

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KOMPOSTLAMA SICAKLIKLARININ 3 FAZ SİSTEM
PİRİNASININ TAVUK GÜBRESİ VE TALAŞ İLE
KOMPOSTLANMASINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Hüseyin GÜZEL

**Danışman
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**

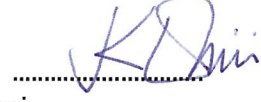


© 2019 [Hüseyin GÜZEL]

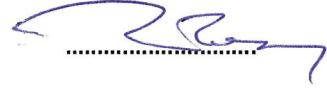
TEZ ONAYI

Hüseyin GÜZEL tarafından hazırlanan " **Farklı Kompostlama Sıcaklıklarının 3 Faz Sistem Pirinasının Tavuk Gübresi ve Talaş İle Kompostlanmasına Etkisinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi **Prof. Dr. İsmail TOSUN**
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi **Doç. Dr. Sema YURDAKUL**
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Yusuf UÇAR**



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hüseyin GÜZEL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompostlaştırma işlemi, aşamaları ve sistemleri	4
1.2. Kompostlaştırmayı etkileyen kontrol edilebilen faktörler	5
1.3. Kompostlama sistemlerinde havalandırma	6
1.3.1. Beltsville havalandırma stratejisi	8
1.3.2. Rutgers havalandırma stratejisi	8
1.3.3. Kompostlama işleminde havalandırmaya bağlı enerji tüketimi ve işletme maliyetlerinin değişimi	9
1.4. Kompostlama işleminde azot döngüsü ve amonyak kayıpları.....	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ	14
2.1. Kompostlama işleminde havalandırmaya bağlı enerji tüketimi ile ilgili yapılmış çalışmalar	14
2.2. Kompostlama işleminde amonyak kayıpları ile ilgili yapılmış çalışmalar	17
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Metot	19
3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması.....	19
3.2.2. Kompostlaştırma sistemi.....	20
3.2.2.1. Aerobik reaktörler	21
3.2.2.2. Havalandırma	22
3.2.2.3. Havalandırma fanı elektrik tüketimi	24
3.2.3. Denemelerin yürütülmesi	24
3.2.4. Fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri	25
3.2.4.1. Nem içeriği.....	25
3.2.4.2. Organik madde içeriği.....	26
3.2.4.3. PH ve EC.....	26
3.2.4.4. Amonyum ve nitrat	26
3.2.4.5. Toplam karbon ve azot	27
3.2.4.6. Birim hacim ağırlığı.....	27
3.2.4.7. Serbest hava boşluğu.....	27
3.2.4.8. Amonyak (NH ₃) çıkışlarının belirlenmesi	27
3.2.5. Kompost kuru madde, organik madde ve azot kayıpları.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Kompostlama Parametrelerinin Değişimi	29
4.1.1. Ortam havası parametreleri ve kompost sıcaklığının değişimi	29
4.1.2. Havalandırma	34
4.1.3. Kompost nem içeriği değişimi	41
4.1.4. Kompost organik madde içeriği değişimi	43
4.1.5. Kompost pH ve EC değişimi	44

4.1.6. C/N oranı değişimi	46
4.1.7. Amonyum ve nitrat değişimleri	47
4.2. T _{sp} Sıcaklıklarının kompost kuru madde, organik madde ve azot kayıplarına etkisi.....	48
4.3. T _{sp} Sıcaklıklarının elektrik enerjisi tüketimine etkisi.....	49
4.4. T _{sp} Sıcaklıklarının kompost hacim değişimine etkisi.....	51
4.5. T _{sp} Sıcaklıklarının kompost BHA değişimine etkisi	52
4.6. T _{sp} Sıcaklıklarının amonyak çıkışına etkisi.....	53
5. SONUÇLAR.....	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	63



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI KOMPOSTLAMA SICAKLIKLARININ 3 FAZ SİSTEM PİRİNASININ TAVUK GÜBRESİ VE TALAŞ İLE KOMPOSTLANMASINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Hüseyin GÜZEL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Bu çalışmada, 3 faz sistem pirinası, tavuk gübresi ve talaş kuru ağırlık bazında sırasıyla %60.22, %14.60 ve %25.18 oranlarında karıştırılarak kompostlanmıştır. Karışımın başlangıç karbon/azot oranı 23.59, başlangıç nem içeriği %53.46 (yaş baz) olarak belirlenmiştir. Denemede 14 adet 100 litrelik otomatik kontrollü kompost reaktörleri kullanılmıştır. Kompost sıcaklıklarının kontrolü Rutgers havalandırma stratejisine göre yapılmıştır. Farklı kompostlama sıcaklıklarının 3 faz sistem pirinasının tavuk gübresi ve talaş ile kompostlanmasına etkisinin belirlenmesi için kompostlama işlemi 40, 45, 50, 55, 60 ve 65, 70 °C kontrol sıcaklığında (T_{sp}) yürütülmüştür. Her bir kontrol sıcaklığı iki tekerürlü olarak yürütülmüştür. Denemeler 26.83 gün sürmüştür. Denemeler süresince, sıcaklık, hava debisi, havalandırma fanlarının elektrik tüketimi ve amonyak konsantrasyonları ölçülmüştür. Denemede, kompost nem, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik, $NH_4^+ - N$, $NO_3^- - N$, karbon ve azot ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kuru madde kaybı (KMK), organik madde kaybı (OMK) ve azot kaybı (AK)) belirlenmiştir. KMK, OMK ve AK, havalandırmadan kaynaklanan elektrik tüketimi ve amonyak kayıplarına bağlı olarak kompostlama işleminin optimum sıcaklık aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonuçları, tüm reaktörlerde kompost sıcaklıklarının ilk 6 gün içinde T_{sp} sıcaklıklarına ulaştığını göstermiştir. Düşük T_{sp} sıcaklıklarında kompost sıcaklığının kontrolü daha zorlaşmış ve kontrol noktası aşımı yaşanmıştır. Havalandırma fanlarının kontrolünü T_{sp} değerinin 40 °C olduğu durumda sağlamak için daha yüksek hava debisi değerleri uygulanmıştır. T_{sp} değeri yükseldikçe hava debisi değerleri azalmıştır. Yüksek T_{sp} değerlerinde termofilik sıcaklıklar baskın olduğu için bu sıcaklık seviyelerinde havalandırma fanlarının kontrolü daha kolay gerçekleşmiştir. T_{sp} arttıkça KMK ve OMK artmıştır. AK, T_{sp} değerinin 65 °C olduğu durumda maksimum değerini almıştır. Havalandırmadan kaynaklanan fanların enerji tüketimi $E(\theta)$ değerleri incelenmiştir. T_{sp} arttıkça $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ azalan üstel fonksiyona bağlı olarak azalmıştır. Diğer taraftan 65 °C'ye kadar kümülatif amonyak çıkışlarında (E_{NH_3-N}) belirgin bir değişiklik olmamasına rağmen daha yüksek sıcaklıklarda E_{NH_3-N} üstel olarak artmıştır.

Sonuç olarak, E_{NH_3-N} , $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ ve AK birlikte değerlendirildiğinde kompost sistemi işletmeciliği açısından kompostlama işleminin 65°C'den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Enerji giderini dolayısıyla işletme giderlerini azaltırken aynı zamanda nihai kompostun kalitesini düşüren E_{NH_3-N} ve AK'nın dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle, $E(\theta)/KMK$, $E(\theta)/OMK$, E_{NH_3-N} ve AK arasında optimizasyon gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3 faz sistem pirinası, sıcaklık, enerji tüketimi, amonyak, kompostlama.

2019, 64 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF EFFECTS OF TEMPERATURE ON COMPOSTING OF THREE PHASE OLIVE OIL PROCESSING SOLID WASTE WITH POULTRY MANURE AND SAWDUST

Hüseyin GÜZEL

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute for Graduate Education
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

In this study, three phase olive oil processing solid waste with poultry manure and sawdust with the proportion of 60.22%, 14.60% and 25.18% on dry weight basis was composted. The initial carbon/nitrogen ratio of the mixture was 23.59 and the initial moisture content was 53.46% (wet basis). In the experiment, fourteen 100 liter automatically controlled compost reactors were used. Control of compost temperatures was performed according to Rutgers ventilation strategy. Composting was carried out at 40, 45, 50, 55, 60 and 65 at 70 °C control temperature (T_{sp}) to determine the effect of different composting temperatures on composting of three phase olive oil processing solid waste with poultry manure and sawdust. Each control temperature was run with two replications. Trials lasted 26.83 days. During the experiments, temperature, air flow rate, electricity consumption of ventilation fans and ammonia concentration were measured. In the experiment, compost moisture, organic matter, pH, electrical conductivity, $NH_4^+ - N$, $NO_3^- - N$, carbon and nitrogen were measured. Dry matter loss (KMK), organic matter loss (OMK) and nitrogen loss (AK) were determined. The optimum temperature range of composting process has been tried to be determined based on KMK, OMK, AK, electricity consumption by ventilation, and ammonia losses.

The results of the study showed that compost temperatures reached T_{sp} temperatures within the first 6 days for all the reactors. At low T_{sp} temperatures, the control of the compost temperature became more difficult and the control point exceeded. Higher air flow were applied to control the ventilation fans when the T_{sp} value was 40 °C. As the T_{sp} value increased, the air flow rate values decreased. Since the thermophilic temperatures were dominant in high T_{sp} values, it was easier to control the ventilation fans at these temperature levels. KMK and OMK increased as T_{sp} increased. The AK took the maximum value when the T_{sp} value was 65 °C. Energy consumption $E(\theta)$ values of fans from ventilation were investigated. As T_{sp} increased, $E(\theta)/KMK$ and $E(\theta)/OMK$ decreased based on decreasing exponential function. On the other hand, although there was no significant change in cumulative ammonia emission (E_{NH3-N}) up to 65 °C, E_{NH3-N} increased exponentially at higher temperatures.

Consequently, when E_{NH_3-N} , $E(\theta)/KMK$, $E(\theta)/OMK$ and AK were evaluated together, composting should be performed at temperatures lower than 65 °C for composting system operation. E_{NH_3-N} and AK reducing the quality of the final compost are required to take into account to reduce operating costs. For this reason, the optimization among $E(\theta)/KMK$, $E(\theta)/OMK$, E_{NH_3-N} and AK is required.

Keywords: Three phase olive oil processing solid waste, temperature, energy consumption, composting.

2019, 64 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doktora öğrencisi Barbaros Salih KUMBUL ve Fevzi ŞEVİK'e teşekkür ederim.

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı Hocalarıma ve tez çalışmalarında yardımcı olan lisans öğrencilerine de teşekkürü bir borç bilirim.

5069-Sİ1-17 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hüseyin GÜZEL
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Basitleştirilmiş kompostlaştırma işlemi (Keener vd., 2000).....	5
Şekil 1.2. Havalandırma fanının aralıklı olarak kontrol edilmesi (Belville stratejisi).....	8
Şekil 1.3. Aralıklı havalandırmada hava akımı dağılımı	8
Şekil 1.4. Rutgers havalandırma stratejisinde kontrol mantık şeması	9
Şekil 3.1. Denemede kullanılan 3FP (a), talaş (b) ve TG (c)	19
Şekil 3.2. Kompost ve biyogaz laboratuvarı.....	21
Şekil 3.3. Kompostlaştırma işleminin gerçekleştirildiği reaktörler	22
Şekil 3.4. Reaktörlerin önden, yandan ve üstten görünümü.....	22
Şekil 3.5. PLC, fan ve anemometre	22
Şekil 3.6. Sistemde kullanılan Rutgers havalandırma stratejisi	23
Şekil 3.7. Fanların debi kontrolü.....	24
Şekil 3.8. Amonyak tutma sistemi	28
Şekil 4.1. Kompostlama esnasında laboratuvar ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi	29
Şekil 4.2. Kompostlama esnasında laboratuvar ortam nispi neminin zamana bağlı değişimi	29
Şekil 4.3. R1 ve R2 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=40^{\circ}\text{C}$)	31
Şekil 4.4. R3 ve R4 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=45^{\circ}\text{C}$)	31
Şekil 4.5. R5 ve R6 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=50^{\circ}\text{C}$)	32
Şekil 4.6. R7 ve R8 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=55^{\circ}\text{C}$)	32
Şekil 4.7. R9 ve R10 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=60^{\circ}\text{C}$)	33
Şekil 4.8. R11 ve R12 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=65^{\circ}\text{C}$)	33
Şekil 4.9. R13 ve R14 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=70^{\circ}\text{C}$)	34
Şekil 4.10. R1 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=40^{\circ}\text{C}$)	35
Şekil 4.11. R2 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=40^{\circ}\text{C}$)	35
Şekil 4.12. R3 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=45^{\circ}\text{C}$)	36
Şekil 4.13. R4 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=45^{\circ}\text{C}$)	36
Şekil 4.14. R5 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=50^{\circ}\text{C}$)	37
Şekil 4.15. R6 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=50^{\circ}\text{C}$)	37
Şekil 4.16. R7 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=55^{\circ}\text{C}$)	38

Şekil 4.17. R8 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 55^{\circ}\text{C}$)	38
Şekil 4.18. R9 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 60^{\circ}\text{C}$)	39
Şekil 4.19. R10 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 60^{\circ}\text{C}$)	39
Şekil 4.20. R11 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 65^{\circ}\text{C}$)	40
Şekil 4.21. R12 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 65^{\circ}\text{C}$)	40
Şekil 4.22. R13 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 70^{\circ}\text{C}$)	41
Şekil 4.23. R14 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 70^{\circ}\text{C}$)	41
Şekil 4.24. T_{sp} sıcaklıklarının KMK (a), OMK (b) ve AK (c) üzerine etkisi	49
Şekil 4.25. T_{sp} sıcaklıklarının $E(\theta)$ /KMK üzerine etkisi	50
Şekil 4.26. T_{sp} sıcaklıklarının $E(\theta)$ /OMK üzerine etkisi	51
Şekil 4.27. T_{sp} sıcaklıklarının Δ_v üzerine etkisi	52
Şekil 4.28. T_{sp} sıcaklıklarının Δ_{BHA} üzerine etkisi	53
Şekil 4.29. T_{sp} sıcaklıklarının amonyak çıkışına etkisi	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Kompostlaştırmayı etkileyen kontrol edilebilen faktörler (Keener vd., 2000).....	6
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan 3FP, TG, talaş ve karışımın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve karışım oranları (kuru ağırlık bazda).....	20
Çizelge 3.2. Araştırmada kullanılan cihazlar	25
Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada yapılan analiz ve yöntemleri	25
Çizelge 4.1. Kompost nemlerinin (yaş baz %) zamana bağlı değişimleri	42
Çizelge 4.2. Karıştırma sonrası kompost reaktörlerine eklenen su miktarları (kg)	43
Çizelge 4.3. Kompost organik madde içeriklerinin (%) zamana bağlı değişimleri.....	44
Çizelge 4.4. Kompost pH değerlerinin zamana bağlı değişimleri.....	45
Çizelge 4.5. Kompost EC değerlerinin (dS/m) zamana bağlı değişimleri	46
Çizelge 4.6. Kompost C, N ve C/N oranının zamana bağlı olarak değişimi.....	47
Çizelge 4.7. Kompost $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ve $\text{NO}_3^- - \text{N}$ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AK	Azot Kayıpları
BHA	Birim Hacim Ağırlığı
C/N	Karbon/Azot Oranı
EC	Elektriksel İletkenlik
EİKA	Elma işleme (ön eleme-ayırma) Katı Atıkları
FAS	Serbest boşluk oranı (free air space %)
GI	Çimlenme İndeksi
k	Ayrışma Hızı
KA	Kuru Ağırlık
KMK	Kuru Madde Kayıpları
mR	Kompost Kütle Oranı
OM	Organik Madde İçeriği
OMK	Organik Madde Kayıpları
PLC	Programlanabilir Kontrol Cihazı (Programmable Logic Controller)
SG	Sığır Gübresi
SM	Su Muhtevası
TC	Toplam Karbon
TCD	Termal İletkenlik Dedektörü
TG	Tavuk Gübresi
T _{sp}	Kompostlama Sıcaklık Set Noktaları
Q _{min}	Minimum Havalandırma Debisi
Q _{max}	Maksimum Havalandırma Debisi

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimin sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bitkisel ve hayvansal üretim miktarının artmasıyla beraber her geçen gün tarımsal atık/artık miktarı artmakta ve çevre problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Kompostlama, stabil, patojenler ve bitki tohumları içermeyen ve toprağa yararlı bir şekilde uygulanabilen bir son ürünün üretilmesi için biyolojik olarak üretilen ısının bir sonucu olarak termofilik sıcaklıkların gelişmesine izin veren koşullar altında, organik substratların biyolojik ayrışması ve stabilizasyonu olarak tanımlanabilir (Haug, 1993). Bu nedenle, kompostlama, bir atık stabilizasyon şeklidir ancak termofilik sıcaklıkların üretilmesi için özel nem ve havalandırma koşullarına ihtiyaç duymaktadır. Termofilik sıcaklıkların korunması, patojen inaktivasyonu ve tohum tahribi için birincil mekanizmadır.

Kompostlama, tarımsal atıkların yönetimi için doğrudan arazi uygulamasına alternatif kullanılabilir. Kompostlama, besin maddelerini stabilize eder, patojenleri ve yabancı ot tohumlarını öldürür, nem içeriği, koku ve karbon/azot oranını (C/N) azaltır ve uygulandığı toprağın fiziksel özelliklerini iyileştir. Kompostlama, orijinal materyalin hacmini ve ağırlığını azaltarak kompostun ekim alanlarına daha uzak mesafelere taşınmasını sağlar. Kompost toprağa uygulandığında, toprak organik maddesini artırır, toprak suyunu ve besin tutma kapasitesini artırır, toprak erozyonunu azaltır ve makro ve mikro besinleri sağlar.

Kompost kalitesi kompostlaştırma sürecinin yönetimine ve başlangıç kompost karışımında kullanılan malzemelerin kalitesine bağlıdır. Kompostlama işlemi iyi yönetilirse, istenen ürünün kalitesi çok kısa sürede en az çevresel etkiyle elde edilir, aksi takdirde bitki büyümesine zarar verebilecek kötü kalitede kompost üretilebilir (Kaçar, 2018).

Kompostlamanın iyi yönetimi, kompost tesisinin verimli bir şekilde tasarlanması ve işletilmesini gerektirmektedir (Keener vd., 1993). Marugg vd. (1993), kompostlama işlemi ile ilgili olarak eksik veya yanlış tasarıma yol açabilecek pek çok bilinmeyen parametre olduğunu belirtmişlerdir. Kompostlamada doğru

süreç tasarımı için süreç ve ürün arasındaki ilişkilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ekinci vd. (2004a), zorlamalı havalandırma yöntemlerinin modern havalandırılmalı kompost tesisleri için kilit unsur olduğunu vurgulamıştır. Haug (1993), kompostlaştırma işleminde hava, stokiyometrik oksijen gereksinimlerinin karşılanması, kompost matrisinde biriken fazla ısının giderilmesi ve kompostun kademeli olarak kurutulması için kullanıldığını ifade etmiştir. Keener vd. (2000), kompost üretim maliyetini en aza indirmek için kompostlama sistemlerinin tasarımı ve işletilmesinin önemli olduğunu bildirmiştir. Sistem tasarımı ve yönetiminin kompost stabilitesine ulaşma süresi arasındaki ilişkinin araştırılması gerektiğini bildirmiştir.

Kompostlama tesisinin ekonomik çalışması üreticiler için çok önemlidir. Kompostlama işleminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler kompostlama sistemlerinin ve işlem tasarımının gerçekleştirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Kompost tesislerinin ekonomik ve sorunsuz işletilmesi için bu faktörlerin uygun aralıklarda olması gerekmektedir (Haug, 1993). Yüksek bir ayrışma oranı, genellikle, kompostlama yapan tesisler için daha düşük sermaye ve işletme maliyetleri anlamına gelmektedir (Keener vd., 1993). Kompostlama sistem tasarımı ve yönetiminin amacı stabil kompost üretim sürecinin optimizasyonuna dayanmaktadır. Keener vd. (1993), "herhangi bir dizaynın optimizasyonu (yapım ve işletim maliyetine, enerji kullanımına veya kirlilik düzeylerine (kokular, toz vb.) bağlı olarak) kompostlama sürecinin saha deneyleri ve matematiksel modelleme yoluyla yapılabileceğini" bildirmişlerdir.

Ticari kompostlama işlemlerinde kullanılan kontrol sistemlerinin işlem başarısı yeterli değildir. Dolayısıyla, kompostlaştırma işleminin verimliliği düşüktür ve maliyetleri yüksektir (Curtis vd., 1992). Kompostlama sırasında değişkenler arasındaki etkileşimin iyi anlaşılması ve dolayısıyla kontrol rejiminin iyi bir şekilde gerçekleştirilememesi kompost sektörünün gelişimi için bir engel teşkil etmektedir. Kompostlama üzerinde çeşitli çevresel değişkenlerin etkisinin belirlenmesine yönelik kayda değer çabalar gösterilmiştir (Schulze, 1961; Suler ve Finstein, 1977; Rao vd., 1996).

Kompostlama işleminde azot kayıpları nihai ürünün kalitesinin azalmasına yol açmaktadır. Amonyak kayıpları en belirgin azot kayıpları arasında yer almaktadır. Bu nedenle amonyak kayıplarına etkili faktörler üzerinde çalışılmalıdır. Amonyak kayıpları üzerinde etkili parametreler, sıcaklık, havalandırma, pH, C/N oranı olarak sıralanabilir. Bu faktörlerden özellikle sıcaklık kolayca ölçülebilen ve kontrol edilebilen bir parametredir. Diğer taraftan, havalandırma yapılan kompostlama sistemlerinde önemli işletme gideri olan havalandırma fanlarının enerji tüketimi işletme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler, kompostlama materyaline bağlı fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerdir. Bu faktörler işlem başlangıcında ayarlanabilen ve kontrol edilebilen faktörlerdir. Diğer taraftan özellikle sıcaklık gibi işletme parametreleri enerji tüketimini yakından ilgilendiren ve işletme esnasında takip ve kontrol edilebilen bir parametredir. Bu parametrenin havalandırma fanlarının enerji tüketimine etkisinin belirlenmesi gerekmektedir.

Zeytinyağı üretimi özellikle İspanya, İtalya, Yunanistan, Suriye, Türkiye ve Tunus gibi Akdeniz ülkelerinde önemli sosyo-ekonomik rol oynamaktadır. Dünyanın %95'inin zeytinyağı bu bölgede üretilmektedir (Aktas vd., 2001). Zeytinyağı işleme tesislerinde kısa üretim sezonu içerisinde yüksek miktarda 3 faz sistem pirinası ve karasu (3 faz sistemlerde), 2 faz pirinası (2 faz sistemlerde) oluşmaktadır (Roig vd., 2006). Zeytinyağı üretiminde kullanılan üç fazlı sistemlerde, 1 ton zeytinden 200 kg yağ elde etmek için 500- 600 kg pirina, 1000-1200 litre karasu açığa çıkmaktadır. Üç fazlı sistemlerde ortaya çıkan karasu hem miktar olarak fazla olması hem de canlı yaşama fitotoksik etkide bulunması çevresel problemlere yol açmaktadır (Niaounakis ve Halvadakis, 2004; Azbar vd., 2004).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Atıksuların Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Hususlar konulu genelgede fabrika sahiplerinin karasuyu lagünlerde veya üstü açık havuzlarda biriktirip suyunu buharlaştırılıp kalan posasını değerlendirme yoluna gitmeleri ya da fabrikalarında işleme sistemini iki fazlı sisteme dönüştürerek karasuyu pirina içinde bir atık olarak elde etmeleri çevre açısından en az riskli çözümler olarak önerilmektedir. Ülkemizde özellikle

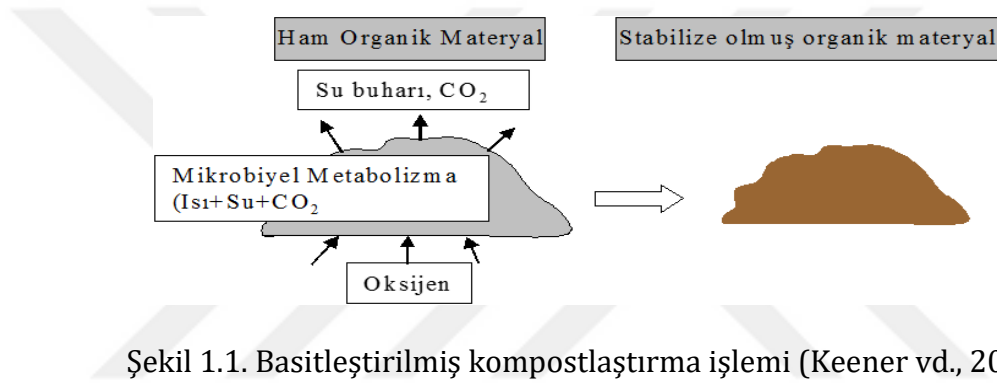
lagünler ve havuzlar için büyük alanların gerekmesi, zeytinyağı fabrikalarının küçük ölçekli ve birbirlerinden uzak olmaları nedeniyle bu sistemlerin uygulanması zor görünmektedir. Diğer taraftan fabrikaların iki fazlı sisteme dönüştürülmesi sonucu elde edilen atığın yüksek nem içeriğinin olması nedeniyle taşınmasında ve bertaraf edilmesinde ciddi zorluklar bulunmaktadır. Sonuç olarak her iki çözümün uygulanması durumunda da sistemlerden elde edilen atık çamurun tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Tarımsal amaçlı değerlendirme açısından en uygun çözümün ise “Kompostlama” olduğu görülmektedir. Karasu ve 3 faz sistem pirinasının kompost yapılarak bitkisel üretimde toprak verimliliği ve bitki besleme amacıyla kullanılabilecek girdi elde edilebilmektedir. Nitekim, Roig vd. (2006), tarafından yapılan çalışmada, iki fazlı ve üç fazlı zeytinyağı üretim atıklarının farklı metotlarla değerlendirilmesi yapılmış olup, önerilen prosesler içinde en uygun yöntemin kompostlaştırma işlemi olduğu, bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha pratik ve ekonomik değerinin olduğu ve organik tarımda çok önemli rol oynayabileceği belirtilmiştir. Bunun yanında bu atıkların hayvan gübreleri ile beraber kompostlaştırılmasının atıkların değerini artıracaklarını bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, üç faz sistem pirinası (3FP), tavuk gübresi (TG) ve talaş karışımının farklı sıcaklıklarda kompostlanmasında havalandırmadan kaynaklı enerji tüketimi ve amonyak kayıplarını belirlemektir. Ayrıca kompostlama sıcaklığının kuru madde kayıpları (KMK), organik madde kayıpları (OMK), azot kayıpları (AK), kompost hacim değişimi ve birim hacim ağırlığı değişimi üzerine etkisini belirlemektir. Bu çalışmanın sonucunda optimum kompostlama için gerekli çalışma sıcaklığı aralığı belirlenmiş olacaktır.

1.1. Kompostlaştırma işlemi, aşamaları ve sistemleri

Rynk (1992) kompostlamayı, organik materyallerin kontrollü koşullar altında mikroorganizmalarla aerobik ayrışması olarak tanımlar. Kompostlama sırasında, mikroorganizmalar, organik maddede bulunan karbon ve azotu kullanırken oksijen tüketirler. Bu, yan ürünler olarak karbon dioksit (CO₂) ve su buharı ile birlikte önemli miktarda ısı üretir. Kompostlama işlemi, mezofilik, termofilik ve olgunlaşma aşamaları olarak ayrılabilir. Mezofilik aşamada, sıcaklık yaklaşık 40

ila 45 °C'ye yükselir ve kolayca ayrışabilen bileşenlerin (örneğin, şekerler ve amino asitler) ayrışması başlar. Bu aşama birkaç saat ile birkaç gün sürer, bunu 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda 80 °C'ye kadar olan termofilik aşama takip eder. Isı toleranssız organizmalar uyku halindedir veya yok olurlar. Bu aşama birkaç gün ile birkaç ay arasında sürebilir. Organik maddenin çoğu ayrışır ve oksijen tüketilir. Termofilik aşamadan sonra, sıcaklık 45 °C'nin altına düşer ve olgunlaşma başlar. Mikrobiyal aktivite azalır ve mezofilik mikroorganizmalar tarafından baskın hale gelir. Bu aşama önemlidir çünkü humus benzeri maddeler üretilir (Peigné ve Girardin, 2004). Basitleştirilmiş bir kompostlaştırma işlemi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Basitleştirilmiş kompostlaştırma işlemi (Keener vd., 2000)

Kompostlaştırma sistemleri statik yığın, havalı statik yığın, çevrilen namlu, havalı çevrilen namlu, reaktör ve tünel kompost sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Bu sistemler ve uygulamada karşılaşılan diğer sistemler hakkında detaylı bilgiler Haug (1993), Rynk (1992) ve Epstein (1997) tarafından yazılan kitaplarda bulunabilir. En iyi teknolojiyi temsil eden sistem seçimi kompostlaştırılacak materyal çeşidine, çevresel ve ekonomik faktörlere bağlıdır. Bunun yanında, başarılı bir kompostlaştırma sadece ve sadece kompostlaştırma sistemlerinin iyi yönetilmesiyle gerçekleştirilebilir (Keener vd., 2000).

1.2. Kompostlaştırmayı etkileyen kontrol edilebilen faktörler

Kompostlaştırma işlemi çok sayıda faktörün kontrol altında tutulmasını gerektiren bir işlemdir. Kompostlaştırma performansını ve maliyetini etkileyen kontrol edilebilen kompostlaştırma faktörleri Çizelge 1.1'de verilmiştir. Kompostlaştırma faktörleri sayıca ve içerik olarak fazla olması nedeniyle burada sadece önemli olanlar verilmiştir.

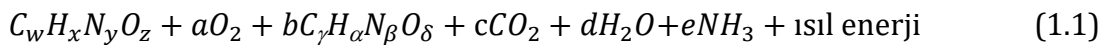
Çizelge 1.1. Kompostlaştırmayı etkileyen kontrol edilebilen faktörler (Keener vd., 2000).

Karışım özelliklerini ayarlayıcılar (Amendments)	Dış hava sıcaklığı ve nemi
Strüktür sağlayıcılar (Bulking agents)	Havalandırma
Yeniden işlenecek kompost miktarı	Geri dönüşüm havası miktarı
Aşı (Inoculation)	Karıştırma sıklığı
Besin elementleri	Nem kontrolü
Nem içeriği	Tutma süresi (Retention time)
Parçacık büyüklüğü	Olgunlaşma süresi
Porozite	Yığın yoğunluğu
Kompost sıcaklığı	Yığın şekli
pH	Yığın yüksekliği
O ₂ konsantrasyonu	Yığın hacmi

1.3. Kompostlama sistemlerinde havalandırma

Kompostlama sırasında hava üç temel amaç için sağlanır: (1) Organik materyaller için stokiyometrik biyolojik ayrışma ihtiyacını karşılamak, (2) Kompostlama işleminden suyu uzaklaştırmak ve (3) Kompostlama sırasında oluşan ısının uzaklaştırılması ve sıcaklıkların kompostlama işlemi için uygun bir aralıkta tutulmasıdır.

Kompostlama işlemine girmesi gerekenler (Oksijen gibi) ve çıkanların (karbon dioksit, su, ısı ve amonyak gibi) miktarını belirlemek için kütle dengesinin iyi bir şekilde oluşturulması gerekir. Kütle dengesini hazırlamanın en kolay ve en doğrudan yollarından biri, kompostlama işleminde meydana gelen tepkimelerin dengeli bir stokiyometrik denklemini yazmaktır (McCarty, 1992). Temsili dengeli denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:



$C_w H_x N_y O_z$ substratın kimyasal formülüdür. $C_\gamma H_\alpha N_\beta O_\delta$ ise kuru biyokütle için kimyasal formüldür. a, b, c, d ve e stokiyometrik katsayılarıdır. Yukarıdaki denklem, bir mol substrat için yazılmıştır; bu nedenle bir mol oksijen tüketilirken, substratın bir molü başına c mol CO₂ ve e mol NH₃ oluşmaktadır. Arta kalan materyal, reaksiyonun katı son ürünü olan komposttur (Doran, 1995).

Kompostlama işlemi devam ederken aynı zamanda materyaldeki suyun zamana bağlı olarak azaltılması gerekmektedir. Kompost matrisindeki su, havalandırmalı ve karıştırmalı sistemlerde farklı mekanizmalar ile uzaklaştırılmaktadır. Bu sistemlerde materyal yüzeyinde tutulan su, kompost matrisine zorlamalı olarak verilen hava ile uzaklaştırılır. Bu işlem için havalandırma fanları kullanılmaktadır. Hava sıcaklığı, kompost malzemesinin biyolojik ayrışmasından kaynaklanan ısı ile arttığından, nemi alır ve böylece kalan malzemeyi kurutur. Aynı zamanda, organik materyalin ayrışması sonucu su üretilir. Bu nedenle, nem giderme için hava miktarı hesaplanırken, hava ve su kurutma kapasitesi dikkate alınmalıdır (Finstein vd., 1986; Keener vd., 1996).

Biyolojik aktivite sonucunda, metabolik ısı üretilmektedir. Kompostlamada, mikrobiyal aktivite ile serbest bırakılan ısı birikir ve sıcaklığın artmasına neden olur (Finstein vd.,1986). Biriken ısı, çoğunlukla suyun buharlaşmasının gizli ısısı şeklinde çıkmaktadır. Isı, hava sıcaklığının artmasıyla da giderilir ve bu, hava akış yollarında kompostlaştırma matrisinde bir sıcaklık farklılığı oluşturur (Hogan vd., 1989). Fazla ısının uzaklaştırılması için gerekli olan hava miktarı, hem stokiyometrik hem de nem giderme için gerekli olan hava miktarından daha büyüktür (Haug, 1993). Hava temini kompostlama işlemi için en önemli faktörlerden biridir ve kompost sistemi tasarımının ve yönetiminin önemli bir parçasıdır (Ekinci vd., 2004a). Uygun maliyetli kompostlama, kompost tesisinin verimli tasarımını ve çalışmasını gerektirir. Özellikle, birçok büyük tesis zorlamalı havalandırmalı yöntemine göre tasarlandığından, fan gücü gereksinimlerinin düşük tutulması ve verimli çalışma için yeterli olmasına dikkat edilmelidir (Keener vd., 1993). Ayrıca, kompost tesisinin tasarımındaki en önemli konulardan biri de havalandırma debisi ve havalandırma fanlarının boyutudur (Keener vd., 1991; Keener vd., 1993).

Genellikle kompostlamada gerçekleştirilen sıcaklık kontrolünün amacı kompost kalitesini ve minimum koku çıkışını sağlarken, kompost materyalinin maksimum ayrışması için optimum çevresel koşulların mikroorganizmalar için sağlanmasıdır. Kompostlamada havalandırma oranı belirlendikten sonra, belirlenen oranın kompost matrisine nasıl verileceğinin seçilmesi gerekmektedir.

Pratikte iki farklı havalandırma kontrol sistemi uygulanmaktadır. Bunlar Beltsville havalandırma stratejisi ve Rutgers havalandırma stratejisi (Hogan vd., 1989; Haug, 1993). Bu stratejiler aşağıda verilmiştir.

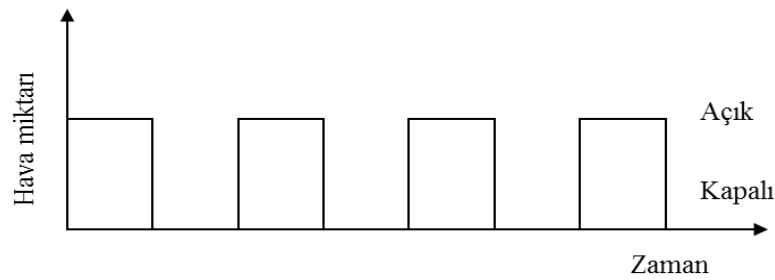
1.3.1. Beltsville havalandırma stratejisi

Kompostlama işleminde, kontrol edilebilir durum değişkenleri olan kompost oksijen, karbondioksit içeriği ve sıcaklığının açık çevrim kontrol yaklaşımı ile kontrol edilmesi esasına dayanmaktadır (Ekinci, 2001). Kontrol sisteminde, havalandırma fanı ve havalandırma fanını önceden belirlenen programa göre açıp kapatan zamanlayıcı bulunmaktadır (Fraser ve Lau, 2000) (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Havalandırma fanının aralıklı olarak kontrol edilmesi (Beltsville stratejisi)

Kontrolün amacı, kompost matrisindeki oksijen konsantrasyonunu %5 ile %15 arasında tutmaktır. Hava akımı durduktan sonra yığının farklı noktalarında sıcaklıklar eşitlenir (Rynk, 1992). Tipik bir programda havalandırma fanı bir devir boyunca geçen sürenin 1/2 -1/3'ü kadar çalışır ve devir süresinin 1/2-2/3'ü kadar devre dışı kalır (örneğin 10 dakika çalışır, 20 dakika durur) (Rynk, 1992) (Şekil 1.3).

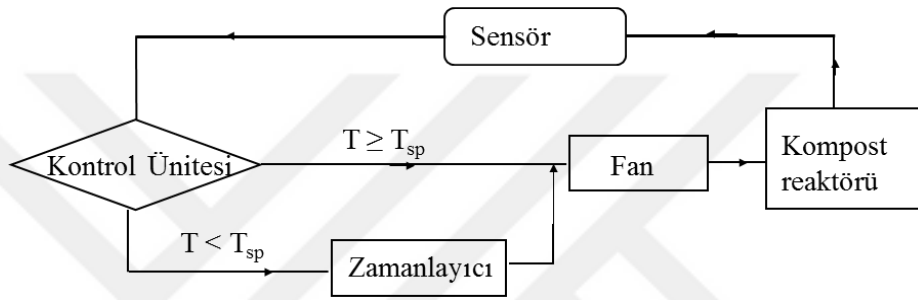


Şekil 1.3. Aralıklı havalandırmada hava akımı dağılımı

1.3.2. Rutgers havalandırma stratejisi

Kompost durum değişkenlerinin kapalı çevrim kontrolü (sıcaklık geri beslemeli) yöntemine göre kontrol edilmesi esasına dayanır (Ekinci, 2001). Rutgers havalandırma stratejisinin amacı sıcaklık kontrolü ile maksimum

mikroorganizma aktivitesinin sağlanmasıdır. Bu sistem; fan, zamanlayıcı, kontrol ünitesi ve sıcaklık ölçümünde kullanılan termistör veya ısılıçift'ten oluşmaktadır. Sistemde sıcaklık kontrol edilen değişken iken, hava debisi ise ayarlanan değişkendir. Kompost daha önceden belirlenen sıcaklıkta (T_{sp}) geri beslemeli olarak kontrol edilir. Sensörden alınan sinyal, kompost sıcaklığının belirlenen sıcaklıktan daha az olduğunu bildirir ise kontrol ünitesi zamanlayıcı vasıtasıyla fanı hareketlendirir. Fakat kompost sıcaklığı belirlenen sıcaklıktan yüksek ise kontrol ünitesi kompost sıcaklığını belirlenen sıcaklıktan daha aşağı bir noktaya getirmek (soğutarak) için fanı harekete geçirir (Finstein vd., 1986) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Rutgers havalandırma stratejisinde kontrol mantık şeması

1.3.3. Kompostlama işleminde havalandırmaya bağlı enerji tüketimi ve işletme maliyetlerinin değişimi

Havalandırmadan kaynaklı enerji tüketimi işletme maliyetlerine etkilemektedir. Bu tez kapsamında havalandırmadan kaynaklı enerji tüketim değerleri elektrik sayaçları ile belirlenecek olmasına rağmen, bu bölümde teorik olarak havalandırmadan kaynaklı enerji tüketimine etki eden faktörler ve arasındaki ilişkiler açıklanmıştır. Havalandırmalı kompostlama sistemlerinde havalandırmadan kaynaklanan enerji tüketimi işletme giderleri altında incelenmektedir. Havalandırma, fanlar veya vantilatör ile yapılmaktadır. Rutgers havalandırma stratejini bağlı olarak fanların sıcaklık geri beslemeli kontrolüne dayalı değişken hızlı fanların kullanılması durumunda havalandırma fanlarının enerji tüketimi aşağıda verilen denklem ile ifade edilmektedir (Keener vd., 1997).

$$E = \frac{a\rho_c^n}{\alpha\varepsilon} \left[\frac{-h_c d k}{\rho_a [HAO - HAI]} \right]^{n+1} \left[\frac{1 - (e^{-k \theta^*})^{n+1}}{k(n+1)} \right] \quad (1.2)$$

Bu denklemde,

- E :birim kompost kuru kütlesi başına fanların tüketmiş olduğu enerji miktarı (W/kg)
- a, n :kompostlama materyaline ait basınç düşümü ve hava akımı arasındaki bağıntıdan elde edilen katsayılar
- α :çevrim katsayısı (881.6 m³ hava cm Hg/ W gün)
- ε :fan verimi
- d :hava akımı doğrultusundaki materyal yüksekliği (m)
- ρ_a :havanın birim hacim ağırlığı (kg/m³)
- ρ_c :kompost yoğunluğu (kg/m³)
- h_c :kompost materyalinin üst ısı değeri (kJ/kg)
- k :kompost materyalinin ayrışma hızı (1/gün)
- HAO-HAI :Kompost reaktöründen ayrılan egzoz havasının entalpisi ile reaktöre giren havanın entalpisi arasındaki fark (kJ/kg)
- θ^* :Kompostun olgunluk derecesi

Kompostlama işlemine ait değişken gider (TL) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C_v = c_v E \quad (1.3)$$

Burada;

c_v : Birim değişken gider (TL/Wh)

C_v : Değişken gider (TL/kg)

Kompostlama sıcaklığının havalandırmadan kaynaklı kompostlama değişken giderleri üzerindeki etkisini belirlemek için değişken hızlı fan kabul ederek analiz edilebilir (belirli bir kompost olgunluğunda). İki farklı kompost sıcaklığının değişken maliyet açısından karşılaştırmak için bir oran oluşturulabilir. C_{v60} 'ın 60°C'deki değişken maliyet olduğunu kabul edilirse, daha sonra C_{vT}/C_{v60} diğer herhangi bir sıcaklıktaki göreceli maliyetler oluşturulabilir. Bu amaçla aşağıdaki denklem kullanılabilir (Ekinci vd., 2004b)

$$\frac{C_{vT}}{C_{v60}} = \frac{k_T^n [[HAO-HAI]_{60}]^{n+1}}{k_{60}^n [[HAO-HAI]_T]^{n+1}} \quad (1.4)$$

Burada,

k_{60} = kompost materyalinin 60 °C deki ayrışma hızı (1/gün)

k_T = kompost materyalinin herhangi bir T sıcaklığındaki ayrışma hızı (1/gün)

$[HAO-HAI]_{60}$ = Kompost reaktöründen ayrılan egzoz havasının (60 °C) entalpisi ile reaktöre giren havanın entalpisi arasındaki fark (kJ/kg)

$[HAO-HAI]_T$ = Kompost reaktöründen ayrılan egzoz havasının (T sıcaklığında) entalpisi ile reaktöre giren havanın entalpisi arasındaki fark (kJ/kg)

Kompost materyalinin ayrışma hızı ve egzoz havasının entalpi değeri, C_{VT}/C_{V60} değerini etkilemektedir. Diğer değerler kompostlama materyalinin ve havalandırma fanlarının karakteristik özelliği ile ilgilidir. Bu noktadan hareketle farklı sıcaklık değerlerinde işletilen kompostlama işleminde farklı enerji tüketim değerleri ölçülecek ve bu da havalandırmadan kaynaklı enerji tüketiminin işletme giderlerinde farklılaşmasına sebep olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, farklı kontrol sıcaklıklarında işletilen kompost reaktörlerinde havalandırmadan kaynaklı enerji tüketimleri birim kuru madde kaybı ve organik madde kaybı başına belirlenmiştir.

1.4. Kompostlama işleminde azot döngüsü ve amonyak kayıpları

Kompostlamadaki en büyük zorluklardan biri, ham kompost malzemesindeki ana besinlerden biri olan azot'u (N) korunmasıdır. Nihai kompost ürünündeki N içeriğini artıran kompostlama yönetim uygulamalarının geliştirilmesinde kompostlaştırma esnasındaki N dönüşümü ve döngüsünün anlaşılması çok önemlidir. Birincil N dönüşüm işlemleri, organik N'un NH_4^+ 'ya mineralizasyonu, NH_4^+ 'dan NO_3^- 'e nitrifikasyon ve NO_3^- 'den N_2O ve N_2 'nin denitrifikasyonudur. Kompostlama sırasında organik N mineralizasyonu sonucunda çözünebilir NH_4^+ iyonları ortamda bulunur. Kompostun içindeki sıvı fazda bulunan NH_4^+ iyonları beş farklı mekanizma ile ortamdaki uzaklaşır: (1) amonyak (NH_3) olarak buharlaşma kaybı, (2) organik ve mineral yüzeylere NH_4^+ adsorpsiyonu (değiştirilebilir iyonlar), (3) mikroorganizmalar tarafından immobilizasyon (4) NO_3^- nitrifikasyonu ve (5) yıkanma ve sızıntıdır. Yapılan çalışmalar en önemli N

kaybının NH_3 ile meydana gelen kayıplar olduğunu göstermiştir (Kirchmann ve Witter, 1989). Amonyak emisyonu, kompostlama sırasında N kaybının temel şeklidir. Bu çalışmada NH_3 ile meydana gelen kayıplar üzerinde durulacaktır. Amonyum, NH_3 'e ayrışana kadar uçucu değildir. NH_4^+ 'dan NH_3 'e dönüşüm oranı esas olarak sıcaklık, pH ve NH_4^+ konsantrasyonu ile kontrol edilmektedir (McCroory ve Hobbs, 2001). Kompost materyalinin pH ve sıcaklığı yüksek olduğunda, çoğu NH_3 kaybı kompostlamanın ilk birkaç haftasında meydana gelmektedir (Bhoyar vd., 1979; Bishop ve Godfrey, 1983). Tüm NH_3 kayıplarının yaklaşık % 50 ila 90'ı, yüksek pH ve yüksek sıcaklık ile uyumlu olan termofilik kompostlamanın ilk haftalarında ortaya çıkar (Bhoyar vd., 1979; Bishop ve Godfrey, 1983). NH_3 volatilizasyonu yoluyla meydana gelen kayıplar, gübre azotunun % 13'ü kadar düşük ve % 70'i kadar yüksek olabilir (Hansen vd., 1989; Martins ve Dewaes 1992; Eghball vd., 1997; Beck-Friis vd., 2001). Geniş varyasyonlar, kullanılan hammaddelerin özelliklerinden, çevre koşullarından ve kompost yönetim uygulamalarından kaynaklanmaktadır. pH, sıcaklık ve nem içeriği gibi gübre fiziksel özellikleri, kompostlama verimliliğini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda kompostlaştırma sırasında N döngü ve NH_3 kaybında da hayati bir rol oynar.

Kompost sıvı fazında serbest NH_3 ve NH_4^+ iyonları arasındaki dengenin değişmesinin etkisiyle pH, özellikle de çiftlik hayvanı gübresi gibi N-zengin maddeler için N dönüşüm ve emisyon kaybında önemli bir rol oynamaktadır. NH_4^+ 'ın NH_3 'e ayrışması, kompostun pH'sı 6'nın üzerine yükseldikçe hızla artmaktadır. Ekinci vd. (2000), kağıt fabrikası atığı ile karıştırılan broiler gübresinin kompostlanması sırasında pH'nın 7'nin altında olduğu zaman NH_3 -N kayıplarının hızla azaldığını gözlemlemiştir. Çalışmalarında, başlangıç pH'sı 8.3'ten 6.6'ya düştüğünde NH_3 kaybında % 75'lik bir azalma gözlenmiştir (Molloy ve Tunney 1983; Derikx vd., 1994; Moore vd., 1997).

Sıcaklık, NH_4^+ 'un NH_3 'e çözünmesini ve müteakip volatilizasyonunu etkileyen diğer ana faktördür. Sıcaklık, NH_3 'ün suda çözünürlüğünü ve kompostun difüzyon oranlarını etkiler. Sıcaklık oranları arttıkça, NH_3 difüzyon oranları artarken NH_3 çözünürlüğü azalır (Smith vd., 1990). Hayvan gübresindeki üreyi NH_3 'e

dönüştüren üre enzimi aktivitesi sıcaklık ile artarak 70 °C'de maksimumu yapmaktadır (Ladd ve Jackson, 1982). Termofilik evre kompostlaması sırasında sıcaklık ve NH₃ emisyonu arasında pozitif bir üstel ilişki bildirilmiştir (Pagans vd., 2006). Yüksek sıcaklıklar patojenlerin yok edilmesinde esastır, ancak NH₃ emisyonlarını azaltmak için 72° C'nin üzerindeki sıcaklıklardan kaçınılmalıdır (Finstein vd.,1986).

Kompostlamayı etkileyen başka bir gübre fiziksel özellik, nem içeriğidir, ancak pH ve sıcaklıktan çok daha düşük bir derecedir. Nem içeriği mikrobiyal aktiviteleri etkiler ve mikroorganizmaların metabolik ve fizyolojik aktiviteleri için gerekli olan çözülmüş besinlerin taşınması için bir araçtır (Tiquia vd., 2002). NH₃ suda çok fazla çözünebildiğinden, nem içeriği düşük olduğunda emisyonlar artacaktır.

Başlangıç kompost C/N oranı, organik N mineralizasyonu ve müteakip NH₃ emisyonlarını etkileyen diğer bir faktördür. Kompost yığnında çok düşük C/N oranı aşırı N kaybına yol açar iken çok yüksek C/N oranı ise kompost yığnının ısınmasını engeller veya termofilik sıcaklıklara ulaşma süresini uzatır. Ekinci vd. (2000) tarafından kısa lifli kağıt atıkları ile karıştırılan broiler gübresinin kompostlanması sırasında C/N oranı ve NH₃ kaybı arasında negatif bir korelasyon gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, farklı sıcaklık kontrol uygulamalarının 3FP'nın TG ve talaş ile kompostlanmasında NH₃ emisyonlarına olan etkisi belirlenmeye çalışılacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kompostlama işleminde havalandırmaya bağlı enerji tüketimi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Puyuelo vd. (2010), Rutgers ve Beltsville havalandırma stratejilerinin enerji tüketimlerini karşılaştırmak amacıyla deneysel laboratuvar ölçekli kompostlama sisteminde denemeler yürütmüşlerdir. Deneme materyali olarak kaynağından ayrılmış belediye çöpleri ile budama atıkları kullanılmıştır. Denemeler 20 gün sürmüştür. Deneme sonucunda, Rutgers stratejisinin enerji tüketiminin 22.6×10^3 kJ iken Beltsville enerji tüketim değerinin ise 11.5×10^3 kJ olduğu tespit edilmiştir.

Ekinci vd. (2004b), kağıt endüstrisi atıkları ile tavuk gübresinin kompostlaştırılmasında, kompostlaştırma sıcaklığı ve başlangıç kompost neminin ayrışma hızına olan etkileri laboratuvar ölçekli biyoreaktör-inkübatör sisteminde araştırmışlardır. Deneme sıcaklığı olarak 35, 45, 55, 60 ve 65 °C seçilirken, nem düzeyleri 30, 35, 40, 45 ve %50 yaş baz (y.b.) olarak seçilmiştir. Denemeler, 10 adet 4 L hacmindeki reaktörler ile iki tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışma sonuçları kompostlama sisteminin 60°C'de çalıştırılması durumunda havalandırmadan kaynaklı enerji işletme maliyetlerinin 50°C'dekine göre % 31 daha az gerektirdiğini göstermiştir.

Ekinci vd. (2004a), ısı çiftlerinin kompost reaktöründe yerleşim yerlerinin kompostlaştırma işleminin sıcaklık gelişimine, performansına ve sistemin enerji tüketimine olan etkisi, iki boyutlu sonlu farklılıklar yönetimine göre çalışan nümerik kompost modeli oluşturularak belirlenmeye çalışılmıştır. Havalandırma, iki aşamalı fan düzenlemesiyle yapılmıştır ve sıcaklık geri beslemeli olarak kontrol edilmiştir. Proses değişkenleri olarak sıcaklık, nem, O₂ ve kompost kütlesi seçilmiştir. Sonuçlar ısı çift yerleşim yerlerinin proses parametrelerini etkilediğini göstermiştir. Isıl çift, reaktörün ortasına yerleştirildiğinde kuru maddedeki azalma ve enerji kullanımı en yüksek olmaktadır. Ayrıca çalışma sonuçları, kompost reaktörünün 60 °C'de kontrolünün 50 °C'deki kontrolüne göre daha az enerji gerektirdiğini göstermiştir.

Ekinci vd. (2005), kompost materyaline ait kinetik parametrelerin kompostlaştırma performansına, hava gereksinimine ve enerji tüketimine etkilerinin belirlemişlerdir. Araştırmada, iki boyutlu, sonlu farklar yöntemine göre çalışan ve geçerliliği deneylerle saptanmış olan kompost modeli kullanılmıştır. Kompost modeli iki parçalı-birinci dereceden bir kinetik ayrışma modeli ile ısı ve kütle denklıklarinden oluşmaktadır. Havalandırmadan dolayı enerji kullanımı kinetik parametrelerin ve kütle sel hava debilerinin fonksiyonu olarak incelenmiş ve kütle sel hava debileri arttıkça enerji kullanımı artmıştır. Bu sonuçlara ek olarak, kompostlaştırma işleminin kinetik parametreler doğrultusunda, hava gereksinimi ve enerji kullanımı açısından optimizasyonunun yapılabileceği belirlenmiştir.

Ekinci vd. (2006), tünel tipi kompostlaştırma sistemlerinin temelini oluşturan egzoz gazı geri dönüşümlü kompostlaştırma işleminin termodinamiği, kinetiği ve enerji kullanımının iki boyutlu sonlu farklılıklar yöntemine göre çalışan nümerik kompost modeli geliştirilerek belirlemişlerdir. Araştırmada, kağıt endüstrisi atığı ve şehir arıtma çamurunun (biosolid) özellikleri literatürden araştırılıp modelde kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, kompostlaştırma işleminin düşük hava debileri ve yüksek geri dönüşüm oranlarında yürütülebileceği fakat sistemde sıcaklığı istenen bir nokta da kontrol etmek için ısı enerjisinin yeterli bir şekilde uzaklaştırılmadığı bildirilmiştir. Ayrıca, kompost materyal çeşidi, hava debisi miktarı ve geri dönüşüm oranı sistemin enerji kullanımını etkilemiştir.

Onursal ve Ekinci (2016), gül yağı işleme atıkları ile birlikte tavuk gübresi ve samanın kompostlamasında en düşük enerji kullanımını sağlayan en iyi başlangıç C/N oranını araştırmışlardır. Başlangıçtaki C/N oranları 12.81, 21.37, 24.66, 29.22 ve 37.41 olan beş kompost karışımına fasıllı havalandırma uygulanmıştır. Reaktör hacmi 60 L dir. Ayrışma hızı ve kompost denge kütlesi gibi kinetik parametreleri belirlemek için malzeme kütle dengesine dayanan birinci dereceden bir kinetik model uygulanmıştır. Daha sonra başlangıçtaki C/N oranının bir fonksiyonu olarak kompost kuru kütlesi başına enerjiyi kullanımını tanımlayan bir denklik oluşturulmuştur. Bu çalışmada, belirli bir seviyede olgun kompost kütlesine ulaşmak için gül yağı işleme atıklarının

kompostlaştırılmasının maksimizasyonu için başlangıç C/N oranını optimize edilmeye çalışılmıştır. Kuru madde kaybına dayalı maksimum ayrışma hızı (0.032 kg/kg.gün) C/N oranının 30.18 olduğu karışımda elde edilmiştir. Diğer taraftan, kompost olgunluk oranı 0.82'ye ulaşmak için spesifik enerji kullanımını en aza indirgeyen başlangıç C/N oranı 29.11 olması gerektiği tespit edilmiştir. Sistem etkin bir şekilde çalışırken en düşük güç ihtiyacı başlangıç C/N oranının 29.11 olduğu durumda gerçekleşmiştir.

Kaçar (2018) elma işleme (ön eleme-ayırma) katı atıklarının (EİKA), sığır gübresi (SG), tavuk gübresi (TG) ve saman ile karıştırarak farklı sıcaklıklarda kompostlanmasının işlem performansına etkisini araştırmıştır. Kompost başlangıç karışımında %44.17 EİKA, %36.42 SG, %10.18 TG ve %9.23 saman kullanılmıştır. Denemeler 100 litrelik otomatik kontrollü reaktörlerde Rutgers havalandırma stratejisine göre gerçekleştirilmiştir. Kompostlama performans parametreleri olarak ayrışma hızı, kompostlama kayıpları (kuru madde kaybı, organik madde kaybı ve karbon kaybı), elektrik enerjisi tüketimi ve olgunlaşma parametreleri (çimlenme indeksi, deneme sonu amonyum/nitrat oranı ve karbon/azot oranı (C/N)) incelenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda optimum kompostlama sıcaklık aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada birinci dereceden kompost kütle dengesine dayalı kinetik denklem kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, kompostlama işleminin yürütüldüğü sıcaklıkların artması ile havalandırmadan kaynaklı enerji tüketim değerleri azalan üstel fonksiyona bağlı olarak azalmıştır.

2.2. Kompostlama işleminde amonyak kayıpları ile ilgili yapılmış çalışmalar

Hong vd. (1998), Rutgers ve Beltsville havalandırma stratejilerinin talaş ve domuz gübresinin kompostlamasında amonyak çıkışına olan etkisini araştırmak için 208 litrelik reaktörlerde denemeler yürütmüşlerdir. Araştırmacılar Beltsville havalandırma stratejisinin, Rutgers'a göre amonyak gazı çıkışlarının azaltılmasında %63 daha az hava kullandığını tespit etmişlerdir.

Ekinci vd. (2000), kâğıt işleme atık ürünü olan kısa lifli proseste değerlendirilemeyen kağıt atıkları ile tavuk gübresinin kompostlaştırılmasında, başlangıç C/N ve pH düzeylerinin amonyak çıkışına olan etkileri, 208 L pilot ölçekli kompost reaktörlerinde araştırılmıştır. Toplam 27 testten oluşan bu çalışmada, pH'yı istenilen seviyelerde ayarlayabilmek için kompost içerisine, alüminyum sülfat ve sülfürik asit ilave edilmiştir. Deney düzeneğinden, reaktör sıcaklıkları, O₂ kullanımı, CO₂ çıkışı, NH₃ çıkışı ve kuru madde ki azalma miktarı ölçülmüştür. Araştırmada, 5 farklı C/N (17, 20, 30, 44 ve 49) test edilmiştir. Kompost sıcaklığı, sıcaklık geri beslemeli iki aşamalı fan düzenlemesi ile 60°C'de kontrol edilmiş, materyalin başlangıç nem içeriği %50-55 arasında ve pH değeri 7-8 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Amonyak çıkışlarının, başlangıç C/N ve pH'nın fonksiyonu olarak incelenmesinin sonucunda, başlangıç C/N oranının artması ile amonyak kayıplarının azaldığı ve başlangıç pH'sı 7 nin altında olduğunda amonyak kayıplarının hızla azaldığı ve başlangıç pH'sı 8'in üzerinde olduğunda amonyak kayıplarının hızla arttığı belirlenmiştir.

Pagan vd. (2006), kompostlama sıcaklığının amonyak emisyonları üzerine etkisini belirlemek için belediye katı atıklarının organik kısmı, ham çamur ve anaerobik olarak sindirilmiş çamuru ayrı ayrı kompostlamışlardır. Laboratuvar ölçekli reaktörler kullanılmıştır. Tüm atıklar uygun miktarda hacim arttırıcı madde ile karıştırılmıştır. Araştırılan atıkların kompostlanmasında salınan amonyak, sıcaklığına bağlı olarak, her bir atık için, termofilik ilk aşamada (sıcaklık arttığında yayılan amonyağın üssel olarak artması), her bir atık için ayrı bir model bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Son mezofilik aşamada ise sıcaklığı

arttırırken amonyak emisyonlarının doğrusal artttığı tespit edilmiştir. Kompostlama, kompost sterilizasyonunu sağlamak için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması ve amonyak emisyonlarının kompostun agronomik kalitesini düşüren ve çevreye zarar veren etkisi nedeni ile sanitizasyonun işleminin büyük ölçüde ilk aşamadan sonra gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

Ekinci vd. (2016), çilek hasadı artıklarının (SHR) tavuk gübresi (PM), süt sığır gübresi (DM) ve saman ile kompostlaşmasını araştırmıştır. Beş farklı karışım hazırlanmıştır. Kompostlama işlemi, paslanmaz çelikten imal edilmiş, on beş adet otomatik kontrollü 100 litrelik aerobik reaktörde gerçekleştirilmiştir. Deneyler 18 gün sürmüştür. Havalandırma için sıcaklık geri besleme kontrol sistemi kullanılmıştır. Deneyler sırasında sıcaklık, nem, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik, karbon, azot ve NH₃-N değerleri ölçülmüştür. Tüm karışımların sıcaklıkları 55 °C'nin üzerine ulaşmıştır. SHR+DM+PM+Saman karışımı için en yüksek organik madde kaybı, C/N oranının 24.92 (% 25.75) olduğu karışımda meydana gelmiştir. En yüksek amonyak kaybı, 4762 mg/kg kuru madde ile SHR + PM karışımında meydana gelmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmaya konu olan 3 faz sistem pirinası (3FP) TARIŞ Zeytin ve Zeytinyağı Tarım Satış Kooperatifleri Birliği'nden temin edilmiştir (Şekil 3.1a) Kompostlama denemelerinde, karbon kaynağı ve boşluk yapıcı malzeme olarak talaş kullanılmıştır (Şekil 3.1b). Tavuk gübresi (TG) Isparta'da faaliyet gösteren Güreli işletmesinden temin edilmiştir (Şekil 3.1c).



Şekil 3.1. Denemede kullanılan 3FP (a), talaş (b) ve TG (c)

3.2. Metot

3.2.1. Kompost karışımlarının hazırlanması

Denemede kullanılan materyallerin (3FP, TG ve talaş) fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çalışmada 3FP karbon kaynağı, TG azot kaynağı ve talaş hem karbon kaynağı hem de strüktür sağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada karışım oranları, kuru kütle bazında hesaplanmıştır. Denemede kullanılan 3FP, TG ve talaş kuru ağırlık bazında karışım oranı Çizelge 3.1'de verilmiştir. Karışımda, %60.22 3FP, %14.60 TG ve %25.18 talaş kullanılmıştır. Karışımın hesaplanan başlangıç nem içeriği %54.00 iken deneysel ölçüm sonucu ise %53.46'dır. Benzer şekilde karışımın hesaplanan başlangıç C/N oranı 24.00 iken ölçüm sonucu ise 23.59'dur.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan 3FP, TG, talaş ve karışımın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve karışım oranları (kuru ağırlık bazda)

	3FP	TG	Talaş	Karışım
Nem içeriği (SM), %	13.11±0.79	71.032±0.54	7.52±0.17	53.46±0.15
Organik madde içeriği (OM), %	91.46±1.10	69.14±0.47	98.22±0.08	88.61±0.89
Elektriksel iletkenlik (EC), dS/m	0.77±0.01	15.50±0.10	3.30±0.12	3.10±0.04
pH	7.50±0.18	7.74±0.15	5.10±0.22	7.430±0.04
Toplam karbon (C), %	47.05±0.14	34.20±0.12	45.06±0.09	39.04±0.82
Toplam azot (N), %	1.65±0.13	5.65±0.08	0.17±0.07	1.66±0.02
NH ₄ -N, mg/kg	84.26±6.45	1287.16±31.74	30.02±4.12	350.01±34.00
NO ₃ -N, mg/kg	438.12±20.32	44.13±5.32	997.20±48.13	453.00±56.00
Karışım oranları (%)	60.22	14.60	25.18	-

Denemede tek bir karışım hazırlanmış ve 14 reaktöre aynı karışım yüklenmiştir. Kompostlama sıcaklık set noktaları (T_{sp}) 40 °C (R1 ve R2, reaktörleri), 45 °C (R3 ve R4), 50 °C (R5 ve R6), 55 °C (R7 ve R8), 60 °C (R9 ve R10), 65°C (R11 ve R12) ve 70 °C (R13 ve R14) olarak seçilmiştir. Her bir kompost sıcaklık denemesi 2 tekerrürlü olarak iki reaktörde yürütülmüştür.

3.2.2. Kompostlaştırma sistemi

Kompostlaştırma işlemi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Kompost ve Biyogaz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kompost ve biyogaz laboratuvarı

Kompostlaştırma sistemi kompost reaktörü ve otomasyon sisteminden oluşmaktadır. Kompostlaştırma işleminde kullanılan reaktörler, havalandırma sistemi ve otomasyon sistemi başlıklar halinde açıklanmıştır.

3.2.2.1. Aerobik reaktörler

Kompostlaştırma işleminde aerobik tam otomatik kontrollü reaktörler kullanılmıştır. Reaktör sistemine bağlı olan havalandırmada kullanılan fan, hava hızı ölçer (anemometre), sıcaklık sensörleri otomasyon sistemine bağlıdır. Kompostlaştırma süresince kullanılan reaktörler Şekil 3.3'te, reaktörlerin ayrıntıları ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Reaktörler paslanmaz çelikten yapılmış olup cam yünü ile ısı yalıtımlı hale getirilmiştir. Reaktörlerin etkili hacmi 100 L dir. İç çapı 47 cm olup iç yüksekliği 57.5 cm dir. Ayrıca alt tabakasında sızıntı suyu oluşumu için bir hazne bulunmaktadır. Sızıntı suyunun hava giriş bölümüne gitmemesi için hava giriş bağlantısı sızıntı suyu haznesinin üst kısmında bulunmaktadır. Reaktör içerisinde 3 farklı noktadan sıcaklık ölçümü gerçekleştirilebilmektedir. Sıcaklıklar, 1'er dakika aralıklarla kaydedilmektedir. Reaktörler karıştırma işlemlerinde kolaylık sağlanması amacıyla tekerlekli olup ve eksenel hareket etme özelliğine sahiptir.



Şekil 3.3. Kompostlaştırma işleminin gerçekleştirildiği reaktörler



Şekil 3.4. Reaktörlerin önden, yandan ve üstten görünümü

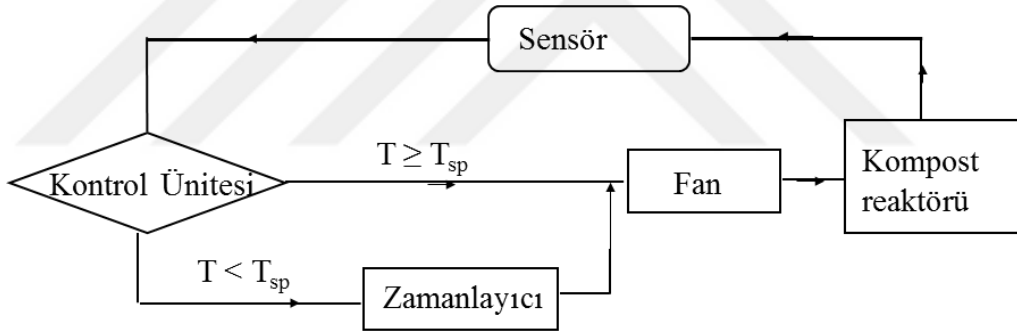
3.2.2.2. Havalandırma

Reaktör içerisine hava vermek için 0.25 W'lık 150 m³/h kapasiteli fanlar kullanılmıştır. Fandan çıkan hava debisini ölçmek için SIEMENS marka QVM62.1 model anemometre kullanılmıştır. Sistemde kullanılan fan ve anemometre Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



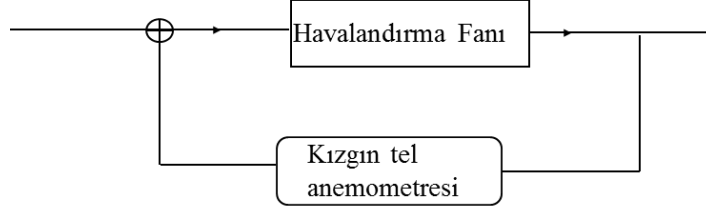
Şekil 3.5. PLC, fan ve anemometre

Kompostlaştırma prosesinin kontrolü, Rutgers havalandırma stratejisine dayalı olup havalandırma fanlarının sıcaklık geri beslemeli kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Rutgers havalandırma stratejisinin amacı sıcaklık kontrolü ile maksimum mikroorganizma aktivitesinin sağlanmasıdır. Bu sistemde, havalandırma fanı, hız sürücüsü (Schneider, ATV12H037M2), PLC, sensörler (ısı çift ve kızgın tel anemometresi) bulunmaktadır. Sistemde sıcaklık kontrol edilen değişken, hava debisi ise ayarlanan değişkendir. Isıl çiftten alınan sinyal, kompost sıcaklığının, T_{sp} daha az olduğunu bildirir ise havalandırma fanı oksijen ihtiyacının karşılanması için minimum havalandırma debisi (Q_{min}) ile önceden belirlenmiş açık-kapalı mod'ta (on-off) çalıştırılmaktadır. Fakat kompost sıcaklığı T_{sp} 'den yüksek ise kontrol ünitesi kompost sıcaklığını belirlenen sıcaklıktan daha aşağı bir noktaya getirmek (soğutarak) için fanı daha yüksek debilerde (Q_{max}) çalıştırmaktadır. Kompost sıcaklık kontrolü belirli bir sıcaklık bandında (tolerans) gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Sistemde kullanılan Rutgers havalandırma stratejisi

Reaktör fanlarının kontrolünde ayrıca debi kontrolü de yapılmaktadır. Fanların debi kontrolü, hava hızı geri beslemeli olarak yapılmaktadır (Şekil 3.7). Bu sistemde, havalandırma debisi anemometrenin takıldığı boru kesit alanının anemometreden ölçülen hızın çarpımı ile elde edilmektedir. Havalandırma fanına bağlı hız sürücüler bulunmaktadır. Sistemde set edilen hava debisine bakılarak fanların çalışma frekansları hız sürücüler vasıtasıyla azaltılıp veya artırılmaktadır.



Şekil 3.7. Fanların debi kontrolü

Bu çalışmada kompostlaştırma işleminin kontrolü için havalandırma fanlarının otomatik kontrolünü içeren yazılım hazırlanmıştır. Otomatik yazılımda, ölçülen kompost sıcaklığı T_{sp} 'den yüksek ise kontrol sistemi belirlenen sıcaklık bandında oransal- türev (Proportional-Derivative) PD kontrol yapmaktadır. Ayrıca, fanların debi kontrolü sadece frekans değerlerinin PLC panosunda girilerek yapılmaktadır.

3.2.2.3. Havalandırma fanı elektrik tüketimi

Denemede havalandırma fanlarının farklı sıcaklık set noktalarına göre işletilmesinden kaynaklı elektrik tüketimleri tek fazlı elektrik sayacı (VEM-T580DB2 Viko) ile gerçekleştirilmiştir. Elektrik sayacından alınan değerler PLC de ADC modülüne (0-5 volt) gönderilmektedir.

3.2.3. Denemelerin yürütülmesi

Denemede karışımı oluşturan materyaller öncelikle tartılmıştır. Reaktörler doldurulduğunda tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince, belirli periyotlarda karıştırma ve örnek alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneme 27 gün sürmüştür. Karıştırma ve örnek alma işlemlerinde yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır;

- reaktörler tartılması,
- kompost materyali beton zemine boşaltılması,
- kürek ile iyice karıştırıldıktan sonra örnek alınması ve tekrar iyice karıştırıldıktan sonra yine örnek alınması,
- materyalin reaktöre tekrar doldurulduktan sonra tartılması,
- son olarak da havalandırma miktarı ayarlanması

3.2.4. Fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri

Denemelerde, örnekleme işlemi üç tekerrürlü yapılmıştır. Analizlerde kullanılan cihazlar Çizelge 3.2 'de ve yapılan fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Reaktörden alınan numuneler kurutulduktan sonra öğütülerek analiz edilmiştir. Yapılan analizlere ilişkin açıklamalar başlıklar halinde verilmiştir.

Çizelge 3.2. Araştırmada kullanılan cihazlar

Cihaz Türü	Markası / Modeli
Etüv	Memmert UN 110
Kül fırını	Nüve MF 110
pH metre	Inolab WTW pH 720
İletkenlik ölçer	WTW multi 340i
Manyetik karıştırıcı	J.P.Selecta Agimatic-E
Öğütme	Siemens KM 13
Hassas Terazi	Precisa XB 220A

Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada yapılan analiz ve yöntemleri

	Parametre	Analiz Yöntemi	Kaynak
Fiziksel Analiz	Nem	65 °C'de 3 gün	(TMECC, 2002)
	OM	550 °C'de 4 saat	(TMECC, 2002) 03.02-A
Kimyasal Analizler	pH	1:10 (dw:v)	(TMECC, 2002) 04.11-A1:5.
	EC	1:10 (dw:v)	(TMECC, 2002) 04.10-A 1:5.
	C/N	Vario MACRO CN analizörü ile yüksek sıcaklıkta yakma ve gravimetrik olarak TCD ile belirleme	
	Amonyum	2 M KCl ile ekstraksiyon sonrası Nessler yöntemiyle tayin	Mulvaney, 1996
Nitrat	2 M KCl ile ekstraksiyon sonrası Nessler yöntemiyle tayin	Mulvaney, 1996	

3.2.4.1. Nem içeriği

Nem içeriğini (SM) belirlemek için numuneler etüvde 65 °C'de 3 gün süre ile sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve sonrasında desikatörde oda sıcaklığına

getirilene kadar bekletilmiştir. Tartım işlemlerinde 0.02 gram hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır. Örneklerin su içeriği Denklem 3.1'deki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SM = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad (3.1)$$

W1 =Kurutma işleminden önce numunenin ağırlığı (g)

W2 =Kurutma işleminden sonra numunenin kuru ağırlığı (g)

3.2.4.2. Organik madde içeriği

Kurutulmuş ve öğütülmüş numuneler porselen krozelere yerleştirildikten sonra 550 °C'de kül fırınında 4 saat süre ile yakılmıştır. Yakma işleminden sonra numuneler desikatörde oda sıcaklığına getirilmiştir. Numunelerin organik madde içeriği Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$OM = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (3.2)$$

M1 = Yakma öncesi numune miktarı (g),

M2 = Yakma sonrası numune miktarı (g)

3.2.4.3. PH ve EC

Yaş numunelere, kuru numune/su oranı 1:10 (w:v) olacak şekilde saf su eklenmiş ve orbital inkübatörde 180 devir/dakika ve 20 dakika'lık süre ile çalkalandıktan sonra pH ölçümleri pH metrede (Inolab WTW, pH 720), iletkenlik ölçümleri ise iletkenlik ölçme cihazında (WTW multi 340i) yapılmıştır.

3.2.4.4. Amonyum ve nitrat

2 g kuru numune 250 ml'lik erlene yerleştirildikten sonra 100 mL 2M KCl eklenerek orbital inkübatörde 150 devir/dk dönme hızında 1 saat süre ile ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler 42 numara Whatman filtre kağıdından süzülmüştür. Nitrat analizi için süzülen numuneden 10 mL alınarak üzerine nitrat kiti eklenmiş ve 355 nm dalga boyunda Hach DR5000 marka spektrofotometrede nitrat tayini yapılmıştır. Amonyum analizi için kalan

numuneden 2.5 mL alınarak üzerine mineral stabilizer (23766-26), Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent (23765-26), Nessler reagent (21194-49) eklenmiş ve Nessler metoduna göre 380 nm dalga boyunda aynı spektrofotometrede amonyum tayini yapılmıştır.

3.2.4.5. Toplam karbon ve azot

Kuru ve öğütülmüş numunelerin C ve N içeriğinin belirlenmesi için Elementar Vario MACRO CN analizörü kullanılmıştır. Numunelerin bu analizörde yüksek sıcaklıkta yakılması ile elementler gazlaştırılmakta, gaz ayrıştırıcıdan geçirilmekte ve gravimetrik olarak termal iletkenlik detektörü (TCD) ile tayin edilmektedir.

3.2.4.6. Birim hacim ağırlığı

Birim hacim ağırlığı (BHA), numunenin orijinal halinin belirli hacim içerisindeki ağırlığıdır. Birimi kg/L olarak ifade edilmektedir. BHA, reaktör içerisindeki yaş materyalin etkin reaktör hacmine bölünmesi ile hesaplanabilir. BHA, Denklem 3.3'e göre belirlenmiştir.

$$\text{BHA (kg/L)} = \frac{\text{materyal ağırlığı}}{\text{reaktör hacmi}} * 100 \quad (3.3)$$

3.2.4.7. Serbest hava boşluğu

Kompostlaştırma işleminde atıkların içerisindeki serbest hava boşluklarını (FAS) hesaplamak için FAS analizi yapılmıştır. Buna göre 1 L'lik kap içerisine alınan numuneler önce tartılmış, sonra suya doymun hale getirilmiştir. Daha sonra suyu boşaltılarak tekrar 1 L çizgisine kadar su ile doldurulmuştur. FAS oranı Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{FAS (\%)} = \frac{\text{materyale eklenen su}}{\text{kap hacmi}} * 100 \quad (3.4)$$

3.2.4.8. Amonyak (NH₃) çıkışlarının belirlenmesi

Amonyak tutma sistemi sırasıyla gaz sıyırıcı, nem yoğuşturucu, nem tutucu, akış metre, gaz toplama hattı ve vakum pompasından oluşmaktadır (Şekil 3.8). 250 ml hacimli gaz sıyırıcı şişelere 50'şer ml borik asit çözelti konulmuştur. Borik asit içerisinde tutulan amonyak miktarı 0,02 N H₂SO₄ ile titrasyon yapılarak

belirlenmiştir. Gaz sıyrıcı sonrasında yoğuşturucu ve nem tutucu (CaSO₄) konmuştur. Bu sayede reaktör içerisinde çekilen havanın kuruması sağlanarak, nemli havanın vakum pompasına zarar vermesi engellenmiştir.



Şekil 3.8. Amonyak tutma sistemi

3.2.5. Kompost kuru madde, organik madde ve azot kayıpları

Chowdhury vd. (2013), kompostlama esnasında biyolojik ayrışmadan dolayı meydana gelen kayıpların konsantrasyon değerlerinden değil kütle dengesinden hesaplanması gerektiğini bildirmiştir. Bu nedenle kayıplar kütle dengesinden hesaplanmıştır. Kompost kuru madde kayıpları (KMK) ve organik madde kayıpları (OMK) ve azot kayıpları (AK) aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır.

$$\text{KMK (\%)} = \left(1 - \left[\frac{m_d(\theta)}{m_d(0)}\right]\right) 100 \quad (3.5)$$

$$\text{OMK (\%)} = \left(1 - \left[\frac{m_o(\theta)}{m_o(0)}\right]\right) 100 \quad (3.6)$$

$$\text{AK (\%)} = \left(1 - \left[\frac{m_N(\theta)}{m_N(0)}\right]\right) 100 \quad (3.7)$$

Denklemlerde,

$m_d(0)$, $m_o(0)$ ve $m_N(0)$ = başlangıç kompost kuru kütlesi, organik kuru kütlesi ve azot kütlesi (kg)

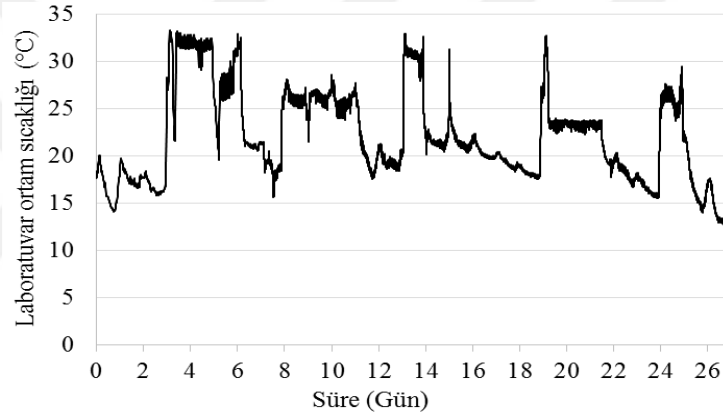
$m_d(\theta)$, $m_o(\theta)$ ve $m_N(\theta)$ = bitmiş kompost kuru kütlesi, organik kuru kütlesi ve azot kütlesi (kg)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

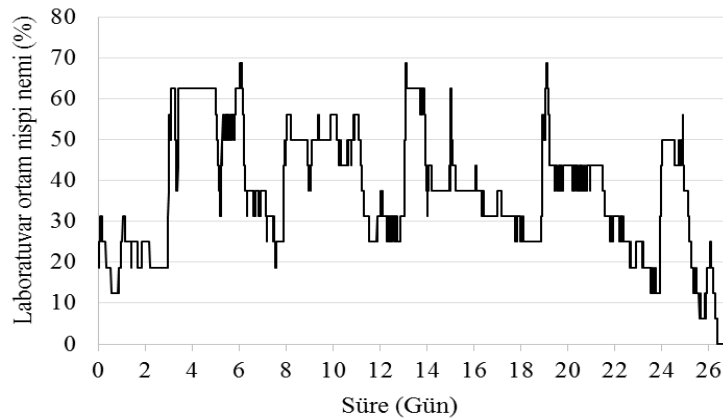
4.1. Kompostlama Parametrelerinin Değişimi

4.1.1. Ortam havası parametreleri ve kompost sıcaklığının değişimi

Kompostlama sistemlerinin bulunduğu laboratuvar ortamının nem ve sıcaklık değişimi Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Ortam sıcaklığı 48000 Btu kapasiteye sahip klima tarafından belirli sıcaklıklar arasında tutulmaya çalışılmıştır. Ortam sıcaklığı ve nemi; kapıların açılıp kapatılması, kompost reaktörlerinin karıştırılması ve gece gündüz sıcaklık farkı gibi nedenlerden dolayı sürekli olarak değişim içinde olmuştur. Denemede ortam sıcaklığı, genelde 14-33 °C arasında değişirken ortam nemi ise % 12.5-69 arasında değişmiştir.

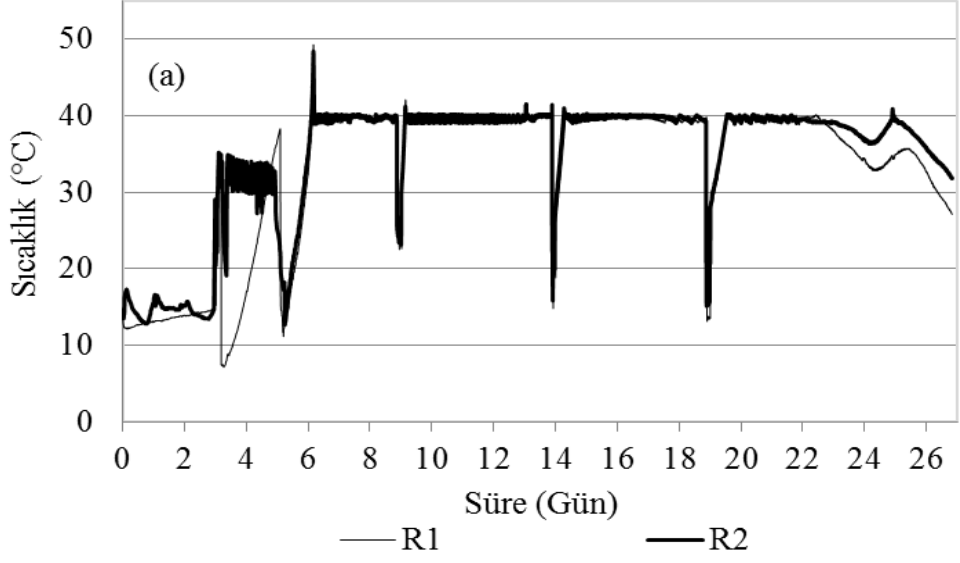


Şekil 4.1. Kompostlama esnasında laboratuvar ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi

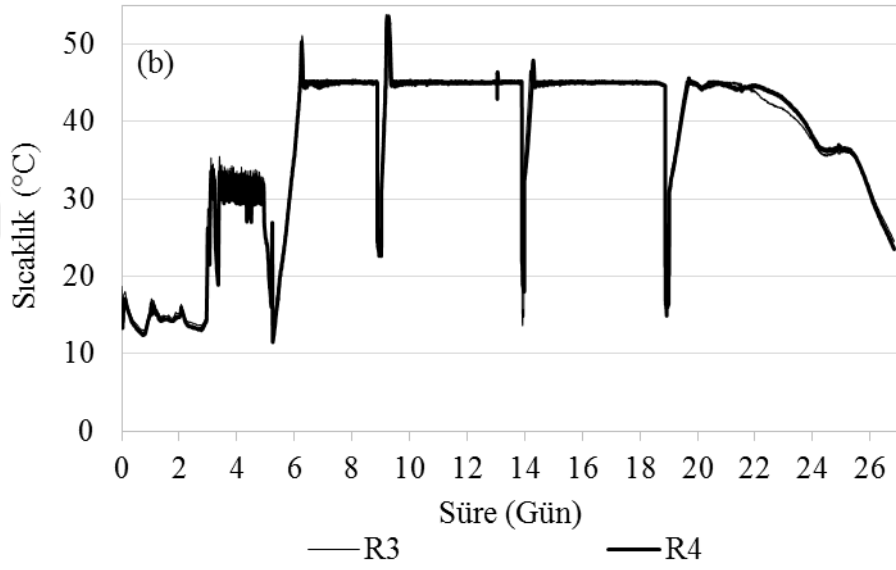


Şekil 4.2. Kompostlama esnasında laboratuvar ortam nispi neminin zamana bağlı değişimi

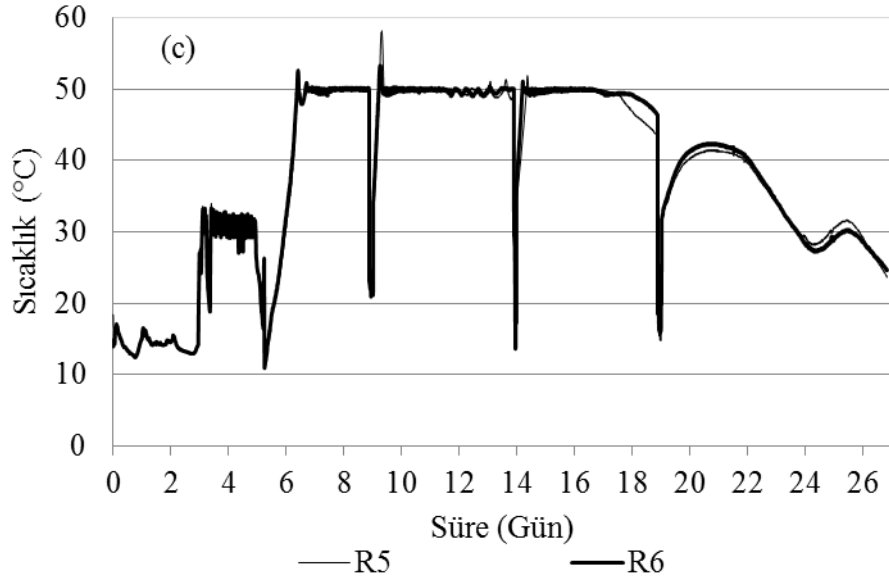
Kompostlama sıcaklığının zamana bağılı olarak değişimi Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Her bir reaktörde sıcaklık kontrolü için reaktör orta noktasına yerleştirilmiş ısı çiftleri kullanılmıştır. Sıcaklık grafikleri incelendiğinde, reaktörlerin kontrol sıcaklıklarına ulaşma sürelerinin yaklaşık olarak 6 gün olduğu tespit edilmiştir. Kontrol sıcaklığına ulaşma süresinin uzun olması bu aşamada ortam sıcaklığının düşük olması ve reaktörlere verilen havanın yetersiz olmasından kaynaklanmış olabilir. Kompost sıcaklıkları kontrol sıcaklıklarına ulaştığında havalandırma sisteminin yeterli kontrolü sağlayamadığı ve sıcaklıkların kontrol noktasında daha yüksek sıcaklıklara (overshoot) çıktığı gözlenmiştir. Bu durum T_{sp} 'nin daha düşük olduğu 40 ve 45, 50 ve 55 °C sıcaklıklarda daha belirgin iken daha yüksek sıcaklıklarda 60 ve 65, 70 °C'de overshoot miktarı azalmıştır. Sıcaklık grafiklerine ait diğer bir gözlem ise, tekerrürler arasında sıcaklıkların seyri yönünden yüksek oranda benzerlik olmasıdır. Bu durum sıcaklık kontrol sisteminin istenilen doğrultuda çalıştığını göstermektedir. Deneme süresince, 9.03, 13.91 ve 18.90'nuncü günlerde olmak üzere üç karıştırma gerçekleştirilmiştir. Her bir karıştırma işleminden sonra, T_{sp} 'nin 40 ve 45 °C olarak seçildiği reaktörlerde sıcaklıkların kontrol noktasına ulaştığı görülmektedir. Fakat T_{sp} 'nin daha yüksek olduğu reaktörlerde ise 2 ve 3'üncü karıştırmadan sonra kontrol sıcaklıklarına ulaşamamıştır. Bu durum, düşük kontrol sıcaklıklarında reaktör içinde biyolojik ayrışmadan kaynaklı üretilen ısı enerjisinin etkin bir şekilde uzaklaştırılmadığını ve biyolojik ayrışmanın daha yavaş ve uzun sürdüğünü göstermektedir. Bu durum kontrol işleminin daha düşük sıcaklıklarda zorlaştığını ve havalandırma fanının daha fazla zorlandığını göstermektedir. Bu bulgular, Ekinci vd. (2004a, b)'nin yapmış oldukları çalışma sonuçları ile uyusmaktadır.



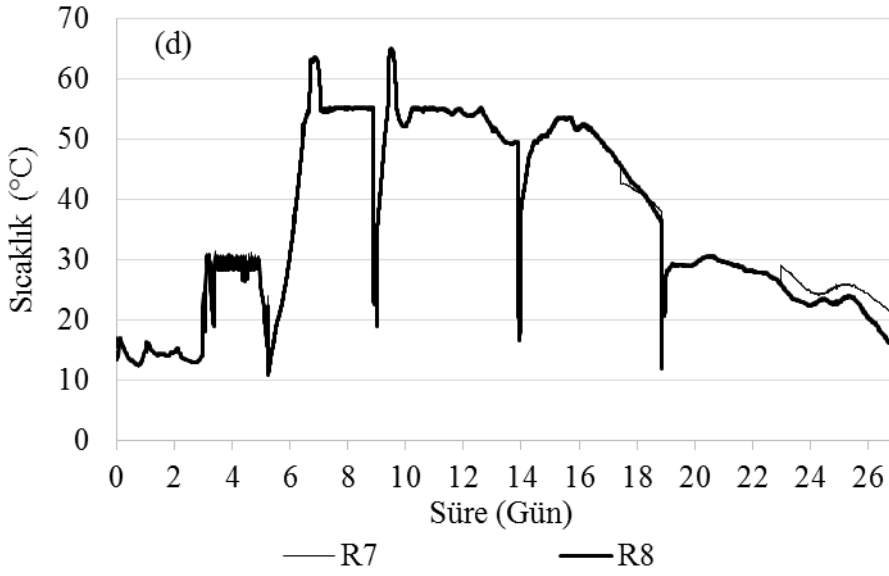
Şekil 4.3. R1 ve R2 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=40\text{ °C}$)



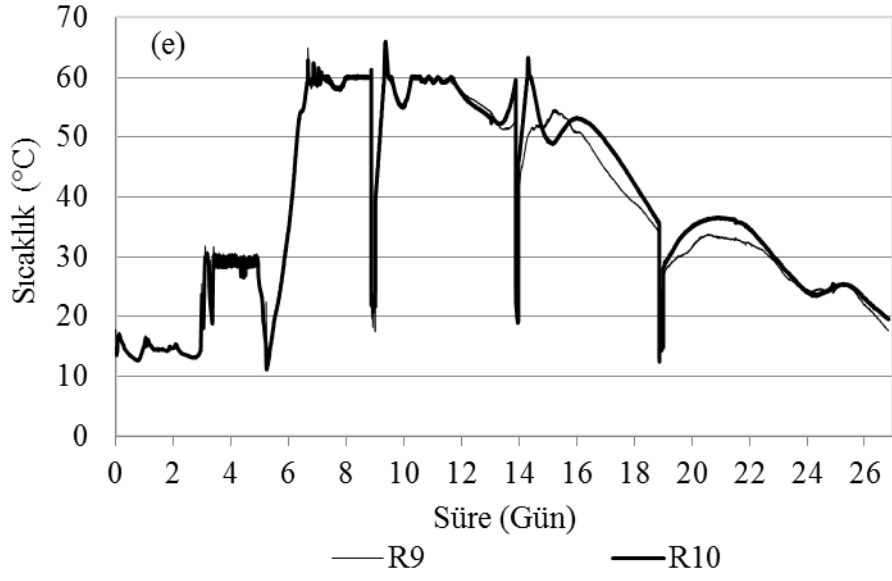
Şekil 4.4. R3 ve R4 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=45\text{ °C}$)



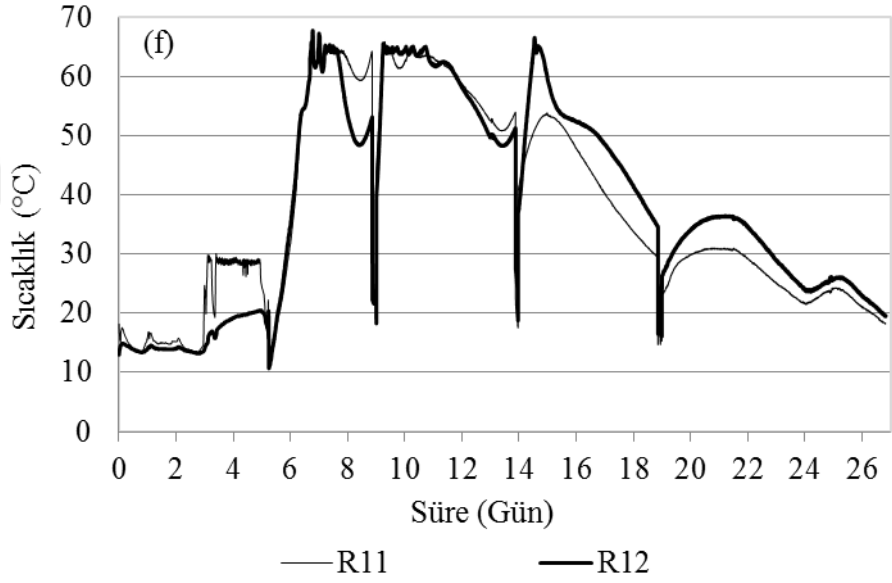
Şekil 4.5. R5 ve R6 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=50^{\circ}\text{C}$)



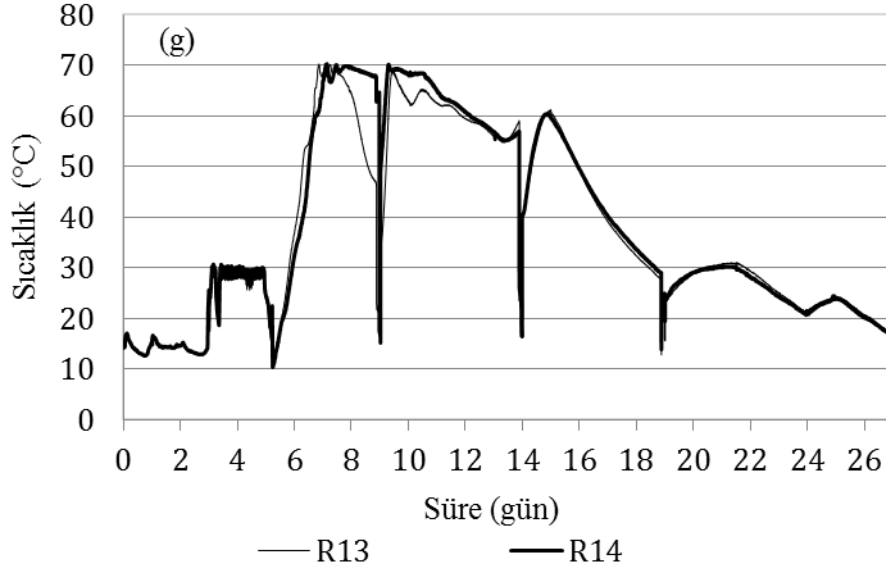
Şekil 4.6. R7 ve R8 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=55^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.7. R9 ve R10 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 60^{\circ}\text{C}$)



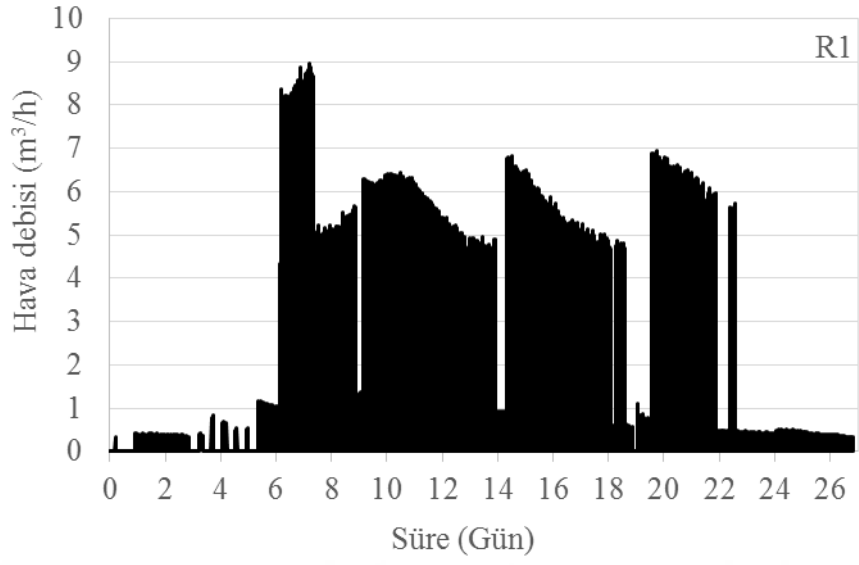
Şekil 4.8. R11 ve R12 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 65^{\circ}\text{C}$)



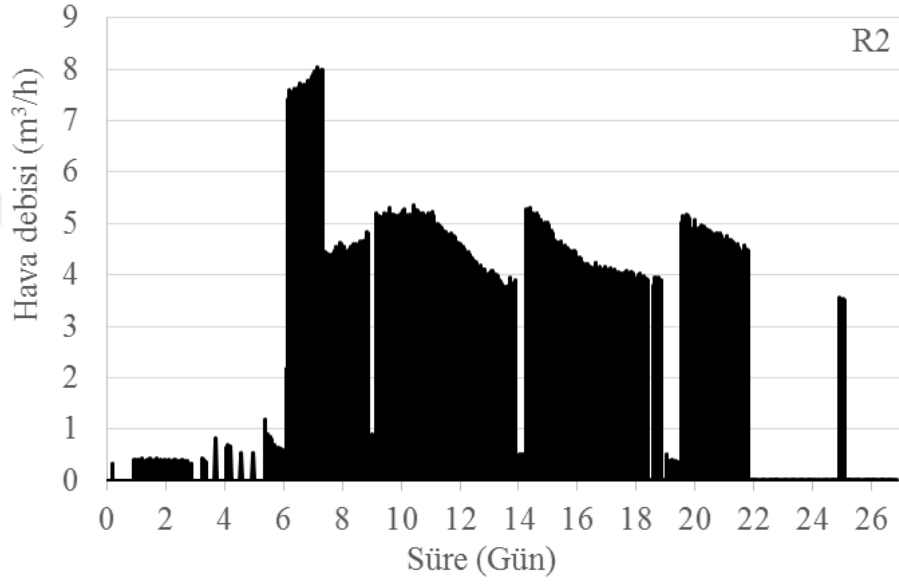
Şekil 4.9. R13 ve R14 reaktörlerinde kompost sıcaklığının zamana bağlı değişimi ($T_{sp}=70^{\circ}\text{C}$)

4.1.2. Havalandırma

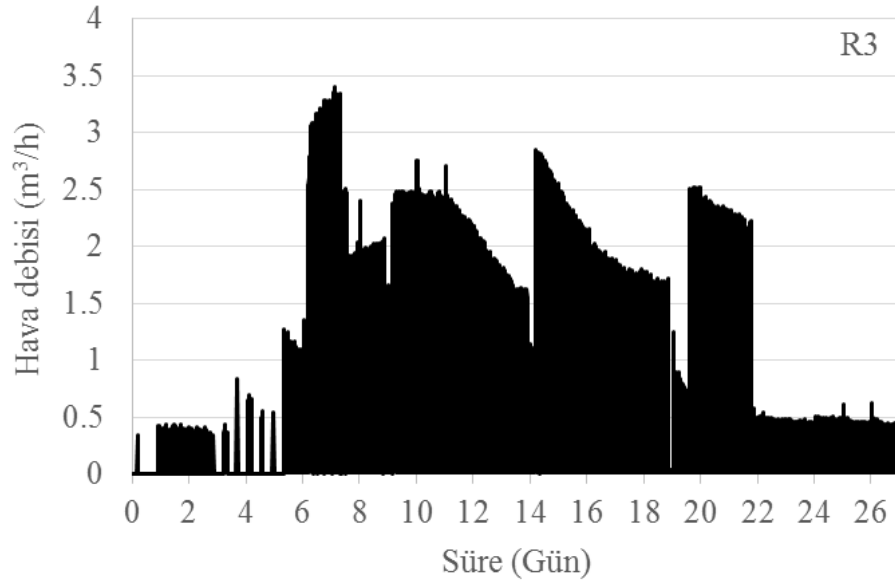
Havalandırma debilerinin (Q_{min} ve Q_{max}) zamanın ve T_{sp} 'nin fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.10- 4.23'te verilmiştir. Denemenin ilk 6 günü içerisinde ısı çiftlerinden alınan sinyal, T_{sp} 'lerden daha az olduğundan havalandırma fanı oksijen ihtiyacının karşılanması için minimum havalandırma debisi (Q_{min}) ile önceden belirlenmiş açık-kapalı mod'ta (5 dakika açık/25 dakika kapalı) çalıştırılmıştır. Bu aşamada, kompost sıcaklıklarının yükselmesi beklenmiştir. Kompost sıcaklığı T_{sp} 'den yüksek olduğu durumlarda kontrol ünitesi kompost sıcaklığını belirlenen sıcaklıktan daha aşağı bir noktaya getirmek (soğutarak) için fanı daha yüksek debilerde (Q_{max}) çalıştırmıştır. Çalışma sonuçları T_{sp} değerinin 40°C olduğu R1 reaktöründe Q_{max} değeri $9\text{ m}^3/\text{h}$ 'e kadar çıkarken R2 reaktöründe ise Q_{max} değeri $8\text{ m}^3/\text{h}$ 'e kadar yükselmiştir. Bu sıcaklık değeri mezofilik kompost sıcaklıklarının üst sınırı değeri ve termofilik sıcaklıkların alt sınır değeridir. Havalandırma fanlarını bu değerde sıcaklığa bağlı olarak kontrol etmek için daha yüksek Q_{max} değerleri uygulanmıştır. T_{sp} değeri yükseldikçe Q_{max} değerleri azalmıştır. Yüksek T_{sp} değerlerinde termofilik sıcaklıklar baskın olduğu için bu sıcaklık seviyelerinde havalandırma fanlarının kontrolü daha kolay gerçekleşmiştir. Havalandırma debi ölçümlerinin veri kaydında bazı sıkıntılardan dolayı (örneğin R14) bazı değerler kaydedilememiştir.



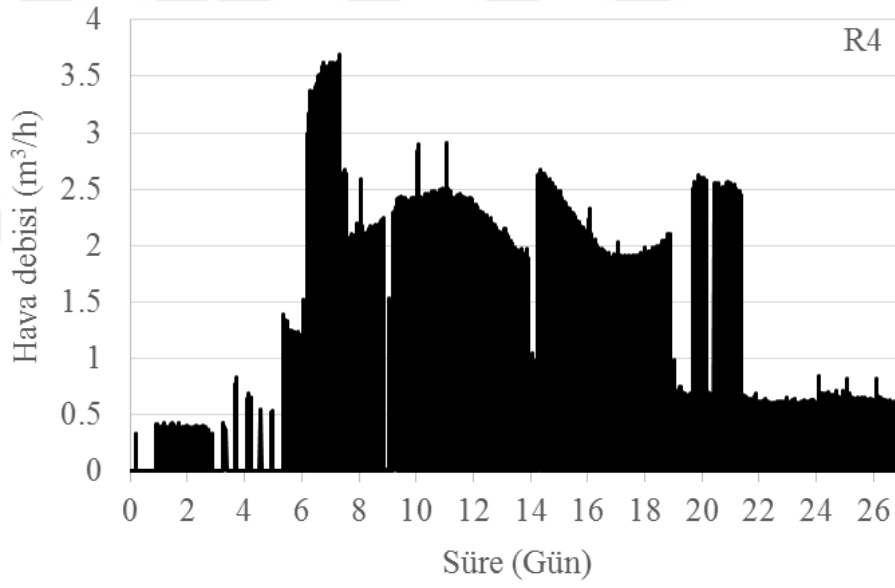
Şekil 4.10. R1 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 40^{\circ}\text{C}$)



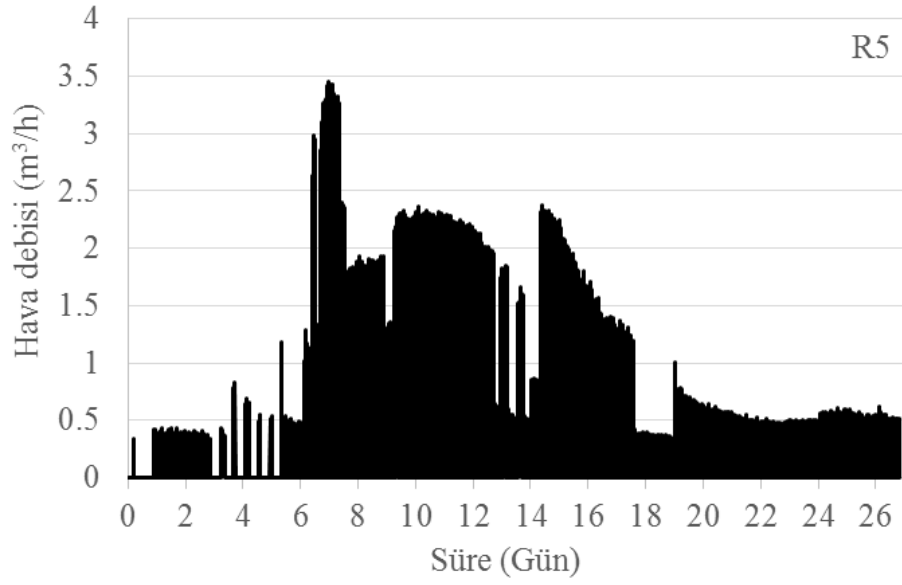
Şekil 4.11. R2 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 40^{\circ}\text{C}$)



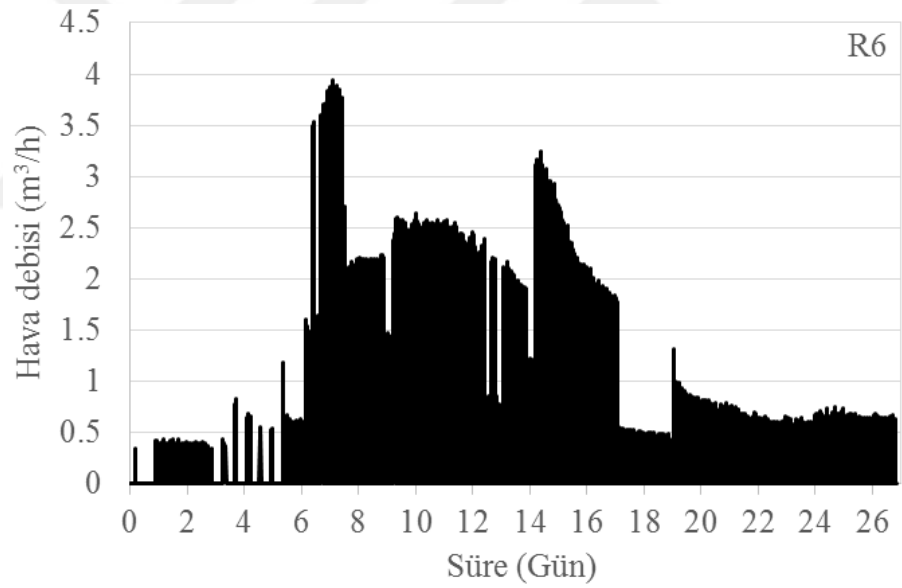
Şekil 4.12. R3 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 45^{\circ}\text{C}$)



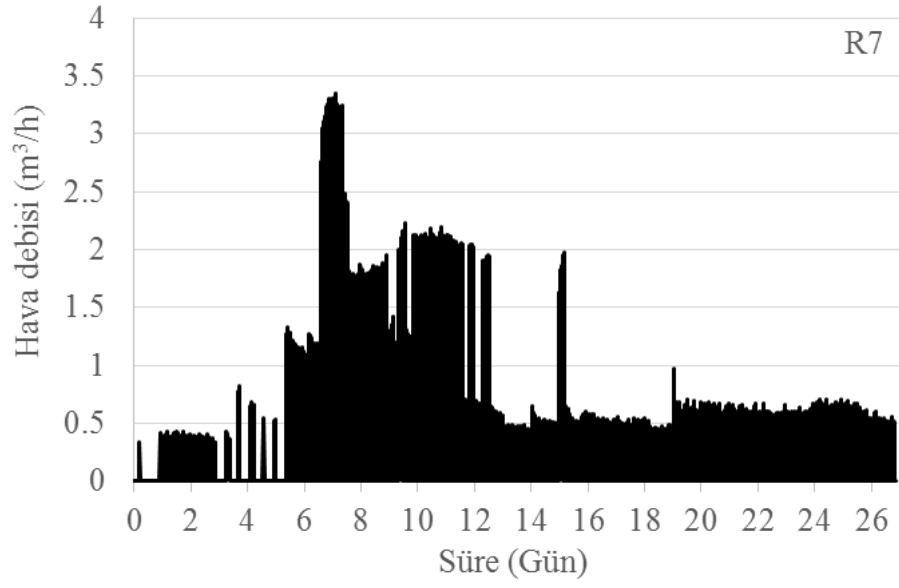
Şekil 4.13. R4 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 45^{\circ}\text{C}$)



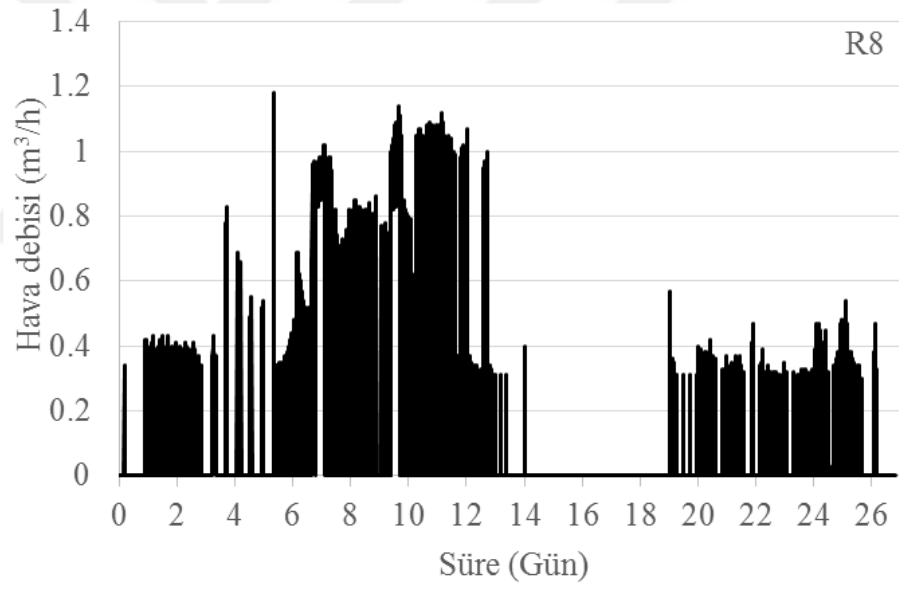
Şekil 4.14. R5 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 50^\circ\text{C}$)



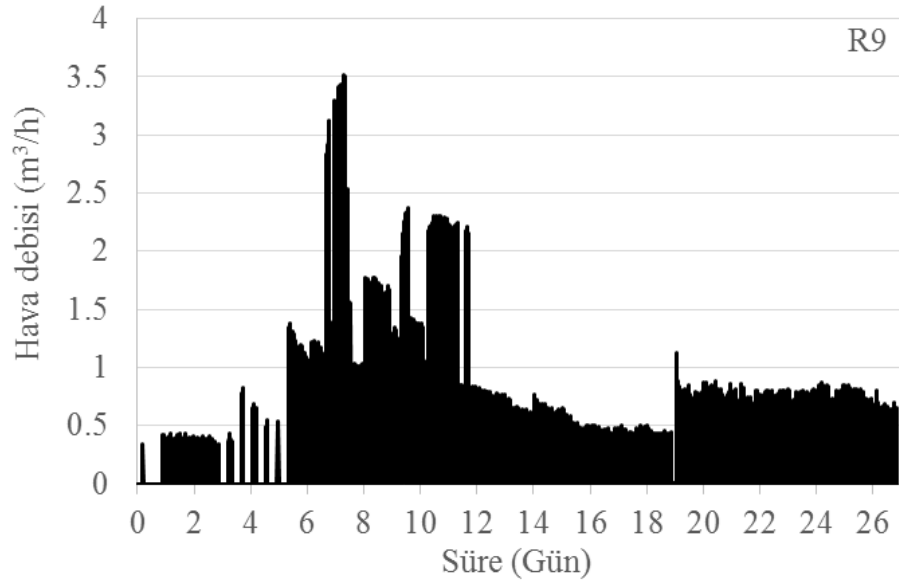
Şekil 4.15. R6 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 50^\circ\text{C}$)



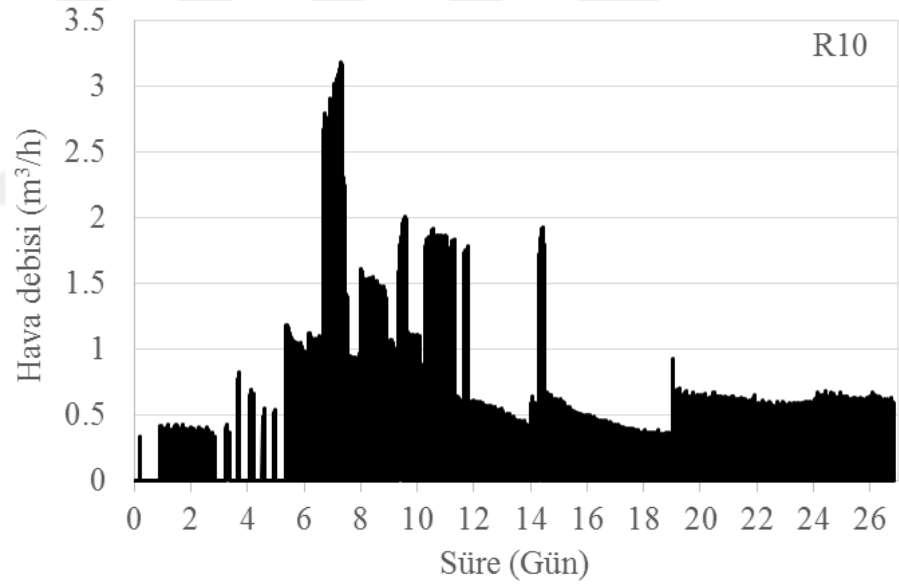
Şekil 4.16. R7 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 55^{\circ}\text{C}$)



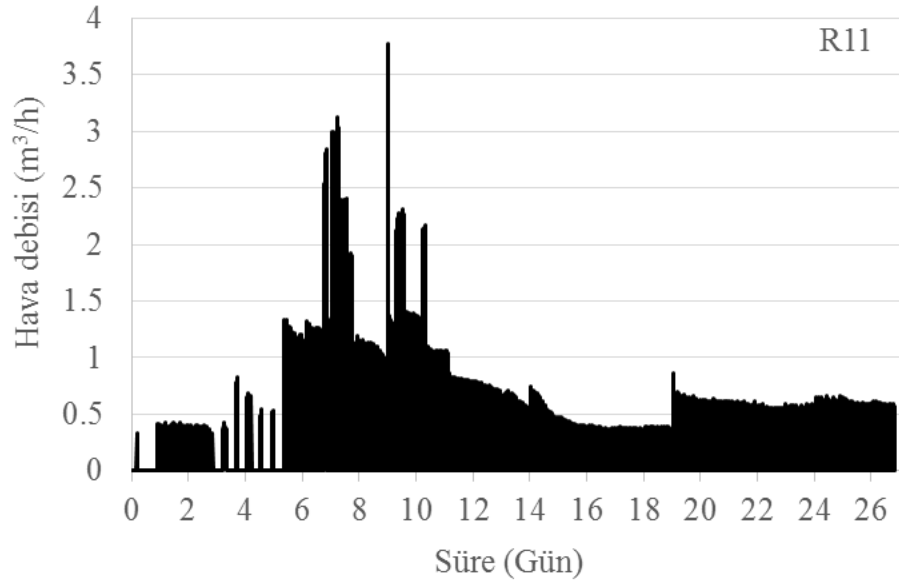
Şekil 4.17. R8 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 55^{\circ}\text{C}$)



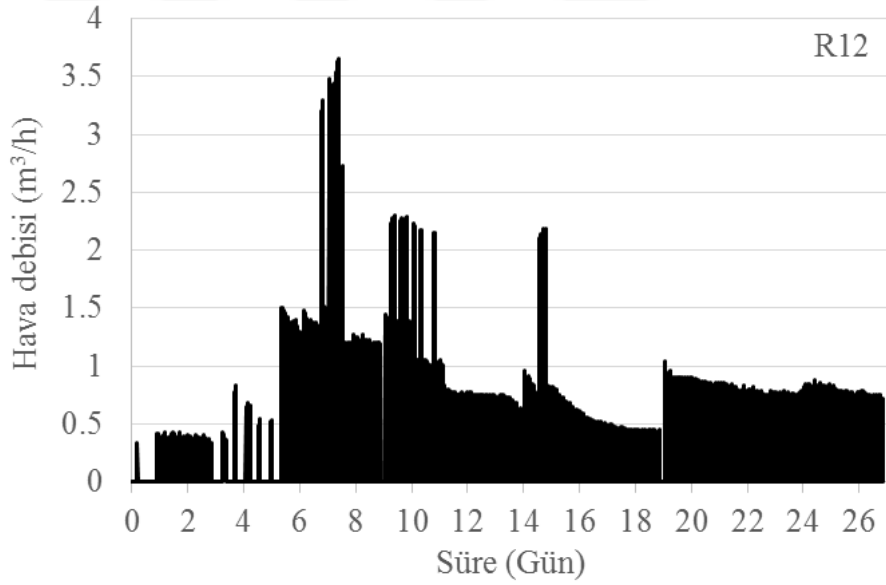
Şekil 4.18. R9 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 60^\circ\text{C}$)



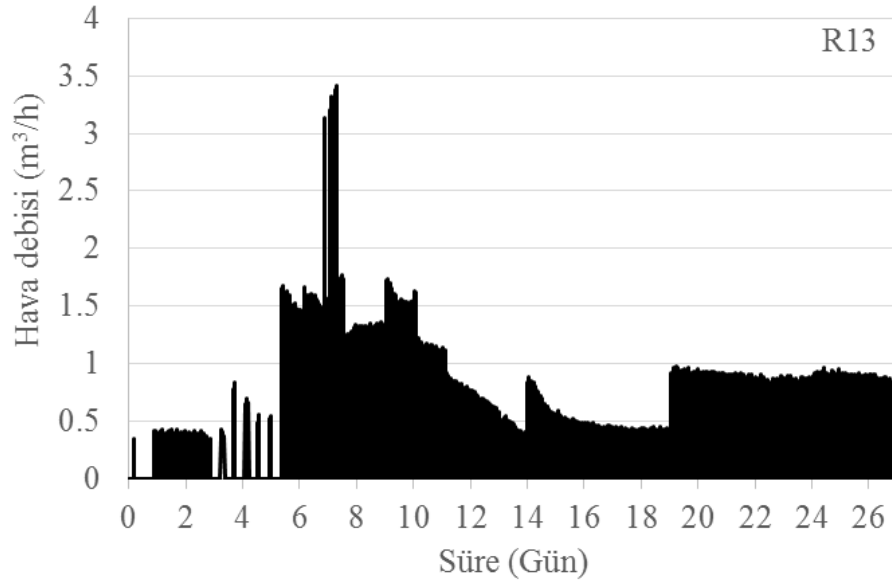
Şekil 4.19. R10 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 60^\circ\text{C}$)



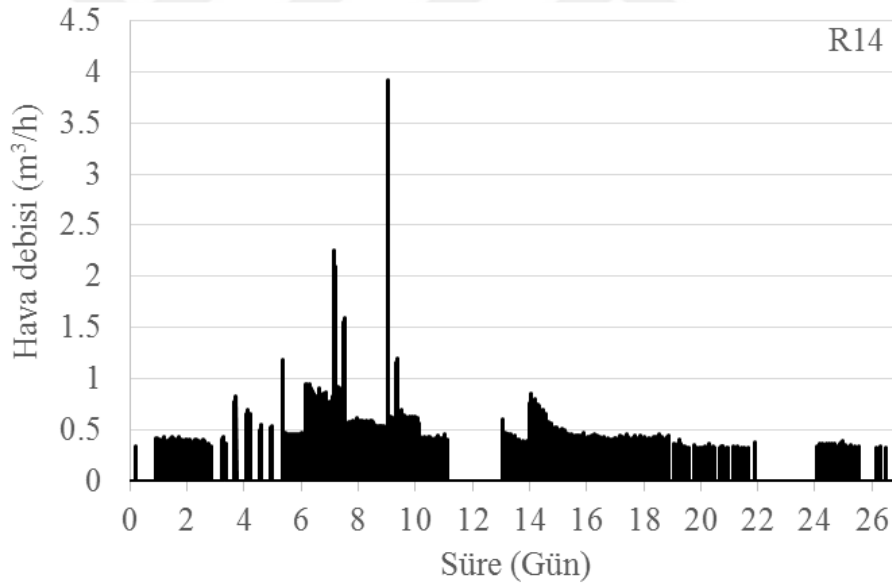
Şekil 4.20. R11 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 65^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.21. R12 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 65^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.22. R13 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 70^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.23. R14 reaktöründe havalandırma debisinin zamana bağlı değişimi ($T_{sp} = 70^{\circ}\text{C}$)

4.1.3. Kompost nem içeriği değişimi

İyi bir kompostlaştırma için %50-60 (yaş baz) nem seviyesi sağlanmalıdır (Rynk, 1992). Bu çalışmada kompost nemlerinin zamana bağlı değişimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Başlangıç karışımının nem içeriği %53.46 olarak ölçülmüştür. Kompostlama işlemi ilerledikçe kompost nem miktarlarında azalmalar meydana

gelmiştir. Kompost nem içeriği %50'nin altına düştüğünde, mikrobiyel ayrışmanın yavaşladığı bildirilmiştir (Jeris ve Regan, 1973). Bu nedenle her bir reaktörde karıştırma sonrası belirli miktarlarda su eklenmiştir. Eklenen su miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Denemenin 9.03'cü gününde ilk karıştırma yapılmış ve her bir reaktördeki karışıma su ilavesi yapılmıştır. Kontrol sıcaklığının 40°C, 45°C ve 50°C olduğu reaktörlerde eklenen suya rağmen kompost nem seviyelerinde düşme meydana gelmiştir. Fakat daha yüksek T_{sp}'de işletilen reaktörlerde ise (55°C, 60°C 65°C ve 70°C) su ilavesinden sonra kompost nem seviyelerinde artış gözlenmiştir. Denemenin ilerleyen süreçlerinde (13.91'inci gününde) R10-R11-R12-R13-R14'te su ilavesi yapılmıştır. Bu ilaveler sonucunda reaktörlerde en düşük nem seviyesi %47.21 olarak gerçekleşmiştir. Denemenin 18.90'uncü gününde yapılan karıştırmada ise sadece R8 ve R9'da su ilavesi yapılmıştır. Deneme sonunda kompost nem seviyelerinin %50-60 arasında kaldığı tespit edilmiştir. Deneme sonlandırılmadan önce de su ilavesi yapılmamıştır.

Çizelge 4.1. Kompost nemlerinin (yaş baz %) zamana bağlı değişimleri

		Süre (Gün)				
T _{sp} (°C)	Reak.	0.00	9.03	13.91	18.90	26.83
40	R1	53.46±0.15	42.12±1.70	48.25±13.75	48.90±0.01	55.76±0.88
	R2	53.46±0.15	43.73±1.48	37.93±7.20	48.74±1.82	50.07±1.43
45	R3	53.46±0.15	43.89±1.43	45.69±7.47	47.21±3.21	50.76±2.97
	R4	53.46±0.15	45.22±0.99	40.95±12.19	48.95±2.11	49.40±1.48
50	R5	53.46±0.15	49.74±3.35	44.31±8.55	48.95±1.12	52.35±0.19
	R6	53.46±0.15	46.27±1.36	56.34±4.85	49.83±0.22	55.11±1.80
55	R7	53.46±0.15	44.09±2.27	53.43±2.41	52.60±0.90	56.74±0.72
	R8	53.46±0.15	47.42±0.03	58.15±0.00	54.18±1.46	55.61±0.60
60	R9	53.46±0.15	48.27±0.02	63.76±0.91	54.78±0.40	55.47±0.87
	R10	53.46±0.15	46.00±2.47	55.63±0.00	53.55±2.67	53.42±0.01
65	R11	53.46±0.15	48.30±1.81	58.66±1.81	55.47±0.86	57.72±0.07
	R12	53.46±0.15	48.98±3.30	52.49±7.87	51.61±2.50	54.59±1.12
70	R13	53.46±0.15	46.37±1.26	53.46±0.15	54.50±0.59	56.25±0.87
	R14	53.46±0.15	48.03±2.30	60.64±0.00	55.60±0.12	56.56±0.34

Çizelge 4.2. Karıştırma sonrası kompost reaktörlerine eklenen su miktarları (kg)

T _{sp} (°C)	Reak.	Süre (Gün)				
		0.00	9.03	13.91	18.90	26.83
40	R1	0.00	5.23	7.23	0.00	0.00
	R2	0.00	5.32	7.32	0.00	0.00
45	R3	0.00	5.14	2.14	0.00	0.00
	R4	0.00	5.12	2.12	0.00	0.00
50	R5	0.00	5.08	2.08	0.00	0.00
	R6	0.00	5.25	2.25	0.00	0.00
55	R7	0.00	5.32	2.32	0.00	0.00
	R8	0.00	5.30	2.30	2.00	0.00
60	R9	0.00	5.10	2.10	2.50	0.00
	R10	0.00	5.15	0.00	0.00	0.00
65	R11	0.00	5.12	0.00	0.00	0.00
	R12	0.00	2.12	0.00	0.00	0.00
70	R13	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00
	R14	0.00	1.97	0.00	0.00	0.00

4.1.4. Kompost organik madde içeriği değişimi

Aerobik biyolojik aktivite, organik karbonu CO₂'ye dönüştürerek organik madde içeriğini azaltır; bu nedenle, işlem sırasında organik madde ölçümü bir hız parametresi olarak kullanılabilir (Finstein vd., 1986). Organik madde kuru maddenin en az %35 oranında olması gerekmektedir (ÇŞB, 2015). Kompostlama esnasındaki reaktörlerdeki organik madde değişimi Çizelge 4.3'te verilmiştir. 3FP, TG ve talaş materyallerinden oluşan başlangıç karışımının organik madde içeriği % 88.61 olarak ölçülmüştür. Kompostlama esnasında farklı sıcaklıklarda meydana gelen biyolojik ayrışma sonucunda organik madde içeriklerinde azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek seviyede organik madde azalması 55°C uygulamasında gerçekleşmiştir. T_{sp} sıcaklıklarının artması ile organik madde ki azalma miktarları da artmıştır.

Çizelge 4.3. Kompost organik madde içeriklerinin (%) zamana bağlı değişimleri

T _{sp} (°C)	Reak.	Süre (Gün)				
		0.00	9.03	13.91	18.90	26.83
40	R1	88.61±0.89	86.46±0.82	85.65±0.13	84.59±0.93	84.09±0.45
	R2	88.61±0.89	87.53±0.31	87.41±0.07	85.37±0.11	84.50±0.25
45	R3	88.61±0.89	87.42±0.74	86.76±0.02	84.91±0.76	83.22±0.91
	R4	88.61±0.89	88.35±0.84	86.90±0.12	85.49±0.60	83.78±0.14
50	R5	88.61±0.89	86.63±0.21	85.94±0.60	84.82±0.15	83.37±1.51
	R6	88.61±0.89	86.88±1.09	84.77±0.29	83.89±0.19	82.73±1.31
55	R7	88.61±0.89	85.26±0.36	84.29±0.42	83.31±0.29	82.16±0.09
	R8	88.61±0.89	85.10±0.84	84.93±0.39	83.67±0.18	82.85±0.84
60	R9	88.61±0.89	85.83±0.01	84.81±1.15	83.87±2.64	82.26±0.74
	R10	88.61±0.89	84.49±0.19	84.25±0.17	84.03±2.48	82.88±0.20
65	R11	88.61±0.89	84.32±0.20	83.10±0.05	82.40±0.67	81.29±1.35
	R12	88.61±0.89	83.75±0.31	83.59±1.69	82.44±0.67	82.07±1.10
70	R13	88.61±0.89	83.76±0.28	83.05±0.11	82.81±0.20	82.37±0.34
	R14	88.61±0.89	83.72±0.05	82.17±1.12	81.67±1.83	81.30±0.07

4.1.5. Kompost pH ve EC değişimi

Kompostlaştırma işleminin uygun bir şekilde yürütülebilmesi için kontrol edilmesi gereken parametrelerden biride ortam pH sıdır (Ekinici vd., 2000). Tercih edilen ortam pH'sı 6.5-8.0 olmasına rağmen (Rynk, 1992), kompost ortamının doğal tampon kapasitesinden dolayı bu sınırlar daha geniştir (Haug, 1993). Kompostlaştırma işlemi pH 5.5-9.0 arasında olduğu zaman efektif olarak yapılabilmektedir. Farklı sıcaklıklarda yapılan kompostlama denemesinde pH değerinin zamana bağlı değişimi Çizelge 4.4'te verilmiştir. Yapılan bu çalışmada başlangıç karışımın pH değeri 7.43 olarak ölçülmüştür. Organik maddenin ayrışması, karboksilik ve fenolik gruplara sahip asit tipi bileşiklerin bozunması ve protein, amino asit ve peptit gibi organik bileşiklerin NH₃ gibi inorganik bileşiklere mineralleştirilmesi sonucunda, tüm yığınlarda pH değerlerinde artış meydana gelmiştir (Paredes vd., 2000). Kompostlama sonunda tüm karışımlarda 8.71 ile 9.32 arasında gerçekleşmiştir. Sanchez-Monodero vd. (2001), tarafından yapılan çalışmada, kompostlamanın ilk haftalarında organik azotun ayrışmasıyla amonyak oluşumu gerçekleştiği, amonyağın çözünmesiyle amonyum oluştuğu ve bu durumun pH değerlerinde yükselmeye yol açtığı belirlenmiştir. Benzer şekilde diğer araştırmacılar da aminoasitlerin, peptitlerin ve proteinlerin mineralizasyonundan kaynaklanan serbest amonyum veya uçucu amonyak gazı

çıkışının pH değerlerinin artmasına sebep olduğunu gözlemlemişlerdir (Baeta-Hall vd., 2005; Mari vd., 2005; Gigliotti vd., 2012).

Başlangıç karışımının EC değeri başlangıç materyallerinin karışım oranına bağlı olarak 3.1 dS/m olarak ölçülmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan kompostlama denemesinde EC değerinin zamana bağlı değişimi Çizelge 4.5'te verilmiştir. Kompostlama işleminin ilerlemesi ile tüm karışımlarda EC değerleri düşmüştür. İşlem sonunda reaktörlerde EC değerleri 1.87-3.08 dS/m aralığında gerçekleşmiştir. Bu değerler zeytin işleme atığı kompostu ile ilgili yapılan çalışmalarda sonuçlarla uyum göstermektedir (Abid ve Sayadi., 2006; Hachicha vd., 2009). EC, kompostlama işlemi süresince sürekli azalış göstermiştir. Normalde bitiş EC değerlerinin, kütledeki azalma sonucu kompostta konsantre hale gelmesi sebebiyle yüksek değerlerde olması beklenirken (Gigliotti vd., 2012), bazı durumlarda ortama su eklenmesinden dolayı kompostun yıkama etkisinden kaynaklı olarak düşük olduğu gözlenmiştir (Paredes vd., 2002; Abid ve Sayadi, 2006; Hachicha vd., 2009; Makni vd., 2010; Chowdhury vd., 2013;).

Çizelge 4.4. Kompost pH değerlerinin zamana bağlı değişimleri

		Süre (Gün)				
T _{sp} (°C)	Reak.	0.00	9.03	13.91	18.90	26.83
40	R1	7.43±0.04	8.74±0.14	9.18±0.01	9.33±0.07	9.03±0.01
	R2	7.43±0.04	8.54±0.13	9.16±0.04	9.43±0.04	9.04±0.04
45	R3	7.43±0.04	8.72±0.06	9.18±0.08	9.48±0.01	8.73±0.01
	R4	7.43±0.04	8.81±0.01	9.29±0.05	9.50±0.04	8.74±0.04
50	R5	7.43±0.04	8.79±0.05	9.36±0.05	9.55±0.05	8.68±0.05
	R6	7.43±0.04	8.81±0.04	9.30±0.06	9.54±0.01	8.61±0.07
55	R7	7.43±0.04	8.86±0.09	9.38±0.13	9.55±0.03	8.71±0.42
	R8	7.43±0.04	8.73±0.02	9.20±0.02	9.51±0.02	9.30±0.02
60	R9	7.43±0.04	8.73±0.02	9.21±0.12	9.51±0.02	9.26±0.04
	R10	7.43±0.04	8.76±0.02	9.38±0.07	9.54±0.14	9.32±0.06
65	R11	7.43±0.04	8.79±0.01	9.28±0.04	9.34±0.10	9.23±0.05
	R12	7.43±0.04	8.80±0.04	9.22±0.02	9.48±0.01	9.16±0.06
70	R13	7.43±0.04	8.74±0.04	9.25±0.05	9.47±0.02	9.24±0.01
	R14	7.43±0.04	8.79±0.09	9.18±0.08	9.44±0.07	9.25±0.04

Çizelge 4.5. Kompost EC değerlerinin (dS/m) zamana bağlı değişimleri

		Süre (Gün)				
T _{sp} (°C)	Rea.	0.00	9.03	13.91	18.90	26.83
40	R1	3.1±0.04	2.30±0.14	2.04±0.16	2.48±0.20	1.92±0.04
	R2	3.1±0.04	2.10±0.34	2.27±0.07	2.20±0.01	1.87±0.25
45	R3	3.1±0.04	2.58±0.09	2.17±0.04	2.18±0.06	2.22±0.19
	R4	3.1±0.04	2.71±0.03	2.23±0.16	2.27±0.04	1.95±0.23
50	R5	3.1±0.04	2.75±0.05	2.00±0.51	2.32±0.04	2.27±0.02
	R6	3.1±0.04	2.68±0.01	2.72±0.02	2.26±0.15	2.30±0.35
55	R7	3.1±0.04	2.69±0.15	2.75±0.26	2.47±0.18	2.79±0.05
	R8	3.1±0.04	2.90±0.06	3.12±0.33	2.73±0.04	2.86±0.08
60	R9	3.1±0.04	2.98±0.16	3.58±0.82	2.78±0.19	2.74±0.18
	R10	3.1±0.04	2.75±0.35	2.42±0.26	2.51±0.24	2.48±0.31
65	R11	3.1±0.04	3.25±0.08	2.79±0.14	2.85±0.16	2.92±0.06
	R12	3.1±0.04	3.13±0.23	2.99±0.28	2.62±0.12	2.83±0.18
70	R13	3.1±0.04	2.80±0.34	2.59±1.23	2.79±0.01	3.08±0.16
	R14	3.1±0.04	3.28±0.21	4.33±0.23	2.77±0.19	2.85±0.11

4.1.6. C/N oranı değişimi

C/N oranı, kompostlama işleminin en önemli parametrelerindendir (Rynk, 1992; Ekinci vd., 2002). Mikroorganizma aktiviteleri sebebiyle hızlı organik madde mineralizasyonu ve stabilizasyonu C/N oranının azalmasına sebep olmaktadır (Benitez vd., 2005). Ayrıca süreç ilerledikçe C'nun esas olarak CO₂ şeklinde bozunması sebebiyle, kompostlanabilir materyal içerisindeki C miktarının zamanla azalması ve birim materyal başına düşen N miktarının artması sonucu bitiş C/N oranı azalmaktadır (Goyal vd., 2005). C/N oranı deneme başlangıcında ve sonunda ölçülmüştür. Kompost karşımının C, N ve C/N oranının zamana bağlı olarak değişimi Çizelge 4.6'da verilmiştir. Tüm sıcaklık uygulamalarında C, N ve C/N oranının deneme sonunda azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma miktarı, reaktörlerde meydana gelen organik madde içeriğinin azalmasına bağlı olarak değişmiştir.

Çizelge 4.6. Kompost C, N ve C/N oranının zamana bağlı olarak değişimi

		Süre (Gün)					
		0			26.83		
		C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N
T _{sp} (°C)	Reak.	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.8	30.31±0.1	1.42±0.01	21.35±0.28
40	R1	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	31.31±0.07	1.47±0.08	21.40±1.18
	R2	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	31.92±0.14	1.43±0.01	22.40±0.21
45	R3	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	32.55±0.03	1.41±0.04	23.10±0.72
	R4	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	30.96±0.74	1.37±0.01	22.68±0.66
50	R5	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	29.09±1.20	1.31±0.02	22.30±1.28
	R6	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	28.97±0.77	1.33±0.01	21.78±0.35
55	R7	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	28.61±0.60	1.31±0.03	21.85±0.93
	R8	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	27.04±0.68	1.23±0.02	22.08±0.94
60	R9	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	26.95±0.11	1.27±0.06	21.24±1.04
	R10	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	25.25±0.72	1.21±0.11	20.93±1.36
65	R11	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	25.03±0.87	1.26±0.02	19.94±0.36
	R12	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	27.60±0.98	1.29±0.03	21.39±0.29
70	R13	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	27.80±0.78	1.30±0.06	21.39±0.33
	R14	39.04±0.82	1.66±0.02	23.59±0.80	30.31±0.10	1.42±0.01	21.35±0.28

4.1.7. Amonyum ve nitrat değişimleri

Kompostlaştırma işleminin başlangıç ve bitişindeki NH_4^+ – N değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu karışım oranına bağlı olarak karışımın başlangıçtaki NH_4^+ – N değeri 350.01 mg/kg olarak ölçülmüştür. Stabilizasyon süresi sonunda NH_4^+ – N değerleri tüm karışımlarda azalmıştır. Yüksek NH_4^+ – N konsantrasyonu kompost stabilitesini düşürmektedir (Sanchez-Monodero vd., 2001). Olgun komposttaki maksimum NH_4^+ – N konsantrasyonunun 400 mg/kg’dan düşük olması önerilmektedir (Zucconi vd., 1981). Kompostlama işlemi sonucunda reaktörlerdeki NH_4^+ – N konsantrasyonları 216.46 ile 327.93 mg/kg arasında değişmiştir.

Kompostlaştırma işleminin başlangıç ve bitişindeki NO_3^- – N değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Başlangıç karışımının NO_3^- – N değeri 453 mg/kg olarak ölçülmüştür. Tüm reaktörlerde bitiş değerlerinde artış gözlenmiştir. Reaktörlerdeki bitiş NO_3^- – N değerleri 829.07 ile 1688.28 mg/kg arasında değişmiştir. Stabilizasyon süresi sonunda NO_3^- – N değerleri kütle kaybından dolayı tüm karışımlarda artış göstermiştir (Bernal vd., 2009).

Çizelge 4.7. Kompost $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ve $\text{NO}_3^- - \text{N}$ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri

		Süre (Gün)			
		0		26.83	
Sıcaklık (°C)	Reak.	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (mg/kg)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (mg/kg)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (mg/kg)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (mg/kg)
40	R1	350.01±34.00	453.00±56.00	216.46±45.00	1118.21±12.00
	R2	350.01±34.00	453.00±56.00	321.50±56.00	1140.00±23.00
45	R3	350.01±34.00	453.00±56.00	263.63±87.00	974.38±21.00
	R4	350.01±34.00	453.00±56.00	262.32±57.00	1013.60±65.00
50	R5	350.01±34.00	453.00±56.00	282.92±35.00	850.00±43.00
	R6	350.01±34.00	453.00±56.00	235.55±11.00	855.10±98.00
55	R7	350.01±34.00	453.00±56.00	259.73±36.00	829.07±35.00
	R8	350.01±34.00	453.00±56.00	281.51±29.00	1101.74±47.00
60	R9	350.01±34.00	453.00±56.00	236.73±48.00	1476.33±42.00
	R10	350.01±34.00	453.00±56.00	258.46±54.00	1346.07±73.00
65	R11	350.01±34.00	453.00±56.00	254.65±65.00	1425.17±56.00
	R12	350.01±34.00	453.00±56.00	292.85±67.00	1578.65±43.00
70	R13	350.01±34.00	453.00±56.00	286.49±35.00	1688.28±13.00
	R14	350.01±34.00	453.00±56.00	327.93±86.00	1350.85±65.00

4.2. T_{sp} Sıcaklıklarının kompost kuru madde, organik madde ve azot kayıplarına etkisi

T_{sp} sıcaklıklarının KMK, OMK ve AK üzerine etkisi Şekil 4.24'te verilmiştir. Deneysel olarak belirlenen KMK ve OMK'nın verilerine birinci dereceden denklem kullanarak regresyon analizi yapılmıştır. AK'nın sıcaklık ile değişimini belirlemek için regresyon analizinde Gauss denklemi kullanılmıştır. Denklemler aşağıda verilmiştir.

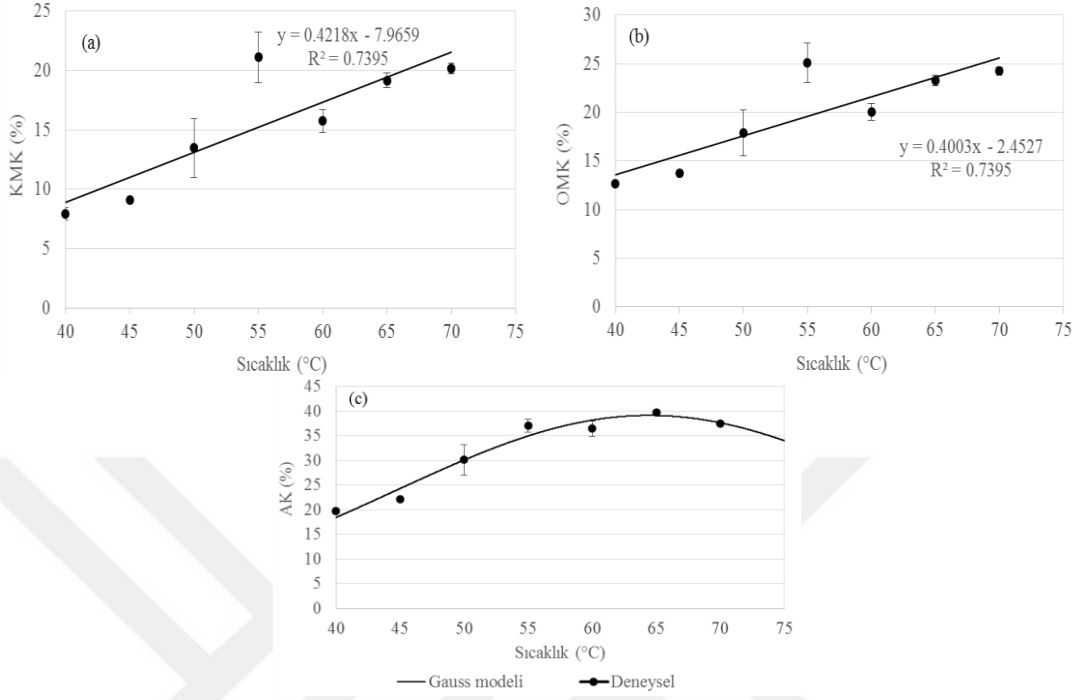
$$\text{KMK} = 0.4218 T_{sp} - 7.9659 \quad (4.1)$$

$$\text{OMK} = 0.4003 T_{sp} - 2.4527 \quad (4.2)$$

$$\text{AK} = 39.1623e^{-0.5 \left[\frac{T_{sp} - 64.4457}{19.9128} \right]^2} \quad (4.3)$$

Regresyon analizinin belirleme katsayıları (KMK, OMK ve AK), sırasıyla $R^2 = 0.7395$, 0.7395 ve 0.9627 olarak belirlenmiştir. 4.1, 4.2 ve 4.3'de ki denklemler ile Şekil 4.24'den anlaşılacağı üzere, T_{sp} arttıkça KMK ve OMK artmıştır. Fakat

Denklem 4.3 ve Şekil 4.24c'den de görüleceği üzere AK, sıcaklığın 64 °C olduğu noktada maksimum yapmış daha sonra düşüşe geçmiştir.



Şekil 4.24. T_{sp} sıcaklıklarının KMK (a), OMK (b) ve AK (c) üzerine etkisi

4.3. T_{sp} Sıcaklıklarının elektrik enerjisi tüketimine etkisi

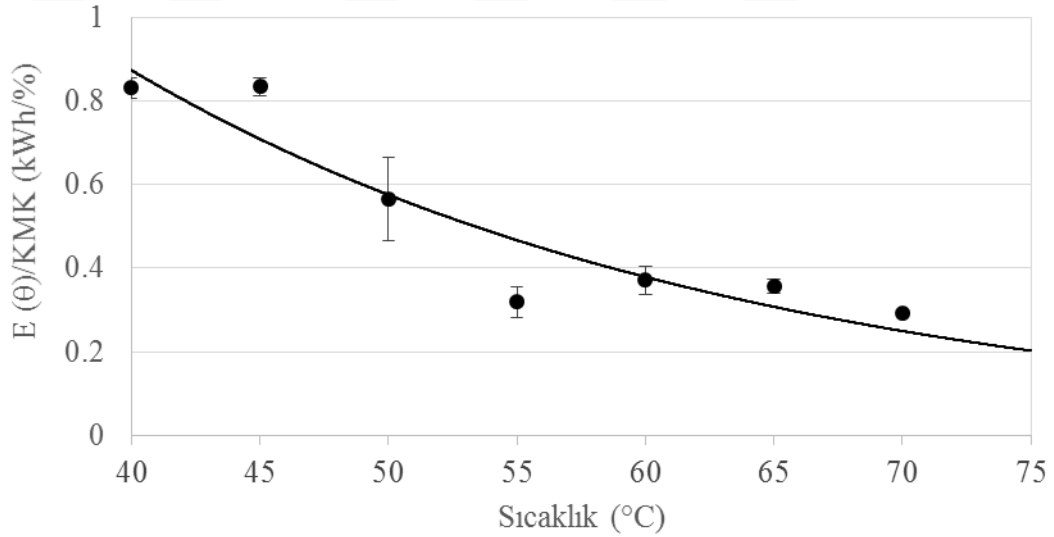
T_{sp} sıcaklıklarının $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ üzerine etkisi Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. T_{sp} 'nin fonksiyonu olarak KMK ve OMK değişimi üstel fonksiyon olarak ifade edilmiştir. Deneysel olarak belirlenen verilere birinci dereceden denklem kullanarak regresyon analizi yapılmıştır. Denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{E(\theta)}{KMK} = 4.6534e^{-0.0418T_{sp}} \quad (4.4)$$

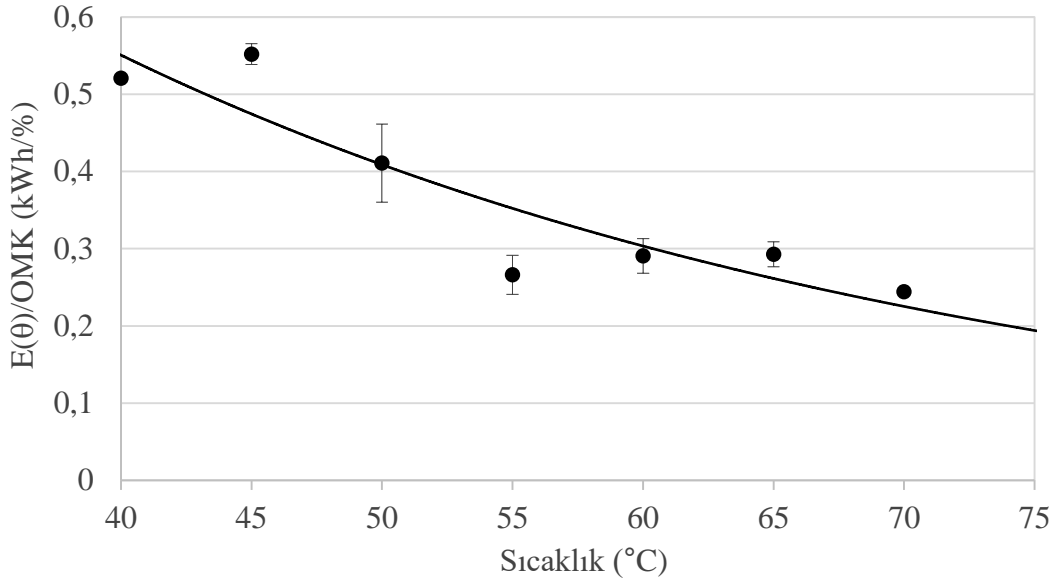
$$\frac{E(\theta)}{OMK} = 1.8139e^{-0.0298T_{sp}} \quad (4.5)$$

Regresyon analizinin belirleme katsayıları ($E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$), $R^2=0.8709$, 0.8359 olarak belirlenmiştir. Denklem 4.4 ve 4.5'den anlaşılacağı üzere, T_{sp} arttıkça $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ azalmıştır. Benzer bir şekilde, $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ değerlerinin yüksek T_{sp} değerlerinde havalandırmaya bağlı işletme

giderlerinin de azalacağını göstermektedir. Havalandırmadan kaynaklı fanların enerji tüketim değerlerindeki değişimler hava debilerinin zamanın fonksiyonu olarak verildiği grafiklerden (Şekil 4.10 - Şekil 4.23) tarafından desteklenmektedir. Q_{max} değerinin yüksek olduğu R1 ve R2 reaktörlerinde ($T_{sp}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$) yüksek enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. En düşük $E(\theta)/KMK$ ve $E(\theta)/OMK$ değerleri beklenildiği üzere T_{sp} 'nin $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu değerde elde edilmiştir. Kompost işletmeciliği enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde yüksek sıcaklıklarda işletilmesi gerektiği öngörülmektedir. Fakat yüksek sıcaklıklardaki kompostlama işleminde KMK ve OMK değerleri artmaktadır. Diğer taraftan AK kayıpları $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ maksimum yapmaktadır. Bu nedenle, AK kayıpları yüksek sıcaklıklardaki kompostlama işlemini sınırlandırmaktadır.



Şekil 4.25. T_{sp} sıcaklıklarının $E(\theta)/KMK$ üzerine etkisi



Şekil 4.26. T_{sp} sıcaklıklarının E(θ)/OMK üzerine etkisi

4.4. T_{sp} Sıcaklıklarının kompost hacim değişimine etkisi

CO₂ ve su kayıpları birincil maddelerin ağırlığının yaklaşık yarısına eşittir. Kompostlaştırma işleminde zamanla organik atıkların ayrışması sonucunda reaktör içerisinde kütle ve hacim azalması gerçekleşmektedir. Bu azalma reaktör içerisindeki atık türüne ve işletme şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Rynk, 1992; Şevik, 2014). Bu değişim reaktörlerin karıştırılması sırasında ve işlem bitiminde belirgin olarak gözlenmiştir. Reaktörlerdeki materyallerde meydana gelen hacim değişimi (Δv) Denklem 4.6'da verilmiştir.

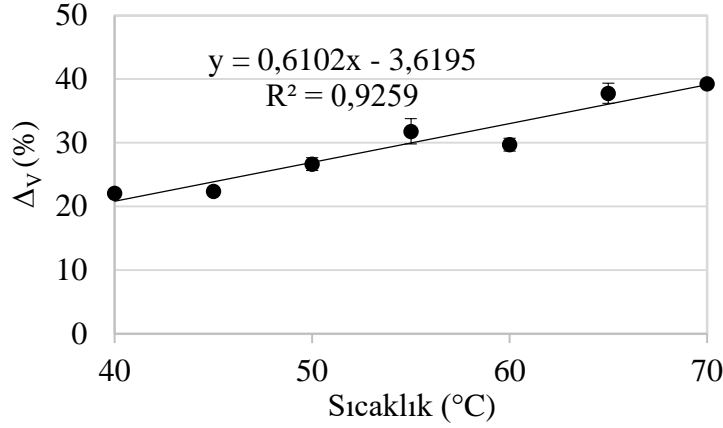
$$\Delta V(\%) = \frac{V_b - V_s}{V_b} \times 100 \quad (4.6)$$

V_b, V_s : Başlangıç ve sonda reaktördeki materyal hacmi, L

Kompostlama işleminde meydana gelen hacim değişimi (Δv) Şekil 4.27'de verilmiştir. Deneysel olarak belirlenen Δv 'nın verilerine birinci dereceden denklem kullanarak regresyon analizi yapılmıştır.

$$\Delta v = 0.6102T_{sp} - 3.6195 \quad (4.7)$$

Regresyon analizinin belirleme katsayısı $R^2= 0.9259$ olarak belirlenmiştir. Denklem 4.7 ve Şekil 4.27'den anlaşılacağı üzere, T_{sp} arttıkça Δ_v artmıştır. Breitenbeck ve Schellinger (2004) tarafından yapılan çalışmada, kompostlama süresi boyunca organik maddeler ayrışırken hacimde meydana gelen azalmanın, sadece kütle kaybı yüzünden değil, aynı zamanda organik bileşenlerin yapılarının bozularak daha küçük partiküller oluşturmaya da bağlı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.27. T_{sp} sıcaklıklarının Δ_v üzerine etkisi

4.5. T_{sp} Sıcaklıklarının kompost BHA değişimine etkisi

Kompostlaştırma işleminde organik maddenin parçalanması sonucunda kütesel ve hacimsel olarak değişimler olmaktadır. BHA sonuçları bu değişimleri ortaya koymaktadır (Şevik, 2014). Reaktörlerdeki materyallerde meydana gelen BHA'nın değişimi (Δ_{BHA}) Denklem 4.8'de verilmiştir.

$$\Delta_{BHA}(\%) = \frac{BHA_b - VBHA_s}{BHA_b} \times 100 \quad (4.8)$$

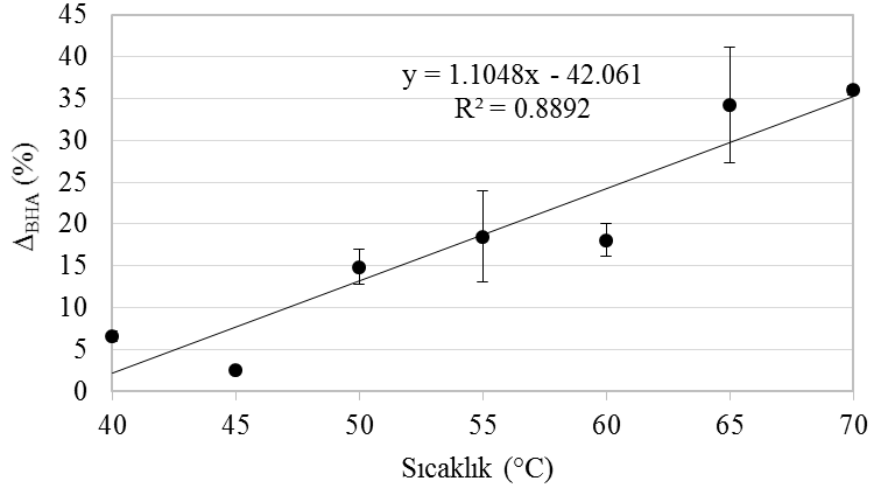
BHA_b, BHA_s : Başlangıç ve sonda reaktördeki BHA değerleri, kg/L

Kompostlama işleminde meydana gelen BHA'nın değişimi (Δ_{BHA}) Şekil 4.28'de verilmiştir. Deneysel olarak belirlenen Δ_{BHA} 'nın verilerine birinci dereceden denklem kullanarak regresyon analizi yapılmıştır. Denklem aşağıda verilmiştir.

$$\Delta_{BHA} = 1.1048 T_{sp} - 42.061 \quad (4.9)$$

Regresyon analizinin belirleme katsayısı $R^2= 0.8892$ olarak belirlenmiştir. Denklem 4.9 ve Şekil 4.28'den anlaşılacağı üzere, T_{sp} arttıkça Δ_{BHA} artmıştır. Nadia

vd (2015) bitiş kompostunun BHA değerlerinde meydana gelen azalmanın, kompostlama süresi boyunca kompost karışımlarının kütle ve hacimlerdeki önemli değişimlerden kaynaklanabileceğini belirtmiştir.



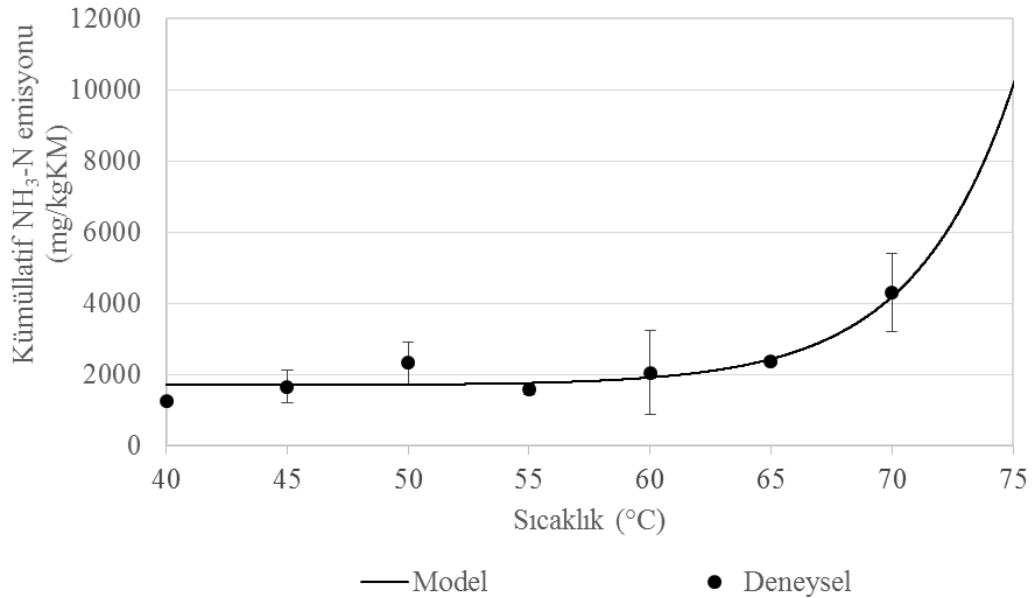
Şekil 4.28. T_{sp} sıcaklıklarının Δ_{BHA} üzerine etkisi

4.6. T_{sp} Sıcaklıklarının amonyak çıkışına etkisi

Kompostlama işleminde amonyak emisyonlarını sıcaklık ve pH belirlemektedir. Yüksek sıcaklık amonyak oluşumunu etkilemektedir ve yüksek pH seviyelerinde uçucu olmayan amonyum iyonları uçucu amonyak formuna dönüşmektedir Pagan vd. (2006). Kompost sıcaklığının amonyak emisyonları üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılmamış olsa da (Beck-Friis vd., 2001) kompostlamanın ilk aşamasında, yüksek azot içerikli büyük miktarlarda kolayca biyolojik olarak çözünebilen organik bileşiklerin, üstel olarak sıcaklığa bağlı olan amonyak gazı çıkışını tetiklemesi amonyak emisyon için olası bir açıklama olarak yapılabilir. Tam tersine, kompostlamanın son aşamasında, azot, karmaşık organik moleküllere bağlanmakta ve amonyak salımı ve buharlaşmayı önleyen hümikleşme işlemlerine dahil olmaktadır (Paredes vd., 2002; Baddi vd., 2004). 3FP, TG ve talaş karışımının kompostlanması esnasında T_{sp} sıcaklıklarının kümülatif amonyak (E_{NH3-N}) çıkışına etkisi Şekil 4.29'da verilmiştir. Bu ilişki regresyon analizi kullanarak üstel fonksiyon ile açıklanmıştır (R²=0.8983) (Denklem 4.10).

$$E_{NH3-N} = 1696.9710 - 0.0001e^{0.2433T_{sp}} \quad (4.10)$$

Şekil 4.29'dan anlaşılacağı 65 °C'ye kadar amonyak çıkışlarında belirgin bir değişiklik olmamasına rağmen daha yüksek sıcaklıklarda amonyak çıkışı üstel olarak artmıştır. Benzer bir şekilde Pagan vd. (2006), ıskartaya çıkarılan tavşan ve tavuk parçalarından (iç organları, tüy ve diğer organlar) yapılan kompostlama işleminde sıcaklığın fonksiyonu olarak amonyak çıkışını ($\text{mg NH}_3/\text{m}^3$) ölçmüşlerdir. Başlangıç termofilik aşamasında kompost sıcaklığının artışı ile amonyak çıkışı artmış ve arasındaki ilişki üstel fonksiyon ile açıklanmıştır. Bahsedilen çalışmada, sıcaklığın 60 °C'den 65°C'ye çıkarılması ile amonyak çıkışları hızlı bir şekilde artmıştır. Mevcut çalışma sonuçları kompostlama işleminin 65°C'den daha yüksek sıcaklıklarda yürütülmesi durumunda yüksek amonyak çıkışlarının olacağını ve muhtemel azot kayıplarını artırarak kompostun kalitesini düşüreceğini göstermektedir. Sonuç olarak, $E_{\text{NH}_3\text{-N}}$, $E(\theta)/\text{KMK}$ ve $E(\theta)/\text{OMK}$ ve AK birlikte değerlendirildiğinde kompost sistemi işletmeciliği açısından kompostlama işleminin 65°C'den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum, enerji giderini dolayısıyla işletme giderlerini azaltırken aynı zamanda nihai kompostun kalitesini düşüren $E_{\text{NH}_3\text{-N}}$ ve AK'nın dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, işletme giderlerini azaltan $E_{\text{NH}_3\text{-N}}$ ve AK'nın optimizasyon sonucunda tespit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.29. T_{sp} sıcaklıklarının amonyak çıkışına etkisi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 faz sistem pirinası, tavuk gübresi ve talaştan oluşan karışım 100 litrelik tam otomatik kontrollü kompost reaktörlerinde kompostlanmıştır. Denemeler 26.83 gün sürmüştür. Denemeler süresince, sıcaklıklar, hava debisi, havalandırma fanlarının elektrik tüketimi ve amonyak konsantrasyonları ölçülmüştür. Denemede kompost nem, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, karbon, azot ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kompostlama kayıpları (kuru madde kaybı, organik madde kaybı ve azot kaybı) belirlenmiştir. Kuru madde kaybı, organik madde kaybı ve azot kaybı, havalandırmadan kaynaklanan elektrik tüketimi ve amonyak kayıplarına bağlı olarak kompostlama işleminin optimum sıcaklık aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Kompost sıcaklıkları ilk 6 gün içinde T_{sp} sıcaklıklarına ulaşmıştır. Düşük T_{sp} sıcaklıklarında kompost sıcaklığının kontrolü daha zorlaşmış ve kontrol noktası aşımı yaşanmıştır. Havalandırma fanlarının daha fazla zorlandığı gözlenmiştir.
2. Çalışma sonuçları T_{sp} değerinin 40 °C olduğu durumda, havalandırma fanlarını bu değerde sıcaklığa bağlı olarak kontrol etmek için daha yüksek Q_{max} değerleri uygulanmıştır. T_{sp} değeri yükseldikçe Q_{max} değerleri azalmıştır. Yüksek T_{sp} değerlerinde termofilik sıcaklıklar baskın olduğu için bu sıcaklık seviyelerinde havalandırma fanlarının kontrolü daha kolay gerçekleşmiştir.
3. T_{sp} sıcaklıklarının artması ile organik madde ki azalma miktarları da artmıştır.
4. Deneme sonunda tüm reaktörlerde pH değeri artmıştır.
5. Deneme sonunda tüm reaktörlerde elektriksel iletkenlik değerleri azalmıştır.
6. Tüm sıcaklık uygulamalarında C, N ve C/N oranının deneme sonunda azaldığı tespit edilmiştir.
7. Kompostlama işlemi sonucunda reaktörlerdeki $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ konsantrasyonları 216.46 ile 327.93 mg/kg arasında değişmiştir.

8. Reaktörlerdeki bitiş $\text{NO}_3^- - \text{N}$ değerleri 829.07 ile 1688.28 mg/kg arasında değişmiştir.
9. T_{sp} arttıkça KMK ve OMK değerleri artmıştır. AK, T_{sp} değerinin 64 °C olduğu durumda maksimum değerini almıştır.
10. T_{sp} arttıkça $E(\theta)/\text{KMK}$ ve $E(\theta)/\text{OMK}$ azalan üstel fonksiyona bağlı olarak azalmıştır.
11. T_{sp} arttıkça ΔV artmıştır.
12. T_{sp} arttıkça Δ_{BHA} artmıştır.
13. 65 °C'ye kadar amonyak çıkışlarında belirgin bir değişiklik olmamasına rağmen daha yüksek sıcaklıklarda amonyak çıkışı üstel olarak artmıştır.

Sonuç olarak, $E_{\text{NH}_3-\text{N}}$, $E(\theta)/\text{KMK}$ ve $E(\theta)/\text{OMK}$ ve AK birlikte değerlendirildiğinde kompost sistemi işletmeciliği açısından kompostlama işleminin 65°C'den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum, enerji giderini dolayısıyla işletme giderlerini azaltırken aynı zamanda nihai kompostun kalitesini düşüren $E_{\text{NH}_3-\text{N}}$ ve AK'nın dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, işletme giderlerini azaltan $E_{\text{NH}_3-\text{N}}$ ve AK'nın optimizasyon sonucunda tespit edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abid, N, Sayadi S., 2006. Detrimental Effects of Olive Mill Wastewater on the Composting Process of Agricultural Wastes. *Waste Management*, 26, 1099-1107.
- Aktas, E.S., Imre, S., Ersoy, L., 2001. Characterization and Lime Treatment of Olive Mill Wastewater, *Water Research*, 35, 2336-2340.
- Baddi, G.A., Hafidi, M., Cegarra, J., Albuquerque, J.A., González, J., Gilard, V., Revel, J.C., 2004. Characterization of Fulvic Acids by Elemental and Spectroscopic (FTIR and ¹³C-NMR) Analyses During Composting of Olive Mill Wastes Plus Straw. *Bioresource Technology*, 93, 285-290.
- Baeta-Hall L, Sa`a`gua MC, Bartolomeu ML, Anselmo AM, Rosa MF., 2005, Biodegradation of Olive oil Husks in Composting Aerated Piles. *Bioresource Technology*, 96, 69-78.
- Beck-Friis, B., Smars, S., Jo`nsson, H., Kirchmann, H., 2001. Gaseous Emissions of Carbon Dioxide, Ammonia and Nitrous Oxide from Organic Household Waste in a Compost Reactor Under Different Temperature Regimes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 423-430.
- Benitez, E., Sainz, H., Nogales, R., 2005. Hydrolytic Enzyme Activities of Extracted Humic Substances During the Vermicomposting of a Lignocellulosic Olive Waste. *Bioresource Technology*, 96(7), 785-790.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., Moral, R., 2009. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment. A review. *Bioresource technology*, 100(22), 5444-5453.
- Bhojar, RV, Olaniya MS, Bhide AD., 1979. Effect of Temperature on Mineralization of Nitrogen During Aerobic Composting. *Indian Journal of Environmental Health*, 21, 23-34.
- Bishop PL, Godfrey C., 1983. Nitrogen Transformations During Sludge Composting. *Biocycle*, 24, 34-39.
- Breitenbeck GA, Schellinger D., 2004. Calculating the Reduction in Material Mass and Volume During Composting. *Compost Science & Utilization*, 12,365-371.
- Chowdhury, A. K. M. M. B., Akrotos, C. S., Vayenas, D. V., Pavlou, S., 2013. Olive Mill Waste Composting: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 108-119.
- Curtis, C., Brenniman, G., Hallenbeck, W., 1992. Cost Calculations at MSW Composting Sites. *BioCycle*, 33 (1), 70-72.

- Derikx PJJ, Willers HC, ten Have PJ, 1994. Effect of pH on the Behaviour of Volatile Compounds in Organic Manures During Dry-matter Determination. *Bio-Resource Technology*, 49, 41-45.
- Doran, P.M., 1995. *Bioprocess Engineering Principles*. Academic Press Inc. San Diego, CA 92101.
- Eghball B, Power JF, Gilley JE, Doran JW, 1997. Nutrient, Carbon and Mass Loss During Composting of Beef Cattle Feedlot Manure. *Journal of Environmental Quality*, 26, 189-193.
- Ekinci K, Keener HM, Elwell DL., 2000. Composting Short Paper Fiber With Broiler Litter and Additives. *Compost Science and Utilization*, 8, 160-172.
- Ekinci, K., 2001. Theoretical and Experimental Study on The Effects of Aeration Strategies on the Composting Process. Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Engineering, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.
- Ekinci, K., H.M. Keener, D.L. Elwell, 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.
- Ekinci, K., H.M. Keener, D. Akbolat, 2004a. Effect of Thermocouple Location on the Optimum Composting Rate, *Biosystems Engineering*, 89(3), 345-353.
- Ekinci, K., H.M. Keener, F.C. Michel, D.L. Elwell 2004b. Modeling Composting Rate as a Function of Temperature and Initial Moisture Content. *Compost Science and Utilization*, 12(4), 356-364.
- Ekinci, K., 2005. Effects of Kinetic Parameters on Composting Performance, Aeration, and Energy Use. University of Cukurova, *Journal of Natural Sciences*, 20(2), 93-100.
- Ekinci, K., H.M. Keener, D. Akbolat, 2006. Effects of Feedstock, Airflow Rate, and Recirculation Ratio on Performance of Composting Systems with Air Recirculation, *Bioresource Technology*, 97(7), 922-932.
- Epstein, E., 1997. *The Science of Composting*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, PA, p. 487.
- Finstein, M. S., Miller, F. C., Strom, P. F., 1986. Monitoring and Evaluating Composting Process Performance. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 272-278.
- Fraser B.S, A.K. Lau. 2000. The Effects of Process Control Strategies on Composting Rate and Odor Emission. *Compost Science and Utilization*, 8(4),274-292.

- Gigliotti G, Proietti, P, Said-Pullicino D, Nasini L, Pezzolla D, Rosati L, Porceddu, PR., 2012. Co-composting of Olive Husks with High Moisture Contents: Organic Matter Dynamics and Compost Quality. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 67, 8-14.
- Goyal, S., Dhull, S. K., & Kapoor, K. K., 2005. Chemical and Biological Changes During Composting of Different Organic Wastes and Assessment of Compost Maturity. *Bioresource Technology*, 96(14), 1584-1591.
- Hachicha S, Sallemi F, Medhioub K, Hachicha R, Ammar E., 2009. Biological Activity During Co-composting of Sludge Issued From the OMW Evaporation Ponds with Poultry Manured-physicochemical Characterization of the Processed Organic Matter. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 402-409.
- Hansen RC, Keener HM, Hoitink HAJ, 1989. Poultry Manure Composting an Exploratory Study. *Transactions in ASAE*, 36, 2151-2157.
- Haug, R.T., 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Hogan, J.A., F.C. Miller, and M.S. Finstein., 1989. Physical Modeling of the Composting Ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology*., 55, 1082-1092.
- Hong, J.H., H.M. Keener, D.L. Elwell., 1998. Preliminary Study of the Effects of Continuous and Intermittent Aeration on Composting Hog Manure Amended With Sawdust. *Compost Science and Utilization*, 6, 3, pages 74-88.
- Jeris, J.S., Regan, R.W., 1973. Controlling Environmental Parameters for Optimal Composting I. *Compost Sci.*, 14 (1), 10–15.
- Kaçar, H., 2018. Elma İşleme (ön eleme-ayırma) Katı Atıklarının Kompostlaştırılmasında Farklı Sıcaklık Uygulamalarının Süreç Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Keener, H. M., H. A. J. Hoitink, C. Marugg, and R. C. Hansen. 1991. Design Parameters for in-Vessel Poultry Manure Composting. ASAE Paper, 91-4001. St. Joseph, MI: ASAE.
- Keener, H. M., C. Marugg, R. C. Hansen, and H. A. J. Hoitink. 1993. Optimizing the Efficiency of the Composting Process. In *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Eds. H.A.J. Hoitink And H.M. Keener. P. 59-94. Columbus, OH: Renaissance Publications.
- 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.

- Keener, H.M., R.C. Hansen and D.L. Elwell., 1997. Airflow Through Compost: Design and Cost Implications. *Applied Eng. Agric.* 13(3), 377-384.
- Keener, H.M., Ekinici, K., Elwell, D.L., Michel, F.C., 2000. Mathematics of Composting- Facility Design and Process Control. pp. 164-197. In: P.R. Warman and B.R. Taylor (eds.) *Proceedings International Composting symposium (ICS'99) - Vol. 1.* CBA Press Inc., Nova Scotia, Canada.
- Kirchmann H, Witter E., 1989. Ammonia Volatilization During Aerobic and Anaerobic Manure Decomposition. *Plant and Soil.*, 115, 35-41.
- Ladd JN, Jackson RB, 1982. Biochemistry of Ammonification. In: Stevenson FJ (Ed) *Nitrogen in Agricultural Soils*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp, 173-228
- Makni H, Ayed L, Ben Khedher M, Bakhrouf A., 2010. Evaluation of the Maturity of Organic Waste Composts. *Waste Management and Research*, 28, 489-495.
- Mari I, Ehaliotis C, Kotsou M, Chatzipavlidis I, Georgakakis D., 2005. Use of Sulfur to Control pH in Composts Derived From Olive Processing By-products. *Compost Science and Utilization*, 13, 281-287.
- Martins O, Dewaes T, 1992. Loss of Nitrogenous Compounds During Composting of Animal Wastes. *Bioresource Technology*, 42, 103-111.
- Marugg, C., M. Grebus, R. C. Hansen, H. M. Keener and H. A. J. Hoitink., 1993. A Kinetic Model of the Yard Waste Composting Process. *Compost Science and Utilization*, 1(1),38-51.
- McCarty, P.L., 1971. Energetics and Bacterial Growth In: *Organic Compounds In Aquatic Environments*. S.D. Faust and J.V. Hunter, Editors. Marcel Dekker, New York., P 495-512.
- McCrary DF, Hobbs PJ., 2002. Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A review. *Journal of Environmental Quality*, 30, 345-355.
- Molloy SP and Tunney H., 1983. A Laboratory Study of Ammonia Volatilization from Cattle and Pig Slurry. *Irish Journal of Agricultural Research*, 22, 37-45.
- Moore PA, Huff WEJ, Daniel TC, Edward DR, Saucer TC., 1997. Effect of Aluminium Sulphate on Ammonia Fluxes from Poultry Litter in Commercial Broiler Houses. In: *Proceedings of the 5th International Symposium on Livestock Environment*, Transactions of the ASAE 2, pp 883-891
- Mulvaney RL (1996) *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Nitrogen-inorganic forms*, In Sparks DL (ed.) SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA; pp 1123-1184.

- Nadia, O. F., Xiang, L. Y., Lie, L. Y., Anuar, D. C., Afandi, M. P. M., & Baharuddin, S. A., 2015. Investigation of Physico-chemical Properties and Microbial Community During Poultry Manure Co-composting Process. *Journal of Environmental Sciences*, 28, 81-94.
- Onursal, E., & Ekinçi, K., 2016. 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*, doi:10.1002/ep.12460
- Pagans, E., Barrena, R., Font, X., & Sánchez, A., 2006. Ammonia Emissions from the Composting of Different Organic Wastes. Dependency on Process Temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534-1542.
- Paredes C, Roig A, Bernal MP, Sanchez-Monedero MA, Cegarra J., 2000. Evolution of Organic Matter and Nitrogen During Co-composting of Olive Mill Wastewater With Solid Organic Wastes. *Biol Fertil Soil*, 32, 222-227.
- Paredes C, Bernal MP, Cegarra J, Roig A., 2002. Bio-degradation of Olive Mill Wastewater Sludge by Its Co-composting With Agricultural Wastes. *Bioresource Technology*, 85, 1-8.
- Peigné, J., Girardin, P., 2004. Environmental Impacts of Farm-scale Composting Practices. *Water, Air, and Soil Pollution*, 153(1-4), 45-68.
- Puyuelo, B., Gea, T., Sánchez, A., 2010. A New Control Strategy for the Composting Process Based on the Oxygen Uptake Rate. *Chemical Engineering Journal*, 165(1), 161-169.
- Rao, N., Grethlein, H.E., Reddy, C.A., 1996. Effect of Temperature on Composting of Atrazine-amended Lignocellulosic Substrates. *Compost Sci. Util.* 4, 83-88.
- Roig, A., Cayuela, M.L., Sánchez-Monedero, M.A., 2006. An Overview on Olive Mill Wastes And Their Valorisation Methods. *Waste Management*, 26, 960-969.
- Rynk, R., 1992. *On Farm Composting Handbook*. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca NY, USA.
- Sánchez-Monedero, M.A., Roig A., Paredes C., Bernal M.P., 2001. Nitrogen Transformation During Organic Waste Composting by the Rutgers System and its Effects on pH, EC, and Maturity of the Composting Mixtures. *Bioresource Technology*, 78, pp. 301-308.
- Schulze, K.L., 1961. *Aerobic Decomposition of Organic Waste Materials*. Final Report, Project RG-4180 (C5R4), National Institute of Health, Washington, DC.

- Smith SJ, Schepers JS, Porter LK, 1990. Assessing and Managing Agricultural Nitrogen Losses to the Environment. *Advances in Soil Science*, 14, 2-43.
- Suler, D.J., Finstein, M.S., 1977. Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 345-350.
- Şevik, F., Tosun, İ., Ekinçi, K., 2018. The Effect of FAS and C/N Ratios on Composting of Sewage Sludge, Dairy Manure and Tomato Stalks. *Waste Management*, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.051>.
- Şevik F., Tosun İ., Ekinçi K., 2016. Composting of Olive Processing Wastes and Tomato Stalks Together with Sewage Sludge or Dairy Manure, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13,1207-1218.
- Tiquia SM, Wan JHC, Tam NFY, 2002. Dynamics of Yard Trimmings Composting as Determined by Dehydrogenase Activity, ATP content, Arginine Ammonification, and Nitrification Potential. *Process Biochemistry*, 37, 1057-1065.
- TMECC (Test Methods for the Examination of Composting and Composts), 2002. Wayne Thompson, The US Composting Council, US Government Printing Office.
- T.C Çevre Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), 2015. Zeytin Sektörü Atıklarının Yönetimi Erişim Tarihi: 17.01.2019. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/zeytinay/webmenu/webmenu15709.pdf>
- Zucconi, F.M., Forte, M., Monaco, A. and Bertoldi, M. De., 1981. Biological Evaluation of Compost Maturity. *BioCycle*, 22 (1981), pp. 27-29.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgilerim

Adı Soyadı : Hüseyin GÜZEL

Doğum Tarihi : 10.08.1986

Ev Adresi : Çünür mah. 5403 sk. no: 62 iç kapı no: 7 MERKEZ / ISPARTA

Tel : 05318625359

Mail : husyeinguzel@sdu.edu.tr

Eğitim

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Bölümü:
Yüksek lisans (2015-)

Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği: Lisans programı
(2013-2017)

Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü: Lisans programı (2009-2013)

Mersin Mersin Üniversitesi MYO : Ön Lisans (2005-2007)

Selim Tevfik Eskiocak Anadolu Lisesi

İş Tecrübesi

SDÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı Sistem ve Ağ Yönetimi (2014-)

Güven Bilgisayar_Teknik Personel Müdürü (2013-2014)

Deka Digital Telekomünikasyon : Ekip Şefi (2009-20013)

Yabancı Dil Bilgisi

İngilize (Orta Düzey)

İlgilendiđi Konular

Kompostlama Teknolojisi

Biyogaz Teknolojisi

Hidrojen Teknolojisi

Yapayzeka Teknolojisi

Network Teknolojisi

Mekatronik Teknolojisi

Yazılım Teknolojisi

Referanslar

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü)