

## Havalandırma Oranı ve Başlangıç Karbon/Azot Oranının Alkaloid İşleme Katı Atıklarının Tavuk Gübresi İle Kompostlamasında Enerji Tüketimine Etkisi

Barbaros S. KUMBUL<sup>1</sup>, Kamil EKİNCİ<sup>1\*</sup>, İsmail TOSUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu Yazar: [kamilekinci@isparta.edu.tr](mailto:kamilekinci@isparta.edu.tr)

Geliş Tarihi: 14.01.2022 Düzeltme Geliş Tarihi: 07.05.2022 Kabul Tarihi: 09.05.2022

### Öz

Bu çalışma; havalandırma oranı ve başlangıç C/N oranının alkaloid işleme katı atıklarının tavuk gübresi ile kompostlamasında, havalandırma nedeniyle tüketilen enerji miktarına etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Denemede 15 adet 100 litrelik otomatik kontrollü kompost reaktörleri kullanılmıştır. Kompostlama sıcaklığının kontrolü havalandırma fanlarının sıcaklık geri beslemeli kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki farklı denemeden oluşmaktadır. I. deneme, havalandırma oranının (beş farklı havalandırma debisi ve üç farklı açık/kapalı süreleri) kompostlama sisteminin enerji tüketimine etkisini belirlemek için yapılmıştır. II. deneme ise başlangıç C/N oranının enerji tüketimine etkisini belirlemek için (beş farklı başlangıç C/N oranı) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları en düşük seviyede enerji tüketiminin, havalandırma debisinin 1.5-2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> olduğu uygulamalardan elde edildiğini göstermiştir. Diğer taraftan en düşük seviyede enerji tüketimi, C/N oranının yaklaşık olarak 21 ile 31 arasında değiştiği uygulamalardan elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alkaloid katı işleme atığı, kompostlama, enerji tüketimi

## The Effect of Aeration Rate and Initial Carbon/Nitrogen Ratio on Energy Consumption in Composting of Alkaloid Processing Solid Wastes with Poultry Manure

### Abstract

This study was conducted to determine the effect of aeration rates and initial C/N ratio on the energy consumed due to aeration in composting of alkaloid processing solid wastes with poultry manure and sawdust. Fifteen 100-liter automatic controlled compost reactors were used in the experiment. The control of the composting temperature was carried out by the temperature feedback control of the ventilation fans. The study consists of two different trials. Experiment I was conducted to determine the effect of the ventilation rate (five different aeration rates and three different on/off times) on the energy consumption of the composting system. II. The experiment was carried out to determine the effect of the initial C/N ratio on energy consumption (five different initial C/N ratios). The results of the study showed that the lowest energy consumption was obtained from applications where the aeration rate was between 1.5 and 2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> from the first trial. On the other hand, the lowest level of energy consumption was obtained from applications where the C/N ratio ranged between approximately 21 and 31 from the second trial.

**Keywords:** Alkaloid processing solid wastes, composting, energy consumption

## Giriş

Haşhaş (*Papaver somniferum* L.); tohumunda %50 oranında yağ, kapsülünde ise tıbbi açıdan önemi olan morfin ve diğer alkaloidleri (Benzilizokinolin Alkaloidleri, kodein vb.) içeren tek yıllık endüstri bitkisidir (Frick ve ark., 2007). Haşhaş tohumu gıda endüstrisinde kullanılırken, tohumu alınan kapsül ise morfin ve diğer alkaloidler için işlenmektedir. Kapsülün işlenmesi sonucunda Alkaloid Katı İşleme Atığı (AKİA) oluşmaktadır. Bu atık ayrıca haşhaş küspesi olarak isimlendirilmektedir. Haşhaş küspesi hayvan beslenmesi için kullanılmakta olup büyükbaş hayvanlarda süt verimini pozitif yönde etkilediği bildirilmiştir (İpek ve Arslan, 2012). AKİA, yüksek organik madde içeriği nedeni ile tarımsal alanlarda gübreleme amacıyla kullanılmaktadır. Diğer taraftan, AKİA'nın belirli miktarda içerdiği morfin nedeni ile tarımsal alanlarda direk uygulanması koku ve uyuşturucu ile ilgili problemlere yol açmaktadır (Suthar ve Singh, 2012). Nitekim Wang ve ark. (2004) karıştırmalı yığın kompostlama metodunu kullanarak yığınların çevirme sıklığının AKİA içeriğinde bulunan morfinin ayrışmasına etkisini belirlemişlerdir. Deneme, karıştırmaz, 5 günde bir karıştırma, 10 günde bir karıştırma ve 15 günde bir karıştırma olmak üzere dört uygulama olarak tasarlanmıştır. Tüm uygulamalarda, kalıntı morfin içeriği tespit sınırının altına düşmüştür. Kompostlamanın 30. gününden sonra Çin güvenlik standardına ulaşılmıştır. AKİA'nın yığın kompostlaması için her on günde bir karıştırma sıklığı tavsiye edilmiştir.

Türkiye'de 2020 yılı itibarı ile 20542 ton haşhaş kapsül üretimi gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2021). Türkiye, dünyadaki afyon üretiminde önemli bir role sahiptir ve dünyanın yasal uyuşturucu ihtiyacının %30'unu karşılama kapasitesine sahiptir. Bir ton ham haşhaş kapsülünün işlenmesi ile 2.5 ton AKİA (%65 nem içeriğinde) elde edilmektedir (Bitrak, 2021).

Kompostlama işlemi, organik atıkların kontrollü aerobik koşullardaki biyolojik olarak ayrışmasına denilmektedir. Organik atıklar, kompostlama ile

yararlı ve katma değeri yüksek humus benzeri bir ürün olan komposta dönüşmektedir. Kompostlama sistemlerinin işletme maliyetleri açısından optimum noktada işletilmesi gerekmektedir. Kompostlama işlemi etkileyen faktörler arasında sıcaklık, karbon/azot oranı, havalandırma, nem kontrolü ve organik materyale ait kinetik parametreler vb. bulunmaktadır. Kompost üreten işletmelerin ekonomik olarak işletilmesi için kompostlama işlemine etki eden bu faktörlerin optimum noktada olması gerekir (Keener ve ark., 2000).

Kompostlama işlemi önemli miktarda enerji tüketmektedir. Sıcaklık, nem içeriği, başlangıç karbon/azot oranı vb. parametrelerin kompostlama işlemine etkisi hakkında yeterli miktarda literatür bulunmasına rağmen, bu parametrelerin kompostlama işleminde enerji tüketimine etkisi konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Onursal ve Ekinci, 2017). Havalandırma oranı (zorlamalı havalandırma sistemlerde) ve başlangıç C/N oranı kompostlama işleminde iki önemli parametredir. Her iki parametre kompostlama işleminin başlangıcında belirlenmelidir. Bu parametre değerlerinin yanlış seçimi ekonomik olmayan kompostlama işlemi ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, reaktör kompostlama sisteminde havalandırma oranı ve başlangıç C/N oranının AKİA'nın tavuk gübresi ve talaş ile kompostlamasında havalandırmadan kaynaklanan enerji tüketimlerine etkisini belirlemektir.

## Materyal ve Yöntem

Kompostlama işlemi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Kompost Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. AKİA, Afyon Alkaloidleri Fabrikası İşletme Müdürlüğü ve tavuk gübresi (TG) Güreli tavuk işletmesinden (Isparta) sağlanmıştır. Talaş ise ağaç işleme atölyesinden temin edilmiştir. Kompostlama materyallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan KAİA, TG ve talaşın fiziksel ve kimyasal özellikleri

	KAİA	TG	Talaş
Nem, %	35.52±1.60	72.42±0.44	6.10±0.01
OM, %	55.39±0.27	70.52±0.31	99.18±0.05
EC, dS m <sup>-1</sup>	2.21±0.01	11.48±0.02	3.90±0.14
pH	8.78±0.05	5.22±0.00	5.70±0.14
TC, %	33.00±0.05	35.41±0.08	48.60±0.10
TN, %	0.88±0.06	5.87±0.03	0.13±0.02
C/N	37.5	6.03	373.85

Bu çalışmada iki farklı deneme yürütülmüştür. I. denemede tek bir kompost karışımı hazırlanarak farklı havalandırma oranlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. II. denemede ise beş farklı karışım hazırlanmış olup, C/N oranlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. I. denemede kuru ağırlık bazında % 65.38 KAİA, %

13.99 TG ve % 20.63 talaş içeren karışım hazırlanmıştır. I. deneme planı Çizelge 2’de verilmiştir. II. denemede beş farklı karışım hazırlanmış olup karışımlar kuru madde bazında hazırlanmıştır (Çizelge 3). Her bir karışım 3 tekrerrülü olarak üç reaktörde kompostlanmıştır.

Çizelge 2. I. Denemede kullanılan havalandırma debileri ve fan açık/kapalı süreleri

$Q_{min}$ ( $m^3 h^{-1}$ )	0.5			1			1.5			2			2.5		
$T_1$	5	7.5	10	5	7.5	10	5	7.5	10	5	7.5	10	5	7.5	10
$T_2$	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
$\xi=T_1/T_2$	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4

Çizelge 3. II. Denemede kullanılan KAİA, TG ve talaşın kuru madde bazında karışım oranları

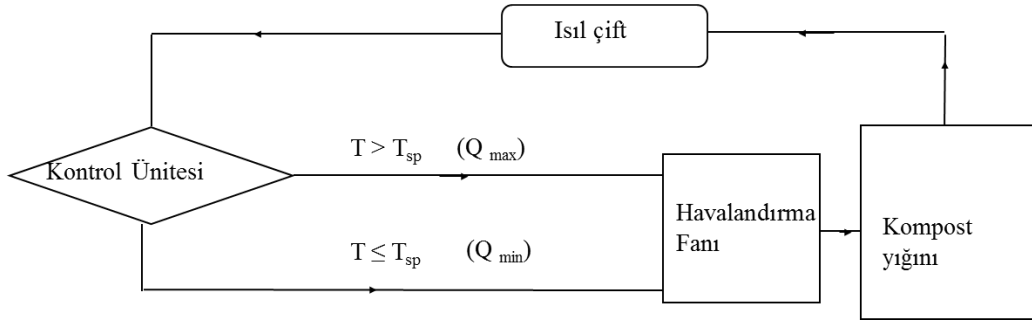
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
KAİA (%)	46.52	63.93	68.04	70.82	71.91
TG (%)	27.21	15.90	10.80	7.24	5.59
Talaş (%)	26.27	20.17	21.16	21.94	22.50
C/N oranı	20.45	24.99	29.01	32.59	37.42

Kompostlama işlemi, efektif hacmi 100 L (iç çap:47 cm, yükseklik:57.5 cm) olan paslanmaz çelikten yapılmış ısı yalıtımlı 15 adet aerobik reaktörde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kompostlama parametrelerinin ölçümü ve kontrolünde PLC kullanılmıştır. Havalandırma işlemi reaktörün taban kısmından yapılmıştır. Havanın kompost materyalinde homojen dağılımını sağlamak için reaktör tabanına delikli ızgara yerleştirilmiştir. Havalandırma işlemi 0.25 kW’lık 150  $m^3 h^{-1}$  kapasiteli fanlarla sağlanmıştır. Kompost sıcaklığının kontrolü, önceden belirlenen kompost

sıcaklığına ( $T_{sp}$ ) bağlı olarak sıcaklık geri beslemeli olarak yapılmıştır. Kompost sıcaklığı ( $T$ )  $\leq T_{sp}$  olması durumunda minimum hava ihtiyacı ( $Q_{min}$ ), havalandırma fanları tarafından açık/kapalı mod’da karşılanmıştır (Şekil 2). Havalandırma fan çalışma/açık süresi  $T_1$  (dakika), fan-kapalı süresi  $T_2$  (dakika) isimlendirilmiştir.  $\xi=T_1/T_2$  olarak tanımlanmıştır (Çizelge 2). Diğer taraftan,  $T > T_{sp}$  olması durumunda ise buharlaştırmalı soğutma için gerekli olan hava ( $Q_{max}$ ) karşılanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Kompost reaktörleri



Şekil 2. Sistemde kullanılan Rutgers havalandırma stratejisi

Kompost numuneleri, başlangıç, karıştırma ve sonlandırma aşamalarında reaktörlerden alınmıştır. Numunelerin nem içeriği  $70 \pm 5$  °C'de 3 gün süren kurutma sonucunda, organik madde içeriği ise 550 °C'de ABD Tarım Bakanlığı ve ABD Kompostlama Konseyi tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir (TMECC, 2002). Numunelerin pH ve EC değerlerinin belirlenmesinde; 1:10 (w/v) katı: su oranında 20 dakika boyunca  $180 \text{ min}^{-1}$  devir altında çalkalama yapıp ekstrakte elde edilmiş, pH ve EC metreler kullanılmıştır (Model WTW pH 720 ve WTW Multi 340i). Toplam C ve N içerikleri, elemental analizör (Vario MACRO CN Elemental analizör) kullanılarak ölçülmüştür.

Denemede havalandırma fanlarının elektrik tüketimleri tek fazlı elektrik sayacı (VEM-T580DB2 Viko) ile gerçekleştirilmiştir. Kompost kuru madde kayıpları (KMK), karbon kayıpları (KK) ve azot kayıpları (AK) aşağıda denklemlerde verilmiştir.

$$\text{KMK (\%)} = \left(1 - \frac{m_c(\theta)}{m_c(0)}\right) 100 \quad (1)$$

$$\text{KK (\%)} = \left(1 - \frac{m_K(\theta)}{m_K(0)}\right) 100 \quad (2)$$

$$\text{AK (\%)} = \left(1 - \frac{m_N(\theta)}{m_N(0)}\right) 100 \quad (3)$$

Denklemlerde,

$m_c(0)$ ,  $m_K(0)$  ve  $m_N(0)$ = başlangıç kompost kuru madde, karbon ve azot kütleleri (kg)

$m_c(\theta)$ ,  $m_K(\theta)$  ve  $m_N(\theta)$ = deneme sonundaki kompost kuru madde, karbon ve azot kütleleri (kg)

## Araştırma Sonuçları ve Tartışma

I. denemede havalandırma oranlarının, havalandırma fanlarının elektrik tüketimine etkisini belirlemek için, % 65.38 AKİA, % 13.99 TG ve % 20.63 talaştan oluşan karışım hazırlanmıştır. I. deneme, 5 farklı havalandırma debisi ( $Q_{\min}$ ) ve 3 farklı fan açık/kapalı sürelerinde (5/25, 7.5/25 ve 10/25) veya üç farklı  $\xi$ 'de (0.2, 0.3 ve 0.4) 7.79 gün sürmüştür (Çizelge 4). Denemede kullanılan reaktörlerin (R) isimlendirilmeleri Çizelge 4'te ilk sütunda verilmiştir. Denemede sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, nem, organik madde, toplam karbon ve azot içerikleri takip edilmiş olup ilgili deneme

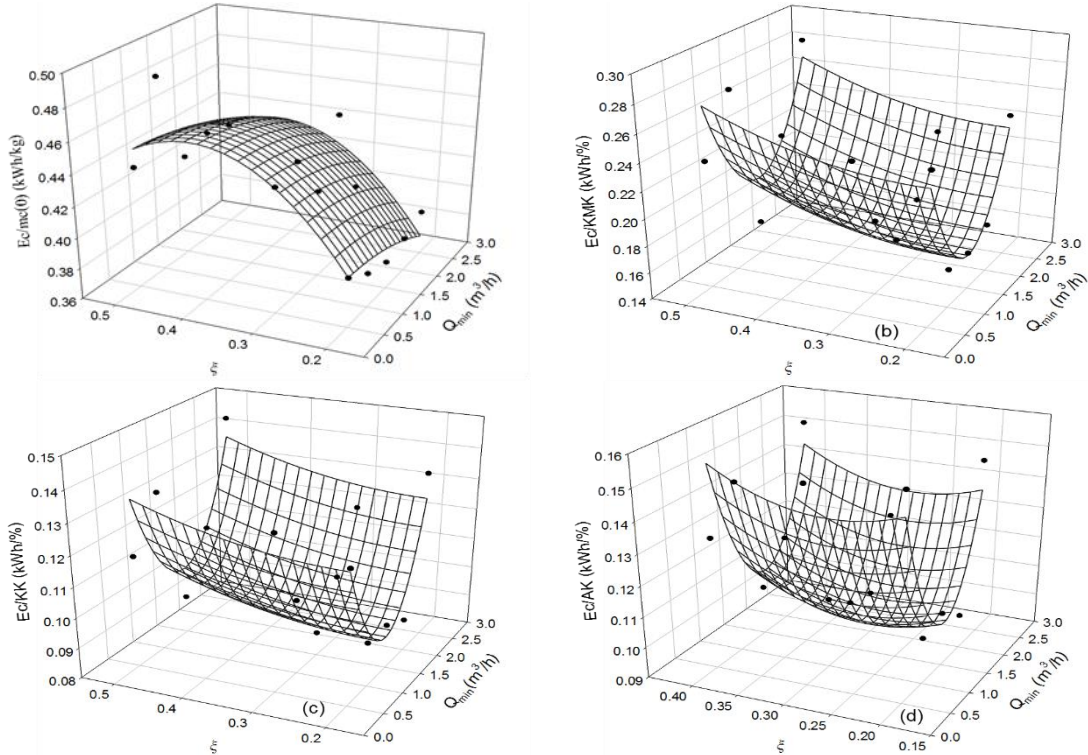
sonuçları Kumbul (2017a) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir. Deney sonu kompost kuru madde miktarları ( $m_c(\theta)$ ) ve havalandırma fanlarının elektrik tüketimleri ( $E_c$ ) Çizelge 4'te verilmiştir. Sonuçlar, havalandırma debisi  $Q_{\min}=1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamasında en yüksek seviyede KMK ve KK gerçekleştiğini göstermiştir. En yüksek KMK değeri (%26.12)  $Q_{\min}=1.50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ve  $\xi=0.5$  olduğu uygulamadan elde edilirken, en yüksek KK değeri ise (%48.40)  $Q_{\min}=1.50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ve  $\xi=0.3$  olduğu uygulamadan elde edilmiştir. AK için değerlendirme yapıldığında, en yüksek AK değeri ise (%44.21)  $Q_{\min}=2.0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ve  $\xi=0.3$  olduğu uygulamadan elde edilmiştir. Kompostlama sistemlerinin işletilmesinde, ürün kalitesini artırarak işletme maliyetlerinin dolayısı ile enerji giderlerinin azaltılması mümkündür (Onursal ve Ekinci, 2017). Farklı havalandırma oranlarının ( $Q_{\min}$  ve  $\xi$ ) etkisini belirleyebilmek için,  $E_c/m_c(\theta)$ ,  $E_c/\text{KMK}$ ,  $E_c/\text{KK}$  ve  $E_c/\text{AK}$  parametreleri tanımlanmıştır.  $E_c/m_c(\theta)$ , birim üretilen kompost kuru kütlesi başına tüketilen enerji olarak tanımlanabilir. Şekil 3a ve Çizelge 4'ten görüleceği gibi, en düşük  $E_c/m_c(\theta)$  değeri ( $0.378 \text{ kWh kg}^{-1}$ )  $Q_{\min}=1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ve  $\xi=0.2$  olduğu uygulamadan elde edilmiştir. Normalize edilmiş bir parametre olan  $E_c/\text{KMK}$ , uygulamaları karşılaştırma amacı ile kullanılabilir. Bu değer aynı zamanda kompostlama işleminin ilerleme düzeyi ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılabilir. Sonuçlar, havalandırma debisi  $Q_{\min}=1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamasında en düşük seviyede  $E_c/\text{KMK}$  gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 3b ve Çizelge 4). KK parametresi, başlangıç ve deney sonu kompost kuru kütlelerinin karbon içeriklerinden hesaplanmakta olup kompost olgunluğu ile doğru orantılıdır. Yüksek KK değerleri daha olgun kompostu ifade etmektedir. Şekil 3c ve Çizelge 4'ten görüleceği üzere en düşük seviyede  $E_c/\text{KK}$  değerleri, havalandırma debisinin  $Q_{\min}=1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  olduğu uygulamadan elde edilmiştir. AK parametresi başlangıç ve deney sonu kompost kuru kütlelerinin azot içeriklerinden hesaplanmaktadır. AK, kompostlama esnasında  $\text{NH}_3\text{-N}$  oluşumundan dolayı ortaya çıkmaktadır (Ekinci ve ark., 2000). En

düşük seviyede  $E_c/KK$  değerleri, havalandırma debisinin  $Q_{min}=2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  olduğu uygulamadan elde edilmiştir (Şekil 3d ve Çizelge 4). Sonuç olarak,  $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$  parametrelerinin  $Q_{min}$  ve  $\xi$  ile değişimleri incelendiğinde en düşük seviyede enerji

tüketiminin  $Q_{min}=1.5-2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamalarından elde edildiği görülmektedir.  $Q_{min}=1.5-2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamalarında  $\xi$  değerinin, enerji kullanımı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. I. denemede KMK, KK, AK,  $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$ 'nın  $Q_{min}$  ve  $\xi$ 'ye bağlı olarak değişimi

R	$Q_{min}$ ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ )	$\xi$ -	$mc(\theta)$ (kg)	$E_c$ (kWh)	KMK (%)	KK (%)	AK (%)	$E_c/mc(\theta)$ ( $\text{kWh kg}^{-1}$ )	$E_c/KMK$ ( $\text{kWh \%}^{-1}$ )	$E_c/KK$ ( $\text{kWh \%}^{-1}$ )	$E_c/AK$ ( $\text{kWh \%}^{-1}$ )
R1	0.5	0.2	10.29	4.03	16.01	32.63	25.95	0.392	0.25	0.12	0.16
R2	0.5	0.3	10.81	4.76	19.05	36.40	31.07	0.440	0.25	0.13	0.15
R3	0.5	0.4	10.83	4.74	20.26	40.72	35.80	0.438	0.23	0.12	0.13
R4	1.00	0.2	10.18	3.89	23.08	41.20	37.04	0.382	0.17	0.09	0.11
R5	1.00	0.3	10.35	4.61	23.60	44.15	40.98	0.446	0.20	0.10	0.11
R6	1.00	0.5	10.88	5.28	19.22	39.92	36.28	0.485	0.27	0.13	0.15
R7	1.50	0.2	10.61	4.00	23.92	42.40	37.25	0.378	0.17	0.09	0.11
R8	1.50	0.3	10.19	4.25	25.26	48.40	40.11	0.417	0.17	0.09	0.11
R9	1.50	0.5	10.09	4.29	26.12	46.46	40.51	0.425	0.16	0.09	0.11
R10	2.00	0.2	10.36	3.95	22.48	43.70	39.12	0.382	0.18	0.09	0.10
R11	2.00	0.3	10.04	4.58	24.54	45.16	44.21	0.456	0.19	0.10	0.10
R12	2.00	0.5	10.67	4.61	20.88	41.35	39.03	0.432	0.22	0.11	0.12
R13	2.50	0.2	11.13	4.33	17.49	32.16	29.31	0.389	0.25	0.13	0.15
R14	2.50	0.3	10.74	4.29	18.79	35.64	34.13	0.399	0.23	0.12	0.13
R15	2.50	0.5	11.21	4.80	16.89	33.25	31.42	0.428	0.28	0.14	0.15



Şekil 3.  $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$ 'nin  $Q_{min}$  ve  $\xi$ 'ye bağlı olarak değişimi

İkinci deneme, beş farklı C/N oranında (20.45, 24.99, 29.00, 32.59 ve 37.42) üç tekerrürlü olarak 18.65 gün sürmüştür. Havalandırma debisi olarak  $1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ve fan açık/kapalı süresi olarak 7.5/25 kullanılmıştır. Denemede, kompostlama

parametreleri (sıcaklık, pH vb.) Kumbul (2017b) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir. C/N oranının enerji tüketimine etkisinin belirlenmesi için regresyon analizinde Gauss denklemi kullanılmıştır. Gauss denklemi, yüksek ve

düşük C/N değerlerinde negatif enerji tüketim değerlerini ( $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$ ) üretmemektedir. Diğer taraftan, Gauss denklemi minimum enerji tüketim değerini sağlayan C/N oranını direk olarak vermektedir (Ekinci ve ark., 2002). C/N oranına bağlı olarak  $E_c/mc(\theta)$ 'nin değişimi (standart sapma değeri ile beraber) Çizelge 5 ve Şekil 4a'da verilmiştir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen denklemden en düşük  $E_c/mc(\theta)$  değerini sağlayan C/N oranı 25.81 olarak belirlenmiştir ( $R^2=0.60$ ).

$$E_c/mc(\theta) = 649.40 - 648.61 e^{-0.5 \left[ \frac{\left(\frac{C}{N}\right) - 25.81}{482.67} \right]^2} \quad (4)$$

Gauss denklemi kullanılarak yapılan regresyon analizi, farklı C/N oranlarında deneysel olarak belirlenen  $E_c/KMK$ 'ye uygulanmıştır ( $R^2=0.97$ ) (Şekil 4b). Regresyon analizi (Denklemler 5), en düşük  $E_c/KMK$  değerinin C/N oranının 29.70 olduğu uygulamada gerçekleştiğini göstermiştir.

$$E_c/KMK = 3.64 - 2.88 e^{-0.5 \left[ \frac{\left(\frac{C}{N}\right) - 29.70}{11.83} \right]^2} \quad (5)$$

$E_c/KK$  parametresinin C/N oranına bağlı olarak değişimi Çizelge 5 ve Şekil 4c'de verilmiştir. Regresyon analizi, en düşük  $E_c/KK$  değerinin C/N oranının 30.84 olduğu uygulamadan elde edildiğini göstermiştir ( $R^2= 0.81$ ).

$$E_c/KK = 0.39 - 0.35 e^{-0.5 \left[ \frac{\left(\frac{C}{N}\right) - 30.84}{1.34} \right]^2} \quad (6)$$

$E_c/AK$  parametresinin C/N oranına bağlı olarak değişimi Çizelge 5 ve Şekil 4d'de verilmiştir. Gauss denklemi kullanarak yapılan regresyon analizi minimum enerji tüketim değerinin C/N oranının 20.75 olduğu uygulamadan elde edildiğini göstermiştir ( $R^2= 0.74$ ).

$$E_c/AK = 603.98 - 603.49 e^{-0.5 \left[ \frac{\left(\frac{C}{N}\right) - 20.75}{637.33} \right]^2} \quad (7)$$

Sonuç olarak, en düşük seviyede enerji tüketimi ( $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$ ), C/N oranının yaklaşık olarak 21 ile 31 arasında değiştiği uygulamalarından elde edilmiştir.

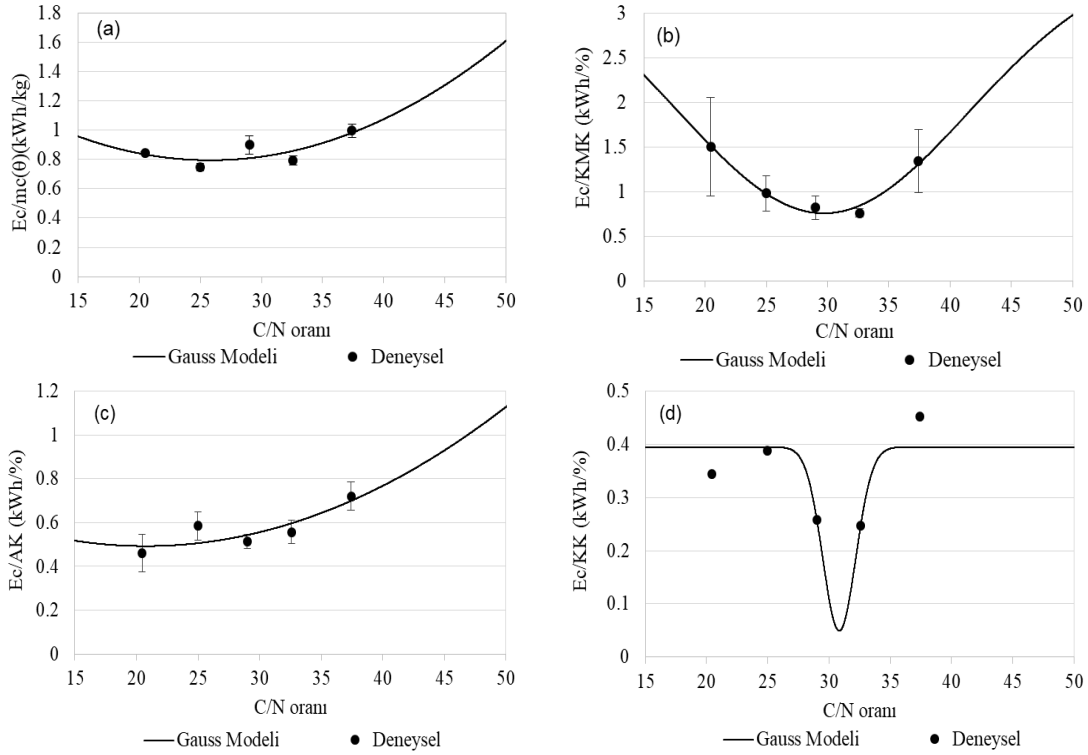
Çizelge 5. II. denemede KMK, KK, AK,  $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/KK$  ve  $E_c/AK$ 'nin C/N oranına bağlı olarak değişimi

C/N oranı	mc( $\theta$ ) (kg)	$E_c$ (kWh)	KMK (%)	KK (%)	AK (%)	$E_c/mc(\theta)$ (kWh kg <sup>-1</sup> )	$E_c/KMK$ (kWh % <sup>-1</sup> )	$E_c/KK$ (kWh % <sup>-1</sup> )	$E_c/AK$ (kWh % <sup>-1</sup> )
20.45	12.45	10.30	16.10	40.15	37.01	0.83	0.64	0.26	0.28
	13.18	11.08	4.05	29.61	22.42	0.84	2.74	0.37	0.49
	13.17	11.34	10.10	28.30	18.57	0.86	1.12	0.40	0.61
24.99	15.65	11.06	7.72	27.41	15.08	0.71	1.43	0.40	0.73
	16.07	11.78	14.20	31.25	24.32	0.73	0.83	0.38	0.48
	15.52	12.49	18.36	32.40	23.32	0.80	0.68	0.39	0.54
29.01	15.31	11.56	10.39	45.16	24.95	0.76	1.11	0.26	0.46
	12.18	12.10	20.33	46.86	24.65	0.99	0.60	0.26	0.49
	12.85	12.21	16.24	46.76	20.77	0.95	0.75	0.26	0.59
32.59	15.08	11.21	14.37	43.58	19.70	0.74	0.78	0.26	0.57
	14.60	12.60	19.11	51.83	28.17	0.86	0.66	0.24	0.45
	14.86	11.50	13.61	47.70	17.56	0.77	0.84	0.24	0.66
37.42	13.23	12.16	5.68	22.68	14.25	0.92	2.14	0.54	0.85
	12.32	11.92	14.99	30.97	19.87	0.97	0.79	0.38	0.60
	11.91	13.13	12.17	30.19	18.48	1.10	1.08	0.43	0.71

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, kompostlama işleminde enerji tüketimi ( $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/AK$  ve  $E_c/KK$ ) parametreleri, havalandırma oranı ( $Q_{min}$  ve  $\xi$ ) ve C/N oranının fonksiyonu olarak incelenmiştir. Çalışma sonuçları, en düşük seviyede enerji tüketiminin  $Q_{min}=1.5-2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamalarından

elde edildiğini göstermiştir.  $Q_{min}=1.5-2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  uygulamalarında  $\xi$  değerinin, enerji kullanımı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan en düşük seviyede enerji tüketiminin, C/N oranının yaklaşık olarak 21 ile 31 arasında değiştiği uygulamalarından elde edilmiştir.



Şekil 4. II. denemede  $E_c/mc(\theta)$ ,  $E_c/KMK$ ,  $E_c/AK$  ve  $E_c/KK$ 'nin C/N oranına bağlı olarak değişimi

### Teşekkür

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 4172-Sİ-14).

### Kaynaklar

- Bitrak, N. B. 2021. Alkaloid İşleme Atıkları ile Sığır Gübresinin Anaerobik Arıtılmasında Optimum Karışım Oranlarının Belirlenmesi ve Organik Yükleme Hızlarının Biyogaz Üretimine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Ekinci, K., Keener, H.M., Elwell, D.L., 2000. Composting Short Paper Fiber with Broiler Litter and Additives. Part I: Effects of Initial pH and Carbon/Nitrogen Ratio on Ammonia Emission. *Compost Science and Utilization*, 8(2), 160-172.
- Ekinci, K., Keener, H.M., Elwell, D.L., 2002. Composting Short Paper Fiber with Broiler Litter and Additives: II- Evaluation and Optimization of Decomposition Rate Versus Mixing Ratio. *Compost Science and Utilization*, 10(1), 16-28.
- Frick, S., Kramell, R., Kutchan, T.M., 2007. Metabolic engineering with a morphine biosynthetic P450 in opium poppy surpasses breeding. *Metab. Eng.* 9, 169-176.
- İpek, G., Arslan, N., 2012. Gıda Maddesi Olarak Haşhaş (*Papaver somniferum* L.)

Tohumunun Değerlendirilmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5 (2): 99-101.

- 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.
- Kumbul, B. S., Ekinci, K., ve Tosun, I. 2017a. Composting of opium poppy processing solid waste with poultry manure: effects of airflow rate on composting losses. *Scientific Papers-Series E-Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering*, 6, 23-30.
- Kumbul, B. S., Ekinci, K., ve Tosun, İ. 2017b. Composting of opium poppy processing solid waste with poultry manure: Effects of initial C/N ratio on composting losses. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. 675-687. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.2.2.051>.
- Onursal, E., ve Ekinci, K. 2017. A kinetic study on how C/N ratio affects energy consumption of composting of rose oil-processing wastes with caged layer manure and straw. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(1), 129-137.
- Suthar, S., Singh, D., 2012. Phytotoxicity of composted herbal pharmaceutical industry

- wastes. *Environmental Science Pollution Research*, 19 (7), 3054–3059.
- TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu, 2021. Erişim tarihi:07.07.2021, <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>
- TMECC (Test Methods for the Examination of Composting and Composts), 2002. Wayne Thompson, the US Composting Council, US Government Printing Office.
- Wang, Y.Q., Zhang, J.L., Schuchardtve, F., Wang, Y., 2014. Degradation of morphine in opium poppy processing waste composting. *Bioresource Technology*, 168, 235–239.