

## Kompostlaştırma İşleminde Periyodik Karıştırmayı Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma II- Model Geliştirilmesi, Geçerliliği ve Simülasyonlar

Kamil EKİNCİ<sup>1</sup>, Harold M. KEENER<sup>2</sup>, Davut AKBOLAT<sup>1</sup>, Emrah ONURSAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SDÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Çünür Isparta,

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

**Özet:** Çalışmanın II. bölümünde, nümerik kompost modeli geliştirilmiş, deneylerden elde edilen sonuçlarla geçerliliği test edilmiş ve simülasyonlar yapılmıştır. Modelin tahmin performansını değerlendirmek için korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hata kullanılmıştır. Kompost nümerik modeli, kompostlaştırma işleminde periyodik karıştırmayı etkileyen faktörler için simüle edilmiştir. Model girdi değerleri olarak; karışım kül içeriği ( $\beta_{02}$ ), maksimum ayrışma oranı ( $k_{max}$ ), yanma ısısı değeri ( $hc$ ), dış hava sıcaklığı ( $T_{amb}$ ), kompost kontrol sıcaklığı ( $T_{sp}$ ), çıktı değerleri ise; karıştırma zamanları ve sıklığı, ilave edilen su miktarı ( $\alpha_w$ ), kuru madde kaybı (DML), kompost olgunlaşma oranı ( $mR$ ) ve enerji kullanımı ( $E$ ) değerleri seçilmiştir. Modelin çıktıları tablolar halinde verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kompostlaştırma işlemi, modelleme ve simulasyon, proses kontrol

### A Study on the Factors Affecting the Periodic Mixing of Composting Process II- Model Development, Validation and Simulations

**Abstract:** Numeric compost model was developed, its validity was tested by using the data from the experiments, and compost model was simulated. Correlation coefficient and average absolute error were used for predictive performance of compost model. Compost model was simulated to determine effects of the factors affecting periodic mixing of composting. Ash content of mix ( $\beta_{02}$ ), maximum decomposition rate ( $k_{max}$ ), heat of combustion ( $hc$ ), ambient temperature ( $T_{amb}$ ) and compost control temperature ( $T_{sp}$ ) were chosen as input variables, remixing time and frequency, water addition ( $\alpha_w$ ), dry matter loss (DML), maturity ratio ( $mR$ ) and energy usage ( $E$ ) were chosen as output variables for model. The model outputs were tabulated in this study.

**Key words:** Composting process , modeling and simulation, process control

## GİRİŞ

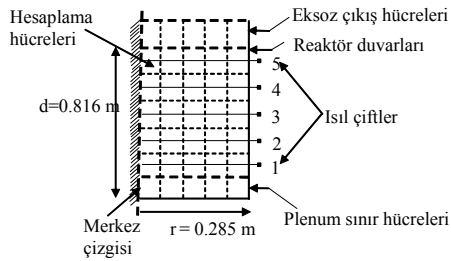
Kompost eko-sisteminin matematiksel modellemesi, sistemi tanımlayan çeşitli durum değişkenleri arasındaki dinamik ilişkinin anlaşılmasını kolaylaştırır. Başarılı sistem modelleri, değişik durumlarda sistemin davranışını doğru tahmin eder, fazla zaman, para ve gayret yatırımı olmaksızın sistem dizaynı ve yönetimi konusunda bilgi verir (Keener ve ark., 1993; Das, 1995). Keener ve ark. (1993) laboratuvar deneyleriyle beraber kompostlaştırma işleminin matematiksel modellemesinin, yapım, işletme masrafları ve enerji kullanımına bağlı olarak bir

dizaynın optimizasyonunda kullanılabileceğini bildirmiştir. Das (1995) değişik havalandırma stratejileri altında, kapalı sistemlerin dizayn edilmesinde kullanılabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle, kompostlaştırma işleminde periyodik karıştırmayı etkileyen faktörler modelleme yöntemiyle belirlenmeye çalışılacaktır. Çalışmanın amaçları; 1. nümerik kompost modelinin denklemlerini oluşturmak, 2. geliştirilen modelin geçerliliğini deneylerle sağlamak ve 3. faktörlerin karıştırmaya olan etkilerini simülasyonlar vasıtasıyla irdelemektir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Kompost Nümerik Modeli

Nümerik kompost modeli bölüm I'de açıklanan reaktörler için geliştirilmiştir. Bu reaktörün şematik olarak çizimi Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada, Keener ve ark. (1993) tarafından tanımlanan kompost denklemleri nümerik kompost modelini oluşturmak için kullanılacaktır. Kompost denge denklemleri silindirik koordinat sisteminde yazılmıştır.  $\Phi$  yönünde ihmal edilebilecek seviyede ısı ve kütle transferi olduğundan sadece r ve z doğrultuları dikkate alınmıştır. r doğrultusundaki hücre alanları hücre yarıçaplarını dikkate alarak eşitlenmiştir. Aynı zamanda r doğrultusunda, merkezde ısı transferinin olmadığı varsayılmaktadır. Kompost modeli "mxn" kadar grid için yapılmış olup, işleme hızı ve kolaylığı sebebiyle 5x5 boyutları tercih edilmiştir. Model, sonlu farklar metodunu kullanmaktadır. Kompost denge denklemlerini çözmek için, dikdörtgen (rectangular) ve açık (explicit) entegrasyon metodları kullanılmıştır. Kompost modeli Borland C++™ programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 1. Kompost reaktör sisteminin şematik olarak çizimi.

### Kompost Denge Denklemleri

Kompostlaştırma işlemini tanımlayan kütle ve ısı denklemleri (Keener ve ark., 1993) aşağıda verilmiştir:

#### Kompost kütlesi- hava

$$\frac{dm_a}{d\theta} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} - b_{ca} \frac{dm_c}{d\theta} \quad (1)$$

#### Kompost kütlesi-su

$$\frac{dm_{cw}}{d\theta} = w_{as, in} \dot{m}_{in} - w_{as, out} \dot{m}_{out} + b_{cw} \frac{dm_c}{d\theta} \quad (2)$$

### Kompost kütlesi –oksijen konsantrasyonu

$$\varepsilon V \frac{dC_{O_2}}{d\theta} = C_{O_2, in} Q_{in} - C_{O_2, out} Q_{out} + g_{O_2} \frac{dm_c}{d\theta} \quad (3)$$

### Kompost kütlesi -enerji

$$m_c c_p \frac{dT}{d\theta} = h_c \frac{dm_c}{d\theta} + \dot{m}_{in} HAI - \dot{m}_{out} HAO + \left[ \left( \frac{q_z}{A_z} \right)_{in-out} + \left( \frac{q_r}{A_r} \right)_{in-out} \right] \quad (4)$$

Bu denklemler şu kabuller doğrultusunda yazılmıştır: 1-hava sıcaklığı kompost sıcaklığı ile aynı olduğu, 2-kontrol hacminden çıkan havanın sıcaklığı kontrol hacmi içindeki havanın sıcaklığı ile aynıdır ve 3-kompost kütlesi kontrol hacminin sınırlarını geçmez.

Denklemlerdeki "in" hesaplama hücrelerine giriş "out" hesaplama hücrelerinden çıkış anlamına gelmektedir. Denklemlerdeki parametrelerin anlamları aşağıda verilmiştir:

- $m_c$  = kompost kütlesi, kg
- $m_a$  = kuru hava kütlesi, kg
- $\dot{m}$  = hava kütle debisi, kg gün<sup>-1</sup>
- $b_{ca}$  = hava yararlanma katsayısı, 0.49 kg kg<sup>-1</sup>
- $m_{cw}$  = kompost su kütlesi, kg
- $w_{as}$  = hesaplama hücrelerindeki sıcaklıklarda doymuş mutlak nem, kg kg<sup>-1</sup>
- $b_{cw}$  = mikrobiyel metabolizmanın su üretimi katsayısı, 0.51 kg kg<sup>-1</sup>
- $Q$  = hacimsel hava debisi, m<sup>3</sup> gün<sup>-1</sup>
- $V$  = kompost hacmi (m<sup>3</sup>),
- $C_{O_2}$  = kompost matrisindeki oksijen konsantrasyonu, kg O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>-kuru hava
- $g_{O_2}$  = ayrışabilir kompost kütlesi başına oksijen tüketimi, 1.177 kg kg<sup>-1</sup>
- $c_p$  = kompost özgül ısı kapasitesi, kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>
- $HAI$  = hesaplama hücrelerine giren havanın entalpisi, kJ kg<sup>-1</sup>
- $HAO$  = hesaplama hücrelerinden çıkan havanın entalpisi, kJ kg<sup>-1</sup>
- $q_r$  = r doğrultusundaki birim alanda, birim zamandaki kondüktif ısı geçişi, kJ gün<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>
- $q_z$  = z doğrultusundaki birim alanda, birim zamandaki kondüktif ısı geçişi, kJ gün<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>
- $A_r$  = r doğrultusundaki kondüktif ısı geçişine dik alan, m<sup>2</sup>
- $A_z$  = z doğrultusundaki kondüktif ısı geçişine dik alan, m<sup>2</sup>
- $h_c$  = yanma ısı değeri, 18090.49 kJ kg<sup>-1</sup> (25 °C'de)
- $T$  = kompost sıcaklığı, °C
- $\varepsilon$  = kompost materyali porozitesi, %
- $\theta$  = süre, gün

### Kompost Kinetiği

Kompost modellerinin temelini proses kinetiği ile ilgili denklemler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, iki parçalı-birinci dereceden bir kinetik ayrışma modeli kullanılmıştır:

$$\frac{dm_c}{d\theta} = \sum_j \frac{dm_{c,j}}{d\theta} = \sum_j -k_j [m_{c,j}(\theta) - m_{e,j}] \quad (5)$$

Kinetik çalışmanın detayları Keener ve ark. (1993) ve Ekinci (2001) de verilmiştir.  $j$ , ayrışabilir kompost kütlesinin bileşenleri için bir indekstir. Yani, 1 ve 2 sırasıyla hızlı ve yavaş ayrışabilen kompost kütlesinin bileşenleri için kullanılmıştır.  $k_j$  ayrışma oranıdır.  $m_{ej}$  kompost denge kütlesini (kg) ifade eder.  $m_{ej}$  aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$m_{ej} = \beta_{oj} \lambda_j m_{cj}(0) \quad (6)$$

$\beta_{oj}$ ,  $\theta = 0$  olduğu zaman kompost denge değeri (kg kg<sup>-1</sup>),  $\lambda_j$  her bir bileşenin kompost kütlesindeki oranı (ondalık),  $m_{cj}(0)$  başlangıç kuru kompost kütlesidir (kg). Bu çalışmada,  $\beta_{o1}$  ve  $\lambda_1$  değerleri sırasıyla 0.0 ve 0.1 olarak alınmıştır. Ayrıca,  $\beta_{o2}$  kompost karışımının kül içeriği değerine eşit olduğu varsayılacaktır. Eğer  $k_j$  değeri sabit olduğu kabul edilirse, çözüm kompost kütle oranı veya olgunlaşma oranı (mR) olarak tanımlanır:

$$mR = u_1 e^{-k_1 \theta} + u_2 e^{-k_2 \theta} \quad (7)$$

yukarıdaki denklemde:  $u_1 + u_2 = 1.0$  ve

$$u_j = \frac{m_{cj}(\theta) - m_{ej}}{m_c(0) - m_{ej}} \text{ dir.}$$

mR birimsizdir.  $\theta = 0$  ise mR 1'e eşittir.  $\theta$ ,  $\infty$ 'a yaklaşırsa mR değeri 0'a yaklaşır. mR değeri ayrışmanın ne kadar ilerlediğini göstermektedir.  $k_1$  ve  $k_2$  ise hızlı ve yavaş ayrışma oranı olarak tanımlanırlar (gün<sup>-1</sup>) ve kompost sıcaklığı, nem, oksijen ve porozite etkisini içermektedir.

$$k_1 = C_1 C_{O_2} C_\varepsilon k \quad (8a)$$

$$k_2 = C_2 C_{O_2} C_\varepsilon k \quad (8b)$$

$C_\varepsilon$  porozitenin ayrışma üzerindeki etkisi için kullanılan faktör (Ekinci, 2001),  $C_{O_2}$  oksijen konsantrasyonunun ayrışma üzerindeki etkisi için kullanılan faktör (Ekinci, 2001),  $C_1$  hızlı ayrışma oranı için kullanılan katsayı (2.50),  $C_2$  yavaş ayrışma oranı için kullanılan katsayı (1.00),  $k$ , ayrışma oranı olarak ifade edilmiş olup, Ekinci ve ark. (2001) tarafından aşağıdaki gibi modellenmiştir:

$$k = k_{\max} e^{-0.5 \left[ \left[ \frac{M-44.22}{19.87} \right]^2 + \left[ \frac{T-58.31}{16.72} \right]^2 \right]} \quad (9)$$

$k_{\max}$  maksimum ayrışma oranı (0.089 gün<sup>-1</sup>),  $M$  kompost nemi, (% , yas baz (yb)) ve  $T$  kompost sıcaklığı (°C).

Kuru madde kaybı (DML), başlangıç ve son kompost kuru maddelerini dikkate alarak hesaplanmıştır:

$$DML = \left[ 1 - \frac{m_c(\theta)}{m_c(0)} \right] 100 \quad (10)$$

### Kompostlaştırma İşleminde Enerji Kullanımı

Kompostlaştırma işleminde havalandırma dolayısıyla birim kuru başlangıç kompost kütlesi başına kullanılan enerji miktarı (Keener ve ark., 1993) aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$E = \sum_i \frac{f \rho_c^\ell d^{\ell+1} (\dot{m}_{f,i})^{\ell+1} t_i}{\alpha \eta} \quad (11)$$

$i$  indeks olup büyük fan için 1, küçük fan için 2 değerini alır.  $f$  ve  $\ell$ , basınç düşümü ile hava debisi arasındaki ilişki elde edilen katsayılar (0.000044 ve 1.25),  $\alpha$  çevrim katsayısı (881.60 m<sup>3</sup> cm Hg<sup>-1</sup> W<sup>-1</sup>),  $\eta$  fan etkinliği (0.50),  $d$  reaktör içindeki efektif kompost yığın yüksekliği (0.685 m),  $\dot{m}_{f,i}$  başlangıç kompost kütlesi başına hava debisi (kg kg<sup>-1</sup>gün<sup>-1</sup>) ve  $\rho_c$  kompost yoğunluğu (607.75 kg m<sup>-3</sup>) ve  $t_i$  fanların çalışma süresi (gün).

### Kompost Nemi Kontrolü

Buharlaştırmalı soğutma, kompost ortamından yoğun bir şekilde suyu uzaklaştırmakta, özellikle soğutma havası ile karşılaşan ilk katman olan Katman-1 hızlı bir şekilde kurumaktadır. Bunun yanında reaktör kapağında meydana gelen yoğunlaşma nedeniyle üst katmanın nem miktarı artmaktadır. Meydana gelen bu nem farklılıklarını ortadan kaldırmak için kompost materyalinin belirli periyotlarda karıştırılması gerekir. Bu çalışmada nem kontrolü iki farklı şekilde yapılmıştır. Birinci uygulama şeklinde, deneylerde olduğu gibi belirli zamanlarda kompost materyali, sıcaklık, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> profillerine dayanarak, yere dökülmüş, karıştırılmış ve belirli miktarda su ilavesi yapılmıştır. Bu tip nem kontrolü modelin geçerliliğini sağlamak için kullanılacaktır. II. tip nem kontrolünde kompost nemi, belirli nem aralıklarında (kompost üst nem sınırı ( $w_U$ ) ve alt nem sınırı ( $w_L$ , %, kuru baz

(kb)) otomatik olarak kontrol edilmiştir. Yani, nem-geri beslemeli su ilave sistemi programa monte edilmiştir.

Kompost nemi, alt nem sınırının altına düşerse, başlangıç kuru kompost kütlesi başına ilave edilmesi gereken su miktarı (Keener ve ark., 1993):

$$\alpha_w = (w_u - w_l) \frac{mc(\theta)}{mc(0)} \quad (12)$$

Her bir karıştırmada, kompost sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonu dış havanın sıcaklığına ve oksijen konsantrasyonuna eşitlenecektir. Ayrıca karıştırma sıklığı ve zamanı kaydedilecektir.

### **Kompost Modelinin İşletilmesi ve Geçerliliği**

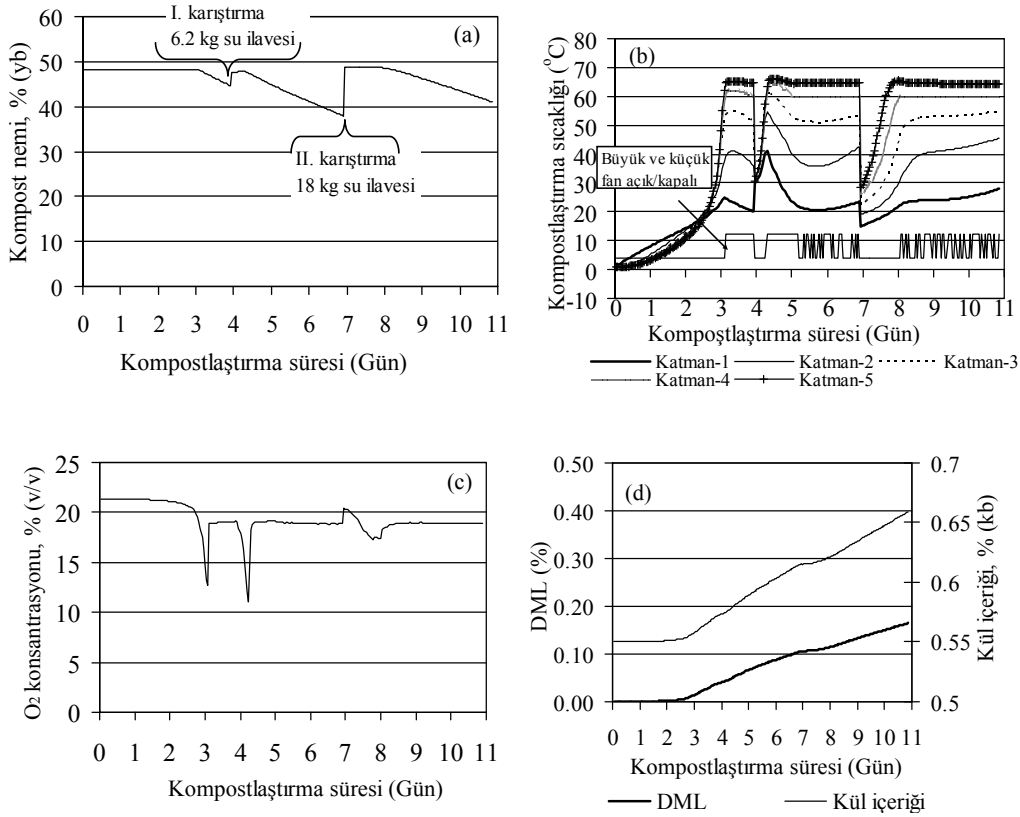
Kompost modeli deney süresi olan 10.92 gün için çalıştırılmıştır. Hesaplama hatası için reaktör genel kompost-su ve enerji dengesinden yararlanılmıştır. 10.92'nci gün sonunda model, su dengesi için %0.18 hata, enerji için %0.24 hata vermiştir. Ayrıntı için (Ekinci, 2001) bakınız. Modelin tahmin etme performansını değerlendirmek için iki hata fonksiyonundan yararlanılmıştır: korelasyon katsayısı (CC) ve ortalama mutlak hata (AAE). Bu iki fonksiyon, 5 farklı katmandaki sıcaklık, eksoz havası O<sub>2</sub> konsantrasyonu, kompost nem ve kül içeriği ve kompost kütlesi için uygulanmıştır. Modelin geçerliliğinin test edilmesi için I. bölümde elde edilen veriler kullanılmıştır.

## **SONUÇ ve TARTIŞMA**

### **Model geçerliliğinin Sağlanması**

Kompost modeli her bir reaktörden alınan verileri kullanarak çalıştırılmıştır. Bu bölümdeki tartışmalarda Bölüm-1'deki verilerden yararlanılacak ve "Bölüm-1" olarak atıf yapılacaktır. Deneylerde olduğu gibi 3.92'nci ve 6.92'nci günlerde sırasıyla I. ve II. karıştırma yapılmış ve deneylerde kullanılan su miktarları kadar su ilavesi yapılmıştır. Başlangıç ve

karıştırma sonrası veriler yine reaktörlerden alınmıştır. Bu çalışmada, sadece Reaktör-1 için sonuçlar grafik olarak verilmiştir. Reaktör-1'deki kompost materyaline ait nem (Şekil 2a), sıcaklık (Şekil 2b), oksijen konsantrasyonu (Şekil 2c), kütle (Şekil 2d), ve kül içerikleri (Şekil 2d) zamana bağlı olarak modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Bunun yanında, modelin tahmin performansı, korelasyon katsayısı (CC) ve ortalama mutlak hata (AAE) fonksiyonlarını kullanarak model sonuçları ile deney sonuçlarını karşılaştırılarak (her üç reaktördeki kompost materyalinin sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, kütle, nem ve kül içerikleri) değerlendirilmiştir (Çizelge 1). Reaktör-1 için deney ve model sonuçları karşılaştırıldığında, I. karıştırma öncesi kompost neminin çok az azaldığı ve deneysel olarak %44.5 (yb) (Şekil 2a, Bölüm-1), model sonucunda ise %46 (yb) olduğu bulunmuştur. Bu farkın, katmanlardaki deneysel ve model sıcaklıklarının zamana bağlı değişimlerinin farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Şekil 2b). 6.2 kg su ilave edilmiş ve I. karıştırma sonrası kompost nemleri deneysel olarak %47.7 (yb)'e, model sonucu olarak %48.5 (yb)'e yükseltilmiştir. II. karıştırma öncesi kompost nemi, deneysel olarak %36.0 (yb) model sonucu ise %37.9 (yb) dir. 18 kg su ilave edilmiş ve kompost nemleri sırasıyla %46 (yb) ve %48.8 (yb)'e yükseltilmiştir. Reaktör-1 kompost nemi açısından değerlendirildiğinde, model sonucunun deney sonuçlarını yakından izlediği görülür (CC=0.95) (Çizelge 1). CC değerleri, Reaktör-2 ve 3 için sırasıyla 0.81 ve 0.97 olarak hesaplanmıştır. Ortalama mutlak hatalar, Reaktör-1, 2 ve 3 için sırasıyla 1.54, 4.80, ve 1.02 (yb) olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Bu sonuçlar, modelin, kompost nemi açısından deney sonuçlarını izlediğini göstermektedir



**Şekil 2. Reaktör-1'e ait kompost nemi, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, kütle ve kül içeriklerinin zamana bağlı olarak değişimi.**

5 farklı katmandaki simülasyon kompost sıcaklıkları Şekil 2b'de "büyük ve küçük fan açık/kapalı" zamanları ile beraber verilmiştir. Deneysel sonuçlar (Şekil 3a, Bölüm-1) ile model sonuçları karşılaştırıldığında, genel olarak model sonuçlarının deney sonuçlarını izlediği görülmektedir. Aradaki farklılıklar, dış ortam havasının yeterince kontrol edilememesi, reaktör kapağındaki yoğuşma gibi bazı fiziksel gerçekliklerin modele monte edilememesinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 1'den görüldüğü gibi her üç reaktör için en düşük CC değerleri Katman-1'deki sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Bunun sebebi olarak, deneylerde ve modelde kullanılan havalandırma stratejilerinin belirli bir zamana kadar farklılıklar göstermesi ve bu farklılıklardan en çok etkilenen katmanın Katman-1 olmasıdır. Diğer katmanlarda, modelin tahmin

performansı yüksek olup, en düşük CC değeri Reaktör-2 için 0.74 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

En düşük oksijen konsantrasyonun, deney sonuçlarında %9 (Şekil 4, Bölüm-1), model sonucunda ise %10'un üzerinde kaldığı görülmektedir (Şekil 2c). Oksijen konsantrasyonu açısından modelin tahmin performansı her üç reaktör için orta derecede olup, modelin oksijen konsantrasyonu açısından geliştirilmesi gerekmektedir (Çizelge 1).

Kompost kütlesi ve kül içeriği açısından her üç reaktör için modelin tahmin performansı yüksek olup (CC=0.96-0.99), model sonuçları (Şekil 2d) ile deney sonuçları (Çizelge 2, Bölüm-1) arasında bir uyuma olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Sonuç olarak, geliştirilen modelin geçerliliği deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve genelde model ile deney sonuçlarının örtüştüğü belirlenmiştir.

**Çizelge 1. Model tahmin performansı için korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hata değerleri.**

Değişken	Birim	Örneğin alındığı yer	Reaktör-1		Reaktör-2		Reaktör-3	
			CC <sup>1</sup>	AAE <sup>2</sup>	CC	AAE	CC	AAE
Sıcaklık	°C	1(alt)	0.70	9.71	0.76	9.78	0.75	7.78
		2	0.74	12.90	0.90	10.95	0.86	8.98
		3	0.82	10.98	0.97	7.41	0.94	7.02
		4	0.94	7.76	0.97	5.79	0.95	6.53
		5 (üst)	0.92	7.29	0.95	6.95	0.92	7.13
O <sub>2</sub> kons.	%	(eksoz)	0.57	0.01	0.78	0.01	0.73	0.01
Materyal nemi	yb, %	Tüm reaktör	0.95	1.54	0.81	4.80	0.97	1.02
Kütle	kg	Tüm reaktör	0.99	0.28	0.96	1.18	0.99	2.19
Kül içeriği	kb, %	Tüm reaktör	0.99	0.02	0.99	0.01	0.96	0.02

### **Kompost Materyalinin Özelliklerinin Periyodik Karıştırma İşlemine Etkisi**

Kompost materyalinin özelliklerinin ( $\beta_{02}$ ,  $k_{max}$  ve  $hc$ ) periyodik karıştırma işlemine (karıştırma zamanları,  $\alpha_w$ ,  $mR$ ,  $DML$  ve  $E$ ) etkisini belirlemek için bir dizi simülasyon yapılmıştır (Çizelge 2). Simülasyonlar 10.92 gün için yapılmıştır.  $\beta_{02}$  karışımın kül içeriği olup mikroorganizma tarafından yararlanılamayan kısımdır.  $\beta_{02}$  değerinin azalmasıyla karıştırma sıklığı artmakta ve daha erken karıştırma yapmak gerekmektedir (Çizelge 2). Bunun yanında, belirli bir  $\beta_{02}$  değeri için  $\alpha_w$  değeri zamana bağlı olarak azalmaktadır. Bunun sebebi, zamana bağlı olarak kompost kütlelerinin azalması gösterilebilir. Bu nedenle her bir karıştırmada ilave edilecek su miktarı ( $\alpha_w$ ), kompostlaştırmanın hangi aşamada olduğu hesap edilerek belirlenmelidir.  $\beta_{02}$ 'nin değişmesi  $\alpha_w$  değerini değiştirmemektedir.  $\beta_{02}$ 'in azalmasıyla,  $mR$  değerinde çok belirgin bir değişme olmasa bile azalma eğilimi görülmektedir.  $mR$  değerinin artması kompostlaştırma işleminin tamamlanması için daha fazla zamana ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir.  $\beta_{02}$  değeri 0.10'dan 0.70'e arttırıldığında,  $DML$  %66 oranında azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Bunun sebebi,  $me_2$  değeri, düşük kül içeriklerinde daha küçük bir değere sahip olmakta ve belirli bir zamanda ayrışacak organik madde miktarı da artmakta ve dolayısıyla, daha fazla enerji ( $E$ ) tüketimi olmaktadır (Çizelge 2).

$k_{max}$ , ayrışabilen organik maddelerin maksimum ayrışma oranını ifade etmekte olup bir çok kompost sisteminin dizaynında temel alınan bir parametredir. Kompost için kullanılan organik maddelerin bir

çoğunun ayrışma oranları 0.05-0.20 gün-1 arasında değişmektedir.  $k_{max}$ 'ın artmasıyla karıştırma sıklığı artmaktadır. Bunun sonucu olarak daha erken karıştırma yapmak gerekmektedir. Belirli bir  $k_{max}$  değeri için  $\alpha_w$  değeri zamana bağlı olarak azalmaktadır.  $\beta_{02}$ 'ye benzer olarak,  $k_{max}$ 'ın değişmesi  $\alpha_w$  değerini değiştirmemektedir.  $k_{max}$  değerinin artmasıyla daha kısa sürede kompost olgunlaşmakta ve daha fazla kuru madde kaybı meydana gelmektedir. Enerji kullanımının  $k_{max}$  ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

$hc$  değeri kompost için kullanılan materyallerin enerji değerini göstermektedir.  $hc$  değerinin artmasıyla karıştırma sıklığı artmakta ve karıştırma işlemi daha erken yapılmaktadır.  $\alpha_w$  değeri  $k_{max}$  ile benzeri sonuçları vermektedir (Çizelge 2).

### **Dış Hava ve Kompost Sıcaklıklarının Karıştırma İşlemine Etkisi**

Kompostlaştırma açısından dış havanın en önemli özelliğinden biri olan sıcaklık ( $T_{amb}$ ), 10°C'den başlayarak 30°C'ye yükseltilmiştir. Düşük dış hava sıcaklıkları kompostlaştırma işlemine negatif yönde etki etmektedir. Dış hava sıcaklığının düşmesiyle, karıştırma zamanı artmış, karıştırma sıklığı ise azalmıştır.  $\alpha_w$  açısından ele alındığında,  $k_{max}$  veya  $hc$  gibi davrandığı görülür (Çizelge 3). Dış havanın özellikle kış aylarında, ön ısıtmadan geçirilip kompost ortamına verilmesinin nedeni budur. Bu işlemin maliyeti arttırmasına karşılık, kompost olgunlaşmasında ne kadar yararı olduğu Çizelge 3'ten anlaşılmaktadır. Bunun paralelinde enerji kullanımının artmasını beklemek doğaldır.

Diğer yandan geri beslemeli sıcaklık kontrol sisteminin kontrol sıcaklığının (Tsp) etkisi yine Çizelge 3'te verilmiştir. Kontrol sıcaklıkları 50°C'den başlayarak 70°C'ye kadar, 5°C'er arttırılmıştır. Karıştırma zamanları, 50-60°C arasındaki sıcaklıklarda azalma eğilimi, 60-70°C arasındaki sıcaklıklarda artma eğilimi göstermiştir. Diğer bir deyişle, 60°C de minimum

değerini almıştır.  $\alpha_w$  değeri sıcaklığın artmasıyla çok az bir azalma göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla, mR değeri azalmış, DML değeri de artmıştır. Bunun sebebi olarak, kontrol sıcaklıklarının katmanlarda oluşan sıcaklıklara etkisi, havalandırma stratejisinin etkisi ve ısı çift yerleşiminin etkisi gösterilebilir.

**Çizelge 2. Kompost materyalinin özelliklerinin periyodik karıştırma işlemine etkisi.**

	Değeri	Karıştırma zamanları (gün)				$\alpha_w$ (kgw kgc <sup>-1</sup> )				mR	DML	E
		I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.	-	%	kJ kgc <sup>-1</sup>
$\beta_{02}$	0.10	2.21	4.42	6.58	8.83	0.30	0.27	0.25	0.23	0.64	0.32	0.09
	0.30	2.54	5.25	8.29	-	0.30	0.27	0.25	-	0.63	0.26	0.08
	0.50	3.50	7.75	-	-	0.30	0.27	-	-	0.63	0.18	0.06
	0.70	6.08	-	-	-	0.30	-	-	-	0.62	0.11	0.03
$k_{max}$	0.05	8.54	-	-	-	0.29	-	-	-	0.80	0.09	0.02
	0.10	3.50	7.96	-	-	0.30	0.27	-	-	0.60	0.18	0.06
	0.20	2.00	4.08	6.63	9.83	0.30	0.27	0.25	0.23	0.38	0.28	0.08
hc	15000	5.38	-	-	-	0.29	-	-	-	0.63	0.17	0.04
	20000	3.33	7.42	-	-	0.30	0.28	-	-	0.62	0.17	0.06
	25000	2.42	5.21	8.46	-	0.30	0.29	0.27	-	0.61	0.18	0.08

**Çizelge 3. Dış hava ve kompost sıcaklıklarının karıştırma işlemine etkisi.**

	Değeri	Karıştırma zamanları (gün)			$\alpha_w$ (kgw kgc <sup>-1</sup> )			mR	DML	E
		I.	II.	III.	I.	II.	III.	-	%	kJ kgc <sup>-1</sup>
$T_{amb}$	10	5.54	-	-	0.30	-	-	0.83	0.08	0.03
	20	3.92	8.92	-	0.30	0.27	-	0.64	0.16	0.05
	30	3.08	6.13	9.83	0.30	0.28	0.25	0.51	0.22	0.07
Tsp	50	4.42	10.71	-	0.30	0.28	-	0.69	0.14	0.07
	55	4.08	9.58	-	0.30	0.28	-	0.67	0.15	0.06
	60	3.92	8.92	-	0.30	0.27	-	0.64	0.16	0.05
	65	4.04	9.08	-	0.29	0.27	-	0.62	0.17	0.04
	70	6.17	-	-	0.29	-	-	0.62	0.17	0.01

## LİTERATÜR LİSTESİ

Das, K., 1995. Effects of aeration pathways on spatial homogeneity during in-vessel composting. PhD dissertation. Columbus, Ohio: Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University.

Ekinci, K., 2001. Theoretical and experimental study on the effects of aeration strategies on the composting process. PhD dissertation, Columbus, Ohio: Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University.

Ekinci, K., Keener, H. M., Michel, F.C., Elwell, D.L., 2001. Effects of temperature and initial moisture content for the composting of short paper fiber and broiler litter. ASAE Paper No. 017001. St. Joseph, MI: ASAE.

Keener, H. M., Elwell, D. L., Das, K., Hansen, R. C., 1996. Remix scheduling during composting based on moisture control. Transactions of ASAE, 39(5), 1839-1845.