kullanılarak oluşturulmuştur. Biri küçük diğeri büyük fandan oluşan havalandırma ünitesi, çapı 5 cm olan PVC borularıyla reaktöre bağlanmıştır. Hava debilerinin ölçülebilmesi için PVC borusuna orifis plakası yerleştirilmiştir.

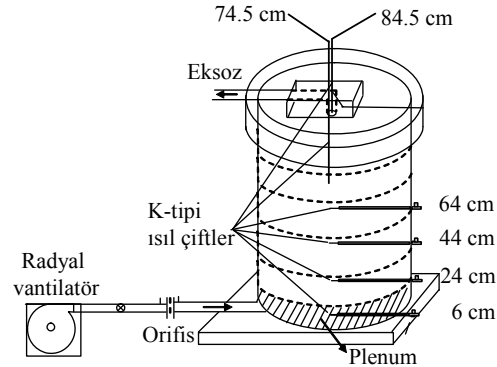
Çizelge 1. SPF, BL ve karışımların başlangıç kimyasal analizleri^[a].

Materyal	pH	Karbon içeriği (C) (%) ^[c]	Azot içeriği (N) (%) ^[c]	C/N oranı	Kül içeriği (%) ^[c]	Nem içeriği (%) ^[b]
SPF	10.5 ^[d]	16.64±0.59	0.06±0.02	264±138.07	80.20±1.73	41.10
BL	7.7	37.80±0.58	3.40±0.18	11.20±0.57	15.20±1.25	30.60
Karışım-1	8.25±0.07	28.88±0.85	1.08±0.06	23.96±0.47	54.76±1.45	48.10±3.20
Karışım-2	8.45±0.07	28.81±1.37	1.13±0.04	25.54±2.17	53.39±4.01	49.10±0.50
Karışım-3	8.20±0.00	21.99±2.92	1.14±0.30	19.62±2.55	62.53±1.51	48.50±2.00

^[a] Çizelgede değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir n=2, ^[b] yas baz (yb) ve ^[c] kuru baz (kb), ^[d] bu değerler tek olup standart sapma değerleri yoktur.

Küçük fan oksijen ihtiyacının karşılanması için 0.33 kg hava/kg kompost.gün oranıyla hava sağlamıştır. Büyük fan ise, buharlaştırmalı soğutma amacıyla önceden belirlenmiş sıcaklıkta (Temperature set point, Tsp=60°C) termostatla kontrol edilmiş olup, 1 kghava/kgkompost.gün oranıyla hava sağlamıştır. Fanların osilasyonunu önlemek için 1.5°C sıcaklık bandında çalışılmıştır. Termostatik kontrol sistemi fanların çalışmasını ya küçük fan yada büyük fan çalışacak şekilde düzenlemiştir. Her bir reaktör çevresi ve kapağı 50 mm kalınlığında yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Reaktörler 10 cm yüksekliğinde ağaçtan yapılmış kutuların üzerine yerleştirilmiştir. Sıcaklıklar 6 farklı yüksekliğe (6, 24, 44, 64, 74.5, 84.5 cm) yerleştirilmiş K tipi ısı çiftleri vasıtasıyla ölçülmüştür. Katmanlardaki ortalama sıcaklıklar ikinci dereceden bir polinom denkleminin interpolasyonu ile bulunmuştur. Sıcaklık kontrolü için 64 cm yüksekliğe yerleştirilen ısı çifti kullanılmıştır. Aynı zamanda plenum sıcaklığı ve hava sıcaklığı aynı tip ısı çiftleri ile ölçülmüştür. Ölçüm aralığı olarak 1 saat seçilmiştir. Isıl çiftlerden alınan sıcaklık okumaları Digi III Kaye Data Logger'ında kaydedilmiştir. Havanın yoğuşma sıcaklığı bir dewpoint metre ile (E&EG, Model 6000) her saat başı ölçülmüştür. Oksijen (MSA, Model 4000) ve karbondioksit (MSA, Model 3000) konsantrasyonları her saate bir ölçülmüştür. Örnekleme eksoz havasından yapılmıştır. Karışım-1, Karışım-2 ve Karışım-3 sırasıyla Reaktör-1, Reaktör-2 ve Reaktör-3'e doldurulmuştur. Her bir reaktörün karıştırma öncesi kütlesi tartılmış, sonra beton zemin üzerine dökülmüş ve kürekle karıştırma yapılmıştır. Her bir karıştırmada, kompost nemi, pH, C, N, kül içeriği için iki adet örnek alınmıştır. Gerekli miktarlarda su ilavesi yapılmıştır. Daha sonra karıştırılan materyal tekrar

reaktörlere doldurulmuş ve kütlesi tartılmıştır. Kül ve nem içeriği analizleri kompost laboratuvarında yapılmış diğer kimyasal analizler ise, Ohio Agricultural Research and Development Center's Service Testing and Research Laboratory, Ohio State University, Wooster, Ohio' da yapılmıştır. Deney 10.92 gün sürmüştür. Karıştırma zamanı; sıcaklık, karbondioksit ve oksijen profilleri baz alınarak belirlenmiştir. Karıştırma işlemi 3.92'nci ve 6.92'nci günde yapılmıştır. İlave edilen su miktarları ve nem profilleri bir sonraki "SONUÇ VE TARTIŞMA" bölümünde verilecektir. Deneyler süresince kompost neminin %36'nın altına düşmesine izin verilmemiştir. Bu işlem gözlemlere ve deneyimlere dayalı olarak yapılmıştır.

**Şekil 1. Kompost reaktörü.**

SONUÇ ve TARTIŞMA

pH, C/N oranı, Kül İçeriği, Kuru Madde Kaybı

Deney sonu kimyasal analizler Çizelge 2 (Reaktör-1), Çizelge 3 (Reaktör-2) ve Çizelge 4 (Reaktör-3)'de verilmiştir. pH değerleri zamana bağlı olarak çok az değişmiştir. Deneyler süresince pH'nın değişim aralığı (8.45-7.55) her üç deney için mikroorganizmaların

Çizelge 2. Reaktör-1 sonuçları. pH C, N, kül içeriği ve kuru madde kaybının (DML) zamana bağlı olarak değişimi.

Zaman	pH -	Karbon içeriği (C) (%)	Azot içeriği (N) (%)	C:N oranı	Kül içeriği (%)	DML (%)
0.00	8.25±0.07	25.88±0.85	1.08±0.06	23.98±0.47	54.76±1.45	0.00
3.92	8.35±0.07	22.82±0.71	1.05±0.03	21.65±0.68	58.93±2.01	5.00
6.92	8.00±0.00	20.52±1.11	1.03±0.07	19.96±1.03	63.06±1.75	10.00
10.91	7.55±0.07	16.65±1.13	1.00±0.02	16.67±1.51	67.2±5.42	16.00

Çizelge 3. Reaktör-2 sonuçları. pH C, N, kül içeriği ve kuru madde kaybının (DML) zamana bağlı olarak değişimi.

Zaman	pH -	Karbon içeriği (C) (%)	Azot içeriği (N) (%)	C:N oranı	Kül içeriği (%)	DML (%)
0.00	8.45±0.07	28.81±1.37	1.13±0.04	25.54±2.17	53.39±4.01	0.00
3.92	8.40±0.00	23.44±1.11	1.12±0.02	21.65±1.04	57.81±1.53	3.00
6.92	8.25±0.07	20.98±1.45	1.10±0.03	19.96±1.71	62.24±0.45	6.00
10.91	7.60±0.00	16.83±0.11	1.09±0.07	15.54±1.06	65.17±0.65	14.00

Çizelge 4. Reaktör-3 sonuçları. pH C, N, kül içeriği ve kuru madde kaybının (DML) zamana bağlı olarak değişimi.

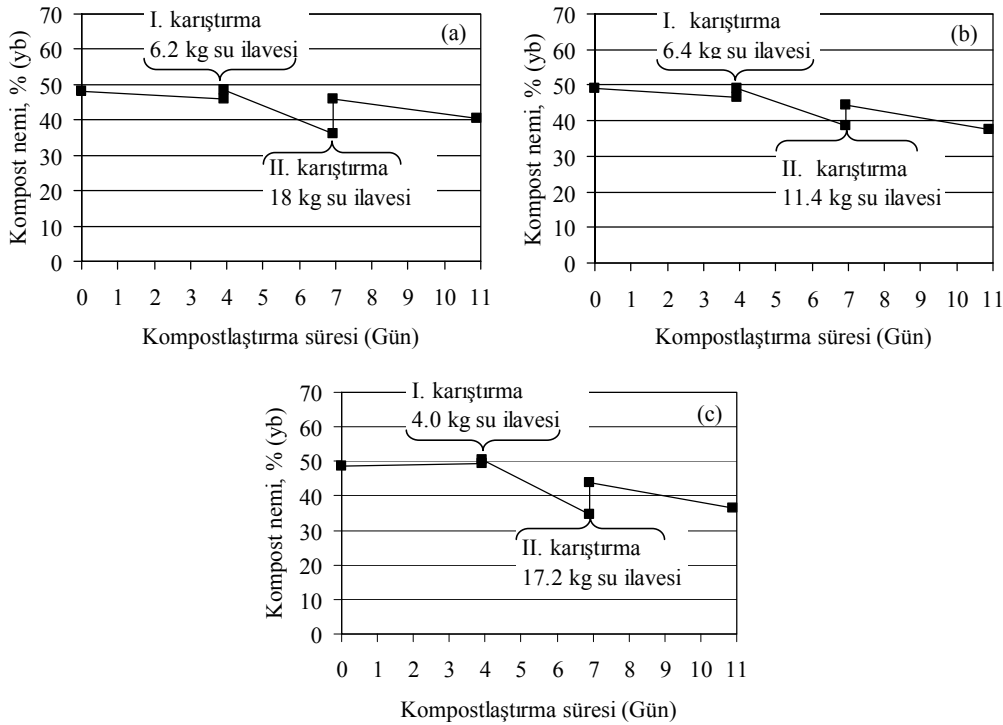
Zaman	pH -	Karbon içeriği (C) (%)	Azot içeriği (N) (%)	C:N oranı	Kül içeriği (%)	DML (%)
0.00	8.20±0.00	21.99±2.92	1.14±0.30	19.62±2.55	62.53±1.51	0.00
3.92	8.55±0.07	18.95±1.35	1.05±0.20	17.98±1.67	65.89±2.01	6.00
6.92	8.00±0.00	17.08±1.02	0.97±0.00	17.64±3.01	69.25±1.39	7.00
10.91	7.60±0.00	16.23±0.00	1.09±0.07	14.98±0.92	72.68±1.57	12.00

aktivitelerini en iyi sürdürebileceği aralıkta kalmıştır. Karbon içeriği Reaktör-1'de %25.9'dan %16.7'ye düşerken, Reaktör-2'de %28.9'dan %16.8'e düşmüş ve Reaktör-3'te ise %22.0'den %16.2'ye düşmüştür. Benzer şekilde azot içeriği de zamana bağlı olarak azalmıştır. Azot içeriği Reaktör-1'de %1.08'ten %1.00'e düşerken, Reaktör-2'de %1.13'ten %1.09'a düşmüş, Reaktör-3'de ise %1.14'ten %1.09'a düşmüştür. Başlangıç C/N oranı 24.0 (Reaktör-1), 25.5 (Reaktör-2) ve 19.6 (Reaktör-3) iken, sırasıyla 16.7, 15.5 ve 15.0'a düşmüştür.

Biyolojik ayrışmanın göstergesi olan kül içeriği değerleri, %18.5 (Reaktör-1), %18.1 (Reaktör-2) ve %14.0 (Reaktör-3)'lük bir artış göstermişlerdir. Kuru madde kaybı (DML) başlangıç ve sonuç kompost kuru maddeleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Karbonun mikroorganizma tarafından kullanılması (dolayısıyla kül içeriğinin artması) kuru madde kaybına yansımıştır. DML, Reaktör-1, Reaktör-2 ve Reaktör-3 için sırasıyla, %16, %14 ve %12 olarak bulunmuştur.

Kompost Materyal Nemi

Kompost neminin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 2'de Reaktör-1, 2 ve 3 için verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi I. karıştırma 3.92'nci günde yapılmıştır. İlk karıştırmada sırasıyla Reaktör-1, 2 ve 3 için kompost materyaline 6.2, 6.4 ve 4.0 kg su ilavesi yapılmıştır. Su ilavesindeki temel amaç, kompost nemini belirli sınırlar arasında tutup, kompostlaştırma işlemi süresince yüksek ayrışma elde etmektir. Deney öncesi yapılan çalışmalarda kompost neminin %36'nın altına düşmemesi gerektiği, aksi takdirde ayrışmanın çok yavaşladığı bulunmuştur. II. karıştırma 6.92'nci günde yapılmıştır. II. karıştırmada ilave edilen su miktarları daha fazladır. Bunun sebebi, I. karıştırmaya kadar kompostlaşma işlemi çok yavaş ilerlemiş ve dolayısıyla kompost materyali daha az su kaybetmiş ve daha az su ilavesi yapılmıştır. Fakat I. karıştırmadan sonra kompostlaşma işlemi çok hızlı gelişmiş ve havalandırma nedeniyle kompost materyalinde yüksek miktarda kuruma meydana gelmiş olması ve daha fazla su ilavesi yapılmıştır.



Şekil 2. Kompost neminin (a): Reaktör-1, (b): Reaktör-2, (c): Reaktör-3 zamana bağlı olarak değişimi.

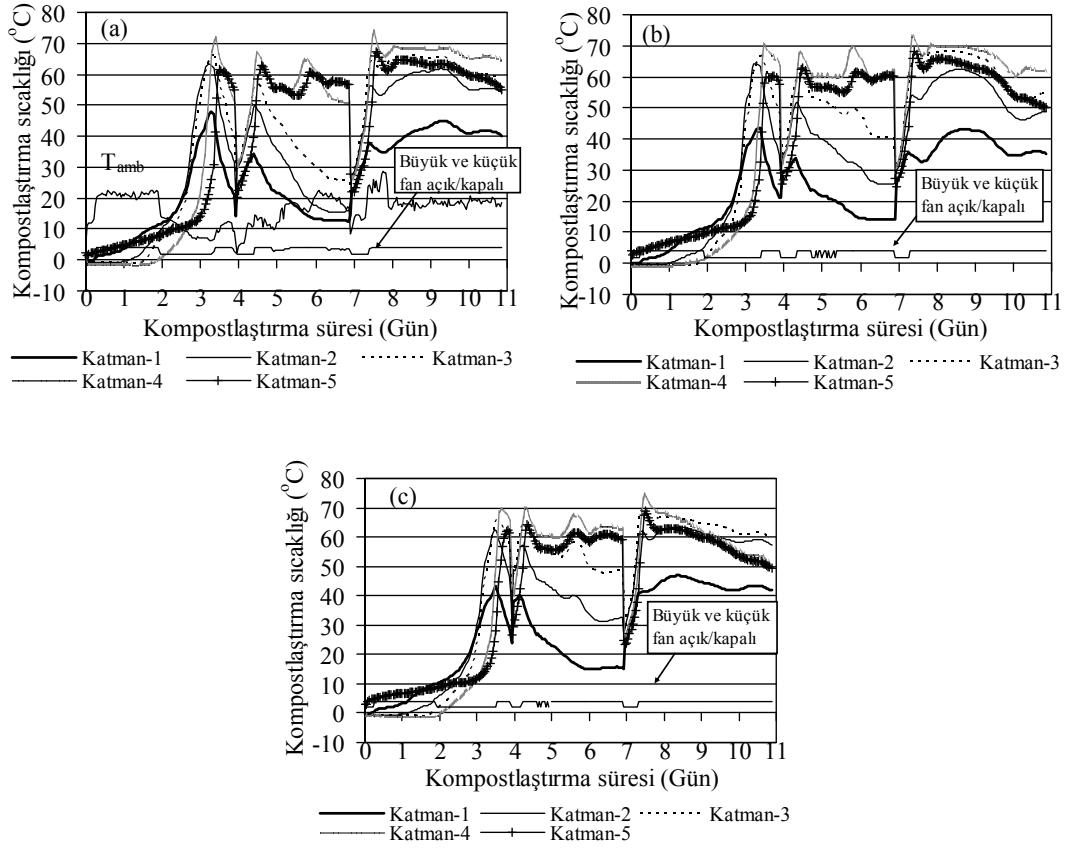
Nem içerikleri, II. karıştırma işleminin başlangıcında, Reaktör-1'de %36.0, Reaktör-2'de %38.5 ve Reaktör-3'te ise %35'e kadar düşmüştür. II. karıştırma sonucunda, kompost neminin tekrar başlangıç nemine dönebilmesi için Reaktör-1'e 18, Reaktör-2'ye 11.4 ve Reaktör-3'e ise 17.2 kg su ilavesi yapılmıştır. Su ilaveleri sonucunda kompost nemleri Reaktör-1'de %46.1, Reaktör-2'de %44.6, Reaktör-3'te ise %44.0 olmuş ve başlangıç nemlerine ulaşamamıştır. Bunun sebebi ise bir miktar suyun karıştırma sonucunda beton zeminde kaybolması ve kompost nem analizindeki standart değişimidir.

Kompost Sıcaklığı

Şekil 3a, 3b ve 3c'de 5 farklı katmandan ölçülen sıcaklıklarla beraber "büyük ve küçük fan açık/kapalı" zamanları ve dış hava sıcaklıkları kompostlaştırma süresinin bir fonksiyonu olarak Reaktör-1, Reaktör-2 ve Reaktör-3 için verilmiştir. Her üç reaktörde de yaklaşık 3.5 gün içinde sıcaklık 60°C'ye ulaşmıştır. Havalandırma ünitesinin hava verdisi, kompostlaştırma işleminin ilk aşamalarında elle ayarlanmıştır. Rutgers stratejisi olarak ta bilinen bu havalandırma

yönteminde, kompostlaştırma işleminin ilk aşamalarında sıcaklık kontrolünün elle yapılması, sistemin oksijen kıtlığı çekmemesi içindir. Bunun için büyük fan çalıştırılmıştır.

Dikkat edilirse kompostlaştırmanın 0.2'nci gününe kadar küçük fan çalıştırılmıştır. 0.2-2.0'nci günler arasında, Katman-4'teki sıcaklık 60°C'ye ulaşmadığı halde büyük fan devreye girmiştir. Oksijen ihtiyacının daha fazla olduğu bu anlarda büyük fan ile daha fazla hava sağlanmıştır. 2-3.4'ncü günler arasında küçük fan çalışmış ve sıcaklıklar 60°C'ye kadar çıkmıştır. Katman-4'teki sıcaklık 60°C'nin üzerine çıktığında sıcaklık kontrol ünitesi devreye girmiş ve büyük fan soğutma yapmıştır (3.4-3.92'nci günler arası). I. karıştırmada, materyal beton zemine dökülmüş karıştırma yapılmış ve reaktörlere yükleme yapılmıştır. Bu aşamada, katmanların dış hava sıcaklığına eşit bir sıcaklığı vardır. I. karıştırmadan hemen sonra küçük fan devreye girmiş (3.9-4.3 günler), sıcaklıklar hızlı bir şekilde artmıştır. Sıcaklık 60 °C'yi geçtiğinde ise büyük fan devreye girmiştir.

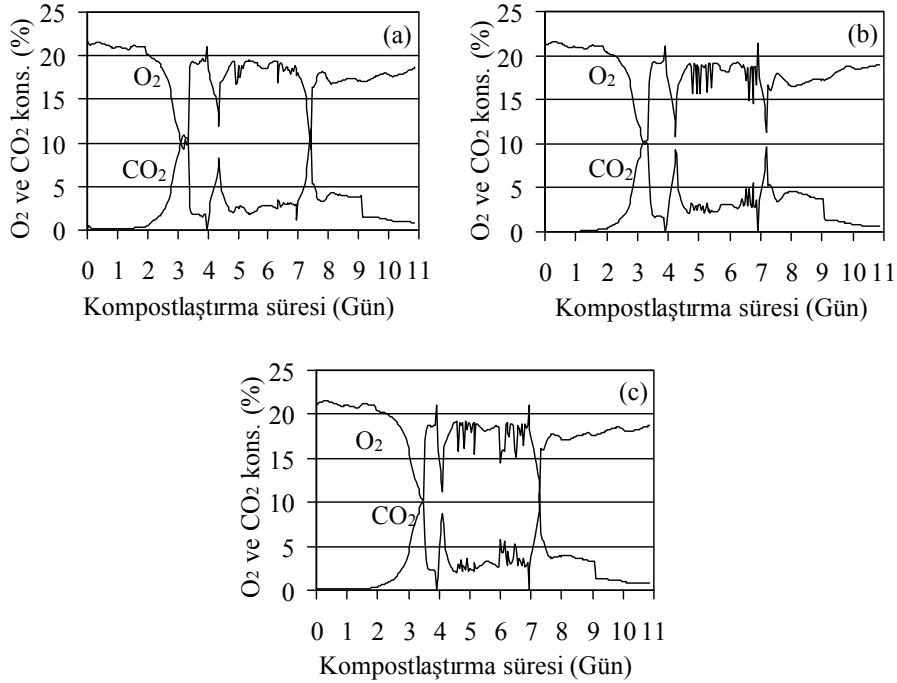


Şekil 3. Kompost sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (a: Reaktör-1; b: Reaktör-2 ve c: Reaktör-3).

II karıştırma zamanına kadar, yoğun olarak büyük fan çalışmıştır. Bu bölge, ayrışmanın çok hızlı olduğu bölgedir. Buharlaşırılmalı soğutma sonucu olarak katmanlar arasındaki sıcaklık 50°C'ye kadar ulaşmıştır. II. karıştırma 6.92'nci günde yapılmıştır. 6.92-7.25'nci günler arasında küçük fan daha sonraki aşamalarda büyük fan devreye girmiştir. Dış hava sıcaklığı (T_{amb}), 16.4±5.1°C değerleri arasında değişmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, Katman-4 sıcaklığının Katman-5'ten daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, en üstteki katman olan Katman-5'in su buharının, reaktör kapağında yoğunlaşarak tekrar Katman-5'e dönmesi ve buradaki sıcaklığı düşürmesi olarak gösterilebilir.

Kompost-Havası Oksijen ve Karbondioksit Konsantrasyonu

Şekil 4'te kompost eksoz havası-O₂ ve CO₂ konsantrasyonları zamana bağlı olarak değişimi tüm reaktörler için verilmiştir. İyi bir kompostlaştırma işleminde CO₂ ve O₂ konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi "ayna etkisi" gösterir. Diğer bir deyişle birbirlerini ters yönde izlerler. Şekil 4 incelendiğinde, kompostlaştırmanın 2'nci gününden sonra O₂ tüketiminin ve CO₂ çıkışının yoğun olduğu görülür. Küçük fanın devreye girdiği günlerde, oksijen konsantrasyonunun %10'un altına düşmediği gözlenmektedir. Bu konsantrasyon değeri, mikroorganizmanın yaşamını riske etmeden devam ettirebileceği sınır değeridir. Literatürde, bu değer %5 olarak verilmektedir. CO₂ konsantrasyonunun yükselmesi organik materyaldeki karbonun mikroorganizma tarafından kullanıldığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4. O₂ ve CO₂ konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimi. (a): reaktör-1 ve (b): reaktör-2.

Sonuç olarak, karışım özellikleri birbirine benzer 3 karışım, 3 adet 208 litrelik reaktörlerde kompostlaştırılmıştır. Kompost reaktörlerinde; kompost sıcaklıkları, hava nemi ve sıcaklığı, kompost nemi ve kütlesi, O₂ ve CO₂ konsantrasyonları, pH, C/N oranı, kül içeriği ve hava verdileri zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Kompost sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi her 3 reaktörde birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Sıcaklığın zamanla değişimine bağlı olarak O₂ ve CO₂ konsantrasyonları değişmiştir ve sonuçlar her 3 reaktör içinde birbirine yakındır. Karıştırma zamanları, sıcaklık, O₂ ve CO₂ profillerine dayanarak tespit edilmiştir. Karıştırma işlemleri 3.92'nci ve 6.92'nci günlerde yapılmıştır. Karıştırma işleminde ilave edilen su miktarları, farklı başlangıç kütlesi, kompost materyalinin beton zemin üzerinde karıştırılması ve kompost-nem analizindeki standart sapma gibi nedenlerden dolayı, reaktörler arasında farklılıklar göstermiştir. Her üç reaktörden ölçülen kül içeriği değerleri organik materyal içindeki karbonun mikroorganizma tarafından kullanıldığını göstermiştir.

Kuru madde kaybı (DML), Reaktör-1 için %16, Reaktör-2 için %14 ve Reaktör-3 için %12 olmuştur. Bu sonuçlar, aynı çevre koşullarında, birbirine yakın özelliklerde kompost karışımı hazırlandığında benzer sonuçların (sıcaklık, O₂, CO₂, kütle, kül ve nem içeriği değişimi) üretilebileceğini göstermiştir. Fakat her bir reaktörün kendine özgü koşulları oluşmuş olup, bunlar Çizelge 5'te verilmiştir. Her üç reaktörden ölçülen, başlangıç kompost yatağı sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonu, laboratuvar ortamı dış hava sıcaklığı ve mutlak nemi, başlangıç kompost yaş kütlesi ve nemi, kompost kül içeriği, büyük ve küçük fan hava verdileri, I.ve II. karıştırmada ilave edilen su miktarları, oksijen ve sıcaklıklar, bir sonraki bölümde geliştirilecek olan modelin geçerliliğinin sağlanması için modele aktarılacaktır.

Çizelge 5. Sayısal kompost modelinin geçerliliğinin sağlanmasında kullanılacak olan parametreler.

Değişken	Reaktör-1	Reaktör-2	Reaktör-3	Birim	Açıklama
T_i	0.84	0.09	0.08	°C	Başlangıç kompost yatak sıcaklığı
O_i	22.0	21.0	21.0	%	Başlangıç kompost yatak O_2 kons.
T_{amb}	21.5	21.5	21.5	°C	Laboratuvar ortamı sıcaklığı
W_{amb}	0.004	0.004	0.004	kg kg ⁻¹	Laboratuvar ortamı mutlak nemi
W_i	116.85	117.57	113.22	kg	Başlangıç kompost yaş kütlesi
M_i	48.10	48.50	49.10	yb, %	Başlangıç kompost nemi
β_{O_2}	55.00	63.00	53.00	kb, %	Başlangıç kompost kül içeriği
\dot{m}_l	0.32	0.34	0.37	kg kg ⁻¹ gün ⁻¹	Küçük fan kütleli hava debisi
\dot{m}_h	1.02	1.02	1.04	kg kg ⁻¹ gün ⁻¹	Büyük fan kütleli hava debisi
$m_{w,I}$	6.20	4.00	6.40	kg	I. karıştırmada ilave edilen su miktarı
$m_{w,II}$	18.00	17.20	11.40	kg	II. karıştırmada ilave edilen su
T_I	29.21	33.95	28.17	°C	I. karıştırmadan sonraki yatak
T_{II}	21.93	26.28	25.28	°C	II. karıştırmadan sonraki yatak
$O_{2,I}$	19.0	21.0	21.0	%	I. karıştırmadan sonraki O_2 kons.
$O_{2,II}$	18.0	21.0	21.0	%	II. karıştırmadan sonraki O_2 kons.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Das, K. ve Keener, H.M., 1997. Numerical model for the dynamic simulation of a large scale composting system. Transactions of the ASAE 40 (4), 1179-1189.
- Ekinci, K., Keener, H. M., Michel, F. C., Elwell, D. L., 2001. Effect of temperature and initial moisture content for the composting of short paper fiber and broiler litter. ASAE Paper No. 017001. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Jeris, J. S. ve Regan, R. W., 1973. Controlling environmental parameters for optimum composting (Part 1). Compost Science, 14(1), 10-15.
- Haug, R. T., 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, CRC Press.
- Keener, H. M., Marugg, C., Hansen, R. C., Hoitink, H. A. J., 1993. Optimizing the efficiency of the composting process. In: Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects (Hoitink H A J; Keener H M eds), pp 59-94, Columbus, OH: Renaissance Publications.