

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

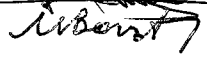
**GÜL İŞLEME POSASININ EVSEL KATI ATIKLARLA
BİRLİKTE KOMPOSTLAŞABİLİRLİĞİ**

139776-
Çevre Yük. Müh. İsmail TOSUN

**F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 24 Ocak 2003
Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK
: Yrd. Doç. Dr. İbrahim DEMİR
: Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK
: Prof. Dr. Mehmet BORAT

(YTÜ) 
(YTÜ) 
(İTÜ) 
(İTÜ) 
(İÜ) 

İSTANBUL, 2003

**TEZ YAZAR VE TEZİN KURULUŞU
BİLGİLERİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GÜL ÇİÇEĞİ YETİŞTİRİLMESİ VE GÜLYAĞI ÜRETİMİ	4
2.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı	4
2.1.1 Nüfus	4
2.1.2 Meteoroloji ve İklim	4
2.1.3 Toprak Özellikleri	5
2.1.4 Tarım Alanları	6
2.1.5 Gülyağı Esaslı Kozmetik Sanayii	6
2.2 Dünyada Gül Tarımı	7
2.3 Türkiye’de Gül Tarımının Gelişimi	7
2.4 İnce Gülyağı Üretimi	9
2.5 Katı Gülyağı (Konkret) Üretimi	10
3. ISPARTA’DA KATI ATIK YÖNETİMİ VE GÜL İŞLEME SANAYİİ KATI ATIKLARI PROBLEMİ	12
3.1 Evsel Katı Atıklar	12
3.2 Gül İşleme Sanayi Atıkları	13
3.2.1 Posa Oluşum Miktarları ve Özellikleri	14
3.2.2 Proses Atıksuyu Miktarları ve Özellikleri	16
4. KATI ATIKLARIN KOMPOSTLAŞTIRILMASI	17
4.1 Katı Atık Miktarının Azaltılması	17
4.2 Katı Atıkların Bertarafı	17
4.3 Kompostlaştırma İşlemi	18
4.3.1 Aerobik Kompostlaştırma	19
4.3.2 Anaerobik Kompostlaştırma	21
4.4 Kompostlaştırma İşlemine Etki Eden Faktörler	23

4.4.1	Sıcaklık	24
4.4.2	Karbon Azot Oranı (C/N)	25
4.4.3	pH.....	26
4.4.4	Su Muhtevası	27
4.4.5	Havalandırma ve Karıştırma	28
4.4.6	Mikroorganizmalar	30
4.5	Kompostlaştırma Yöntemleri.....	32
4.6	Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu.....	35
4.6.1	Kimyasal Parametreler.....	37
4.6.2	Fiziksel Parametreler	38
4.6.3	Bitki Testleri	39
4.6.4	Mikrobiyal Testler ve Mikrobiyolojik Aktivite	39
4.7	Organik Maddelerin Ayrışma Kinetiği	40
4.8	Kompostun Faydaları.....	41
4.9	Kompostun Kullanım Alanları.....	42
4.10	Kompost Kalitesi	43
4.10.1	Türkiye Mevzuatında Kompost Kalite Kriterleri.....	45
4.11	Koku Problemi ve Kontrolü.....	46
4.12	Kompostlaştırma İşleminin Maliyeti	47
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	50
5.1	Çalışmanın Amacı.....	50
5.2	Reaktörlerde Kullanılan Malzemeler.....	50
5.3	Posanın Dane Boyutu Dağılımı	51
5.4	Malzeme Karışım Oranları	52
5.5	Reaktör Sistemi.....	53
5.5.1	Havalandırma ve Karıştırma.....	55
5.5.2	Su yoğunlaştırıcı	55
5.5.3	Amonyak Tutucu	55
5.5.4	Biyofiltre.....	55
5.6	Sıcaklık Ölçümleri	56
5.7	Dewar Kendi Kendine Isınma Testi.....	56
5.8	Numune Alma Noktaları.....	57
5.9	Yapılan Analizler ve Analiz Yöntemleri	58
5.9.1	Katı ve Sıvı Numune Analizleri.....	58
5.9.2	Gaz Analizleri	61
6.	DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	63
6.1	Katı Numunelerde Yapılan Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi	63
6.1.1	Reaktör Profili Boyunca Sıcaklık Değişimleri	63
6.1.2	Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca SM Değişimleri	69
6.1.3	Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca pH Değişimleri	73
6.1.4	Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca OM Değişimleri	76
6.1.5	KOİ Değişimleri	79
6.1.6	TKN ve C/N Oranı.....	79
6.1.7	Amonyak ve Nitrat.....	81
6.1.8	Toplam Fosfor ve Çözünmüş Fosfor Değişimleri	81
6.2	Sıvı Numune Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeleri	82
6.2.1	Yoğunlaşan Su Miktarları.....	82
6.2.2	Sızıntı Suyu Miktar ve Özellikleri	83

6.3	Kompost Gazı Ölçüm/Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	85
6.3.1	Reaktörlere Beslenen Hava Miktarı.....	85
6.3.2	Reaktör Çıkış Gazındaki CO ₂ Değişimleri	87
6.3.3	Amonyak Konsantrasyonları Değişimi.....	91
6.3.3.1	Biyofiltre.....	92
6.4	Reaksiyon Kinetiği Değerlendirmeleri	94
6.4.1	CO ₂ Oluşumu ve Zaman İlişkisi	94
6.4.2	CO ₂ ve Sıcaklık İlişkisi.....	95
6.4.3	Oksijen ve CO ₂ İlişkisi	100
6.4.4	Oluşan CO ₂ , Tüketilen O ₂ ve Sıcaklık İlişkisi.....	101
6.5	Kompostlaştırma Sonrası Malzeme Boyut Analizleri	104
6.6	Ağırlık Kaybı ve Hacim Azalması.....	106
6.7	Dewar Kabında Ürünün Kendi Kendine Isınma Testi.....	107
6.8	Ürün Stabilitesi ve Olgunluğu	109
6.9	Ürünlerde Alkali Metal ve Ağır Metal Tespitleri	109
6.10	Ayrışmada Etkileşim İçinde Olan Parametrelerin Birlikte Değerlendirilmesi	112
6.11	Gül Kompostu Üretimine Dair Öneriler	114
6.11.1	Gül Kompostunun Kullanılması	114
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
8.	EKLER.....	121
Ek 1	Seri 1 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar, sayaç okumaları ve CO ₂ ölçüm değerleri.....	122
Ek2	Seri 2 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar	125
Ek 3	Seri 2 reaktörlerde sayaç okumaları ve CO ₂ ölçüm değerleri	129
KAYNAKLAR		132

SİMGE LİSTESİ

k_E, k_L	Eponansiyel ve liner hız sabitleri
T	Sıcaklık, (°C)
T_{max}	Maksimum sıcaklık (°C)
W_{O_2}	Oksijen tüketim hızı, mg O ₂ /gr-UKM-sa
SI	Stabilite indeksi
C_0	Eksponansiyel olarak karbonun mineralize olan kısmının yüzdesi



KISALTMA LİSTESİ

EKA	Evsel Katı Atık
OF-EKA	Evsel katı atığın organik fraksiyonu
SM	Su muhtevası
OM	Organik madde muhtevası
UKM	Uçucu katı madde
UKM _{gid.}	Giderilen uçucu katı madde
KM	Kuru katı madde
TOK	Toplam organik karbon
TKN	Toplam Kjeldahl Azot
C/N	Karbon azot oranı



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Isparta merkezinin nüfus sayım değerleri ve farklı yöntemlere göre nüfus projeksiyonu	4
Şekil 2.2	Türkiye’de hasat edilen gül çiçeği miktarının değişimi	9
Şekil 2.3	Gülyağı üretimi akım şeması	10
Şekil 2.4	Gülyağı üretimi donanımlarının şematik gösterilişi	11
Şekil 3.1	Yıllara göre toplam evsel katı atık miktarları	13
Şekil 4.1	Yıllara göre İngiltere’de kompost tesislerinin inşası	18
Şekil 4.2	Anaerobik bozunma işlemi mekanizması	23
Şekil 4.3	Organik katı atık ve ağaç kabuğu kompost yığınındaki farklı noktalardaki sıcaklıkların değişimi	25
Şekil 4.4	Evsel organik atıkların yığın kompostlaştırılması boyunca pH değişimi	27
Şekil 4.5	Domuz gübresi talaş karışımının kompostlaştırılmasında nemin değişimi	28
Şekil 4.6	Laboratuvar ölçekli bir reaktörde suni hazırlanmış EKA’nın kompostlaştırılması süresince sıcaklığın ve oksijen kullanımının değişimi.	30
Şekil 4.7	Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırılması süresince oksijen ve karbondioksitteki değişim	30
Şekil 4.8	Evsel organik atıkların ve ağaç kabuğunun yığın (windrow) kompostlaştırması sırasında mikroorganizma sayısındaki değişim	31
Şekil 4.9	İstanbul evsel katı atık kompost tesisi proses akım şeması	33
Şekil 4.10	Sığır gübresinin kompostlaşması süresince hümik maddelerin organik madde içindeki değişimi	38
Şekil 5.1	Kompostlaştırma sistemine ait deney düzeneği	54
Şekil 5.2	Kompostlaştırma işleminde kullanılan reaktörler sistemi	54
Şekil 5.3	Reaktörde kullanılan biyofiltre	56
Şekil 5.4	Dewar kapları ve Max/Min termometre	57
Şekil 5.5	Karıştırma işlemi esnasında kullanılan malzemeler	58
Şekil 5.6	Islak yakma yöntemine göre TOK tayini için deney düzeneği	60
Şekil 6.1	Seri 1 çalışmalarda reaktör merkezlerindeki sıcaklığının zamanla değişimi	64
Şekil 6.2	Seri 2 reaktörlerinin merkezlerine ait sıcaklık eğrileri	65
Şekil 6.3	Reaktörlerin gaz boşluklarına ait sıcaklık eğrileri	66
Şekil 6.4	K1 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi	66
Şekil 6.5	K2 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi	67
Şekil 6.6	K3 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi	67
Şekil 6.7	K4 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi	68
Şekil 6.8	K5 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi	68
Şekil 6.9	Karıştırmalı reaktörlerde su muhtevalarının zamanla değişimi	69
Şekil 6.10	Karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerindeki su muhtevalarının değişimi	70
Şekil 6.11	Seri 2 karıştırmalı reaktörlerin farklı noktalarındaki su muhtevası dağılımı	72
Şekil 6.12	Seri 2 kontrol reaktörlerin farklı noktalarında su muhtevası dağılımı	72
Şekil 6.13	Reaktörlerin her bir noktasında su muhtevasının zamanla değişimi	73
Şekil 6.14	Seri 1 ve seri 2 çalışmalarda pH’nın zamanla değişimi	74
Şekil 6.15	Karıştırmalı reaktörlerin farklı noktalarında pH’nın değişimi	75
Şekil 6.16	Kontrol reaktörlerinin farklı noktalarında pH’nın değişimi	75
Şekil 6.17	Seri 1 kompostlaştırma işleminde OM’nin zamanla değişimi	76
Şekil 6.18	Seri 2 OM muhtevasının zamanla değişimi	76
Şekil 6.19	Karıştırmalı reaktörlerin farklı noktalarında OM’nin değişimi	78
Şekil 6.20	Kontrol reaktörlerinin farklı noktalarında OM’nin değişimi	78
Şekil 6.21	Seri 2 çalışmalarda çözünmüş KOİ’nin zamanla değişimi	79
Şekil 6.22	Seri 1 ve seri 2’de TKN’un zamanla değişimi	80

Şekil 6.23	Seri 1 ve seri 2’de C/N oranlarının değişimi	80
Şekil 6.24	Karıştırma yapılan reaktörlerde çözünmüş $\text{NH}_3\text{-N}$ ’nun zamanla değişimi	81
Şekil 6.25	Kompostlaştırma süresince materyaldeki $\text{NH}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ ’nun değişimi	81
Şekil 6.26	Seri 2 çalışmalarda fosforun değişimi	82
Şekil 6.27	Yoğunlaştırıcıda biriken suyun yoğunlaşma hızı	83
Şekil 6.28	Yoğunlaştırıcıda toplanan kümülatif su miktarları	83
Şekil 6.29	Reaktörlerden oluşan sızıntı suyu miktarları	84
Şekil 6.30	Seri 1 reaktörlerine beslenen hava debisi	86
Şekil 6.31	Seri 2 reaktörlerine beslenen hava debisi	86
Şekil 6.32	Seri 1 reaktörlerde CO_2 üretim hızının zamanla değişimi	88
Şekil 6.33	Seri 1 reaktörlerde kümülatif CO_2 oluşumunun zamanla değişimi	88
Şekil 6.34	Seri 2 kontrol reaktörlerinde CO_2 üretim hızının zamanla değişimi	89
Şekil 6.35	Seri 2 reaktörlerde kümülatif CO_2 oluşumunun zamanla değişimi	90
Şekil 6.36	Reaktörlerdeki malzemelerin ayrışma verimleri	91
Şekil 6.37	Kompostlaştırma prosesi boyunca açığa çıkan amonyakın zamanla değişimi ve oluşan kümülatif amonyak miktarları	93
Şekil 6.38	K1 ile K5 Reaktörlerinden çıkan kümülatif $\text{CO}_2\text{-C}$ değerleri ve 1.derece kinetik uygulaması	96
Şekil 6.39	K1 ile K5 Reaktöründen çıkan kümülatif $\text{CO}_2\text{-C}$ için birinci + sıfırıncı derece reaksiyon kinetiğinin uygulanması	97
Şekil 6.40	Seri 1 çalışmalarında sıcaklık ve CO_2 üretim hızı arasındaki regresyon analizi ...	98
Şekil 6.41	Seri 2 çalışmalarında sıcaklık ve CO_2 üretim hızı arasındaki regresyon analizi ...	98
Şekil 6.42	Reaktör çıkışı CO_2 ve O_2 ilişkisi	100
Şekil 6.43	Kompostlaştırma işleminde CO_2 oluşumu, oksijen tüketimi ve sıcaklık	102
Şekil 6.44	Modelle deney verileri arasındaki uyum analizi.....	103
Şekil 6.45	Seri 1’den elde edilen kompostun stabilizasyon sonrası boyut dağılımı.....	105
Şekil 6.46	Seri 2’den elde edilen kompostun olgunlaşma sonrası boyut analizi	105
Şekil 6.47	K1 karıştırmalı reaktörü (solda) ve K4 kontrol reaktörünün (sağda) kompostlaştırma sonrası görünümü	106
Şekil 6.48	Seri 1 ürünlerinin Dewar kabı ısınma testi sonuçları.....	108
Şekil 6.49	Seri 2 ürünlerinin Dewar kabı ısınma testi sonuçları.....	108
Şekil 6.50	Seri 1 ve 2 alkali metallerin değişimleri	110
Şekil 6.51	Seri 1 ağır metal değişimleri.....	111
Şekil 6.52	Seri 2 ağır metallerin değişimi.....	112
Şekil 6.53	K1 reaktöründe CO_2 , OM, pH, NH_3 ve sıcaklığın zamanla değişimi.....	113
Şekil 6.54	Posanın kompostlaştırılması için akım şeması	115

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Uygun gül toprağı bileşimi	5
Çizelge 2.2	Isparta İlinde arazi kullanım payları	6
Çizelge 2.3	Türkiye'deki gül üretimi yapılan arazi	8
Çizelge 2.4	Türkiye'de hasat edilen gül çiçeğı miktarları	8
Çizelge 3.1	Evsel katı atık kompozisyon tespitleri	12
Çizelge 3.2	Isparta'da hasat edilen gül çiçeğinin ve oluşan posanın yıllara göre dağılımı .	15
Çizelge 3.3	Geçmiş yıllarda oluşan posa ve evsel katı atık yaş ve kuru ağırlık oranları	15
Çizelge 3.4	Gül posası analiz sonuçları	16
Çizelge 3.5	Gürkan Gülyağı Fabrikası atıksularının özellikleri	16
Çizelge 4.1	Bazı ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemleri	17
Çizelge 4.2	Laboratuar ölçekli çalışmalarda kullanılan materyallerin başlangıç şartları	20
Çizelge 4.3	Laboratuar ölçekli ve pilot ölçekli yapılan kompost çalışmaları	21
Çizelge 4.4	Bazı organik atıklarda anaerobik parçalanma verimleri	22
Çizelge 4.5	Aerobik ve anaerobik prosesin karşılaştırılması	23
Çizelge 4.6	Farklı atıklar için azot içeriğı ve C:N değerleri	26
Çizelge 4.7	İstanbul kompostlaştırma ve geri kazanma tesisi kapasite bilgileri	32
Çizelge 4.8	Kompostlaştırma tesis ve süreçleri	34
Çizelge 4.9	Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri	36
Çizelge 4.10	Dewar kabında kendi kendine ısınma testi tanımlaması	39
Çizelge 4.11	Karbondioksit çıkışına bağı kompost stabilizasyon indeksi	40
Çizelge 4.12	Farklı şartlarda kompostlaştırma kinetiğı için reaksiyon hız sabitleri	41
Çizelge 4.13	Kullanım alanlarına göre kompostun araziye uygulanma miktarları	42
Çizelge 4.14	Çeşitli ülkelerde kompost ağır metal limitleri	44
Çizelge 4.15	Tamamlanmış kompostta elementlerin konsantrasyonları	44
Çizelge 4.16	Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları	46
Çizelge 4.17	Katı atık bertaraf teknolojileri mukayesesi	48
Çizelge 4.18	Kompostlaştırma sistemlerinin maliyet, alan ve emisyonlar bakımından karşılaştırılması	49
Çizelge 5.1	Reaktörlerde kullanılan materyalin özellikleri	51
Çizelge 5.2	Reaktörlerde kullanılan posanın boyut dağılımı	52
Çizelge 5.3	Reaktörlerde kullanılan materyallerin karışım oranları ve yüzdeleri	52
Çizelge 5.4	Reaktörlerde numune alma yerleri ve sıcaklık ölçüm noktaları	58
Çizelge 5.5	Deneysel çalışmada yapılan analizler ve yöntemleri	61
Çizelge 6.1	Reaktörlerdeki su kayıpları	71
Çizelge 6.2	Maksimum ve minimum su muhtevaları farkı	71
Çizelge 6.3	Maksimum ve minimum OM muhtevaları farkı	77
Çizelge 6.4	Kompost reaktörlerinde oluşan sızıntı suyu özellikleri	85
Çizelge 6.5	Reaktörlerde CO ₂ -C ayrışması	90
Çizelge 6.6	Birinci-sıfırıncı derece kinetik için elde edilen reaksiyon hız sabitleri	95
Çizelge 6.7	Farklı aşamalarda sıcaklık ve CO ₂ üretim hızı arasındaki regresyon	99
Çizelge 6.8	CO ₂ üretim hızının deney ve bağıntı değerleri arasındaki regresyon analizi..	103
Çizelge 6.9	Ham gül posanın ve gül kompostunun boyut dağılımı	105
Çizelge 6.10	Kompost materyalindeki kütle ve hacim azalmaları	107
Çizelge 6.11	Tüm reaktörlerde (C/N) _t / (C/N) _{başlangıç} değerleri	109

ÖNSÖZ

Organik içerikli atıkların bertarafında kompostlaştırma yönteminin kullanılması, insan ve çevre sağlığının korunmasında, atıkların hacim ve miktarının azaltılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır. Kompostlaştırma prosesi sonrası geri kazanılan ürün, başta tarım alanları ve yeşil alanlar olmak üzere saha rehabilitasyonu, sebze ve meyvecilik gibi birçok alanda kullanılabilir.

Ülkemizde en fazla Isparta’da olmak üzere; Burdur, Afyon ve Denizli bölgesinde oluşan gül posası atıkları önemli oranda çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu çalışmada, gül posası atıklarının yalnız başına ve evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda spesifik olarak, organik maddenin ayrışma kinetiği, reaktör profili boyunca organik madde ve su muhtevalarının değişimi, kompost gazındaki amonyak miktarı ve çözünmüş maddelerin zamanla değişimi tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yaptığım deneyler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarımı başından sonuna kadar yakın ilgi ve heyecanla takip eden her türlü maddi ve manevi desteğini yanımda hissettiğim Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. M. Talha Gönüllü’ye değerli fikirleriyle teşvik etmesi sebebiyle şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarımın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde değerli fikirlerinden yararlandığım tez izleme komisyonu üyeleri olan Hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa Öztürk’e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim Demir’e şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında gösterdiği destek ve araştırma imkanları sağlaması sebebiyle Çevre Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ferruh Ertürk başta olmak üzere değerli Hocalarıma ve tüm bölüm elemanlarına teşekkürlerimi arz ederim.

Reaktör kurulması sırasında yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Ahmet Günay’a, İstatistik ve kinetik değerlendirmelerde desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Ertan Arslankaya’ya, elektrik ve teknik donanım işlerinde gösterdiği yardım nedeniyle Yrd. Doç. Dr. Arslan Saral’a, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Hürrem Bayhan’a ve Uzman Uğur Kurt’a teşekkürlerimi sunarım.

Tezde kullandığım materyal temininde yardımlarından dolayı Araş. Gör. Mehmet Kılıç’a, Araş. Gör. Mehmet Beyhan’a, Araş. Gör. M. Sinan Bilgili’ye, Araş. Gör. Bestamin Özkaya’ya, Sosyal Bilimci Yunus Tosun’a, Isparta Endüstri Meslek Lisesi teknikerlerinden Süleyman Öztürk’e, Gülbirlik yetkililerine ve katkıda bulunan diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Isparta'da yılda ortalama 26000 ton oluşan gül posası atıklarının yalnız başına ve evsel katı atıkların organik kısımlarıyla (OF-EKA) birlikte kompostlaşabilirliği araştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli reaktör çalışmaları iki seri halinde yürütülmüştür. İlk seride gözenek malzemesi ve aşı malzemesinin kompostlaştırma sürecine etkisi, 2. seride ise farklı posa:evsel katı atık oranlarının ve ara karışımların ayrışmaya etkisi araştırılmıştır.

Her bir reaktörde zamanla kaydedilen sıcaklıklarda farklı eğilimler görülmüştür. Reaktörlerde 60-70 °C sıcaklık seviyelerine 3-4 günde ulaşılmış ve takriben 50 gün sonra dış ortam sıcaklığına yaklaşılmıştır. Karıştırma sonrasında bir önceki pikten daha düşük bir sıcaklık piki elde edilmiştir. Kompost karışımının nem muhtevası herhangi bir müdahale yapılmaksızın % 55-65 arasında kalmıştır. Biomas karışımının pH'ı 6.0 civarında iken, proses sonrasında 7.0-7.5 seviyesine yükselmiştir. Organik madde muhtevası (OM) %70 seviyesinden %60 seviyesine düşmüştür. Başlangıçta 12-15 civarında olan C/N oranı, stabilizasyon süresi sonunda 6.0-6.5 seviyesine düşmüştür.

Karıştırma uygulanan ikinci seri reaktörlerin (K1, K2 ve K3) merkez ve yan profili boyunca yapılan analizlerinde, su muhtevası, organik madde ve pH değerleri belirlenmiştir. Ayrışma süreci boyunca su muhtevasının reaktör merkezinde en düşük ve reaktörün üst kenarında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Su muhtevalarının maksimum ve minimum olduğu noktalar arasındaki farklar, ilk karıştırmada %26-38 arasında iken, zamanla azalarak dördüncü karıştırmadan sonra %3-6 seviyesine düşmüştür.

Çıkış gazında yaklaşık %10 CO₂ olacak şekilde, reaktörlere, ortalama 3-4 L/kg KM-sa hava beslenmiştir. Kümülatif CO₂ miktarları, R1~R3 reaktörlerinde sırasıyla 380-414 L/kg KM iken K1~K3 karıştırmalı reaktörlerde 460-478 L/kg KM ve kontrol reaktörlerinde 315-391 L/kg KM olduğu belirlenmiştir. Proses süresince çıkış gazındaki toplam NH₃ miktarları sırasıyla 0.56, 4.48, 9.51, 0.81, 2.29 mg/kg KM olarak gerçekleşmiştir. Kümülatif CO₂-C (%) değerlerinin zamana göre değişiminin, tüm reaktörlerde "birinci-sıfırncı derece" kinetiğe uyduğu (R²=0.99) belirlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda, posanın evsel katı atıklarla 1:1 oranında karıştırılmak suretiyle elverişli bir şekilde kompost yapılabileceği belirlenmiştir. Posa'nın evsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılması ile atıkların bertarafı sağlanmakla birlikte, kompostlaştırma sonrasında tarımsal uygulama ve saha restorasyonu gibi alanlarda kullanmak üzere faydalı bir ürün elde edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Gül posası, kompost, kinetik, reaktör profili, stabilizasyon.

ABSTRACT

In this research, rose processing wastes produced in the amount of about 26000 tones annually in Isparta City are evaluated in terms of compostability alone and with organic fractions of municipal solid wastes (OFMSW), and tried for appropriate mixture rate. Laboratory scale reactor works were conducted as a couple of sets. While first set was carried out to determine the effect of the bulking agent and inoculation onto composting process, second set was realized to search the effect of the different mixture of rose waste and OFMSW and also the effect of turning operation on decomposition rate.

Different temperature patterns were observed in each reactor with time. It reached up 60-70°C in 3-4 days, and then began to fall downward in approximately 50 days by the room temperature. Immediately after intermediate turnings it raised again for another peak temperature lower than the turning before. Moisture content in biomass mixture of all reactors was remained in the range of 55-65% without any water addition. The pH of the biomass mixture was approximately 6.0, and finally, product pHs were measured in the range of 7.0-7.5. While the initial organic matter content was 70%, it decreased over the stabilization period to 60 %. The initial C:N ratio of 12-15 decreased over the composting period to 6.0-6.5.

In the physical turning of 2nd set reactors (K1, K2 and K3), distributions of moisture and organic matter contents and pH values were determined at central and wall-side vertical profiles of the reactors, by sampling during turning. The results showed that the maximum and minimum water contents were at upper wall-side and centre of the reactors, respectively. While the differences of max-min were like 26-38% in the first turning, those were closed to each other like %3-6 in the fourth turning.

Air flow rate was regulated as keeping on about 10% CO₂ content in the spent air. The average air flow rate was 3-4 L/kg dry weight-h during whole composting process. Cumulative CO₂ amounts were 380-414 L/kg dry weight for R1~R3 reactors, 460-478 L/kg dry weight for K1~K3 (mass turned reactors), and 315-391 L/kg dry weight for K4-K5 (control reactors). Total evolved NH₃ amounts in K1~K5 reactors were carried out 0.56, 4.48, 9.51, 0.81, 2.29 mg/kg dry weight, respectively. Cumulative CO₂-C data for 2nd set reactor were highly fitted ($R^2=0.99$) by “first-zero order” kinetic model.

The results of experiments indicated that the composting process of rose waste and OFMSW waste mixture in 1:1 ratio is suitable in terms of stability. As an alternative disposal way, co-composting of rose waste and OFMSW will serve not only environmental solution for disposal of these industrial wastes, but also decomposed product is used in agricultural application and field restoration.

Key words: Rose residue, compost, kinetics, reactor profile, stabilization.

1. GİRİŞ

Kompostlaştırma işlemi ile, katı atık probleminin çözümünde çevreye duyarlı bir yaklaşımla sızıntı suyu, yer altı suyu ve kokunun önlenmesi yanı sıra, atıklardan geri kazanım yapılarak elde edilen ürün, tarım ve bahçecilik gibi alanlarda kullanılabilir. Gün geçtikçe artmakta olan organik içerikli katı atıkların miktar ve hacimleri, biyolojik ayrışmayla birlikte azaltılabilmekte ve reaksiyona girmeyen kısımların az olması nedeniyle depolama alanının yükü hafiflemektedir. Bütün dünyada ve ülkemizde depolama sahası yeri bulmakta çekilen güçlükler, atık miktarını minimuma indirme açısından kompostlaştırma işlemini cazip hale getirmiştir.

Entegre katı atık yönetim sistemleri içinde kompostlaştırma işleminin, organik bileşenli katı atıklar için ucuz ve etkili atık işleme metodu olarak hızlı bir şekilde popülaritesi artmaktadır (Sesay vd., 1998). Evsel katı atıkların bertarafı içinde ABD’de kompostlaştırma işlemi artan bir şekilde önemli bir yer bulmaktadır (Schwab vd., 1994). Çin’de yapılan bir araştırmada, daha düşük yatırım ve işletme maliyeti, daha az kirliliğe sebep olması ve son ürünün yararlı kullanılması gibi nedenlerden dolayı, kompostlaştırma işleminin düzenli depolama ve yakmaya göre daha avantajlı olduğu ancak, katı atıkların karışık olarak toplanması ve düşük nütrientte sahip olması nedeniyle yakın gelecekte düzenli depolamanın en uygun arıtma metodu olacağı belirtilmiştir (Wei vd., 2000).

Isparta İl merkezinde oluşan mevcut evsel ve endüstriyel katı atıklar, ayırma işlemi yapılmadan dere yatağında depolanmaktadır. Uygun depolama alanı bulmak için uzun süredir yapılan yer araştırmalarında, depolama için öngörülen yerlerle ilgili olarak, halk tepkisi ve teknik uygunsuzluklar nedeniyle bir karara varılamamıştır.

Isparta, 100 yılı aşkın bir süredir süregelen gülyağı üretimi ile tanınmıştır. Yaklaşık 45 gün süren gül işleme sezonunda, evsel katı atıkların 3-5 katı kadar posa meydana gelmektedir. Gülyağı ve konkret üretiminin yapıldığı tesislerden kaynaklanan proses atıksuyu ve katı atıklar, tesis civarında açılmış toprak çukurlara veya dere yataklarına boşaltılmaktadır. Bu durum, Isparta ve civarındaki yüzeysel ve yeraltı suları için önemli bir kirlilik kaynağını oluşturmakta, koku ve görüntü kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır.

Tabii güzellikler bakımından zengin bir yöre olan Isparta’nın İl hudutları içinde bulunan Gölcük Milli Parkı, yol üzerindeki gül işleme tesisleri nedeniyle çekiciliğinde azalma riski bulunmaktadır.

Önemli bir çevre problemi olan posanın evsel katı atıkların organik fraksiyonları (OF-EKA) ile birlikte kompostlaştırılması ile, yeraltı ve yüzeysel sularının kirlenmesi, koku ve görüntü kirliliği gibi çevre problemlerinin çözümü gerçekleşmiş olacaktır. Bununla beraber depolama sahasına gidecek katı atık yükü büyük ölçüde azalacağı için depolama ve işletme maliyetinin düşmesi sağlanmış olacaktır. Ayırışma sonrası elde edilen kompost, tarımda, bahçecilikte, toprak iyileştirmede, yeşil alanlarda ve peyzaj çalışmalarında kullanılarak geri kazanım yoluyla değerlendirilmesi sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, Isparta ve civarını kapsayan bölgesel ve sezonluk bir çevre problemi olan gül işleme posasının bertaraf edilmesinde kompostlaştırma alternatifini değerlendirmektir. Bunun yanında, Isparta'nın öncelikli çevresel problemleri arasında yer alan katı atık probleminin posa ile birlikte çözüm imkanını araştırmaktır.

Posanın gerek bileşimi ve gerekse dane boyutları açısından homojen yapıda oluşu ve uygun nutrient/organik madde oranına sahip olması, bertaraf yöntemi olarak depolama ve yakma yerine kompostlaştırma yönteminin seçiminde yönlendirici olmuştur.

Tez kapsamında, Isparta'da gül işleme prosesi sonucu oluşan posa atıkları miktar ve özellikleri itibarıyla incelenmiş ve evsel katı atık miktarları tespit edilerek birlikte kompostlaştırılması için optimum karışım oranları belirlenmiştir. Kurulan reaktörlerde karıştırmanın ayırışma sürecine etkisi kompostlaştırma süresince ve proses sonrası üründe yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Elde edilen ürünlerin stabilite ve olgunluk değerleri ve kaliteleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra kompostlaştırma süreci ve kompost ürünü, aşağıda belirtilen spesifik çalışma sonuçlarıyla değerlendirilmiştir.

- Reaktör profili boyunca su muhtevası, pH ve organik maddenin zamanla değişimleri,
- Reaktör profili boyunca sıcaklıkların tespiti,
- Organik maddenin ayırışma kinetiği,
- Çıkış gazındaki amonyak miktarının tespiti,
- Yoğunlaşan su miktarlarının belirlenmesi,
- Kompost numunelerinde yapılan ekstraksiyonla çözünmüş KOİ, NH₃ ve toplam fosforun zamanla değişimleri

Bu araştırmanın, gül posası atıklarının evsel katı atıkların organik kısımlarıyla birlikte kompostlaştırılması konusunda yapılan yeni bir çalışma olması nedeniyle, daha sonra yapılacak çalışmalara önemli bir katkı sağlayacağını düşünüyorum. Stabilizasyon sürecinin izlenmesinde ve ürünün değerlendirilmesinde yapılan spesifik çalışmaların okuyuculara yararlı olmasını temenni ediyorum. Bölgesel ve sezonluk bir problemin çözümünde, çevre dostu yaklaşımla yöntem önerilmesi, benzer problemlerin çözümüne bakış açısından faydalı olacağına inanıyorum.



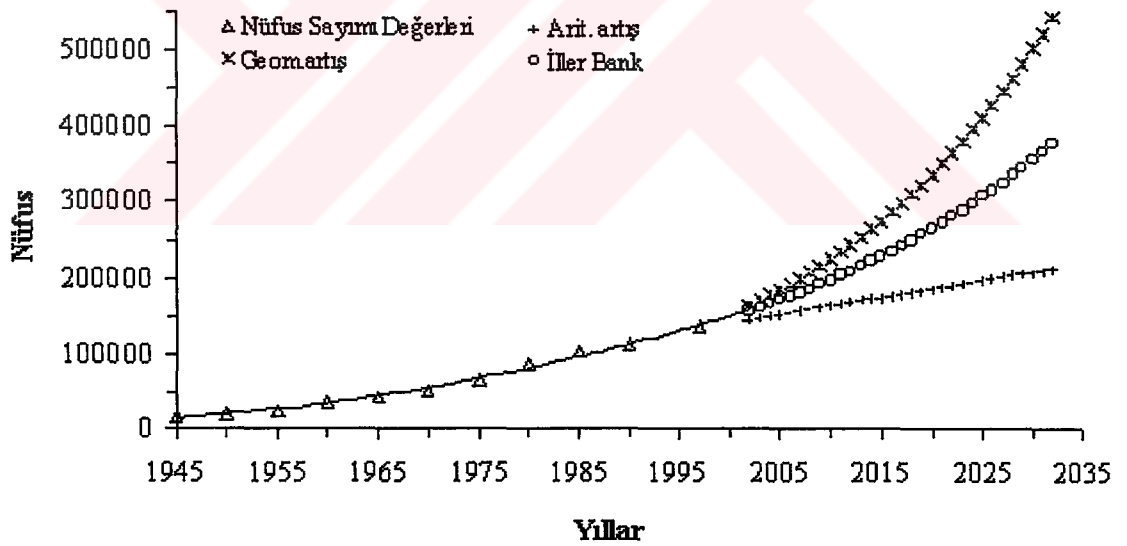
2. GÜL ÇİÇEĞİ YETİŞTİRİLMESİ VE GÜLYAĞI ÜRETİMİ

2.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Isparta İli, 30° 02' ve 31° 33' doğu boylamları ile 37° 18' ve 38° 30' kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. 8933 km² yüzölçümlü Isparta İl alanı, doğudan Konya'nın Beyşehir, Doğanhisar ve Akşehir, kuzeybatıdan Afyonkarahisar'ın Sultandağı, Çay, Şuhut, Dinar ve Dazkırı, batıdan ve güneybatıdan Burdur'un merkez, Ağlasun ve Bucak, güneyden ise Antalya'nın Serik ve Manavgat ilçeleriyle çevrilmiştir.

2.1.1 Nüfus

1945-1997 yılları arasında yapılan nüfus sayımı sonuçları ile İller Bankası, Geometrik Artış ve Aritmetik Artış yöntemlerine göre hesaplanan tahmini nüfus değerleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekilden, nüfus projeksiyonu için en uygun seçeneğin İller Bankası Yöntemi olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1 Isparta merkezinin nüfus sayım değerleri ve farklı yöntemlere göre nüfus projeksiyonu

2.1.2 Meteoroloji ve İklim

Isparta ili, iklim bakımından Akdeniz ile Orta Anadolu iklimleri arasında bir geçiş bölgesinde yer almaktadır. Bu iklim tipine bağlı olarak ilde, ne Akdeniz'in yağışlı, ne de Orta

Anadolu'nun kurak iklimine rastlanmaz. Merkez ilçede yıllık sıcaklık ortalaması 12.1 °C, yıllık yağış ortalaması 600.4 mm'dir. İlin yüksek kesimleri güneyden dağlarla çevrili olduğundan nemli rüzgarlar iç bölgelere kadar girememektedir. Bu nedenle, ilin iç kesimlerini çevreleyen dağların güneyinde kalan alçak yöreleri daha fazla yağış almaktadır. Ortalama rüzgar hızının 1.9 m/s olduğu ilde hakim rüzgar yönü batıdır.

Gül çiçeğinin toplandığı ve işlendiği Mayıs-Haziran aylarında sırasıyla; rüzgar hızı 1.8,1.7 m/s ve hakim rüzgar yönü güney batı, kuzey batı, yıllık sıcaklık ortalaması 15.4,19.7 °C, yağış ortalaması 59.7, 36 mm'dir (Isparta Valiliği,1994).

2.1.3 Toprak Özellikleri

Isparta toprağı killi ve kalkerlidir. Eğimi yer yer %40'ları bulmaktadır. Üst toprak derinliği 8 ila 40 cm arasındadır. Genellikle killi-tınlı, kalkerli, daneli ve dağılıbilir yapıdadır. Alt toprak yapısı üstteki toprak ile aynı özellikte olmasına rağmen daha kaba bünyeli ve killidir. Bazı bölgelerde toprak derinliği yeraltı suyuna kadar uzanabilmektedir.

Gül için uygun toprak ihtiyacı: Gül, killi-tınlı ve organik maddece zengin toprakları tercih eder. Fakat genel olarak, hemen tüm bahçe topraklarında yetişebilir. Sadece killi, kumlu ya da çok kalkerli gibi ekstrem şartlara sahip topraklarda yetişmez. Uygun toprak bileşimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Uygun gül toprağı bileşimi [1]

Parametre	Birim	Değer
pH	-	6-6.5
Tuz	%	0.2-0.3
N	mg/100 gr kuru toprak	20-30
P ₂ O ₅	mg/100 gr kuru toprak	50-80
K ₂ O	mg/100 gr kuru toprak	80-150
MgO	mg/100 gr kuru toprak	15-25
Mn	ppm 100 gr kuru toprak	150-200

2.1.4 Tarım Alanları

Isparta ili Göller bölgesindeki dağlık ve engebelik bir arazi üzerinde bulunmaktadır. Dağlar, yaylalar, dalgalı araziler, dağlar arasındaki göller ve yer yer görülen dar düz alanlar bölgenin özelliklerini teşkil eder. Isparta ilindeki toplam tarım arazisi 207570 Ha. olup, il yüzölçümünün %23'lük kısmını teşkil etmektedir. Arazi kullanım durumu Çizelge 2.2'de verilmiştir. Tarım arazilerinde başta hububat olmak üzere, meyve, sebze ve önemli ölçüde endüstri ve yem bitkileri yetiştirilmektedir.

Tarım ürünleri arasında gül ve elmanın özel bir yeri vardır. Her iki ürün de ihraç edilmektedir. Isparta'da gül dikim alanı 40000 dekar civarına yükselmiştir. Yılda 22857 ton civarında gül çiçeği ve yaklaşık 5 ton gülyağı üretilmektedir. Birim dekardan ortalama 600 kg gül çiçeği elde edilmektedir.

Çizelge 2.2 Isparta İlinde arazi kullanım payları

Cinsi	Yüzölçümü (Ha)	Toplam Araziye Göre (%) Payı
Tarım Arazisi	207 570	23.2
Kayalık, Göl ve Iskan Sahaları	254 225	28.5
Meralar	87 692	9.8
Orman Arazisi	343 813	38.5
Toplam	893 300	100

2.1.5 Gülyağı Esaslı Kozmetik Sanayii

Isparta Türkiye'nin gül ve gülyağı üretimi merkezidir. İlde yabancı sermaye iştirakli 2, özel sektöre ait 3 ve Gülbirlik'e ait 6 fabrikada gül çiçeği işlenerek gül ürünleri elde edilmektedir.

Isparta'da yapılan gül çiçeği üretimi kozmetik sanayiinin temelini oluşturmaktadır. Gül çiçeğinden elde edilen gül yağı, gül koncreti ve gül suyu ana maddelerinden çeşitli yan ürünler elde edilir. Gül çiçeğinin Isparta'da yetiştirilmeye başlandığı 1870 yılından bu yana, gülcülük Isparta ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır. İç ve dış turizme yönelik gül ürünleri şu şekilde sıralanabilir: Özel ambalajlarda gülyağı, çeşitli ambalajlarda gülsuyu, gül losyonu, gül parfümü, gül kremi, gül kremli şampuan, gül sabunu (Özcan,1998).

2.2 Dünyada Gül Tarımı

Kuzey Yarım Küresi'nin çok soğuk iklime sahip olduğu bölgeleri hariç, dünyanın her yerinde görülen gül yetiştiriciliğinde Türkiye ve Bulgaristan önde gelirken, bunları Fas, Bağımsız Devletler Topluluğu, Meksika, İran, Hindistan, Güney Afrika, Suudi Arabistan ve Mısır izlemektedir (Kürkçüoğlu,1988). 1990 yılı verilerine göre dünyada toplam gül çiçeği üretimi 40000 ton olup ülkelere dağılımı aşağıdaki şekildedir (Kazaz, 1997):

Türkiye	22000 ton
Bulgaristan	10400 ton
Fas	3600 ton
Meksika	1800 ton
Bağımsız Devletler Topluluğu	1800 ton
İran	450 ton

2.3 Türkiye'de Gül Tarımının Gelişimi

1999 yılında Türkiye'deki gül çiçeğinin % 62.4'ü Isparta'da, %31.4'ü Burdur ve kalan %6.1'i Afyon ve Denizli'de üretilmiştir. Daha önceki yıllarda Isparta'daki yağ gülü üretimi % 80'lere kadar çıkmıştır. Isparta'da üretimi yapılan "*Rosa Damascena Mill.*" türü gül çiçeği; Isparta Gülü, Pembe Yağ Gülü, Sakız Gülü adlarıyla da bilinen pembe renkli, yarım katmerli ve kuvvetli kokulu çiçekler açan çok senelik dikenli bir bitkidir.

Eski 2834 yeni 3186 sayılı "Tarım Satış Kooperatifleri Birliği" yasasına göre kurulan ve faaliyetini sürdüren Gülbirliğin halen 13 Kooperatifi, 12 bin üretici ortağı, 5 ayrı yerde kurulu 7 gülyağı tesisi ile bir gül konkrete tesisi mevcuttur.

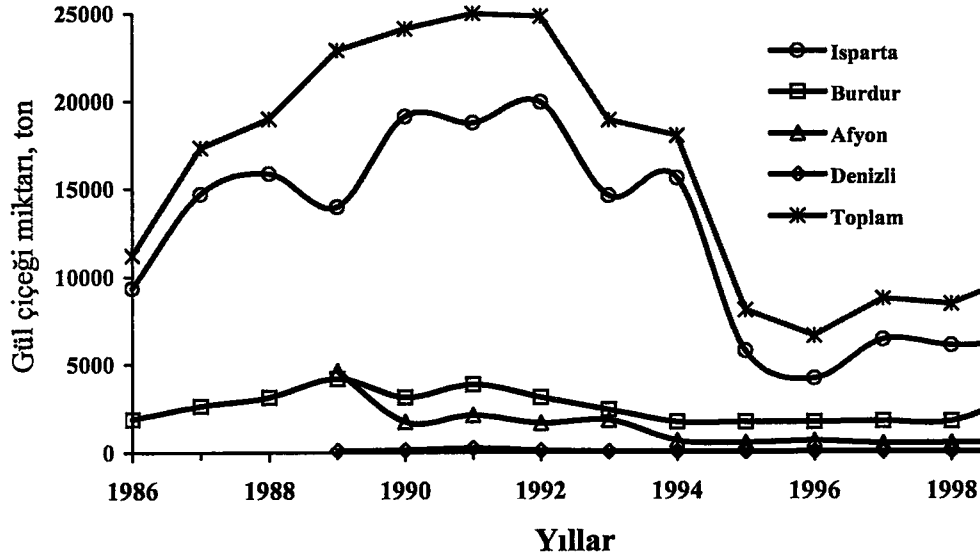
1999 yılı dahil olmak üzere, Türkiye'nin son yıllardaki gül çiçeği üretimi yapılan arazi varlığı Çizelge 2.3'de ve hasat edilen ürün miktarı Çizelge 2.4'de verilmiştir. Çizelge 2.3'den görüldüğü gibi 1989 yılından itibaren gül çiçeği dikimleri hızla artmış, Isparta ve Burdur illerinin dışında Denizli ile Afyon illerinde de üretime geçilmiştir. Ancak 1992 yılında fark edilir şekilde dikili alanlarda azalma görülmektedir. 1993 yılında azalma daha da artmış ve buna bağlı olarak gül üretimi de azalmıştır. Ancak 1996 yılından sonra dikili alanda ve gül çiçeği üretiminde hissedilebilir ölçüde bir artış olmaya başlamıştır. Şekil 2.2'de bu değişimler görülmektedir.

Çizelge 2.3 Türkiye'deki gül üretimi yapılan arazi (dekar) (Gülbirlik,1999)

Yıllar	Isparta	Burdur	Afyon	Denizli	Toplam
1986	28890	4710	-	-	33600
1987	38140	5850	-	-	43990
1988	38638	6940	-	-	45578
1989	39340	6950	18730	737	65757
1990	39650	7000	7358	769	54777
1991	41350	11045	9605	860	62860
1992	37690	6250	9206	415	53561
1993	36880	5333	5860	225	48298
1994	33930	3570	3700	225	41425
1995	11260	3570	2500	250	17580
1996	10580	3770	2800	210	17360
1997	18650	3570	2480	320	25020
1998	17720	3970	2410	370	24470
1999	18310	6720	2230	315	27575

Çizelge 2.4 Türkiye'de hasat edilen gül çiçeği miktarları (ton) (Gülbirlik,1999)

Yıllar	Isparta	Burdur	Afyon	Denizli	Toplam
1986	9318	1884	-	-	11202
1987	14685	2632	-	-	17317
1988	15838	3120	-	-	18958
1989	13956	4170	4620	108	22854
1990	19089	3125	1728	135	24077
1991	18729	3854	2114	248	24945
1992	19900	3125	1657	108	24790
1993	14565	2413	1832	58	18868
1994	15550	1721	660	50	17981
1995	5725	1721	555	38	8039
1996	4169	1707	660	53	6589
1997	6371	1775	503	57	8706
1998	6034	1750	549	55	8388
1999	6204	3125	561	50	9940



Şekil 2.2 Türkiye’de hasat edilen gül çiçeği miktarının değişimi

2.4 İnce Gülyağı Üretimi

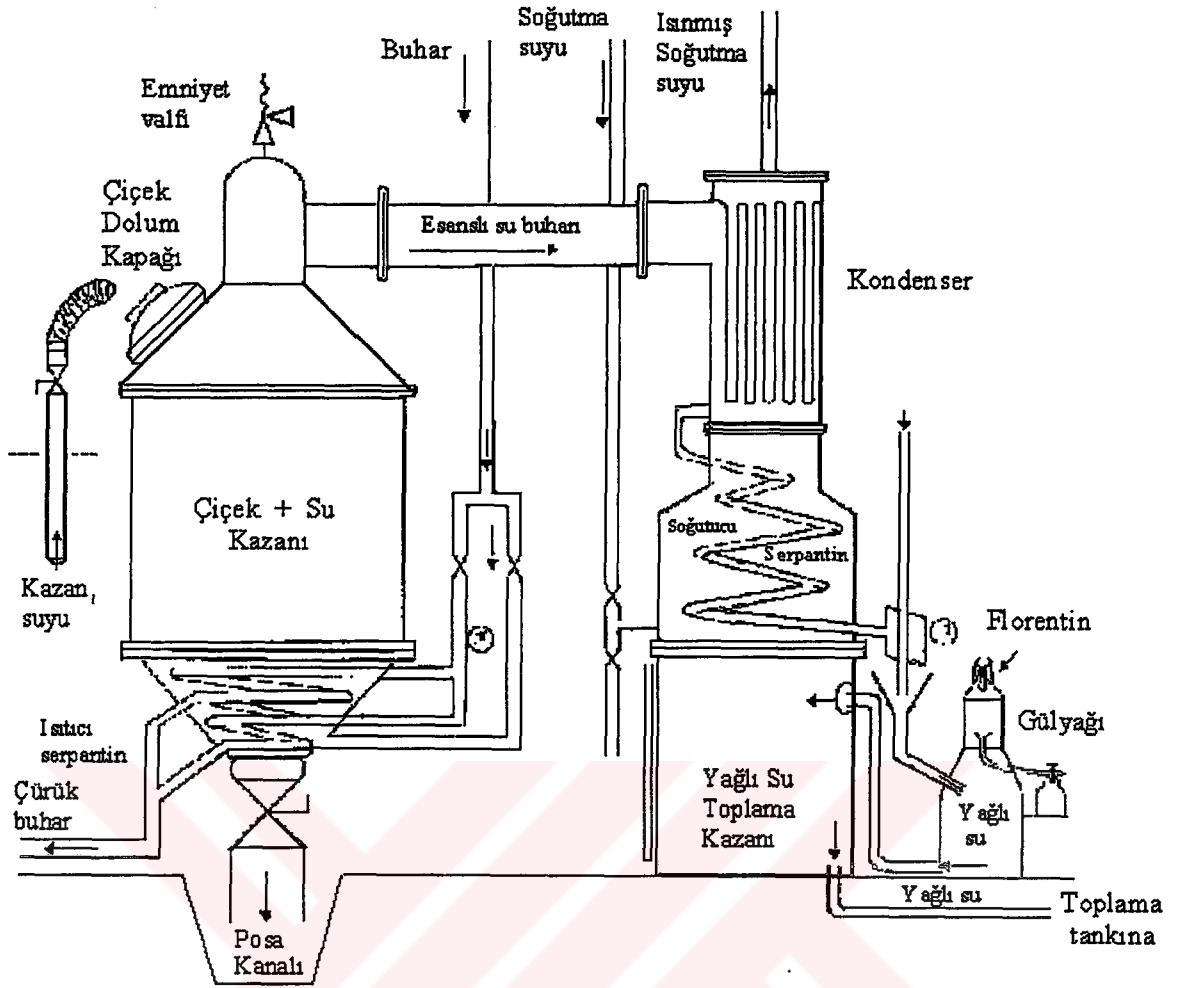
İnce gülyağı ve katı gülyağı (gül koncreti) olarak iki şekilde üretim yapılmakla birlikte, çoğunlukla ince gülyağı üretimi yapılmaktadır. İnce gülyağı üreten fabrikalarda, üretim esnasında yan ürün olarak gül suyu da üretilmektedir (Özcan, 1988). 1 kg gülyağı elde etmek için yaklaşık 3.5-4 ton gül çiçeği, 1 kg gül koncreti elde etmek için de yaklaşık 300-400 kg gül çiçeği kullanılır (Kürkçüoğlu, 1988).

Gül çiçeği işleme ve gülyağı üretimi akım şeması ve Şekil 2.4’te verilmiştir.

Şekil 2.3

Distilasyon tekniği

Gül işleme endüstrisinde, distilasyon işlemleri, çoğunlukla 3000 lt’lik bakır veya paslanmaz çelikten yapılmış imbiklerde gerçekleştirilmektedir. İmbiklere, genelde, 400-500 kg çiçek ve 1500-2000 lt su (gül çiçeği-su oranı 1/3 olacak biçimde) yüklenmektedir. Distilasyon, buhar ile endirek olarak yapılmaktadır. İmbikten buharlaşan su ve yağ soğutucuda yoğunlaştırılır ve florentin kabının bağlı bulunduğu 200 lt’lik kazanda toplanır. Florentin kabında biriken yağ üst fazdan alınır. Bu yağa “ham yağ”, “çiğ yağ”, “direk yağ” veya “birinci kalite yağ” denilmektedir. Kazanların alt fazını oluşturan kısım, 5000 lt kapasiteli iki tankta depolanır ve tekrar distilasyon işlemine tabi tutulur. Soğutucuda yoğunlaşmış florentin kabında biriken yağ/su karışımından ayrılan yağa, “pişmiş yağ”, “endirek yağ” veya “ikinci



Şekil 2.4 Gülyağı üretimi donanımlarının şematik gösterilişi (Özcan, 1988)

3. ISPARTA'DA KATI ATIK YÖNETİMİ VE GÜL İŞLEME SANAYİİ KATI ATIKLARI PROBLEMİ

Isparta İl Merkezinde oluşan evsel ve endüstriyel katı atıklar (küçük oto sanayi, tekstil, deri, ağaç kaplama, mermer işleme vb.) ve hastane atıkları şehrin 6 km dışında Minasın Deresi mevkiinde bulunan yaklaşık 50 000 m²'lik bir alanda depolanmaktadır. Çöp depolama sahasında mevcut çöp yığını yüksekliği ortalama 5.5 m. civarındadır. Çöp dökme alanında, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gazlar atmosfere karışarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Katı atıkların boşaltıldığı alanda oluşan kirlenmiş sular, yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Katı atık depolama sahası içerisinde her mevsimde akan bir derenin geçmesi problemin büyüklüğünü ortaya koymaktadır.

3.1 Evsel Katı Atıklar

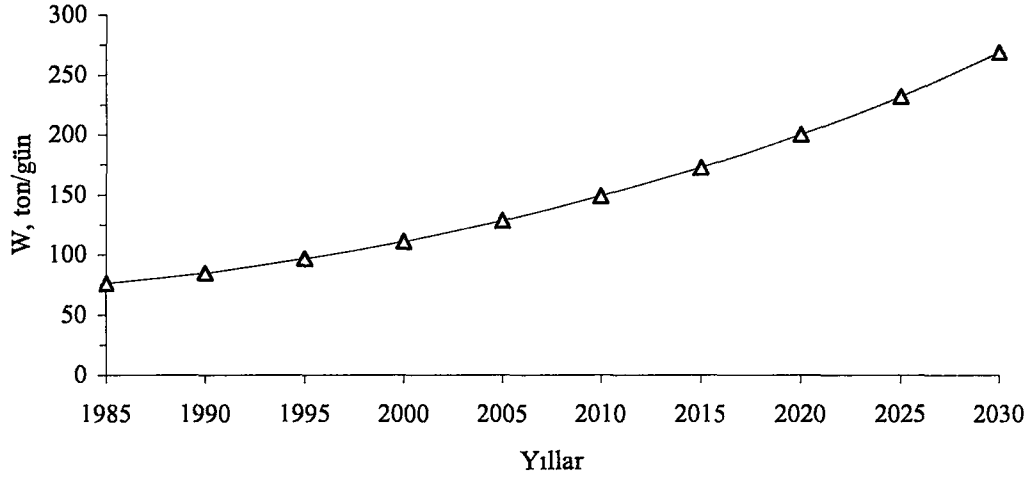
Gönüllü ve Beyhan (2000) tarafından yapılan çalışmada, Isparta şehri için organik atık, evsel zararlı atık ve geri kazanılabilir atıkların yüzde oranları hanelerin gelir seviyesine göre tespit edilmiştir (Çizelge 3.1). Elde edilen sonuçlara göre geri kazanılabilir atıkların toplam atık içerisindeki oranı %9.75 olarak tespit edilmiştir. Isparta genelinde, külün hesaba katılmamış hali için, ıslak (organik) atık oranı %89.9 olarak bulunmuştur.

Karagüzel vd. (1995) tarafından yapılan çalışmada, kişi başına düşen yıllık katı atık miktarı 250 kg/yıl (0.685 kg/N-gün) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 Evsel katı atık kompozisyon tespitleri, % (Gönüllü ve Beyhan, 2000)

Bölge Adı	Organik Atık	Evsel Zararlı Atık	Geri Kazan. Atık	Cam	Kağıt Karton	Metal	Plastik Naylon	PET PVC	Tekstil	Ahşap
Düşük Gelirli	92.17	0.14	7.69	14.36	46.75	8.16	15.75	11.47	3.52	-
Orta Gelirli	90.41	0.52	9.07	29.36	20.71	20.03	18.16	10.33	1.32	0.18
Yüksek Gelirli	82.99	0.30	16.71	24.21	46.03	7.05	12.72	4.42	0.88	2.63
Genel	89.85	0.40	9.75	25.30	30.69	14.42	16.04	8.97	1.60	0.68

Bu tez çalışması kapsamında, katı atık oluşum miktarını belirlemek için; Erdin (1981) tarafından literatürde “Orta kent” için verilen 275 kg/N-yıl (0.753 kg/N-gün) değeri esas alınmıştır. Yıllık katı atık miktarları, tahmini nüfus değerleri göz önüne alınarak hesaplanmış ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yıllara göre toplam evsel katı atık miktarları

3.2 Gül İşleme Sanayi Atıkları

Isparta ve civarında bulunan gülyağı fabrikalarının çoğu yerleşim yerlerine ulaşımın yapıldığı güzergah üzerinde, yerleşim yerlerine bitişik veya yakınında kuruludur.

Gül çiçeği işlenirken meydana gelen posa, toprak tabanlı lagün biçimindeki çukurlarda veya geçici havuzlarda depolanmaktadır. Geçici havuzlarda biriktirilen posa, çevredeki boş alanlara dökülmekte veya çevre köylüler tarafından alınmak suretiyle uzaklaştırılmaktadır. Büyük çukurlarda biriktirilen posalar ise su muhtevası azalınca, yakıt olarak kullanılmak üzere kırsal alanlarda oturan vatandaşlarca değerlendirilmektedir.

Depolama çukurlarında, üretim sezonu boyunca ve su muhtevasının buharlaşma ve sızma yoluyla azalması için bekletilmesi esnasında yer altı suyu kirliliği, koku oluşumu ve görüntü kirliliği gibi çevre sorunlarına yol açmaktadır.

Fabrikada oluşan evsel nitelikli katı atıklar, belediye çöp toplama araçları ile uzaklaştırılmaktadır.

Gülyağı fabrikalarında oluşan proses atıksuları, çoğu işletmelerde arıtılmaksızın

kanalizasyona, dereye veya göle deşarj edilmekte, bazılarında ise biriktirme çukurlarında toplanarak sızma ve buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılmaktadır.

Kullanılan soğutma suları, genelde deşarj edilmektedir. Bazı işletmelerde soğutularak tekrar kullanılmaktadır. Evsel nitelikli atıksular ise kanalizasyon olan yerlerde kanalizasyona, kanalizasyon sistemi olmayan yerlerde ise fosseptik çukurlara verilmektedir.

İlde, mevcut büyük ve küçük sanayi iş kollarının hiçbirisinde endüstriyel katı ve sıvı atıkların arıtılmasını sağlayacak arıtma tesisi yoktur.

3.2.1 Posa Oluşum Miktarları ve Özellikleri

Yapılan analizlerle, gül çiçeğinin katı madde muhtevası % 21.5 ve yaş gül posasının katı madde muhtevası % 10 olarak belirlenmiştir. Buna göre, yıllara göre oluşan posa miktarlarının dağılımı Çizelge 3.2’te verilmiştir.

Oluşan posa miktarı ile evsel katı atık miktarları mukayese edildiğinde, 1986-1999 yılları arasında oluşan ortalama günlük posa miktarı ($26128/45=581$ ton/gün, hasat süresi 45 gün), evsel katı atık miktarından (91.1 ton/gün) yaklaşık 6.4 kat daha fazladır. Son yıllarda azalan gül çiçeği üretimine bağlı olarak posa miktarı da azalmış ve oluşan posanın evsel katı atık miktarına oranı 2.8 seviyesine kadar düşmüştür. Çizelge 3.3’da geçmiş yıllarda oluşan posa ve evsel katı atık miktarlarının yaş ve kuru ağırlık oranları verilmiştir. Kuru ağırlık bazında, posa/evsel katı atık oranı yaklaşık 1-4 aralığında değişmektedir. Burada önemli olan husus, posa miktarının aynı dönemde oluşan evsel katı atıkların miktarından fazla olmasıdır.

Gül posası için belirlenmiş kimyasal özellikler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Çizelgeden, atığın %90’ın üzerinde su içerdiği, organik madde muhtevasının %90’dan fazla olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre biyolojik bozunmayı olumsuz yönde etkileyecek bir parametrenin bulunmaması ve organik maddenin yüksek olması, atığın biyolojik olarak işlenmeye uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2 Isparta’da hasat edilen gül çiçeğinin ve oluşan posanın yıllara göre dağılımı

Yıllar	Gül çiçeği (yaş ağ.) (ton/yıl)	Gül çiçeği, (kuru ağ.) (ton/yıl)	Posa miktarı, (yaş ağ.) (ton/yıl)
1986	9318	2003	20034
1987	14685	3157	31573
1988	15838	3405	34052
1989	13956	3001	30005
1990	19089	4104	41041
1991	18729	4027	40267
1992	19900	4279	42785
1993	14565	3131	31315
1994	15550	3343	33433
1995	5725	1231	12309
1996	4169	896	8963
1997	6371	1370	13698
1998	6034	1297	12973
1999	6204	1334	13339
Ortalama	12152	2613	26128

Çizelge 3.3 Geçmiş yıllarda oluşan posa ve evsel katı atık yaş ve kuru ağırlık oranları

Yıllar	posa (ton/gün)		EKA (ton/gün)		Posa/EKA	
	yaş ağ.	kuru ağ.	yaş ağ.*	kuru ağ.	yaş	kuru
1986	445	44.5	78	19	5.7	2.3
1987	702	70.2	79	20	8.8	3.5
1988	757	75.7	81	20	9.3	3.7
1989	667	66.7	83	21	8.1	3.2
1990	912	91.2	84	21	10.8	4.3
1991	895	89.5	87	22	10.3	4.1
1992	951	95.1	89	22	10.7	4.3
1993	696	69.6	92	23	7.6	3.0
1994	743	74.3	94	23	7.9	3.2
1995	274	27.4	96	24	2.8	1.1
1996	199	19.9	99	25	2.0	0.8
1997	304	30.4	101	25	3.0	1.2
1998	288	28.8	104	26	2.8	1.1
1999	296	29.6	107	27	2.8	1.1
Ortalama	581	58.1	91.1	22.8	6.6	2.6

*Su Muhtevası %75

Çizelge 3.4 Gül posası analiz sonuçları (Acatay, 1969, Özcan, 1998'den)

Parametre	100 gr kuru küspede gr olarak
100C'de rutubet	91.4
Ham kül	7.81
Organik madde	92.2
SiO ₂	2.21
Ca	1.29
Mg	0.78
K	1.03
Fe	0.059
P ₂ O ₅	0.059
P	0.026
N	3.02

3.2.2 Proses Atıksuyu Miktarları ve Özellikleri

Kazanlara yüklenen gül çiçeği-su oranı 1:3 olarak ayarlanmaktadır. Proses sonrası oluşan atıksu, posa ile birlikte boşaltılmaktadır. Oluşan proses atıksuyu miktarı yıllık ortalama 21100 m³ olarak tespit edilmiştir. 2001 yılı Haziran ayında Gürkan Gülyağı Fabrikasına (Isparta) ait iki ayrı biriktirme çukurundan alınan numunelerin analiz sonuçları Çizelge 3.5'de görülmektedir (Tosun vd., 2002). Atıksuyun KOİ'si 10000 mg/l ve BOİ'si 7500 mg/l, TKN'u 100 mg/l ve toplam fosforu 5 mg/l civarında olup KOİ:N:P oranı 2000:20:1'dir. KOİ değerinin yüksek olması nedeniyle, anaerobik arıtmanın öncelikle düşünülmesi gerekmektedir. BOİ:KOİ oranının 0.75 mertebesinde olması atıksuyun biyolojik olarak ayrıştırılabilirlik açısından uygun durumda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.5 Gürkan Gülyağı Fabrikası atıksularının özellikleri (Haziran 2001)

Parametre	Birim	Numune 1	Numune 2
pH		4.83	4.77
KOİ	mg/l	9800	10500
BOİ ₅	mg/l	7145	7650
Yağ ve gres	mg/l	148	175
Toplam alkalinite	mg/l CaCO ₃	286	500
Amonyak	mg/l	20	98
TKN	mg/l	75	146
Top. P	mg/l	5.5	4.4
Toplam Katı madde	mg/l	6180	6620
Askıda Katı madde	mg/l	950	1005
Uçucu katı madde	mg/l	5375	5760

4. KATI ATIKLARIN KOMPOSTLAŞTIRILMASI

4.1 Katı Atık Miktarının Azaltılması

Ekonomik ve sosyal gelişmenin bir sonucu olarak her geçen gün oluşan katı atık miktarı hızla artmaktadır. Bununla beraber evsel katı atıkların içinde organik katı atıkların oranı yüksektir. Katı atık yönetiminde esas hedef, katı atıkların miktarını en aza indirmek, atık hacmini azaltmak ve çevreye olan zararı en aza indirmektir. Katı atıklar özelliklerine göre kaynağında ayrılmalı, organik içerikli olanlar biyolojik ayrışmaya tabi tutulmalıdır.

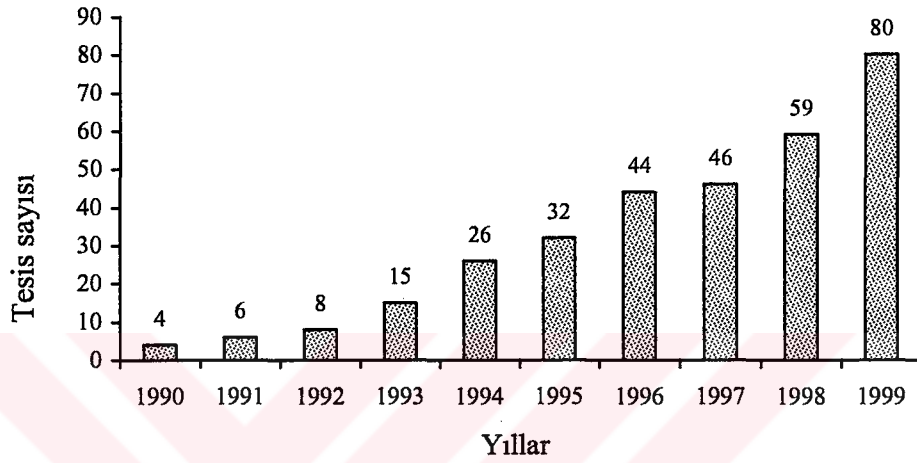
4.2 Katı Atıkların Bertarafı

Değişik ülkelerde evsel katı atıkların bertarafında kullanılan yöntemler (geri kazanma, kompostlaştırma, yakma ve depolama) Çizelge 4.1 'de verilmiştir (Williams, 1999). 20 ülke ortalamasına göre halihazır katı atık bertaraf yöntemleri içinde kompostlaştırma alternatifini kullanım oranı %5.1'dir.

Çizelge 4.1 Bazı ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemleri (%) (Williams, 1999)

Ülke	Yakma	Depolama	Kompostlaştırma	Geri Kazanım
Avusturya	11	65	18	6
Belçika	54	43	-	3
Danimarka	48	29	4	19
Finlandiya	2	83	-	15
Fransa	42	45	10	3
Almanya	36	46	2	16
Yunanistan	-	100	-	-
İrlanda	-	97	-	3
İtalya	16	74	7	3
Lüksemburg	75	22	1	2
Hollanda	35	45	5	15
Norveç	22	67	5	6
Portekiz	-	85	15	-
İspanya	6	65	17	12
İsveç	47	34	3	16
İsviçre	59	12	7	22
ABD	16	67	2	15
Kanada	8	80	2	10
Japonya	75	20	5	-

Bununla beraber, entegre katı atık yönetim sistemleri içinde, organik bileşenli katı atıklar için ucuz ve etkili yöntem olarak kompostlaştırma işleminin popüleritesi, hızlı bir şekilde artmaktadır (Sesay vd., 1998). ABD’de, evsel katı atık bertaraf yöntemleri içinde kompostlaştırma işlemi önemli bir yer bulmaktadır (Schwab vd., 1994). İngiltere’de de merkezi kompost tesislerinin sayısında zamanla hızlı bir şekilde artış görülmektedir (Şekil 4.1). Son yıllarda Ülkemizde özellikle turistik yörelerde kompost tesisi kurmak için araştırmalar devam etmektedir.



Şekil 4.1 Yıllara göre İngiltere’de kompost tesislerinin inşası (Slater, vd., 2001)

4.3 Kompostlaştırma İşlemi

Kompostlaştırma, organik maddelerin biyolojik olarak ayrışmasını kapsayan bir prosestir (Epstein 1997). Kompostlaştırma, uygun yöntem ve ekipmanlar kullanılarak katı atık içinde bulunan organik maddelerin kontrollü bir şekilde mikroorganizmalar tarafından çürütülerek, toprak için faydalı olan humus benzeri bir maddeye dönüştürülmesidir.

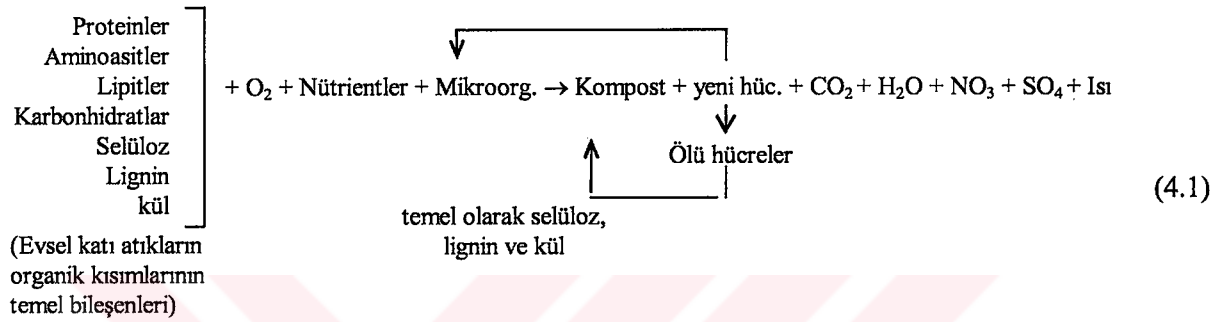
Kompostlaştırmanın genel hedefleri; (1) ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek, (2) katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve yabancı ot tohumlarını yok etmek, (3) maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak, (4) bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir (Tchobanoglous, 1993).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilir.

4.3.1 Aerobik Kompostlaştırma

Kompostlaştırma denince yaygın uygulanma nedeniyle aerobik kompostlaştırma akla gelmektedir.

Aerobik kompostlaştırma madde ayrışmasını hızlandırır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir. Aerobik kompostlaştırma aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimize eder (Metcalf & Eddy, 1991). Prosese giren ve çıkan maddeler Denklem (4.1)'deki gibi ifade edilebilir.



Katı ve sıvı atıklar içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşiklere, bilhassa CO_2 ve H_2O 'ya dönüşür. Mikroorganizmaların metabolizma olayları neticesinde açığa çıkan ısı ile materyal $60-65^\circ C$ ye kadar ısınır. Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç fazda gerçekleşmektedir:

- Şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddelerin kuvvetli ısı çıkışıyla birlikte kısa sürede parçalanması,
- Zor ayrışan bileşiklerin (hemiselüloz, yağ, lignin, reçine vs.) nispeten uzun süren parçalanması,
- Mineralizasyon

Kompostlaştırmada proses sonrasında üretilen kompostun değerlendirilmesi önemli bir avantaj olduğu için mineralizasyon işleminden kaçınılmalıdır. Aksi takdirde kompostun humus değeri önemli ölçüde düşer. Yani kompost ne kadar fazla humus türü organik madde ihtiva ederse, tarım bakımından o kadar kıymetlidir. Bundan dolayı da işlem hijyenik şartlar sağlayıncaya kadar devam ettirilir (Baştürk, 1979).

Evsel çöpler bilhassa arıtma çamuru ile birlikte kompost yapmaya elverişlidir. Evsel çöpün 3/4'ü kompost olabilecek özelliktedir. Yiyecek artıkları, bahçe artıkları, kağıt, karton vb.

kompostlaştırmaya uygun atık türleridir. Hayvan çiftliği atıkları ve gıda sanayi atıkları da kompost yapılabilir. Atıkların kompostlaştırılması ile ilgili araştırmalar 50'li yıllara kadar dayanmaktadır (Wiley, 1955, Wiley, 1956, Reeves, 1958, Schulze, 1958, Meechin, 1961, Wilson, 1961, Wiley, 1962). Bazı laboratuvar ölçekli çalışmalarda kullanılan atıklara ait özellikler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Kompostlaştırmada işletme kontrolü için kullanılan temel değişkenler; sıcaklık, su muhtevası, uçucu katı madde, oluşan CO₂ ve havalandırmadır. Çizelge 4.3'de literatürde geçen adyabatik, sıcaklık ve oksijen kontrollü, pH ve C/N oranı ayarlamalı vb. gibi farklı deneysel şartlarda yapılan kompostlaştırma çalışmalarından bazıları verilmiştir.

Çizelge 4.2 Laboratuvar ölçekli çalışmalarda kullanılan materyallerin başlangıç şartları

Materyal	Su Muh. (%)	Karbon Muh. (%)	Toplam N (%)	C/N oranı	pH	Kaynak
Org. katı atık:atık kağıt: gözenek mater.	71.7-8.5-8.3 (50-60)*					Bari vd, 2000
Kahve kabuğu: filtre keki: kümes hayvanı atığı: odun parçaları	87-80-15.5	49-45-30	1.7-1-3.4	28-45-8.7 (20-30)	5.8-8.3-8.97	Sánchez, vd., 1999
köpek besini: talaş:aşı= 10:9:1	(55)	44.8	2.73	16.4	5.29 (8.5)	Nakasaki, 1998),
Domuz gübresi	73.5-82.1	53.0-54.3	2.6-3.3	20.4-16.5	7.3-8.1	Lo, vd., 1993
Yosun	28.2-38.6	50.9-52.5	2.8-3.4	18.2-15.4	3.5-3.9	
Bıçkı talaşı	54.3-60.7	55.2-55.6	0.02-0.3	2760-185	4.6-5.1	

*parentez içindeki veriler ayarlanmış değerleri göstermektedir.

Çizelge 4.3 Laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli yapılan kompost çalışmaları

Reaktör özellikleri	Reaktör hacmi	Materyal Özellikleri	Kaynak
Ototermal (60 °C) Φ45 mm, h=100 mm	0.2 L	Çamur (night soil dışkı): talaş: Aşı= 1.25:3.31:0.24 (gr) Çamur (night soil dışkı): perlit: Aşı=1.24:3.31:0.24 (gr)	Nakasaki, K., vd. 2001
Adyabatik reaktör	200 L	Anason ve arıtma tesisi çamuru, 100 kg	Demir vd.,
Adyabatik reaktör, h=2.2 m	200 L	Organik KA:atık kağıt:talaş: %75:%12.5:%12.5 (ıslak ağ.).	Bari vd, 2000
İki ayrı reaktör sıcaklık kontrollü	1) 30 L 2) 2 L	Sebze atık:pirinç kabuk (göz mater): Aşı 1) 5:1 (w/w) 2) 8:1. 7:1. 6:1. 5:1. 4:1	Huang, Ju-S., vd. 2000
Yığın	1 m ³	Kahve kabuğu:filtre keki: kümes hayvanı atığı:odun parçaları	Sánchez, vd., 1999
Windrow yığın, 12 adet (w=2.5-2.7; h=1.2-1.5; L=9-10m)	19 m ³	Sığır dışkı ve idrarı, yatak materyali ve ilave saman	Shi, W., vd. 1999
Ototermal 300x400 mm	28.3 L	Çim kırıntıları: aşı (komp) =10:1 (w/w) 1728 g KM	Nakasaki vd., 1994
Adyabatik 10 adet, RSI-1,4 Fiber glass PVC	55 L	Gübre:Turba yos., 5:1.3:1 Gübre:Bıçkı tozu 2:1:0; 3:1:0 ; 6:1:1; 8:1:1. 1:0:0 Gübre:Turbo yos.:Bıçkı tozu	Lo, vd., 1993
Ototermal reaktör, pH kontrollü, elek. şerit ısıtıcı ile çevrili	28 L	Pirinç: çöp (pirinçsiz): aşı (kom)=0+2400+2700=5100 gr Pirinç:çöp(pirinçsiz): aşı(kom)=1200+1200+2700=5100 gr Pirinç: çöp (pirinçsiz): aşı (kom)=0+2400+2700=5100 gr	Kubota, 1991
Tam ölçekli reaktör, sıcaklık kontrollü 121.9 ^m x6.1 ^m x2.9 ^m		Çamur : talaş : ağaç kabuğu : kompost (geri kazanılmış)= 1.0 : 0.3 : 0.4 : 2.8 (hacim olarak)	Kuter vd., 1985
İzotermal reaktör	0.45 L	Sentetik hazırlanmış EKA, 100 gr (yaş ağırlık olarak)	Clark vd., 1977

4.3.2 Anaerobik Kompostlaştırma

Anaerobik kompostlaştırma, organik maddelerin oksijensiz ortamda biyolojik ayrışmasıdır. Anaerobik ayrışmanın metabolik son ürünleri metan, karbondioksit ve düşük molekül ağırlıklı organik asitler gibi çok sayıda ara ürünlerdir (Haug, 1993). Anaerobik kompost prosesinde, yaş ağırlık bazında reaktöre alınan organik katı atığın takriben % 12'lik kısmı % 55-60 CH₄ ihtiva eden biyogaza dönüşür. Ayrı toplanmış organik katı atıkların tonu başına 130-160 m³ biyogaz üretilmektedir (Öztürk, 2000). Literatürde verilen değerlere bakıldığında metan muhtevası %42-65 arasında değişmektedir (Demirekler, vd., 2000). Bazı organik atıklar ve arıtma çamurları için elde edilen metan içerikleri ve oluşum değerleri Çizelge 4.4'de

verilmiştir. Toplam gaz oluşumu genellikle uçucu katı madde (UKM) giderme yüzdesinden tahmin edilir. Tipik değerler 0.75 ile 1.12 m³ gaz / kg giderilen UKM olarak verilmektedir (Filibeli, 1996).

Çizelge 4.4 Bazı organik atıklarda anaerobik parçalanma verimleri

Organik atıklar	Metan üretimi. m ³ /kg UKM	Metan içeriği, %	Kaynak
EKA	0.2	-	Chynoweth vd. (1993)
EKA	0.24	59.6	Badawi vd.
EKA	0.21-0.24	55	Arıkan, 1996
Tarımsal kalıntılar	0.337	58.6	Badawi vd.
Tavuk	0.275	55	Alyanak, ve Filibeli, 1987
85%-EKA+15% Çamur	0.29-0.23	57-53	Szikriszt (1992)
Gül posası	0.28	72	Tosun vd. (2002)

Anaerobik çürüme bir seri organizma grubu tarafından yürütülen biyolojik bir bozunma işlemidir. Anaerobik bozunma işleminin mekanizması Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Son grup bakteri metan oluşturmuculardır. Bu bakteriler pH değişimleri, ağır metal konsantrasyonları, deterjanların varlığı, alkalinite, amonyak, sülfür ve sıcaklık değişimlerinden çok etkilenirler.

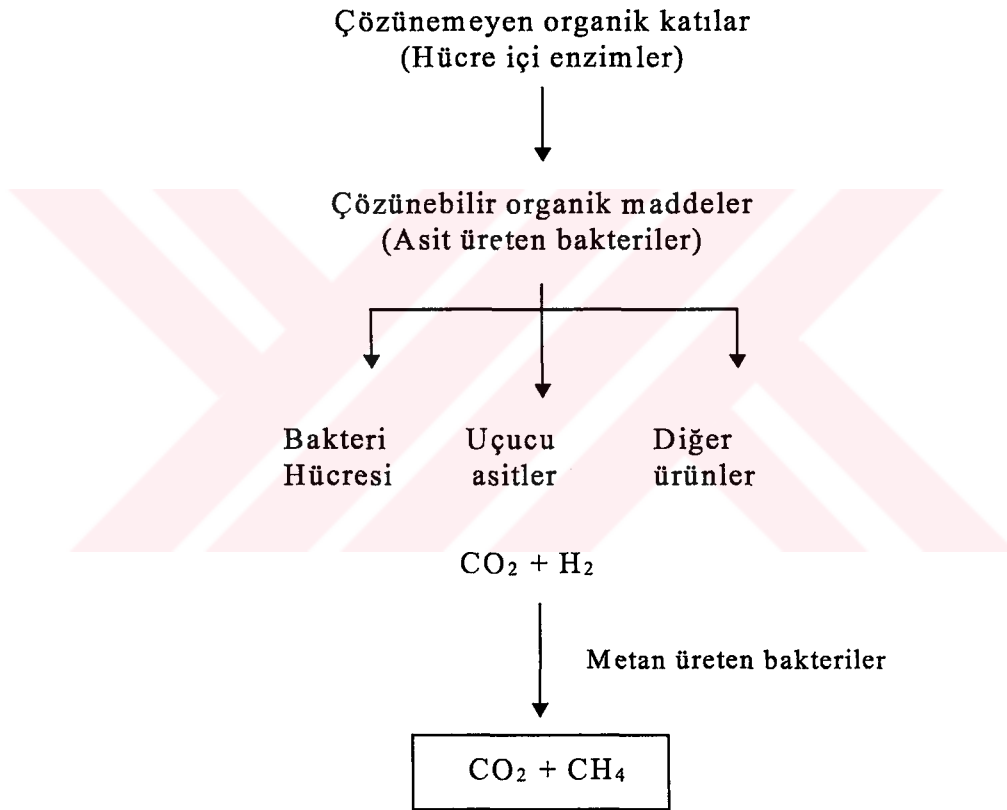
Metan gazının standart sıcaklık ve basınç altında net ısı değeri 35800 kJ / m³’dür. Çürütücü gazı yaklaşık olarak % 65 oranında metan içerdiğinden, çürütücü gazının ısı değeri bu değerden daha düşüktür (yaklaşık olarak 22400 kJ / m³).

Biyogaz; ısıtma, pişirme, aydınlatma, içten yanmalı motorlarda yakıt ve soğutma gibi değişik maksatlarla kullanılabilir. 6 kişilik bir ailenin bir günlük pişirme ve aydınlatma ihtiyaçları 2.43 m³ biyogaz ile karşılanabilmektedir (Demir, 1993).

Aerobik ve anaerobik prosesin karşılaştırılması Çizelge 4.5’da verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, proses süresi anaerobik sistemde daha fazladır. Öncelikli hedef, aerobik sistemlerde hacim azalması iken, anaerobik sistemlerde enerji üretimidir.

Çizelge 4.5 Aerobik ve anaerobik prosesin karşılaştırılması (Tchobanoglous, 1993)

Özellik	Aerobik proses	Anaerobik proses
Enerji kullanımı	Net enerji tüketimi	Net enerji üretimi
Nihai ürün	Humus, CO ₂ , H ₂ O	Çamur, CH ₄ , CO ₂
Hacim azalması	%50'ye kadar	%50'ye kadar
Proses süresi	20-30 gün	20-40 gün
Öncelikli hedef	Hacim azalması	Enerji üretimi
İkincil hedef	Kompost üretimi	Hacim azalması, atık stabilizasyonu



Şekil 4.2 Anaerobik bozunma işlemi mekanizması (Filibeli, 1996)

4.4 Kompostlaştırma İşlemine Etki Eden Faktörler

Kompostlaştırma işlemi üzerinde etkisi olan belli başlı parametreler, aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

4.4.1 Sıcaklık

Mikroorganizmalar organik maddelerle beslenirken ısı açığa çıkarırlar. Ortamdaki ısının yükselmesi hem mikroorganizmaların aktivitesinin bir ölçüsü hem de patojen mikropları öldürme aracıdır. Patojen bakteriler sadece çıkan ısıyla değil, metabolizma ürünü bileşikler dolayısıyla da öldükleri tespit edilmiştir. Her mikroorganizma kendisine uygun bir sıcaklıkta yaşayabilir. Kompostlaşan kütlede sıcaklık arttıkça ölen mikroorganizmaların yerini yeni duruma adapte olan türler alır. Bu da genelde daha hızlı bir ayrışmaya yol açar. Ne var ki, 55°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompostlaştırma verimi ve hızı önemli oranda düşer. Belirli bir süre devam eden sıcaklık, hastalığa yol açan mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek, iyi kalitede bir kompost açığa çıkmasına sebep olur (Genois, 1995).

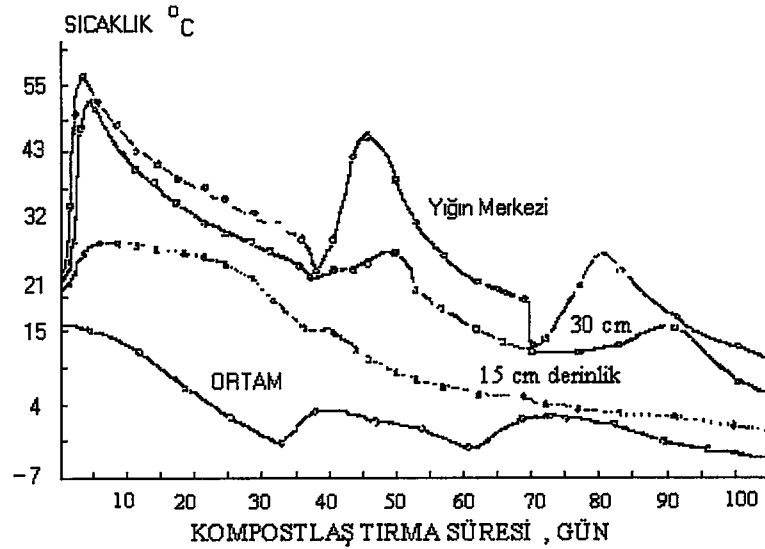
Kompostlaştırma prosesi boyunca sıcaklığın değişimine ilişkin bir örnek Şekil 4.3 'de gösterilmiştir. Şekilden, adaptasyon fazının kısa sürede gerçekleştiği, sıcaklığın arttığı ve en yüksek sıcaklığın yığın merkezinde olduğu görülmektedir (Walke, 1975, Epstein 1997'den).

Yüksek sıcaklıklarda hastalığa sebep olan organizmalar yok olduğu için, kompostun yüksek sıcaklığa ulaşması halk sağlığı açısından önemlidir. Ancak yüksek sıcaklığı dikkate alarak kompostlaştırma verimini ölçmek yanlıştır.

Yüksek reaksiyon hızları için aşırı yüksek sıcaklıklar gerekli değildir. Eğer materyaldeki sıcaklık 75 veya 85 °C'ye yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı muhtemelen azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını artırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekir (Haug, 1980).

Optimum kompostlaştırma sıcaklığı ile ilgili bulgular çoğu zaman çelişkilidir. Bunun sebebi kullanılan besi maddesinin farklı olmasıdır (Clark, 1977). Maksimum degradasyon için sıcaklığın etkisini ortaya koymak için yapılan çalışmalarda optimum sıcaklık 40 °C ila 50 °C arasında bulunmuştur (Clark, 1978; Kuter vd., 1985; Hamoda vd., 1998; Tuomela vd., 2000).

Kompostlaştırma işleminde proses kontrolü için bilgisayar programları geliştirilmiştir. Sıcaklık izlenerek, sisteme hava miktarı kontrollü verilmektedir. Bu amaçla kullanılmak üzere, proses kontrol optimizasyonunu sağlayacak çalışmalar devam etmektedir (Kain ve Shimp, 1996).



Şekil 4.3 Organik katı atık ve ağaç kabuğu kompost yığınınındaki farklı noktalarındaki sıcaklıkların değişimi (Walke, 1975, Epstein 1997'den)

4.4.2 Karbon Azot Oranı (C/N)

Mikroorganizmalar, karbon, azot, kükürt, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve diğer eser elementlerden besin maddesi olarak faydalanırlar. Karbon, mikroorganizmaların enerji ihtiyacını karşılamada ve büyümeleri için kullanılırken, azot protein sentezi için kullanılır. Hücre içine dahil olan azot mikroorganizmalar öldüğünde tekrar mevcudiyeti devam ederken; karbonun büyük kısmı solunum esnasında CO_2 olarak ortamdan uzaklaşır. Kalan kısmı da mikrobiyal büyüme için azotla birleşir (Graves ve Hattemer, 2000). Genelde karbona göre daha az bulunan azot elementinin yeterli oranda bulunması, kompostlaştırmanın devamı için büyük önem arz eder. Bu yüzden, bitkisel proteini baskın biçimde içeren evsel veya endüstriyel atık türleri kompost yapılabilme açısından çok elverişlidir.

Hızlı ayrışmanın olması için başlangıç karbon azot oranının 20 - 35 olması önerilmektedir (Epstein, 1997; Graves ve Hattemer, 2000; Tabasaran, 1979). Eğer C/N oranı 30'u geçerse, biyolojik aktivite yavaşlar ve prosesin tamamlanabilmesi için daha çok süreye ihtiyaç duyulur. Diğer taraftan, tam tersi bir durumda yani azot miktarı fazla ise, başka bir deyişle C/N oranı 25'in altındaysa, amonyak açığa çıkar bu da mikroorganizmalara zarar verir ve koku oluşmasına yol açar. Bu nedenlerle, eğer atıkların C/N oranı oldukça yüksekse atığa azotlu maddeler eklenerek bu oran düşürülür, yok eğer C/N oranı oldukça düşükse karbonlu atıklar ilave edilir (Diaz, 1993). Farklı atıklar için azot içeriği ve C/N oranı Çizelge 4.6'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Farklı atıklar için azot içeriği ve C:N değerleri

Atık türü	Azot (%)	C:N	Kaynak
Evsel katı atık	1.2-2.7	13-31	Epstein, 1997
Sebze atıkları	3.2	15.6	Epstein, 1997
Mısır koçanı	0.4-0.8	56-123	Graves ve Hattemer, 2000
Pirinç kabuğu	0-0.4	113-1120	Graves ve Hattemer, 2000
Kağıt	0.25	173	Graves ve Hattemer, 2000
Talaş	0.1	200-500	Diaz vd., 1993
Aktif çamur	5	6	Diaz vd., 1993
Çim kırpıntıları	3-6	12-15	Diaz vd., 1993
Yaprak	0.5-1.3	40-80	Graves ve Hattemer, 2000
Sığır gübresi	1.5-4.2	11-30	Graves ve Hattemer, 2000

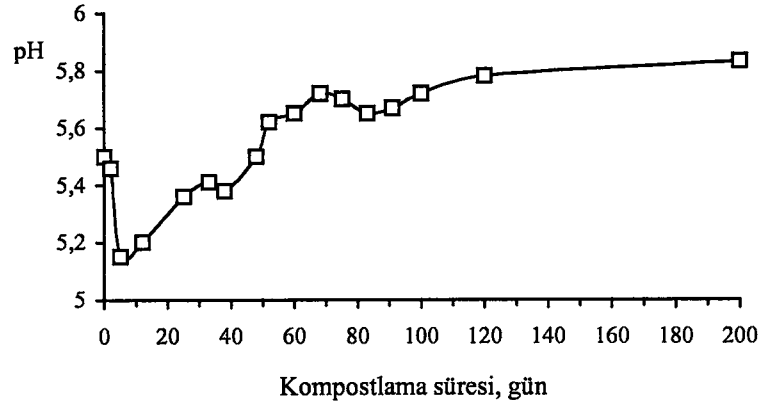
4.4.3 pH

Her mikroorganizma grubunun yaşadığı belli bir pH aralığı mevcuttur. Genel olarak bakterilerin optimum pH aralığının, 6-8 arasında olduğu söylenebilir. Buna karşılık mantarlar asidik ortamı tercih ederler.

Başlangıç değeri ne olursa olsun kompostlaşma süresi sonunda pH 7.8-8.0 arasında stabil hale gelir (Graves ve Hattemer, 2000). Başlangıçta CO₂ ve organik asitlerin oluşumu nedeniyle pH değeri yaklaşık 5-6 seviyesine düşerken, proses ilerledikçe 8.0-8.5 seviyesine kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla, CO₂ eliminasyonundan olduğu kadar proteinlerin ayrışmasından da ileri gelmektedir (Sharma, 1997).

Demir vd. tarafından yapılan anason atıklarının kompostlaştırılması çalışmasında pH'ın başlangıç aşamasında arttığı, stabilizasyon sonrasında 8.5 ve olgunlaşma sonrasında 7.2 ile 8.7 değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

Evsel organik atıklar ve ağaç kabuğu karışımının kompostlaştırılması sürecine ait pH değişimi eğrisi Şekil 4.4 'te gösterilmiştir. Başlangıçta pH değeri organik asitlerin oluşumu sonucunda 5.5'ten 5.1'e düşmüş, daha sonra sıcaklık artışı ile beraber pH değeri de artmıştır (Epstein, 1997). Tuomela vd, (2000) sıcaklık artışı ile pH'ın 7.5 seviyesinde seyrettiğini ifade etmişlerdir. Tamamlanmış kompostun asitli topraklar üzerinde ayrıca bir alkalileştirme özelliği bulunmaktadır.



Şekil 4.4 Evsel organik atıkların yığın kompostlaştırılması boyunca pH değişimi (Epstein, 1997)

4.4.4 Su Muhtevası

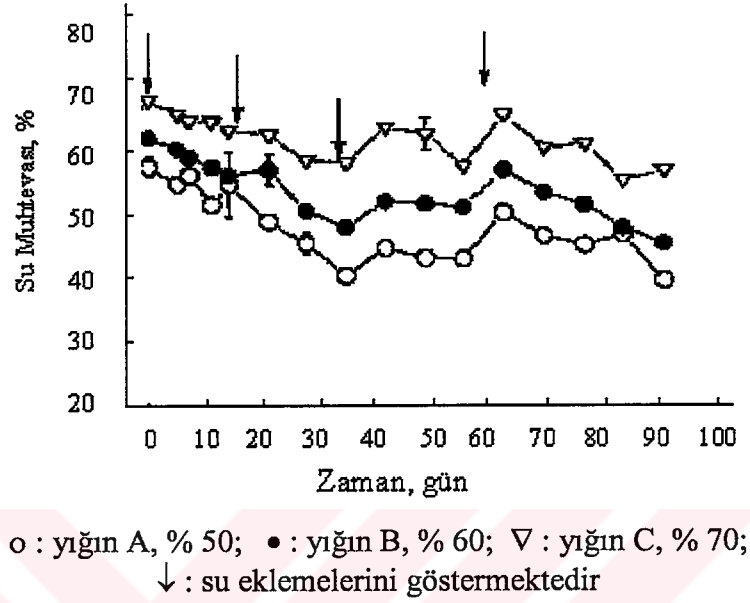
Kompost olacak atığın içindeki gözeneği dolduran su ve hava birbiri ile ters orantılıdır. Su miktarının fazla olması halinde, boşluklar su ile dolacağı için, ortamdaki hava cereyanı engellenmiş olur. Evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında su muhtevası % 50-60 olarak önerilmektedir.

Hachicha vd. (1992), evsel katı atıkların kompostlaştırılması çalışmasında, üçüncü haftadan itibaren ve yığınlar karıştırıldığı zaman, ortama su eklemek suretiyle kompostlaştırmanın aktif safhası boyunca nem içeriğinin, %50 civarında sürdürülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Çim kırıntılarının kompostlaştırılması üzerine yapılan bir çalışmada, CO₂ oluşumunun nem oranlarıyla değiştiği ve en yüksek seviyede karbon dönüşümünün gözlemlendiği nem seviyesinin % 50'de olduğu belirtilmiştir (Nakasaka et al., 1994). Benzer biçimde, Amerika'da bir kompostlaştırma tesisinde (Puyallup), tesise çim kırıntıları geldiğinde nem muhtevasının % 45-60 arasında sürdürüldüğü zaman havalanmayı kolaylaştırıcı herhangi bir gözenek materyali eklemeksizin başarılı bir şekilde kompost yapılabilirdi, nem oranının % 55-60'ı aşması halinde ise, havanın iç kısımlara doğru ulaşmasını temin etmek için kütlenin gözenekli hale getirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Goldstein, 1997).

Huang vd. (2000) tarafından yüksek nem içeriği olan sebze atıklarının (% 94-96) kompostlaştırılması ile ilgili yapılan çalışmada, kompostlaştırma işlemi öncesi atıkların nem içeriği %80'e ininceye kadar kurutulmuştur. Nem muhtevası ve C/N oranını ayarlamak için

gözeneklilik malzemesi olarak pirinç kabukları kullanılmıştır. Kompostlaştırma prosesi boyunca nem muhtevsındaki değişim Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, proses süresince ortamın nem muhtevası kontrol edilerek kompostlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Domuz gübresi talaş karışımının kompostlaştırılmasında nemin değişimi (Tiquia, 1996)

4.4.5 Havalandırma ve Karıştırma

Aerobik kompostlaştırma için mikrobiyal aktivite oksijen varlığı ile mümkündür. Üç temel havalandırma yöntemi vardır: Kütleli fiziksel olarak karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma. Statik sistemlere oksijen, bir üfleyici veya konvektif hava akımı ile temin edilirken, yığın sistemlerde ilk iki yöntemin ikisi de kullanılır. Pasif havalandırma olarak adlandırılan sonuncusu, tüm kütle hacminin porozitesine önemli derecede bağlıdır (Epstein, 1997).

Farklı uygulamalar olarak; ototermal reaktörle yapılan bir çalışmada, kompostlaştırılacak materyalin karıştırılması, sıcaklık 43 °C'ye yükseldiğinde ve daha sonra da sıcaklık 60 °C'ye ulaştıktan sonra her 24 saatte bir elle yapılmıştır (Kubota vd., 1991). Tam ölçekli reaktör sisteminde yapılan bir çalışmada ise (Kuter vd., 1985), kompost kütlesi yükleme yapıldıktan 6 ila 9 gün sonra karıştırılmıştır.

Havalandırmasız yığınlarda, karıştırma işleminden çok kısa bir süre sonra yığının iç kısımlarında oksijen tükenmektedir (Epstein, 1997). Bu durumdaki yığınlar çevrildiği zaman

kötü kokular açığa çıkar. Bu problem, yığınlara uygulanan negatif hava sayesinde geri çekilen havanın biyofiltrelerde temizlenmesi suretiyle düzeltilmektedir.

Statik yığınlarda, üfleyici kapatıldıktan sonraki 20 dakika içinde oksijen çok düşük seviyelere iner. Bundan dolayı havalandırmalı statik yığın kompostlaştırmada üfleyiciler hem sıcaklık hem de zamana göre ayarlanır. Açıp kapama periyodu arasındaki aralık yaklaşık 15 dakika olarak önerilmiştir (Epstein, 1997). Aerobik mikroorganizmalar % 5 oksijene kadar hayatiyetlerini devam ettirebilirler. Ancak optimum oksijen konsantrasyonunun % 10'dan daha büyük olması dikkate alınır [2] Bu değerin %14-%17 seviyesinin uygun olduğu Uğurlu, 1995) tarafından belirtilmiştir.

Kompost kütleini terk eden hava, kompost kütlei sıcaklığında su buharı ile doymuş halde bulunacaktır. 60°C'de yığını terk eden her m³ hava, 130 g su ve beraberinde 23.5 kJ ısıyı dışarıya taşır. %10 CO₂ içeren 1 m³ hava ise yığından 25 g karbonu uzaklaştırır. Kompost üretiminde karbonun yarısı CO₂ olarak uzaklaşır. Bu yüzden, atığın başlangıçtaki karbon içeriği belirlendiğinde, kompostlaştırma için gerekli olacak minimum hava miktarını ve buhar olarak açığa çıkacak minimum su miktarını hesaplamak mümkündür. Kompostlaştırma sistemlerinde sıcaklık ve nem içeriği tek başına günlük kontrol için yetmektedir (Uğurlu, 1995).

Karıştırma işlemi, buharlaşmayla su kaybını en aza indirmek ve ısı kaybını önlemek için hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Clark vd. (1977), soğuk mevsimlerde, ısı kaybını önlemek için sisteme verilen havanın ön ısıtılmasını önermektedir.

Schultze (1960) tarafından küçük reaktörlerle yapılan çalışma sonucunda, oksijen tüketimi sıcaklığa bağlı olarak Denklem (4.2)'deki gibi ifade edilmiştir (Epstein, 1997):

$$Y = a10^{KT} \quad (4.2)$$

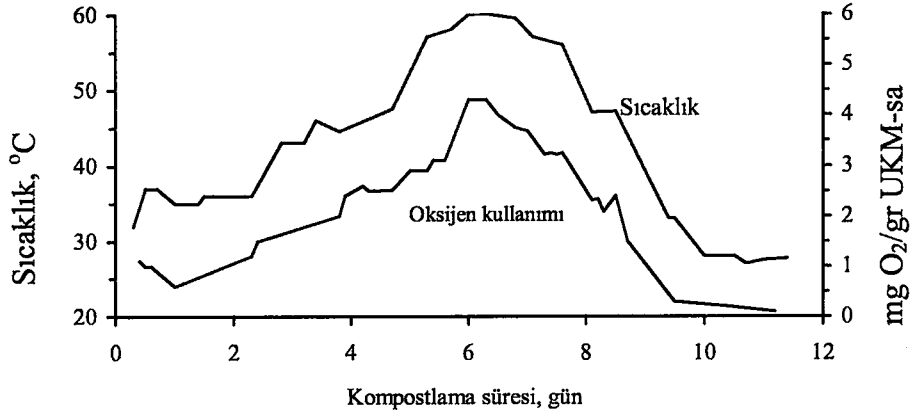
Burada; a ve K sabit(a=0.1; K=0.28), T sıcaklık (°C)

Bu veri sadece ilk yedi gün için geçerlidir. Yedinci günden sonra sıcaklıktaki düşüşle birlikte oksijen tüketiminin de azaldığı aynı çalışmada belirtilmiştir (Şekil 4.6). Bir havalandırmalı statik yığın için oksijen ve karbondioksit arasındaki ilişkiye en iyi örnek Şekil 4.7 'da gösterilmiş olup O₂ ve CO₂ arasındaki korelasyon R² = 0.951 olarak hesaplanmış ve regresyon denklemi Y = 19.15 - 0.857 X olarak bulunmuştur (Epstein, 1997). Mikrobiyal aktivitenin artması ile oksijene olan talebin artışı Denklem (4.3)'de ifade edilmiştir (Haug, 1993).

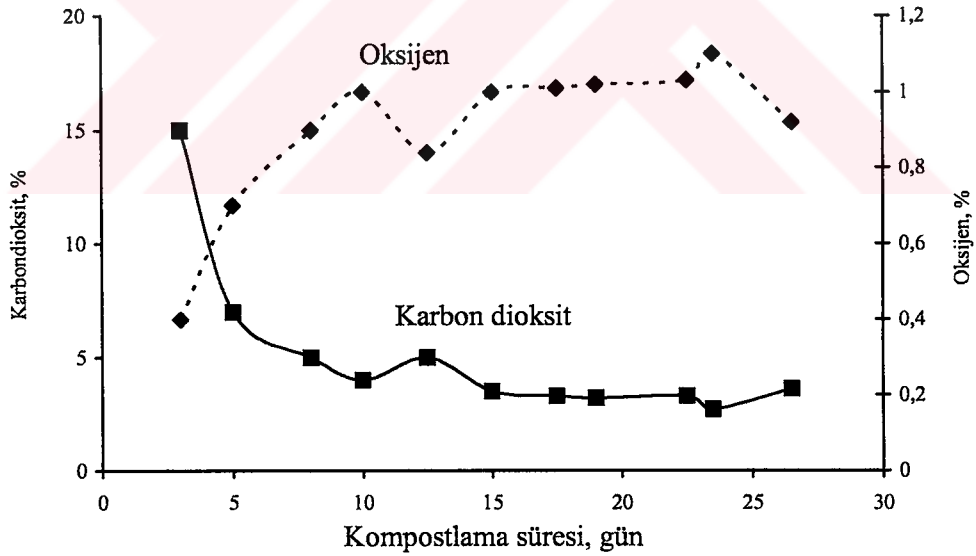
$$W_{O_2} = 0.11 \cdot (1.066)^T \quad (4.3)$$

Burada = W_{O_2} , oksijen tüketim hızı, mg O_2 /gr UKM-sa

T= 20°C için 2 mg O_2 /gr UKM-sa, T= 60°C için 6 mg O_2 /gr UKM-sa



Şekil 4.6 Laboratuvar ölçekli bir reaktörde suni hazırlanmış EKA'nın kompostlaştırılması süresince sıcaklığın ve oksijen kullanımının değişimi (Epstein, 1997).

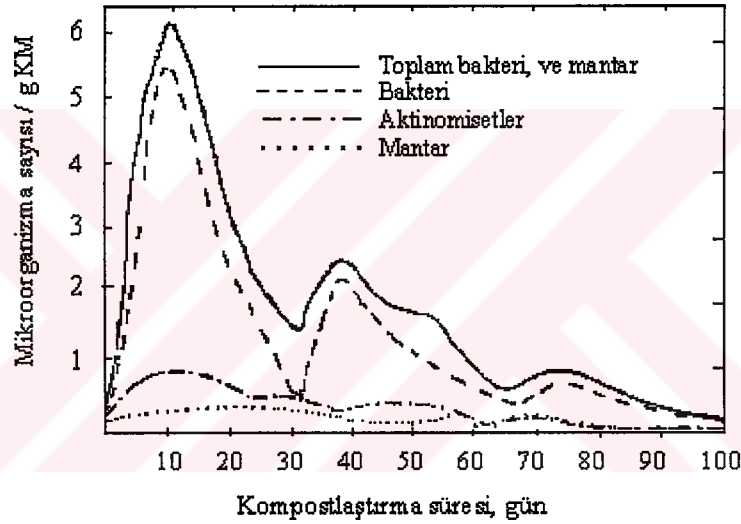


Şekil 4.7 Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırılması süresince oksijen ve karbondioksitteki değişim (Epstein, 1997).

4.4.6 Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma işlemi, nemli tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta

çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. İlk aşamada mezofilik bakterilerle beraber aktinomisetler, maya ve diğer mantarlar; yağları, proteinleri ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Protozoa; bakteri ve mantarlarla beslenir. Sıcaklık 40-50°C'ye ulaştığında kompostlaştırmayı başlatan organizmaların hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70°C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Kompostun 60-70°C sıcaklığa ulaşan kısımda, bir kaç sporun dışında temel olarak bütün patojenik organizmalar bir kaç saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendileri için mevcut besini tükettiklerinde ısı üretmeyi durdururlar ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan kompostta, geriye kalan besinle beslenen, genellikle mantar ve aktinomisetlerden oluşan yeni bir grup organizma çoğalır (Uğurlu, 1995). Kompostlaştırma süresince değişik mikroorganizmaların sayısındaki değişimler Şekil 4.8 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Eysel organik atıkların ve ağaç kabuğunun yığın (windrow) kompostlaştırması sırasında mikroorganizma sayısındaki değişim (Epstein,1997)

Reaksiyona hakim olan organizmaların cinsi katı atık boyutuna, su muhtevasına, oksijen teminine, sıcaklık çıkışına ve indirgenme derecesine bağlıdır. Bakteriler çok değişik çevre şartlarında ve değişik sıcaklık ve nem durumlarında yaşayabilirler. Mantarlar 20 - 30 °C arasında daha kuvvetle çoğalırlar. Maddeleri indirgeyip vitamin, pigment, antibiyotik ve benzeri bileşikler sentez edilebilir. Aktinomisetler de 30 - 40 °C arasında daha iyi yaşarlar. Bunlar selüloz, yağ, fenol ve lignini indirgerler. Bakteri ve mantar yiyen protozoalar, 40 °C üzerinde ölürler. Kompostlaşan materyal içinde sinekler, böcekler, küçük hayvancıklar ve benzerleri bulunabilir.

Lei ve VanderGheynst (2000) yaptıkları çalışmada, aşının, mikrobiyal topluluk yapısına ve ayrışma seviyesine etkisinin önemsiz olduğunu ve buna karşılık pH ayarlamasının önemli etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

4.5 Kompostlaştırma Yöntemleri

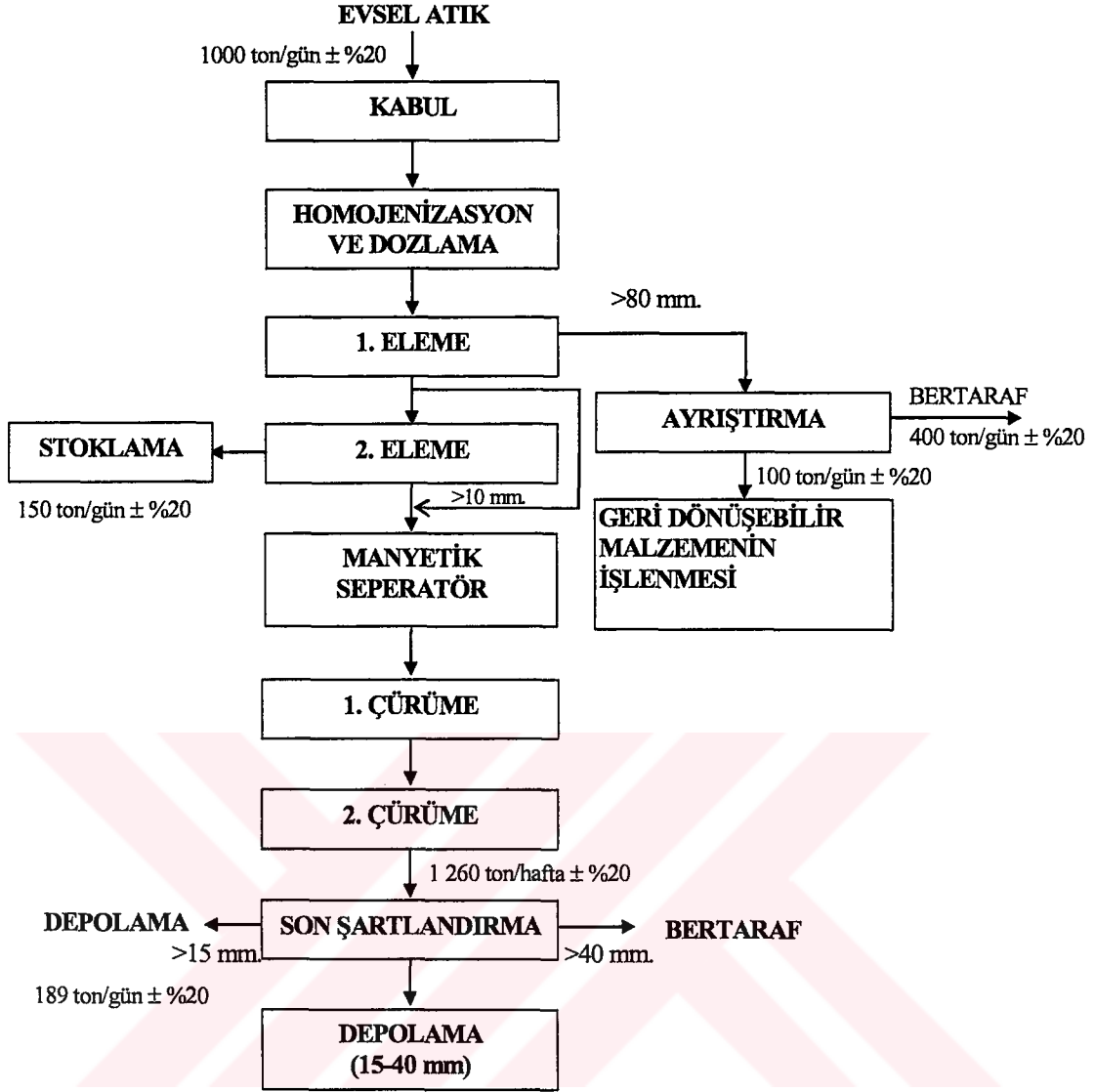
Açık kompostlaştırma (yığın) ve kapalı kompostlaştırma (silo, hücre) adı altında birçok yöntemler geliştirilmiştir. Açık kompostlaştırma, doğal şartlara benzer biçimde cereyan etmektedir. Kapalı kompostlaştırma işlemlerinin avantajları; yüksek kapasiteli olmaları, kısa sürede tam olgun kompost üretebilmeleri ve iklim şartlarına bağlı kalmaksızın sürekli ve kontrollü üretim yapabilmeleridir. Dezavantajları ise kuruluş maliyetleri ile bakım giderlerinin yüksek oluşu ve fazla enerji ihtiyacıdır.

Ülkemizde en önde gelen tesis örneği, inşaatına Ağustos 1998'de başlanan, İstanbul Kompostlaştırma ve Geri Kazanma Tesisi 12 Mart 2001 tarihinde deneme işletmesine alınmıştır. Tesise ait kapasite bilgileri Çizelge 4.7 'de ve tesise ait akım şeması Şekil 4.9 'da verilmiştir (Demir vd., 2001). Çizelge 4.8 'de, mevcut kompostlaştırma teknolojilerinden bazılarının temel özellikleri açıklanmıştır.

Çizelge 4.7 İstanbul kompostlaştırma ve geri kazanma tesisi kapasite bilgileri
(Demir vd., 2001)

Ortalama su muhtevası	% 55
Organik madde oranı	% 45 (Bunun % 90'ı 10-80mm arası)
Kül oranı (kışın)	% 15
Toplam tesise gelecek katı atık miktarı	300 000 ton/yıl $\pm$ % 20 (1000 ton/gün)
Fermantasyon ünitesine gelecek katı atık	150 000 ton/yıl
Kompostlaştırma süresi	56 gün
Kompost kalitesi	4 M-10* standardınca kompost sıcaklığı 30-40 °C

*LAGA (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10 (Alman kompost kalite standardı, 1997)



Şekil 4.9 İstanbul evsel katı atık kompost tesisi proses akım şeması (Demir vd., 2001)

Çizelge 4.8 Kompostlaştırma tesis ve süreçleri hakkında özet bilgiler (Uğurlu, A., 1985)

Tesis veya proses ismi	Düzenleme	İşlem	Aritma süresi (gün)	Tipik tesislerin kurulduğu yerler
Baden-Baden (Yığılma)	8 m genişliğinde, serbest düzgün yığınlar. Gerekliğinde yer değiştirebilen kaplama, 3,5 m yükseklik.	Atık elenmiş ancak parçalanmamış. Tabandaki orifislerden hava basarak havalandırma	90	Baden-Baden
Bangalore (Hendeklerde)	hendek kesiti: 1 m derinlik x 2,5 m genişlik	Parçalanmamış atıkların birbiri ardına seviyelendirilmesi, 150 mm kalınlık, 50 mm kalınlık, yığın toprakla kapatılır.	120-150	India
Casfari/ Brikollare (Briketlerde)	Parçalanmış atık, arıtma çamuru ile briket haline getirilir. 500 mm x 250 mm x 150 mm	Genellikle 5 ya da 6 briket katmanı halinde paletler üzerine yığılır ve 4 hafta süreyle bir çatı altında korunur. Havalandırma briketlerdeki girintilerde bulunan geçitlerden sağlanır.	30	Biel/ Biere. Schweinfort
Prat (Sabit hücreler)	Hücreler 2 m yükseklik çitle çevrili, Tabanda delikli hava boruları, delikli boruların bacaları, hücre doldurulurken malzeme içine dik olarak yerleştirilebilir. Bölmeler bina içinde olmalıdır.	Atık parçalanmış ya da parçalanmamış olabilir. Verilen hava ısıtılabilir. Eğer malzeme önceden parçalanmamış ise, malzeme bölmeden alınıp parçalanır ve yığın içine konur.	6-8	Enneptal. Montaubon. Narbonne. Tarbes. Taoulouse.
Dunfix (Döner Bölmeler)	Silindir, 5 m çap, yatay eksen. Silindirin dışı tekerlekler üzerinde destekli, Bölmeye giren boru, eksenel ve bölmenin üst-iç kısımlarına hava sağlamak için yukarı doru eğimli. Gazların boşaltılması için ayrı bir boru bulunmakta.	Uygun atıklar parçalanmamış olabilir. Bölme yarım doldurulur ve atmosferik şartlarda her elemanın her 15 dakikada bir yüzeye çıkmasını ve optimum arıtmanın sürdürülmesini sağlamak için bölme, kendi eksenine etrafında saatte 2 tur (2 rph) döner.	4	Hong Kong. Poole. Worcester (Güney Afrika)
Crane (Sabit Bölmeler)	Uzunlamasına 2 burgulu taşıyıcıya göre şekillendirilmiş, 3 katlı, dikdörtgen paralel borular. Her kat boşluğuna borular hava sağlanmaz. Besleme üst katın üzerindeki köşeden.	Bir burgu ile malzeme sürekli girişten çıkışa doğru hareket ettirilirken, ikinci bir burgu ile tekrar baştaki girişe doğru taşınır. Böylece malzeme aşağıya düşer ya da alt kısımdan bölme dışına atılır.	2-3	Kobe
Dano (Döner Bölmeler)	Bölmeler silindir şeklinde, tipik olarak 3,5 m çap, 25 m uzunluk, uzunlamasına eksen, giriş ucundan çıkışa doğru hafif eğimli.	Her işlem devresinden rotasyon 1 rpm, parçalanmamış olabilen yeni atık alındığında rotasyon 0.5 rpm.	3-5	Auckland. Brasilla. Leichestet. Rome.

4.6 Kompostun Stabilitesi ve Olgunluğu

Kompostlaştırmada nihai hedef, toprak iyileştirmesi ve bitki yetiştirmede kullanılabilen humus benzeri bir madde üretmektir (Epstein, 1997). Üretilen kompostun toprakta güvenli bir şekilde kullanılması gerekir. Stabil organik madde içeriğine sahip olması ve fitotoksik bileşenlerin, bitki ve hayvan patojenlerinin olmaması, kullanma güvenilirliğini sağlayan temel etkenlerdir. Bu maksatla, stabilite ve olgunluk derecesi terimleri literatürde birbiriyle birlikte ve bazen de karıştırılarak kullanılmaktadır. Stabilite kompostun mikrobiyal aktivitesi derecesi ile ilgili iken; olgunluk, bitki gelişme potansiyeli veya fitotoksosite ile ilgilidir. Bununla beraber, fitotoksik bileşenler stabilite derecesi iyi olmayan kompostlarda mikroorganizmalar tarafından üretildiği için genellikle stabilite ve olgunluğun her ikisi de birlikte ele alınırlar. Renk, koku ve sıcaklık gibi fiziksel parametreler ulaşılan stabilizasyon derecesi hakkında genel bir fikir verirken olgunlaşma derecesi için doğrudan fikir vermezler (Bernal vd., 1998).

Stabilizasyon terimi, organik maddelerin oksidasyon derecesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Kompostlaştırma sonucunda oluşan maddeler yavaşta olsa hala ayrışabilme kabiliyetine sahiptirler, fakat başlangığta atık içindeki organik maddelerle karışlaştırıldığında ayrışabilme açısından daha stabil bir durumu ortaya koyarlar. Tam stabilizasyon, bütün organik maddelerin CO₂ ve H₂O'ya oksidasyonu ile olabilir. Böyle bir stabilizasyon istenmez. Çünkü, toprak iyileştirici madde olarak kompostun değeri, içindeki toprağa restore edici özellikler kazandıran yüksek molekül yapılı organik madde kapsamına bağlıdır. Pratikte, türündeki organik maddeler, anaerobik veya kokulu şartlara neden olmayacak düzeye indiği zaman stabilizasyon yeterli kabul edilir. Haug, (1980) tarafından stabilizasyon derecesini ölçmek ve kompost prosesinin şartlarını değerlendirmek için önerilen yaklaşımlar aşağıda verilmiştir:

1. Kesikli kompostlaştırma sonunda sıcaklıktaki düşüş
2. Nihai ürünün kendi kendini ısıtma seviyesindeki düşüş
3. Uçucu katı madde içeriği, KOİ, karbon, kül içeriği veya karbon azot oranı olarak ölçülen kompostun organik madde içeriğinde azalma hızındaki düşüş
4. Oksijen tüketim hızında düşüş
5. Üründe nitrat gibi azot bileşenlerinin varlığı ve amonyak ve nişasta gibi bileşenlerin kalmaması
6. Nihai üründe böcek ve larvalarının çoğalması
7. Toprak kokusunun hakim hale gelmesi ve ısıtıldığında tekrar koku üretme potansiyeli

8. Redoks potansiyelindeki yükselme

9. İşletmecinin tecrübesi

Epstein(1997), kompost stabilitesini ve olgunluğunu değerlendirmek için Çizelge 4.9'de verilen parametreleri önermiştir.

Çizelge 4.9 Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri (Epstein,1997)

Metot	Parametreler
Kimyasal metotlar	C/N Azot türleri (TKN, NH_4^+ -N, NH_3 -N, NO_2 -N, NO_3 -N) TOK Organik madde Toplam PO_4 -P pH Kasyon Değişim Kapasitesi Organik Kimyasal Bileşenler (selüloz, lignin, şeker, hidrokarbonlar vb.) Asetik asit Nişasta –iyot Reaktif karbon (iyi gösterge değil) Hümikleşme parametreleri - Hümikleşme indeksi - Fulvik asidin hümik aside göre nispi konsantrasyonu - Hümik madde - Karboksilli grupların oranı
Fiziksel metotlar	Sıcaklık Renk Koku Spesifik ağırlık Floresans derecesi
Bitki Testleri	Tere tohumu Buğday ve çavdar otu filizlenmesi Bitki kök incelemeleri
Mikrobiyolojik testler ve aktivite	Solunum- O_2 tüketimi Solunum - CO_2 değişimi Mikrobiyal değişimler (mantar, aktinomisetler) Enzim aktivitesi

Aşağıda stabilite ve olgunluk derecesini tespit için kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Bu yöntemlerin her biri tek başına stabilite ve olgunluğun doğrudan göstergesi olmayıp, bunların birkaçının birlikte değerlendirilmesi ile kanaat oluşturulabilmektedir.

4.6.1 Kimyasal Parametreler

▪ C/N oranı

C/N oranının değişimi ile kompost süresi arasında düzenli bir ilişki mevcuttur ($R^2=0.991$). Nihai C/N değerinin başlangıçtaki C/N değerine oranının 0.49-0.85 olması beklenir. Ancak kesin bir gösterge değildir. Sonuçta; C/N < 20 durumuna gelmesi istenir.

▪ Azot türleri

Amonyağın bulunması kompostun olgunlaşmadığının göstergesidir. Buna karşılık, nitratin artması olgunlaşmanın arttığının göstergesidir. Tek başına azot türlerinin tespiti kanaat için yeterli değildir.

▪ pH

Biyolojik aktivitesinin sonucu olarak başlangıçta düşer, sonra 6.5-7.5 seviyesine yükselir. İyi bir gösterge değildir.

▪ Katyon değişim kapasitesi (CEC)

Kasyon tutma kabiliyetini gösterir. Toprağın kalitesinin bir ölçüsü humus varlığının CEC değeri yüksektir. Bu nedenle kompost içindeki humusun artması ile toprağa kazandırılacak CEC değeri de artacaktır. Aerobik kompostlaştırmada 5-8 hafta süresince CEC değeri yaklaşık olarak 40 meq/100 gr'dan 80 meq/100 gr'a kadar artmakta ve sonra aynı kalmaktadır. Olgunluğun göstergesi olarak minimum değer 60 meq/100 gr kabul edilir.

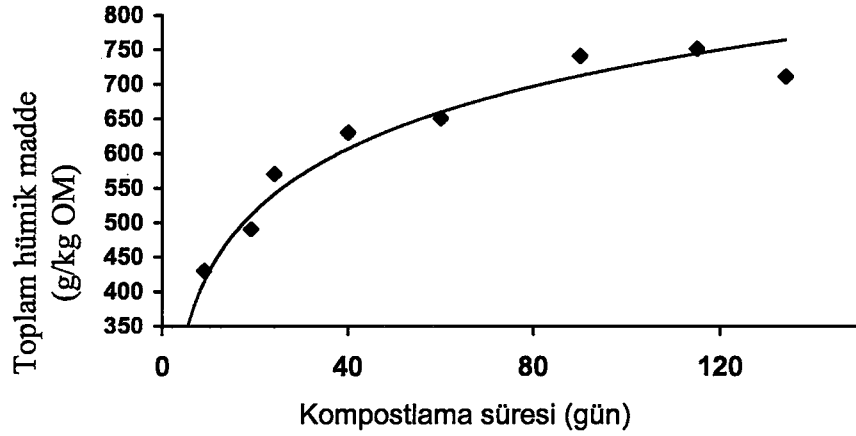
▪ Organik kimyasal bileşenler

Selüloz iyi bir göstergedir. Kompostlaştırma süresiyle birlikte azalır.

▪ Hümkleşme parametreleri

Organik maddenin bileşenlerindeki değişimler stabilizasyon derecesini gösterirler.

Kompostlaştırılma süresince hümk maddeler zamanla artar. Şekil 4.10 gösterilen bir sığır gübresi çalışmasında, hümk asit içeriğinin 377 g/kg-OM'den 710 g/kg-OM değerine çıktığı belirlenmiştir. Fulvik asitte ve humik olmayan fraksiyonda ise daha az artış bulunmuştur (Epstein, 1997).



Şekil 4.10 Sığır gübresinin kompostlaşması süresince hümik maddelerin organik madde içindeki değişimi (Epstein, 1997)

4.6.2 Fiziksel Parametreler

▪ Sıcaklık

Sıcaklık, birkaç günde 60-70 °C'ye ulaşır. Birkaç gün dalgalanmadan sonra düzenli olarak ortam sıcaklığına kadar düşer. Bu nokta stabilitenin ifadesi olarak düşünülür.

▪ Dewar ısınma testi

Basit ve pahalı olmayan bir testtir. Bu yöntemde kompost numunesi alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulur, daha sonra Dewar kabı içerisine konulur. Numune kap içinde iken meydana gelen sıcaklık artışı ölçülür. Numunenin ısınma derecesi, stabilitenin az oluşunu işaret eder. Eğer kompost numunesi ortam sıcaklığından 20 °C daha fazla ısınmazsa, mikrobiyal aktivitenin yüksek olmasından kaynaklanan anaerobik ayrışma, koku, fitotoksik bileşenlerin üretimi vb. gibi herhangi bir probleme sebep olmaksızın depolanabilir. Çizelge 4.10 'de kompost olgunluğunu belirlemek amacıyla Dewar yöntemi kullanılarak sınıflandırma ve stabilite tanımlaması verilmiştir.

Bu yöntemde, nem içeriği optimum olarak ayarlanan numune atmosfere açık olan Dewar kaplarına (Hacmi 1.5 L ve iç çapı 100 mm) gevşek bir şekilde konur. Sıcaklığı izlemek amacıyla bir prob yerleştirilir. Kaplar oda sıcaklığında tutulur. Genellikle maksimum sıcaklığa (Tmax) 2-5 günde ulaşılır. Bu test, Tmax en yüksek seviyeye ulaştığında ve sıcaklıkta hızlı bir şekilde düşme gözlemlendiğinde sonlandırılır (en geç 10 gün). Ulaşılan Tmax stabilite indeksini (SI) tanımlamak için biyolojik olarak stabilitenin göstergesi olarak kullanılır. Atığın SI değeri I'den V'e kadar artan bir derece ile sınıflandırılır. Ham atık veya

stabilize olmamış atık için bu değer I, tamamen stabilize olmuş atık için ise V'tir (Bari, 2001).

Çizelge 4.10 Dewar kabında kendi kendine ısınma testi tanımlaması

Sıcaklık yükselmesi, °C	Sınıf	Stabilite tanımlaması
0-10 °C	V	Tamamen stabil kompost, depolanabilir
10-20 °C	IV	Olgun kompost, depolanabilir
20-30 °C	III	Materyalde ayrışma devam ediyor, depolanmaz
30-40 °C	II	Olgun olmayan, aktif kompost, yığınlarda kalmak zorunda
40-50 °C	I	Taze, çok yeni kompost

▪ Renk, koku ve özgül ağırlık

Olgun kompost koyu kahverengi olup, kokusu orman toprağına benzemektedir. Toprak kokusunu aktinomisetler verir. Atık ayrışırken özgül ağırlık artar, olgun kompostta bu değer 0.5-0.9 kg/L'dir. Aralığın geniş olması, özgül ağırlığı stabilite için tam bir ölçü olmaktan çıkarmaktadır.

4.6.3 Bitki Testleri

Bitki testleri stabilite için değil, kompostun olgunluğunu değerlendirmek için kullanılır. Fitotoksiste, organik bileşiklerden, ağır metallere ve diğer inorganik elementlerden ileri gelir. Fitotoksik bileşikler, aşırı nem veya yetersiz havalandırma nedeniyle anaerobik şartlar sonucu meydana gelir.

4.6.4 Mikrobiyal Testler ve Mikrobiyolojik Aktivite

Mikrobiyal aktiviteyi izlemek amacıyla O₂ tüketimi, oluşan CO₂'in değişimi ve mikrobiyal değişimler (mantar, aktinomisetler) takip edilir. Lei ve VanderGheynst (2000), kompostlaştırma prosesinde ayrışma hızlarını ölçmede O₂ tüketimi ve CO₂ oluşum hızlarının kullanıldığını belirtmişlerdir.

CO₂ 4 günlük periyottan sonra belirlenir. Solunum mg CO₂/kg-biyolojik UKM-sa veya mg CO₂/gr-kompost-gün birimiyle ifade edilir. Biyolojik UKM, plastik gibi biyolojik olmayan maddelerden ayırmak için kullanılır. Solunum hızı < 5 mg CO₂ -C / gr kompost olursa olgundur. CO₂ çıkışı ile ilgili farklı stabilizasyon aşamaları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Karbondioksit çıkışına bağlı kompost stabilizasyon indeksi

Solunum hızı, mg CO ₂ -C/g kompost C-gün	sınıflama	Stabilite tanımlaması
<2	Çok stabil	Tamamen stabil, toprak kokulu
2-5	Stabil	İyi kompost, toprağın iyileşmesine az katkı
5-10	Kısmen stabil	İyi olmayan kompost, kısmen kötü kokulu, yüksek fitotoksisite potansiyeli
10-20	Stabil değil	Olgunlaşmamış, kötü kokulu ve fitotoksisite potansiyeli
>20	Taze, yeni kompost	Stabil olmayan, çok kötü kokulu, fitotoksisite potansiyeli

4.7 Organik Maddelerin Ayrışma Kinetiği

Organik maddelerin ayrışma kinetiği konusunda araştırmacılarca farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, uçucu madde, katı madde veya TOK giderimleri esas alınmıştır. Bazı çalışmalarda ise işletme parametrelerinin proses kinetiği üzerine etkisi araştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan elde edilen kinetik bulgular Çizelge 4.12’de toplanmıştır.

Kirchmann ve Bernal (1997) çalışmasında, oluşan CO₂-C değerlerinin zamanla değişiminin Denklem (4.4), (4.5) ve (4.6)’da verilen kinetik denklemlere uyum halinde olduğunu belirtmişlerdir.

$$C = kt \quad (\text{sıfıncı derece}) \quad (4.4)$$

$$C = C_0(1 - e^{-k_E t}) \quad (\text{birinci derece}) \quad (4.5)$$

$$C = C_0(1 - e^{-k_E t}) + (100 - C_0)k_L t \quad (\text{birinci-sıfıncı (first-zero) derece}) \quad (4.6)$$

Bu denklemlerde C=karbon, C₀=Ekspansiyel olarak mineralize olan kısmın yüzdesi, k, k_E, k_L= hız sabitleri, t=zamanı ifade etmektedir.

Hamoda vd. (1998), evsel katı atıkların kompostlaştırılması için proses performansını belirlemek amacıyla kontrollü şartlarda yaptığı çalışmada, organik madde degradasyonunu zamanın fonksiyonu olarak birinci derece kinetikle ifade edilebileceğini belirtmiştir. Optimum proses performansı veren parametre değerleri olarak; 40 mm malzeme boyutu, 40 °C sıcaklık, %60 nem ve %30 C/N oranı bulunmuştur.

Huang vd. (2000) çalışmasında, bağımsız değişkenleri oluşturan işletme parametreleri (havalandırma hızı, başlangıçtaki atık karışım oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi)

ve bunlara karşılık elde edilen katı madde ve uçucu katı madde kayıpları bağımlı değişkenleri için Denklem (4. 7)'deki matematik ilişki teklif edilmiştir:

$$y = \frac{kx}{1 + ax + bx^2} \quad (4. 7)$$

Burada y= toplam kuru madde kaybı (%) veya toplam uçucu katı madde kaybı (%), x= havalandırma hızı (L hava/kg KM-dak), başlangıçtaki atık karışım oranı, reaksiyon sıcaklığı (°C) ve reaksiyon süresi (gün), k, a ve b ise sabit değerlerdir.

İpek vd. (2000), β radyoaktivitesinin aerobik kompostlaştırma ile büyük ölçüde azaldığını ve bozunmasının birinci derece kinetik modelle ifade edilebileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.12 Farklı şartlarda kompostlaştırma kinetiği için reaksiyon hız sabitleri

Atık türü	Reaksiyon derecesi	Bağımlı değişken	Bağımsız değişken	Hız sabitleri	R ²	Kaynak
Kümes hay. atığı						
• Ayrışmamış	Birinci	CO ₂ -C	zaman	k _E =0.044	0.996	Kirchmann ve Bernal. (1997)
• Aerobik	Birinci			k _E =0.018	0.997	
işlem görmüş	Birinci			k _E =0.093	0.997	
• Anaerobik işlem görmüş	+sıfırıncı			k _L =0.005		
			Nem	k _E =0.180	0.901	
Evsel katı atık	Birinci	TOK	Sıcaklık	k _E =0.170	0.933	Hamoda vd., (1998)
			C/N oranı	k _E =0.170	0.831	
			Partikül boyutu	k _E =0.330	0.920	

4.8 Kompostun Faydaları

Kompostun faydalarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Organik katı atıkların biyolojik olarak stabil son ürünlere dönüşümü
- Elde edilen ürünün tarımda, bahçecilikte ve diğer alanlarda (toprak iyileştirme, organik gübre ve peyzaj çalışması gibi) kullanılması
- Atıktaki patojen bakterilerin etkin biçimde giderilmesi
- Katı atıkların düzenli depolama sahasından tasarruf sağlanması
- Toprak erozyonu kontrolü sağlama
- Zeminin boşluk hacmini artırması, havalandırılmasını kolaylaştırması ve su tutma kabiliyetini artırması

- Zor işlenen toprakların kolay işlenmesini sağlaması
- Yüksek mineralli gübrelemeye karşı tamponlama görevi yapması ve böylece bitkilerin zarar görmesinin önlenmiş olması
- Besin maddelerinin daha iyi kullanılması
- Gübre tüketiminin azaltılması, bu yolla çevre kirliliğinin azaltılmasının ve ekonomik giderlerde tasarrufun sağlanması

4.9 Kompostun Kullanım Alanları

Kompostun kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Tarla, bahçe uygulamaları, seracılık, meyvecilik, fidanlık, çiçekçilik ve şifalı bitki dikimlerinde
- Golf sahaları, peyzaj çalışmaları, çim sahaları, parklar ve oyun alanları, yol kenarları, mezarlıklar ve askeri tesislerde
- Maden çıkarılmış alanlar, eski kum ve çakıl ocaklarının rehabilitasyonunda, erozyon kontrolünde
- Koku gideriminde filtre malzemesi olarak
- Düzenli depolamada son örtü malzemesi olarak
- Yanmış orman alanlarının rehabilitasyonunda

Çizelge 4.13 'de kompostun çeşitli tarımsal ürünlerin üretiminde kullanılacağı miktarlar verilmiştir.

Çizelge 4.13 Kullanım alanlarına göre kompostun araziye uygulanma miktarları

Uygulama alanı	Miktar (ton/ha)	
	Erدين, 1981	Uğurlu, 1985
Çapalama gerektiren tarım	670-2500	60-250
Tahıl tarımı	50-1700	100
Meralar	30-50	30-50
Üzüm bağları	80-3700	80-300
Meyve tarımı	200-1000	200-1000
Sebze tarımı	300-500	200-500
Süs bitkileri üretimi	200-500	200-500
Fidancılık	100-300	300'e kadar
Arpa	-	200
Domuz besleme	-	3 kg/domuz
Bahçeler ve parklar	-	30-60
Oyun sahaları	-	40

Düzce’de bir fabrikanın aerobik arıtma tesisinin atık çamurlarından elde edilen kompostlarla yapılan çiçek üretimi ve örtü toprağı çalışmaları, kompostun ekonomik ve faydalı bir şekilde kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır (Tolay vd., 1996).

Kompost ilavesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliğini iyileştirir, fakat ağır metallerin potansiyel çevresel etkileri ve kompostun diğer kirletici maddeleri için uzun sürede özel bir dikkat gösterilmelidir. Ağır metal seviyesi yüksek olan kompostlar sadece düzenli depolama örtülerinde ve atık maddelerin bertarafı için tahsis edilmiş alanlarda kullanılabilir (Wei vd., 2000).

Kompost üretimi bakımından önemli kısıtlardan birisi kalitesinin dışında pazarlanabilirliğidir.

Tarımda kullanmak için kompost, olgunlaşmayı tamamlamalı, verimliliğı sağlayan elementleri (N,P,K) asimile etmiş olmalı, ağır metal seviyesi düşük olmalı ve patojenik bakterilerden arınmış olmalıdır (Hachicha, vd.,1992). Muhtevası bakımından kirletici potansiyeli yüksek olduğundan arıtma çamurlarının tarımda kullanımı kısıtlıdır.

4.10 Kompost Kalitesi

Kompostun kalitesi söz konusu olduğunda üzerinde durulan önemli parametreler; (1) ağır metal içeriğı, (2) nutrient içeriğı ve bitki gelişim kapasitesi, (3) patojen mikroorganizma varlığı, (4) fiziksel ve kimyasal kompozisyonu (dane boyutu, pH, çözünür tuzlar, yabancı maddeler vb.) ve (5) canlı yabancı ot tohum varlığı şeklinde sıralanabilir.

Kompost kalitesi için en çok üzerinde durulan parametre, ağır metal içeriğıdir. Çeşitli ülkelere ait kabul edilebilir maksimum ağır metal limitleri Çizelge 4.14 ’de verilmiştir.

Çizelge 4.15 ’da tamamlanmış kompost örneklerinde tespit edilmiş besin maddesi ve nadir elementlere ait konsantrasyon değerleri verilmiştir. Ülkemiz ve yabancı ülke mevzuatı bakımından kadmiyum dışında diğer ağır metal içerikleri sınır değerlerde olduğu görülmektedir. Kadmiyum evsel atıklara pillerden karışabilmektedir. Kompostun besin değerini ve kalitesini artırmak için atıkların ayrı toplanması teşvik edilerek kompost olacak organik atıklara tehlikeli ve istenmeyen türdeki yabancı maddelerin karışması engellenmelidir.

Çizelge 4.14 Çeşitli ülkelerde kompost ağır metal limitleri (mg/kg kuru kompost) (Poggi-Varaldo vd., 1999)

Ağır metaller	Almanya	Belçika	Kanada	Fransa	İsviçre
Cu	150	100	100	-	150
Zn	400	1000	500	-	500
Mo	-	-	5	-	5
Co	-	-	34	-	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150
Hg	1	5	0.8	8	3
Cr	150	150	210	-	150
As	-	-	13	-	-
Se	-	-	2	-	-

Çizelge 4.15 Tamamlanmış kompostta elementlerin konsantrasyonları

Elementler	(Uğurlu, 1995)	(Baştürk, 1979)
Major Elementler (g/100 g kuru madde):		
N	0.1 - 1.8	0.00 – 0.1
P	0.1 - 1.7	0.1
K	0.1 - 2.3	0.3 - 0.4
S	0.5 - 3.0	0.5 - 3
Alkalinite (CaO olarak)	1 - 20	5-10
Toplam tuzlar (KCl olarak)	0.5 - 2.0	-
Minör elementler (mg/kg kuru madde) :		
B	60 – 340	60-360
Cd	15 – 40	-
Cu	90 – 260	80-120
Fe	8000 – 15000	-
Hg	1 – 5	-
Mn	300 - 1300	-
Mo	10	10
Pb	200-400	-
Zn	800-1200	800-1200

Zorpas vd. (2000), komposttaki ağır metal muhtevasını azaltmak için doğal zeolitle başarılı denemeler yapmışlardır. Kompostlaştırma prosesinde %20-25 zeolit kullanıldığında ağır metal tutulumları; Cu %28-45, Cr %10-15, Fe %41-47, Cd %100, Mn %9-24, Ni ve Pb %50-55, Zn %40-46 olarak gerçekleşmiştir.

4.10.1 Türkiye Mevzuatında Kompost Kalite Kriterleri

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 36. maddesine göre kompostun tarımda kullanılabilmesi için;

1. Kompostun, hijyenik yönden kusursuz olması, ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi,
2. C/N oranının 35'den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde komposta azot beslemesinin yapılması,
3. Toprak ıslahı için kullanılacak kompost, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az %35'i oranında olması,
4. Piyasaya sürülen kompostun su muhtevası oranının %50'yi geçmemesi,
5. Üretilen kompostun dane büyüklüğü itibariyle sınıflandırılması,
6. Piyasaya sürülen kompostun içinde cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığının %2' sini geçmemesi, gerekir.

Kompostun ağır metal muhtevası ve sınır değerleri, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 37. maddesinde yer almıştır. Buna göre;

Bazı ağır metal yüksek konsantrasyonlarda canlılar üzerinde zehirleme etkisi gösterebileceğinden tarım alanlarına kontrollü olarak verilmesi için;

1. Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en fazla üçer aylık aralarla, ihtiva ettikleri, kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa, ve çinko yönünden incelenmesi,
2. Kompostun kullanılacağı arazi 1 ha'dan büyükse toprağın pH değeri ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum, bakır, nikel, civa, ve çinko yönünden incelenmesi,
3. Numunelerin tekniğine ve usulüne uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
4. Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin Çizelge 4.16 /A'da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun kullanılmaması,
5. Kompostun arazide tekrarlanan bir şekilde kullanılması halinde, ağır metaller itibariyle araziye verilen yükün Çizelge 4.16 /B ve C'de belirtilen değerleri aşmaması gerekir.

Çizelge 4.16 Toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları

Ağır metal	(A)	(B)	(C)
	Topraktaki Sınır Değerler mg/kg kuru toprak	Sınır Yük Değeri g/ha/yıl	Topraktaki Sınır Değerler mg/kg kuru çamur
Kurşun	100	2000	1200
Kadmiyum	3	33	20
Krom	100	2000	1200
Bakır	100	2000	1200
Nikel	50	330	200
Civa	2	42	25
Çinko	300	5000	3000

4.11 Koku Problemi ve Kontrolü

Koku problemi, çamur, gübre, çöp ve diğer atık organiklerin çürümesinden kaynaklanmaktadır. Kötü kokular, organik ve inorganik bileşiklerden kaynaklanabilir. Hidrojen sülfür (H_2S) ve amonyak (NH_3) en yaygın inorganik koku yapan maddelerdir. Koku eşiği 0.037 ppm olan amonyak keskin kokuludur. Koku eşiği 0.00047 ppm olan H_2S ise çürümüş yumurta kokusundadır. Organik kaynaklar, genellikle düşük molekül ağırlıklı özellikte olan; metil merkaptan, metil sülfid ve aminler gibi uçucu bileşenlerden kaynaklanır (Haug, 1980).

Komposttaki yada topraktaki bakteri ve diğer mikroorganizmalar, iyi havalandırılmaları şartıyla organik kokuları yok eder. Kompostlaşmış bir malzeme tabakası ile kompost yapılacak atık yığını kaplamak, havalandırma sırasında mükemmel bir koku kapanı oluşturur. Bu yolla, keza, yığında ulaşılan yüksek sıcaklık da korunmuş olacaktır.

Amonyak kompost tesislerinde bulunan en yaygın kokular arasındadır. Havadan hafif olduğu için (havanın yoğunluğunun 60%'ı), amonyak aynı zamanda kolayca yayılır ve tabana inmez. Buna karşılık, hidrojen sülfür ve diğer yoğunluğu yüksek olan koku yapıcı bileşikler ise arazi tabanına yayılır. Amonyak, kokusu anaerobik ve aerobik sistemlerin her ikisinde de oluşur.

Özellikle yerleşim alanlarına yakın kurulmuş tesislerde olmak üzere, koku kontrolü büyük ölçekli kompostlaştırma tesislerinin temel problemlerinden biridir. İyi bir proses yönetimi ile büyük ölçüde koku azaltılmış olsa dahi, yine de koku giderme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Koku giderimi için kimyasal, termal ve biyolojik yöntemler dahil birçok seçenekler vardır. Koku giderme metotları aşağıda tasnif edilmiştir (Haug, 1980).

A. Absorbsiyon

1. Solüsyon ile arıtma
2. Kondensasyon

B. Adsorpsiyon

C. Oksidasyon

1. Termal oksidasyon
2. Kimyasal oksidasyon
3. Biyolojik oksidasyon

D. Deodorant kullanma

Biyofiltre, hem en az maliyetli hem de en verimli koku giderme seçeneğidir. Temel tasarım kriteri, biyofiltrenin birim yüzey alanı başına hava debisi miktarıdır. Biyofiltrenin hava debisi için literatür değerleri 0.005 ila 0.0025 m/s arasında olup tipik olarak 0.015 ila 0.02 m/s alınabilir. Arazi filtreleri için, standart özellikler aşağıda sunulmuştur [2]:

- gazın lineer hızı: 0.5-1 cm/s
- gazın statik basıncı: < 250 mm Hg
- gazın nem oranı: suya doymamış halde
- gazın sıcaklığı: 5-40°C
- tutucu ortamın nem içeriği: maksimum su tutma kapasitesinin % 40-70'ı civarında
- tutucu ortamın sıcaklığı: optimum 20-37°C
- tutucu ortamın pH'ı : optimum 7

4.12 Kompostlaştırma İşleminin Maliyeti

Tipik bertaraf teknolojileri arasında genel bir karşılaştırma Çizelge 4.17'de sunulmuştur. Bu tablodan görüleceği gibi, tesisin kapasitesi arttıkça katı atık başına düşen birim maliyetler azalmaktadır. Kompostlaştırma işleminde, depolamaya göre kıyaslandığında yaklaşık üç kat daha fazla maliyet gerekirken, kullanılacak alan bakımından yaklaşık 10 kat daha az bir alana ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.17 Katı atık bertaraf teknolojileri mukayesesi (Nuwayhid vd., 1996)

	Kapasite (ton/gün)			
	250	500	1000	1500
Depolama yatırım maliyeti, milyon dolar (\$/kg atık)	6 (24)	11 (22)	21 (21)	30 (20)
Kompostlaştırma yatırım maliyeti, milyon dolar (\$/kg atık)	17 (68)	32 (64)	65 (65)	90 (60)
Yakma yatırım maliyeti, milyon dolar (\$/kg atık)	33 (132)	65 (130)	125 (125)	180 (120)
Depolama sahası alan ihtiyacı (ha)	60	110	210	280
Kompostlaştırma sahası alan ihtiyacı (ha)	5.5	8,5	13	16
Yakma sahası alan ihtiyacı (ha)	1.5	2.5	4	5
İstenen çöp kalitesi				
Düzenli depolama : Yüksek yoğunluk > 600 kg/m ³				
Kompostlaştırma : Nem % 50-60, C/N oranı 25				
Yakma : Nem < % 40, Yanabilir olmayan maddeler < % 20, Isıl değer > 9300 kJ/kg				

İstanbul'da yapılan katı atık analizlerine göre atıkların yaklaşık %50'si değerlendirilebilir yaş atıklardan oluşmaktadır. Organik atık oranı, semtlerin gelir durumuna ve mevsime göre değişmektedir. İstanbul için planlanan tesiste üretilecek kompostun maliyetinin 35-40 DM/ton (20-22 \$/ton) seviyesinde olacağı tahmin edilmiştir (Demir vd., 1999). Çizelge 4. 18'de değişik kompostlaştırma metotları; maliyet, gerekli alan ve emisyonları bakımından karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4. 18 Kompostlaştırma sistemlerinin maliyet, alan ve emisyonlar bakımından karşılaştırılması (IGA, 1996)

	Yığın Kompostlaştırma Sistemi		Konteyner Kompostlaş.	Tünel Kompostlaş.
	Otomatik Taşıma/ Karıştırma	Mobil taşıma/ karıştırma		
Maliyet (10 ⁶ DM)				
*proses tekniği	9.1	5.8	22.4	10.0
*İnşaat	8.3	12.7	10.7	12.8
Araçlar	0.6	1.2	1.2	1.2
TOPLAM	18.1	19.8	34.3	24.0
Azami Kirli hava miktarı (m ³ /h)	360000	560000	60000	76000
Alan İhtiyacı (Çürüme ve Trafik alanları, m ²)	21000	≈40000	≈40000	36000
Önemli avantajlar	*Ana çürüme aşaması (8 hafta) tamamen kapalı alanda gerçekleşir. *Ana çürüme aşamasının tamamı ayarlanmalıdır.	*Ana çürüme aşaması (8 hafta) tamamen kapalı alanda gerçekleşir. *Ana çürüme aşamasının tamamı ayarlanmalıdır. *Basit ve sağlam sistem.	*Bina ömrü uzun *Arıza durumlarında esnek sistem.	*Bina ömrü uzun *Arıza durumlarında esnek sistem.
Önemli Mahzurlar	*Bina ömrü kısıtlı *Arıza durumlarında esneklik az.	*Bina ömrü kısıtlı *çalışma koşulları.	*Sadece 7-10 gün boyunca kapalı binada çürüme *Parçalanma sakıncalı	Sadece 10-14 gün boyunca kapalı binada çürüme

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, kısa bir zaman dilimi için önemli miktarlarda oluşması söz konusu olan gül işleme sanayinden kaynaklanan posanın hem çevre için doğurduğu zararların önüne geçmek hem de bu atıklardan yarar sağlamak amacıyla kompostlaştırma alternatifi araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında posanın yalnız başına ve evsel katı atıkların organik kısımlarıyla birlikte kompostlaşabilirliği değerlendirilmiştir. Bu bölümde; yapılan deneysel çalışmalar, deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri, araştırma yöntemi, reaktör çalışma sistemleri, reaktörlerdeki malzeme karışım oranları, yapılan katı, sıvı ve gaz analizleri ve yöntemleri açıklanmıştır.

5.2 Reaktörlerde Kullanılan Malzemeler

Yapılan çalışmalar 2 seri halinde yürütülmüş olup; 1. seri çalışmalarda (R1~R3 reaktörleri) posa, aşı ve gözenek malzemesi, 2. seri çalışmalarda ise (K1~K5 reaktörleri) evsel katı atık, posa, gözenek malzemesi ve aşı kullanılmıştır.

Kompost reaktörlerinde kullanılan gül posası, Gürkan Gülyağı Fabrikasından (Isparta) temin edilmiştir. Aşı olarak tabii olarak ayrılmış posa ve kompost kullanılmıştır. Ayrılmış posa Gölcük yolu (Isparta) üzerindeki fabrika atıklarından önceki yıldan kalan kısımdan elde edilmiştir. Evsel katı atık (EKA) kompostu ise Kemerburgaz kompost tesisinden alınmıştır. Havalandırmada etkinliği sağlamak amacıyla, kabartma malzemesi olarak gürgenden yapılan $2^{cm} \times 2^{cm} \times 1.5^{cm}$ boyutlarındaki malzeme kullanılmıştır. Reaktörlerde kullanılan evsel katı atıklar, İstanbul'un Avrupa yakası evsel katı atıklarının depolandığı Odayeri Düzenli Katı Atık Depolama Sahası'ndan temin edilmiştir. Depolama sahasına aktarma istasyonlarından silolar ile gelen taze katı atıklar boşaltıldıktan sonra organik içerikli kısımları elle ayıklanmış ve aynı gün laboratuara taşınmıştır. Havanın reaktöre düzgün dağıtılmasını sağlamak amacıyla Eğirdir Gölü kenarından toplanan çakıl malzeme kullanılmıştır.

Kullanılan malzemelere ilişkin özellikler Çizelge 5.1 'de verilmektedir. Kompost reaksiyonunun optimum şartlarda gerçekleşmesi için minimum organik madde muhtevasının %50 ve tesise giren atığın C/N oranının 35'den küçük olması istenmektedir. Ham gül posası numunelerinin organik madde muhtevasının % 90 seviyesinde ve C/N oranının 35'ten küçük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 Reaktörlerde kullanılan materyalin özellikleri

	Birim	Posa	Organik evsel katı atık	Aşı (Ayrılmış posa)	Aşı EKA kompostu (63 günlük)
SM	%	90.5	80.3	5.2	48.9
OM	%	84.2	84.1	26.7	37.8
TOK	%	50.6	37.8	21.2	26.0
TOK/OM		0.60	0.45	79.4	68.9
TKN (%)	%	3.7	2.89	1.5	1.0
C/N		13.6	20	13.9	25.8
pH		5.8	5.4	6.4	8.1
Top. P (PO ₄ -P)	mg/kg	1990	2340	1223	606
Na	%	0.1	0.29	0.2	0.6
K	%	2.4	1.54	0.3	0.9
Ca	%	1.6	2.77	1.4	11.5
Mg	%	0.5	0.41	0.5	0.8
Li	mg/kg	44.7	45	51.7	62.2
Fe	%	0.33	0.31	1.3	2.4
Mn	mg/kg	190	205	290	335
Cu	mg/kg	12.2	35	133.9	255
Zn	mg/kg	85.4	550	115.9	500
Pb	mg/kg	0.0	25	0.0	119
Cr	mg/kg	75	110	343	464
Ni	mg/kg	2.9	40	173	203
Cd	mg/kg	0.3	4.5	6.5	4.8

5.3 Posanın Dane Boyutu Dağılımı

Kurutulmuş gül posasının; 28, 20, 14, 4.75 ve 2 mm'lik eleklerle yapılan boyut analizi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Buna göre malzemenin yaklaşık %47'sinin boyutu 14-28 mm arasında, %35'i 4.75-14 mm arasında ve %18'i de 4.75 mm'nin altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 Reaktörlerde kullanılan posanın boyut dağılımı

Elek çapı (mm)	(%)
+20 -28	19.0
+14 -20	28.1
+4.75 -14	35.5
+2 -4.75	9.5
-2	7.9
Toplam	100

5.4 Malzeme Karışım Oranları

Reaktörlerde kullanılan materyallerin karışım oranları Çizelge 5.3’de topluca verilmiştir. İlk üç reaktörde (R1, R2 ve R3) gözenek malzemesi ve aşının kompostlaştırma sürecine etkisi araştırılmıştır. R1 ve R3 reaktörlerinde aşı türü ve oranı sabit tutularak gözenek malzemesi oranının etkisi ve buna karşılık R2 ve R3 reaktörlerinde gözenek maddesi oranları sabit tutularak farklı iki aşı kullanımının etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 5.3 Reaktörlerde kullanılan materyallerin karışım oranları ve yüzdeleri (kuru ağırlık)

Aşı özellikleri	Posa	EKA	Aşı	Gözenek	Reaktör Hacmi, L	Reaktör No	
Ayrılmış posa	3 (60.0)*	-	1 (20.0)	1 (20)	65	R1	Seri 1
EKA kompostu	3 (50.0)	-	1 (16.7)	2 (33.3)	65	R2	
Ayrılmış posa	3 (50.0)	-	1 (16.7)	2 (33.3)	65	R3	
Gül kompostu	4 (50.0)	1 (12.5)	1 (12.5)	2 (25)	65	K1	Seri 2
Gül kompostu	2 (41.67)	1 (20.83)	0.6 (12.5)	1.2 (25)	65	K2	
Gül kompostu	1 (31.25)	1 (31.25)	0.4 (12.5)	0.8 (25)	65	K3	
Gül kompostu Kontrol, ara karıştırma yok	3 (50.0)	-	1 (16.7)	2 (33.3)	65	K4	
Gül kompostu, Kontrol, ara karıştırma yok	2 (41.67)	1 (20.83)	0.6 (12.5)	1.2 (25)	40	K5	

* Mukayeseli oran biçimindedir. Parantez içindekiler % oranı ifade etmektedir.

İkinci seri çalışmalarda, posanın evsel katı atıklarla birlikte farklı karışım oranlarında ayrışma durumları araştırılmıştır. Bu amaçla, toplam 5 reaktör kurulmuştur. İlk üç reaktörde (K1, K2 ve K3) gözenek malzemesi ve aşının yüzde karışım oranları sabit tutularak posa ve evsel katı atıkların farklı karışım oranları test edilmiştir. K4 ve K5 reaktörleri kontrol amaçlı kurulmuş olup, bu reaktörlerde tüm süreç boyunca ara karışımlar yapılmayarak, ara karışımların kompostlaştırma kalitesi ve stabilizasyon derecesine etkisi araştırılmıştır. K4 Reaktörünün karışım oranı R2 ve R3 ile, K5 reaktörünün karışım oranı ise K2 ile aynı tutulmuştur.

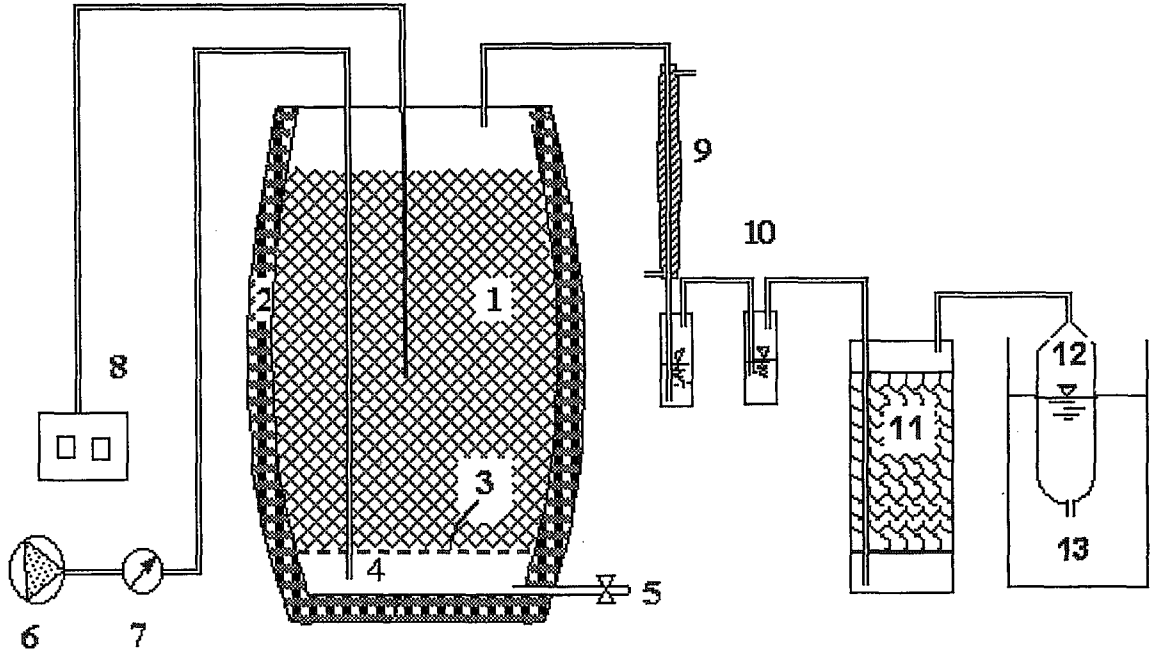
Kompost yapmak gayesiyle posa ile karıştırılacak evsel katı atıkların karışım oranlarının belirlenmesinde, Çizelge 3.3’de verilen kuru ağırlık bazındaki oluşum miktarları göz önüne alınmıştır.

5.5 Reaktör Sistemi

Kompostlaştırma deneyleri için, yaklaşık hacmi 65 litre olan yumurta kesitli ve 8 cm kalınlığında izolasyona sahip reaktörler kullanılmıştır. Reaktörler; hava girişi, gaz çıkışı, sıcaklık ölçümü ve sızan suların drenajını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Kullanılan reaktör sistemine ait düzenek Şekil 5.1 ’de ve reaktörlerin resimleri de Şekil 5.2 ’de gösterilmiştir. Reaktörün taban kısmında sızıntı suyu drenajını ve sisteme hava girişini sağlamak için 9 cm boşluk bırakılmış onun üzerine delikli levha yerleştirilmiştir. Levhanın üzerine sisteme verilen havayı homojen bir şekilde dağıtmak ve büyük partiküllerin tabanda birikmesini engellemek üzere, yaklaşık 2 cm kalınlığında, boyutları 1.5-2 cm olan çakıl konulmuştur. Kompostlaştırma prosesi boyunca oluşacak gazları toplamak amacıyla reaktörün üst kısmında 13 cm kadar gaz toplama boşluğu bırakılmıştır. Reaktörün taban ve üst kısmının çapı 32 cm, gövde çapı ise 40 cm’dir. Reaktörün toplam boyu 61 cm olup etkili kısmın yüksekliği 36 cm’dir.

Günlük olarak sıcaklıkları takip etmek için reaktörün kapak kısmına termometre monte edilmiştir. Reaktörün gaz çıkış hattına, reaktör çıkışı gazların soğutulması amacıyla kondenser, amonyağın tutulması amacıyla amonyak tutucu ve gaz analizi yapmak için gerekli ve yeterli miktarda sürekli taze gaz bulunduran gaz toplama kabı yerleştirilmiştir.



1. Reaktör, 2. İzolasyon malzemesi, 3. Delikli levha, 4. Hava giriş boşluğu, 5. Tahliye vanası, 6. Hava pompası, 7. Debi ölçer, 8. Termometre, 9. Soğutucu, 10. Amonyak tutucu, 11. Biyofiltre, 12. Gaz toplama kabı, 13. Hacim değiştirme sıvısı

Şekil 5.1 Kompostlaştırma sistemine ait deney düzeneği



Şekil 5.2 Kompostlaştırma işleminde kullanılan reaktörler sistemi

5.5.1 Havalandırma ve Karıştırma

Verilen hava miktarını belirlemek amacıyla, Doğalgaz Sayacı (Markası:Kalekalıp, Model G4) kullanılmıştır. Sayacın Özellikleri: $Q_{\min} = 0,67$ L/dak, $Q_{\max} = 100$ L/dak, çalışma sıcaklığı $-15^{\circ}\text{C}/+45^{\circ}\text{C}$, ağırlık 2,970 kg. şeklindedir. Hava beslemesi 6 kanallı akvaryum pompası ile sağlanmıştır. Pompa 2 L/dak debide çalıştırılmıştır. Havalandırma, çıkıştaki O_2 yüzdesi yaklaşık %10'un altına düşmeyecek şekilde kontrollü ve kesikli olarak yapılmış olup hava pompalarının devreye girip çıkması zaman saati ile sağlanmıştır. Çıkıştaki O_2 'i ölçmek için Orsat Cihazı kullanılmıştır.

Ara karışırmaların etkisini ortaya koymak amacıyla K4 ve K5 reaktörlerinde karıştırma yapılmamış, kontrol amaçlı olarak çalıştırılmıştır.

5.5.2 Su yoğunlaştırıcı

Reaktörden buharlaşma yoluyla çıkan su miktarını tespit etmek amacıyla akım hattı üzerine yoğunlaştırıcı konulmuş ve yoğunlaşan su miktarı birkaç günlük aralıklarla ölçülerek kaydedilmiştir.

5.5.3 Amonyak Tutucu

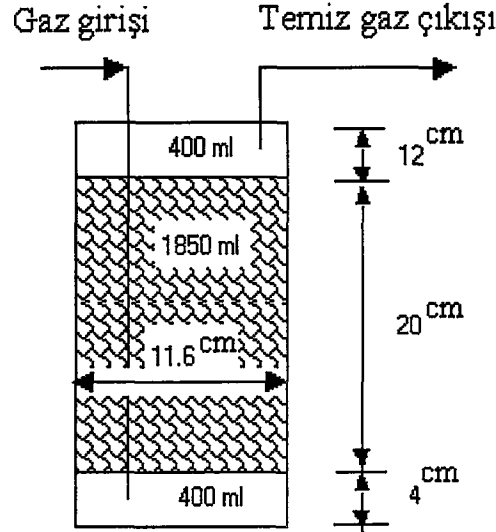
Reaktörlerde oluşan amonyağı tutmak amacıyla, çıkan gazlar amonyak tutucudan geçirilmiştir. Amonyak tutucu absorplama şişelerinin hacimleri yaklaşık 150 ml olup içine absorplayıcı olarak 50 ml 0.1 N H_2SO_4 asit çözeltisi konulmuştur.

5.5.4 Biyofiltre

2. seri çalışmada reaktörlerden çıkan gazlarda oluşan kokuyu tutmak amacıyla çapı 11 cm ve yüksekliği 28 cm olan bir biyofiltre kullanılmıştır (Şekil 5.3). Tabana 10-15 mm boyutunda çakıl, onun üzerine biyofiltre malzemesi olarak su muhtevası %60'a ayarlanan ve boyutu 10 mm'den küçük olan gül kompostu (Seri 1'de elde edilen) konulmuştur. Filtre hacmi 2.65 litre, yüksekliği 28 cm, gazın debisi 2.2 L/dak'dır. Buna göre;

$$\text{gazın filtreden geçiş süresi, } t = \frac{2.65}{2.2} = 1.205 \text{ dak; ve gazın hızı, } V = 28 / 1.205 / 60 = 0.39 \text{ cm/s}$$

olarak hesaplanır. Gazın sıcaklığı: $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ve filtre malzemesinin pH'ı (Gül kompostu), 7.4 olarak ölçülmüştür. Burada verilen değerler literatürde verilen genel temel tasarım kriterleri ile uyum göstermektedir.



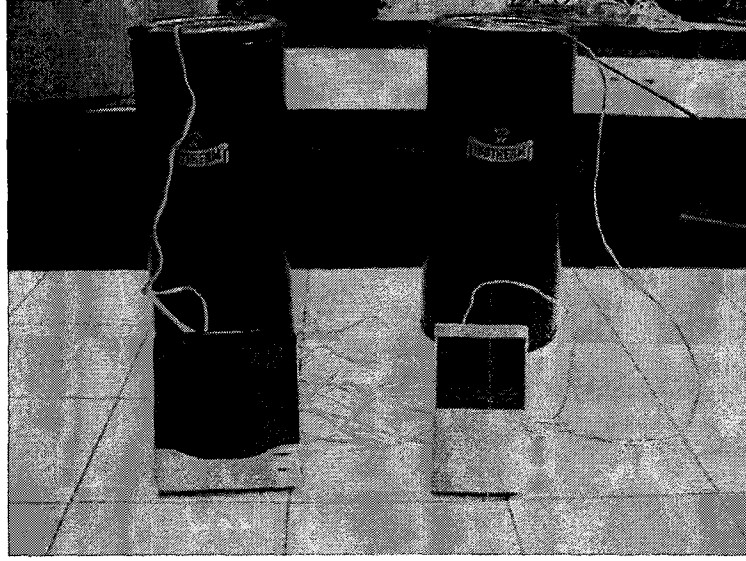
Şekil 5.3 Reaktörde kullanılan biyofiltre

5.6 Sıcaklık Ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri reaktörlere yerleştirilen dijital termometre problemleri ile yapılmıştır. Ölçümler, adaptasyon süresince ve karıştırmanın yapıldığı günlerde sık olarak kaydedilirken, devam eden proses boyunca günlük periyotlarla kaydedilmiştir. 1. seri çalışmada sıcaklık ölçümleri sadece reaktörlerin merkezinden izlenmiştir. 2. seri çalışmada ise reaktör içi sıcaklık dağılımını görmek, farklı noktalarındaki ayrışma sürecini izlemek amacıyla değişik noktalara proplar yerleştirilerek kaydedilmiştir. Her bir reaktördeki sıcaklık ölçüm noktaları Çizelge 5.4 'de gösterilmiştir. Burada O noktası reaktör kapaklarının hemen alt kısmını, A noktası malzeme üst kotundan 5 cm alt noktayı, B noktası reaktör merkezini ve C noktası da malzemenin taban kotundan 5 cm üst noktayı temsil etmektedir.

5.7 Dewar Kendi Kendine Isınma Testi

Proses sonrası oluşan kompostun kendi kendine ısınma düzeyini tespit etmek amacıyla, 2 litre hacmindeki ısı yalıtımlı Dewar kapları kullanılmış ve Dewar kabının tabanına yakın bir yere Max/Min termometre probu yerleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Dewar kapları ve Max/Min termometre

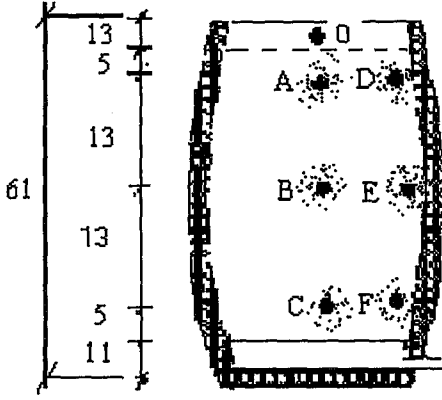
5.8 Numune Alma Noktaları

Numune alımları; deney başlangıcında, sonunda ve ara karışırmalar sırasında gerçekleştirilmiştir. 1. seri çalışmalarda, karıştırma yapıp malzeme homojenliği sağlandıktan sonra, karışımı temsil edici (posa + aşı + gözenek) bir numune, ayrışmayı izlemek amacıyla gözenek dışındaki malzemedan (posa + aşı) bir numune ve su muhtevastaki değişimi incelemek için gözenek malzemesinden bir numune olmak üzere her bir reaktörden üç tip numune alınmıştır.

2. seri çalışmalarda ise ilk seri çalışma sonuçları dikkate alınarak numune alım noktaları artırılmıştır. Reaktörün farklı noktalarındaki ayrışma durumunu incelemek amacıyla karışımı temsil edici numunenin yanında, karıştırma yapılırken Çizelge 5.4 'de gösterilen A, B, C, D, E ve F noktalarından da numuneler alınmıştır. Karıştırma işlemleri ve numune alımları esnasında kullanılan malzemeler Şekil 5.5 'de gösterilmiştir.

İlk seri çalışmada olduğu gibi, su muhtevastaki değişimi belirlemek amacıyla gözenek malzemesinden numune alınmıştır.

Çizelge 5.4 Reaktörlerde numune alma yerleri ve sıcaklık ölçüm noktaları

Numune alma noktaları	Sıcaklık ölçüm noktaları				
	Seri 1			Seri 2	
	R1	R2	R3	K1	K2 K3 K4 K5
				O	O O O O O
				A	A
	B	B	B	B	B B B B B
				C	C



Şekil 5.5 Karıştırma işlemi esnasında kullanılan malzemeler

5.9 Yapılan Analizler ve Analiz Yöntemleri

Kompostlaştırma süresi boyunca katı, sıvı ve gaz analizleri yapılarak ayrışma prosesi incelenmiştir.

5.9.1 Katı ve Sıvı Numune Analizleri

Bu çalışma süresince yapılan analizler ve bu analizlerin yöntemleri Çizelge 5.5 'de özet

olarak verilmiştir. Katı numuneler kurutulduktan sonra öğütücüde (Retsch ZM/100, 10000/15000 dev/dak) öğütülmüş ve 0.3 mm'lik elekten elenerek analiz için hazır hale getirilmiştir.

İkinci seri çalışmalarda, ayrışma süreci ile birlikte ortamdaki organik fraksiyonların suya geçebilen kısımlarını belirlemek amacıyla ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Bunun için %5 KM olacak şekilde hazırlanan solüsyonlar orbital inkübatöre konarak 2 saat süre ile ekstrakte edilmiştir. Daha sonra süzme işlemi yapılarak çözünmüş kısımlarda KOİ, toplam fosfor ve amonyak tayinleri yapılmıştır.

Reaktör profili boyunca numuneler alınarak su muhtevası, organik madde ve pH değerleri tayin edilmiştir. Kompostlaştırma sırasında oluşan sızıntı sularının miktarlarını ve özelliklerini belirlemek amacıyla numune alımları gerçekleştirilmiştir.

Bazı parametrelere ait analiz metotları aşağıda özetlenmiştir.

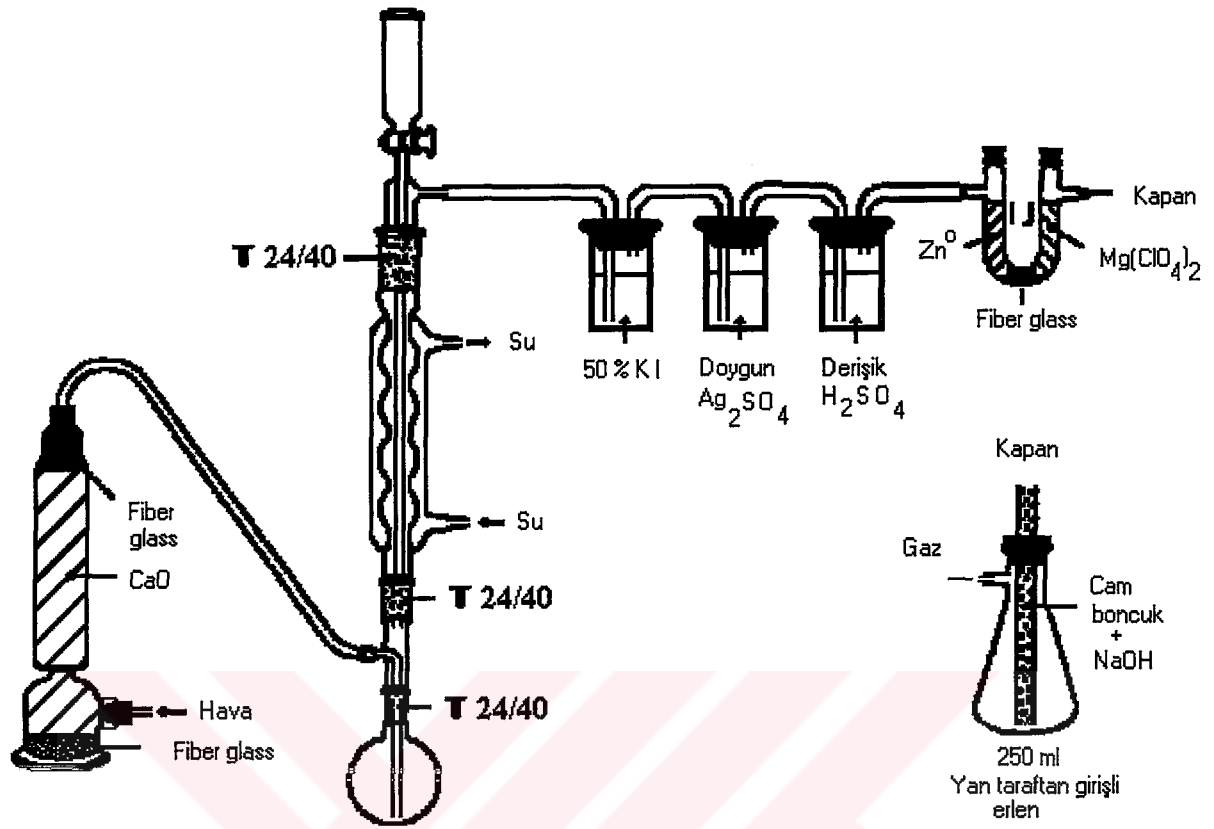
pH: Katı numunelere 1:5 oranında CO₂ siz su eklenerek 10 dak kadar manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra pH metrede (Jenway 3040 Ion Analyser) okuma yapılmıştır.

TOK analizi: asidik ortamda organik maddenin ayrışması sonucu açığa çıkan CO₂'nin KOH çözeltisi içerisinde tutulması ve sonra HCl çözeltisi ile titre edilmesi esasına dayanan ıslak yakma yöntemine göre yapılmış olup bu yöntemle ait deney düzeneği Şekil 5.6 'da gösterilmiştir. Numune 60:40 oranında H₂SO₄ ve H₃PO₄ karışımında (K₂Cr₂O₇ ihtiva eden) parçalanır.



Metaller: HNO₃ ve HClO₄ parçalaması yapıldıktan sonra, atomik absorpsiyon spektrofotometresi (UNICAM 929) ile, Ca²⁺, K⁺ ve Na⁺; çözündürme işlemi yapıldıktan sonra Alev fotometresi (Jenway PFP7) ile tayin edilmiştir.

NH₄⁺, NO₃ ve NO₂ : Buhar distilasyonu yöntemiyle tayin edilmiştir. Numune 2 M KCl ile ekstraksiyon işleminden sonra filtreden süzülüp hazır hale getirilmiş ve buhar distilasyonu cihazına konulmuş, NH₄⁺ için MgO reaktifi, NO₃+NO₂ için "Devarda's alloy" reaktifi eklenerek distilat borik asit içinde toplanıp, 0.0025 M H₂SO₄ ile titre edilmiştir (SSSA, 1993).



Şekil 5.6 Islak yakma yöntemine göre TOK tayini için deney düzeneği

KOI: Kapalı reflux, kolorimetrik yöntemle tespit edilmiştir. Numune hazırlandıktan sonra 2.5 ml alınarak Hach reflux tüplerine konmuş ve üzerine 1.5 ml parçalama reaktifi ve 3.5 ml sülfürik asit reaktifi eklenmiş sonra tüplerin ağzı sıkıca kapatılarak karıştırılmıştır. Daha sonra 2 saat süreyle 150 °C'de termoreaktöre (Velp Scientifica ECO 16 marka) bırakılmıştır. Reaksiyon sonrası tüpler soğutulmuş ve 600 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Jenway UV/VIS, Model 6105) analiz edilmiştir (APHA,1995).

TKN: Makro-Kjeldahl ve titrimetrik yöntem tatbik edilerek tespit edilmiştir. Numunede bulunan NH_4^+ ile NH_4^+ haline dönüştürülen organik azot, kuvvetli bazik ortamda distilasyon yapılarak borik asit içerisinde toplanmıştır. Borik asit içerisinde tutulan amonyum miktarı asit titrasyonu ile tespit edilmiştir.

$\text{NH}_3\text{-N}$: Kompost reaktörlerinde oluşan sızıntı sularında distilasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. pH'sı tamponlanarak 9.6'nın üzerine getirilen numunenin içerdiği amonyum, borik asit içerisinde toplanıktan sonra titrimetrik yöntemle tespit edilmiştir.

Toplam fosfor (TP) tayini: Asit parçalaması sonrası pH nötralizasyonu yapılmış ve kalay klorür metodu ile kolorimetrik olarak tayin edilmiştir. Oluşan mavi renk 690 nm’de Pharmacia LKB-Nowaspec-II (1 cm ışık yollu küvet) spektrofotometre kullanılarak okunmuştur.

Alkalinite: Kompost reaktörlerinde oluşan sızıntı suyundan alınan numuneler, 0.02 N H₂SO₄ ile pH 4.2-4.5’e gelene kadar titre edilerek toplam alkalinite tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5 Deneysel çalışmada yapılan analizler ve yöntemleri

Parametre	Analiz yöntemi	Kaynak
<u>Katı numuneler</u>		
SM	103 °C’de 24 saat	SSSA, 1993
pH	pH metre, 1:5 (w:w)	SSSA
OM	550 °C’de 2 saat	SSSA,
TOK	Islak Yakma yöntemi	SSSA,
TKN	H ₂ SO ₄ ve Kjeldahl tableti kullanarak parçalama	APHA (1995)
Toplam P (PO ₄ -P)	HNO ₃ ve HClO ₄ parçalaması sonrası AAS	Kocasoy, 1994
Metaller	HNO ₃ ve HClO ₄ parçalaması sonrası AAS	
Alkali Metaller	HNO ₃ ve HClO ₄ parçalaması sonrası Alev fotometresi	Kocasoy, 1994
NH ₄ , NO ₂ , NO ₃	2 M KCl ile ekstraksiyon sonrası Buhar distilasyon ve titrasyon	(SSSA, 1993).
<u>Sıvı numuneler</u>		
KOİ	Kapalı reflux, kolorimetrik	APHA (1995)
BOİ ₅	Seyreltme metodu	APHA (1995)
Alkalinite	Titrasyon metodu	APHA (1995)
TKN	Kjeldahl metodu	APHA (1995)
NH ₄ ⁺ -N	Kjeldahl metodu	APHA (1995)
PO ₄ -P	Spektrofotometrik, SnCl ₂ metodu	APHA (1995)

5.9.2 Gaz Analizleri

Reaktörden çıkan gazlarda O₂, CO₂ ve NH₃ tayinleri yapılmıştır. CO₂, Orsat cihazı ile günlük olarak yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Reaktör çıkış gazı içindeki oksijen de yine Orsat

cihazı ile tespit edilmiştir. CO₂, KOH solüsyonu ve O₂, Alkali Progalol çözeltisi yardımıyla absorplanmıştır.

Reaktörlerde oluşan amonyağı tespit etmek için, gaz akım hattına amonyak tutucu konmuş ve içine 0.1 N H₂SO₄ çözeltisi eklenmiştir. Asit çözeltisi 3-5 günlük aralıklarla değiştirilerek oluşan NH₃ miktarı Nessler yöntemine göre; Jenway UV/VIS spektrofotometrede (Model 6105, 2 cm ışık yollu küvet) 425 nm dalga boyunda tayin edilmiştir. Kalibrasyon eğrisi 0 ila 6 mg/l NH₃-N aralığında hazırlanan 10 adet standartla çizilmiştir ($R^2=0.9989$).



6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Isparta gül işleme sanayi atıklarının evsel katı atıklarla beraber veya ayrı olarak kompost yapılabilme imkanları, uygulamada proses için gerekli parametrelerin etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmalar iki seri halinde yapılmıştır. Birinci seride posanın gözenek materyali ve aşı malzemesi ile farklı oranlarda karıştırılarak, ikinci seride ise gül posası ile evsel katı atıkların organik kısmının farklı oranlarda karıştırılarak kompostlaşabilirlik araştırmaları yapılmıştır.

Bu bölümde; kompostlaştırma prosesini etkileyen sıcaklık, hava miktarı, su muhtevası vb. gibi önemli işletme parametreleri göz önüne alınarak; malzeme kütle ve hacmi azalması, reaktörden çıkan gazların (CO_2 , O_2 ve NH_3) ve sızıntı sularının miktar ve özellikleri, yoğunlaşan su miktarı, kompost ürünün kalitesine ilişkin elde edilen sonuçlar ve bunların değerlendirmeleri verilmiştir. Organik maddenin ayrışma kinetiği ve istatistiksek değerlendirmeler de yapılan çalışmalar arasındadır. Ayrıca laboratuvar araştırmalarını takip eden bir uygulama için gül kompostu üretimi akım şeması ve elde edilecek ürünün kullanım alanlarına ilişkin değerlendirmeler sunulmuştur.

Yapılan tüm analiz sonuçları ve değerlendirmeleri; katı, sıvı ve gaz numuneleri esasında ayrı kısımlar halinde aşağıda verilmiştir.

6.1 Katı Numunelerde Yapılan Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

6.1.1 Reaktör Profili Boyunca Sıcaklık Değişimleri

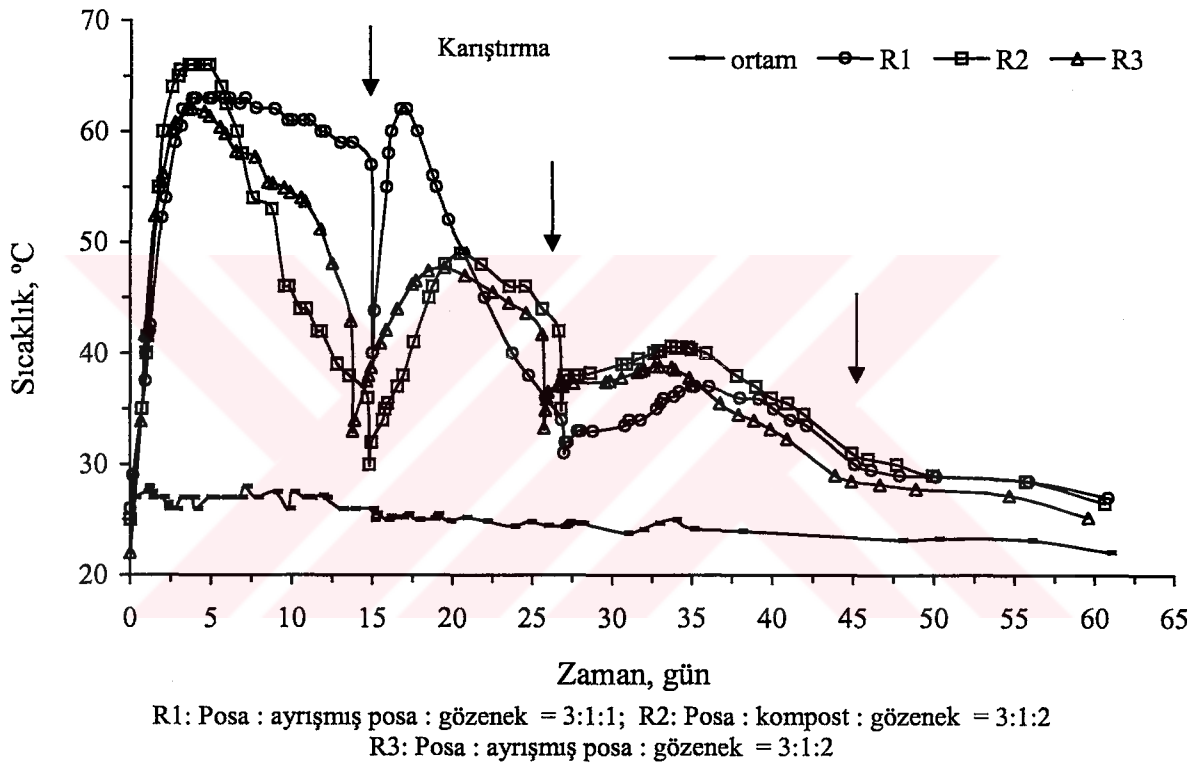
Sıcaklık, deneysel çalışma reaktörlerindeki mikrobiyal aktivitenin en önemli göstergesi olarak takip edilmiştir. Aşağıda her iki seri için elde edilen sıcaklık gelişimleri sunulmuştur.

1. Seri çalışmalar

1. Seri reaktörlerde (R1, R2 ve R3), reaktör merkezlerinde ulaşılan maksimum sıcaklıklar sırasıyla 63 °C, 66 °C ve 62 °C olup bu sıcaklıklara ulaşmak için geçen süreler 3.8 gün; 3.6 gün ve 3.8 gün olarak kaydedilmiştir (Şekil 6.1). %20 gözenek oranına sahip R1 reaktörü ile gözenek oranı %33 olan R2 ve R3 reaktörlerinde başlangıç sürecinde sıcaklık artışları arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. En yüksek sıcaklık, çok önemli bir fark olmamakla beraber, aşı olarak EKA kompostunun kullanıldığı R2 reaktöründe meydana gelmiştir.

Gözenek oranının düşük olduğu 1. reaktörde, sıcaklık daha uzun süre düşmeden kalmıştır. Malzemenin karıştırılmasını müteakip, ortamda daha fazla ayrılmamış organik madde bulunması nedeniyle, 1. reaktörde diğer reaktörlerden daha yüksek seviyede pik oluşmuştur.

Ayrılmış posanın aşısı olarak kullanıldığı R1 ve R3 reaktörleri ile EKA kompostundan aşısı olarak kullanıldığı R2 reaktöründeki stabilizasyon sürelerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Buradan ortama mikroorganizma kaynağı olarak ilave edilen aşısı türünün önemli bir etkisinin bulunmadığı ve gül posasının kompost yapmaya çok uygun bir biomas türü olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.1 Seri 1 çalışmalarda reaktör merkezlerindeki sıcaklığının zamanla değişimi

2. Seri çalışmalar

Reaktörlerin üst, orta ve taban kısımları ile üstteki gaz boşluğundaki sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü bu seri çalışmada, ölçüm sonuçları Şekil 6.2 ile Şekil 6.8 arasında verilmiştir. Reaktör merkezlerine ait sıcaklıkların verildiği Şekil 6.2 'de, hemen her reaktörde sıcaklık ilk gün içinde 70 °C'yi bulmuştur.

Karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerinde (K4 ve K5) sıcaklık düşmesi düzenli olarak seyretmesine karşılık; diğer reaktörlerde karıştırma sonrası, artan mikrobiyal faaliyet ve ayrılmamış organik madde dağılımındaki homojenleşme sonucunda sıcaklık yükselmesi

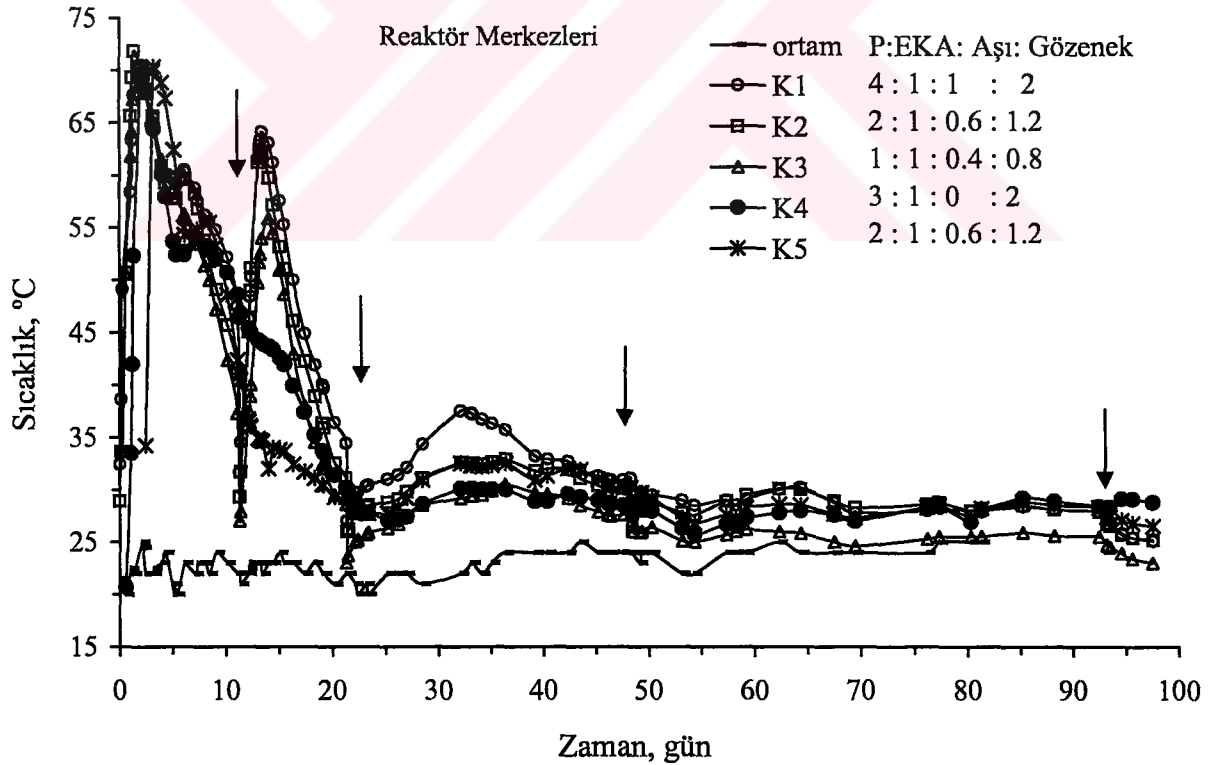
görülmektedir. Bu durum, Epstein(1997) tarafından verilen Walke (1975) çalışması ile uyum göstermektedir.

Reaktör merkezindeki sıcaklıklar, 50 gün civarında dış ortam sıcaklığına yaklaşmıştır.

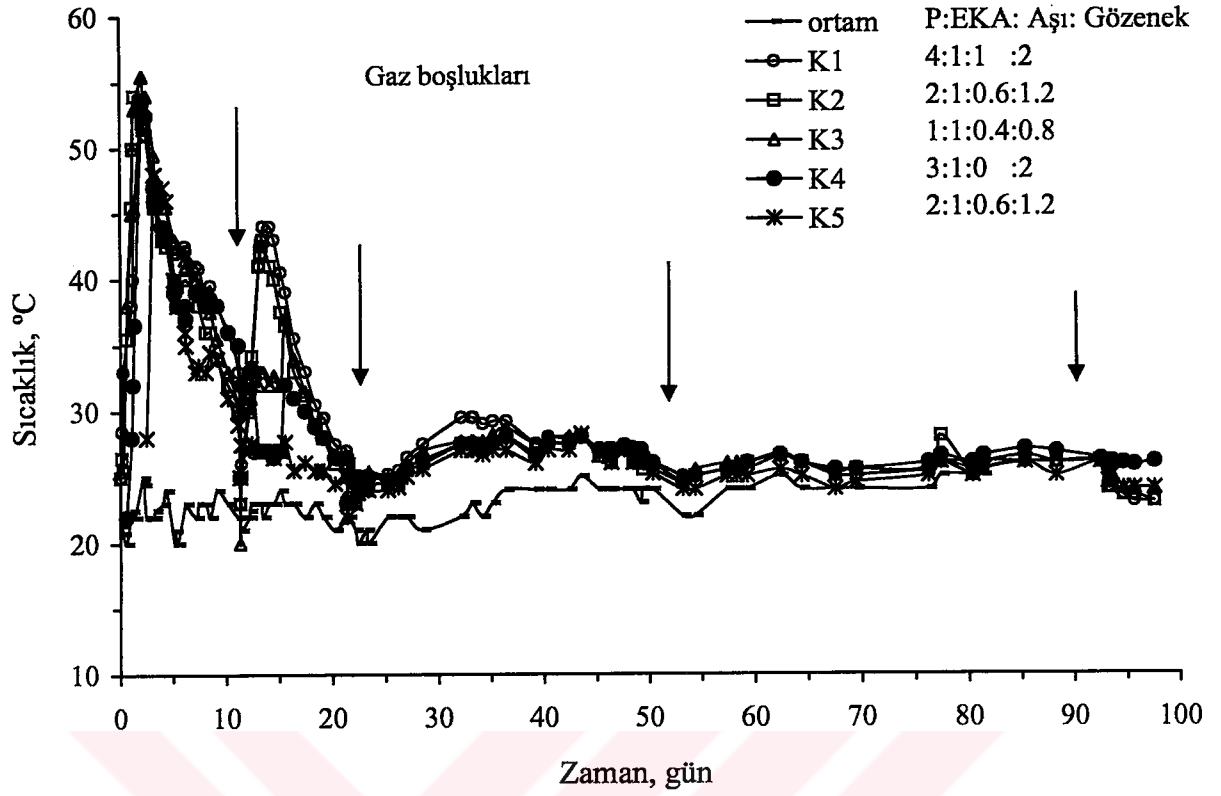
Reaktör gaz boşluklarındaki sıcaklıklar, merkez noktalarındaki sıcaklıklara paralel olarak ancak 15-20 °C daha düşük seviyelerde seyretmiştir (Şekil 6.3).

Reaktörlerin değişik noktalarına ait sıcaklıklar incelendiğinde; taze havanın alttan beslenmesi nedeniyle 1. karıştırmaya kadar tabandan yukarı doğru sıcaklığın kısmen arttığı ve 1. karıştırma sonrasında ölçülen noktalardaki sıcaklıkların nispeten birbirine yakın seyrettiği tespit edilmiştir (Şekil 6.4 ile Şekil 6.8 arası).

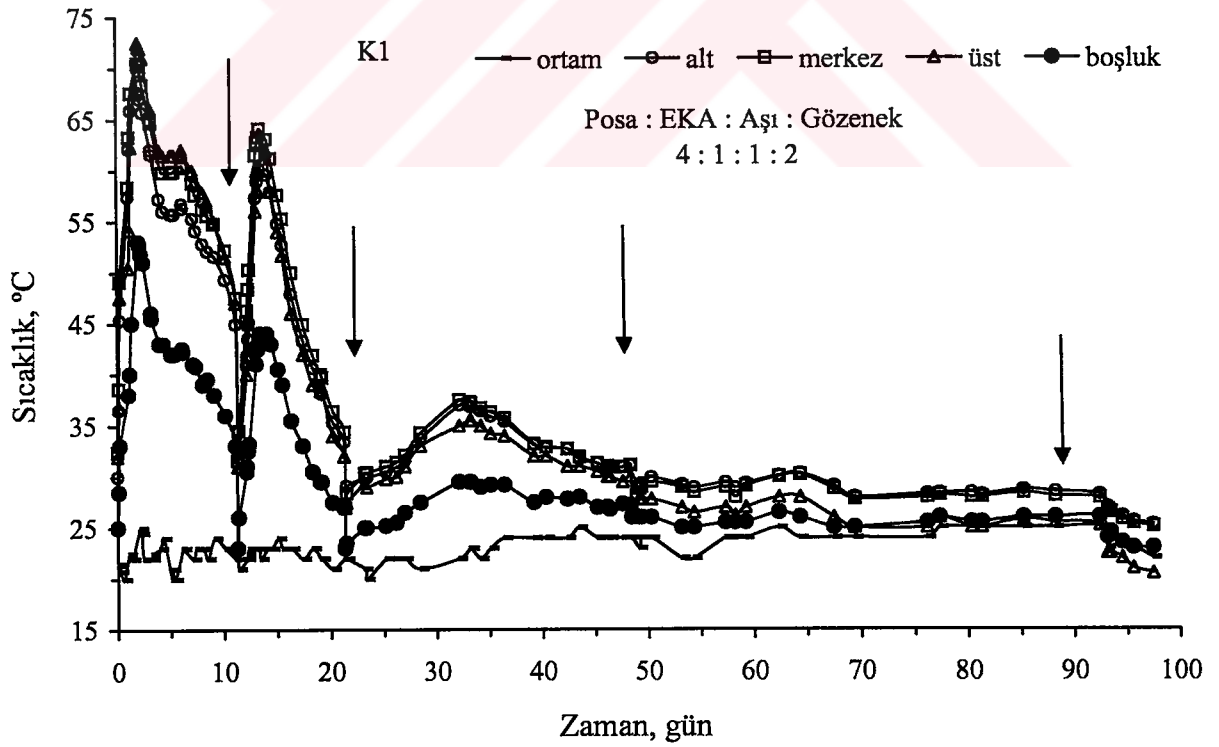
Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 'den görüleceği üzere, kontrol amaçlı olarak kurulan 4. ve 5. reaktörlerdeki sıcaklık düşmeleri, karıştırılanlara göre daha yavaş gerçekleşmektedir. Diğer bir ifadeyle aktivite daha düşük olmaktadır.



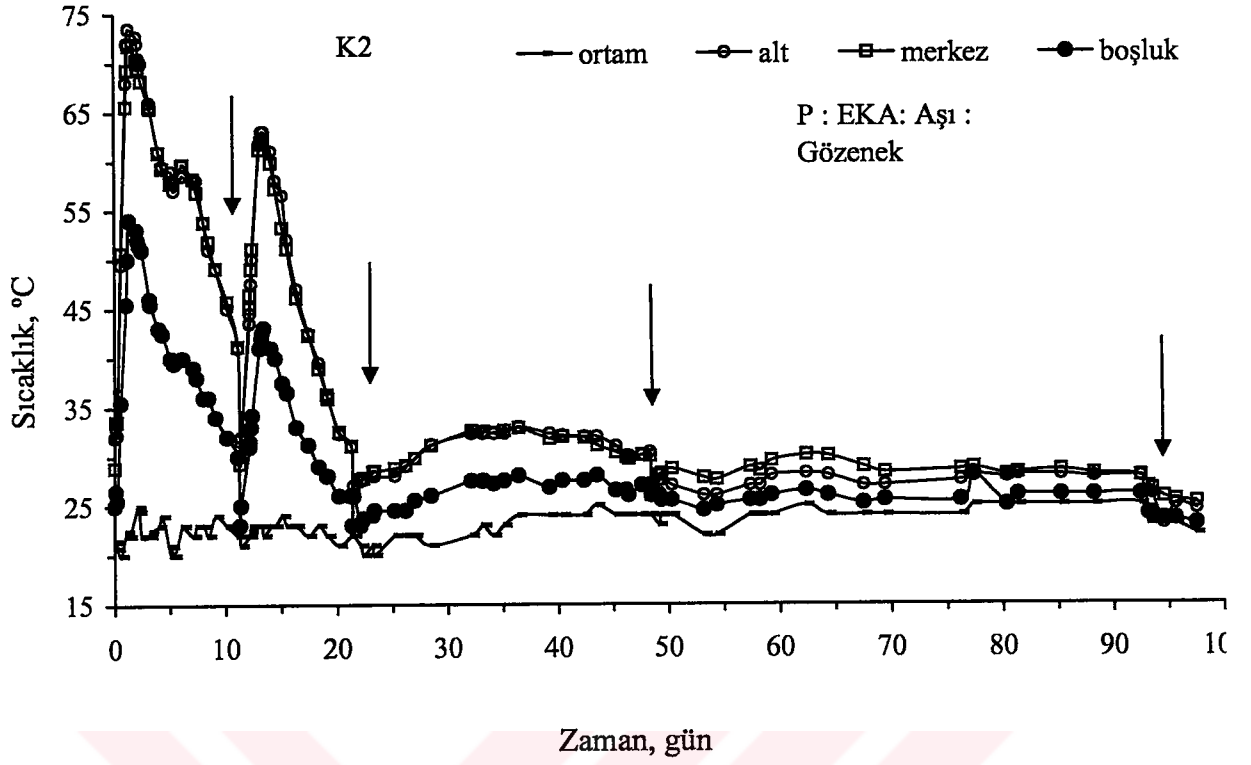
Şekil 6.2 Seri 2 reaktörlerinin merkezlerine ait sıcaklık eğrileri



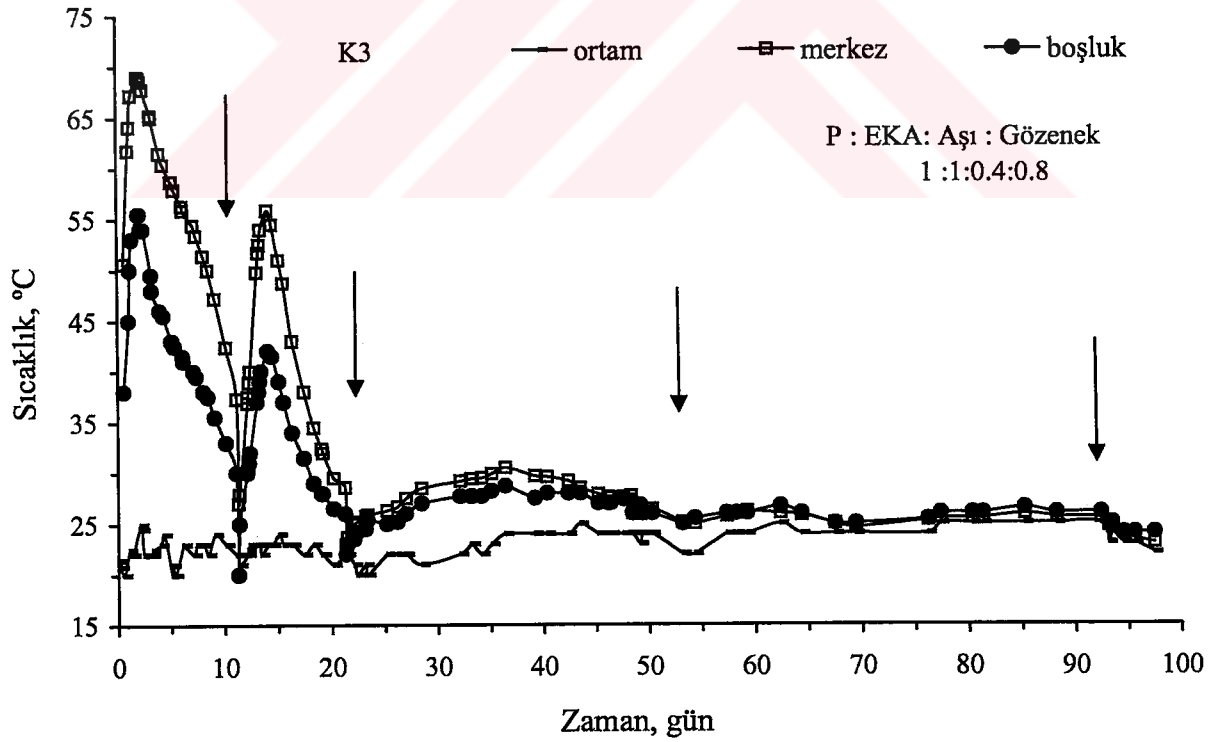
Şekil 6.3 Reaktörlerin gaz boşluklarına ait sıcaklık eğrileri



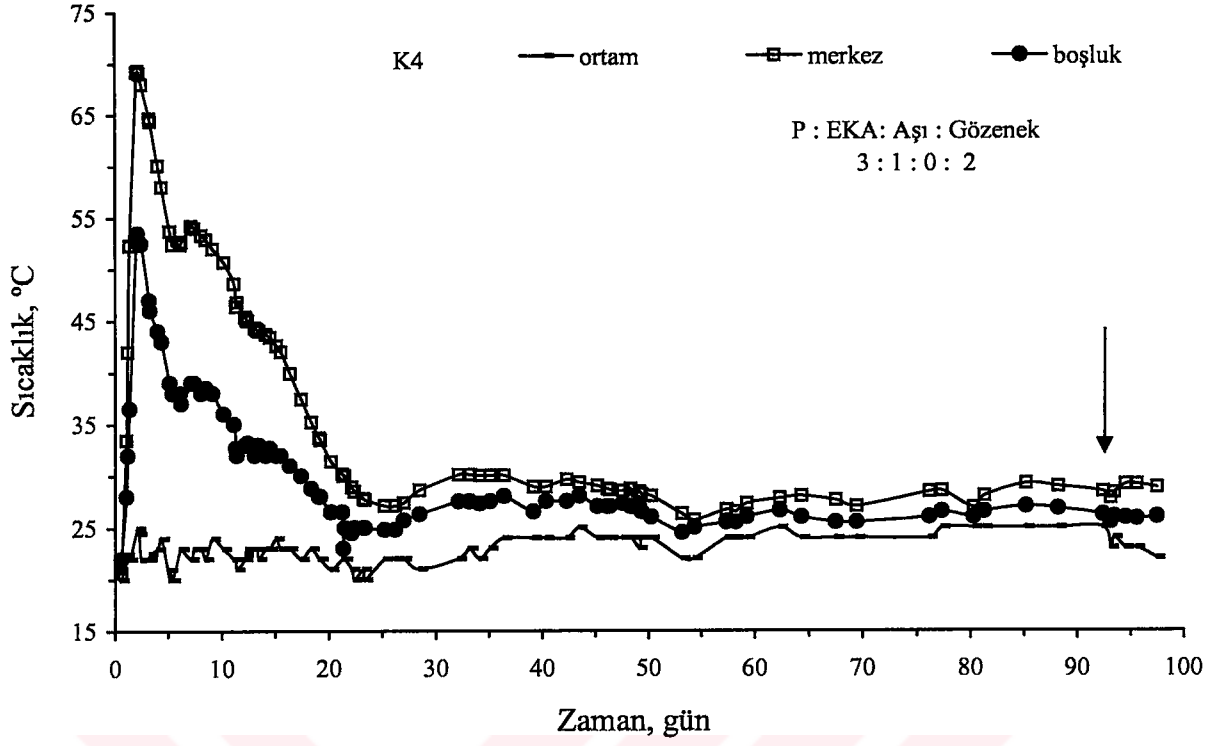
Şekil 6.4 K1 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi



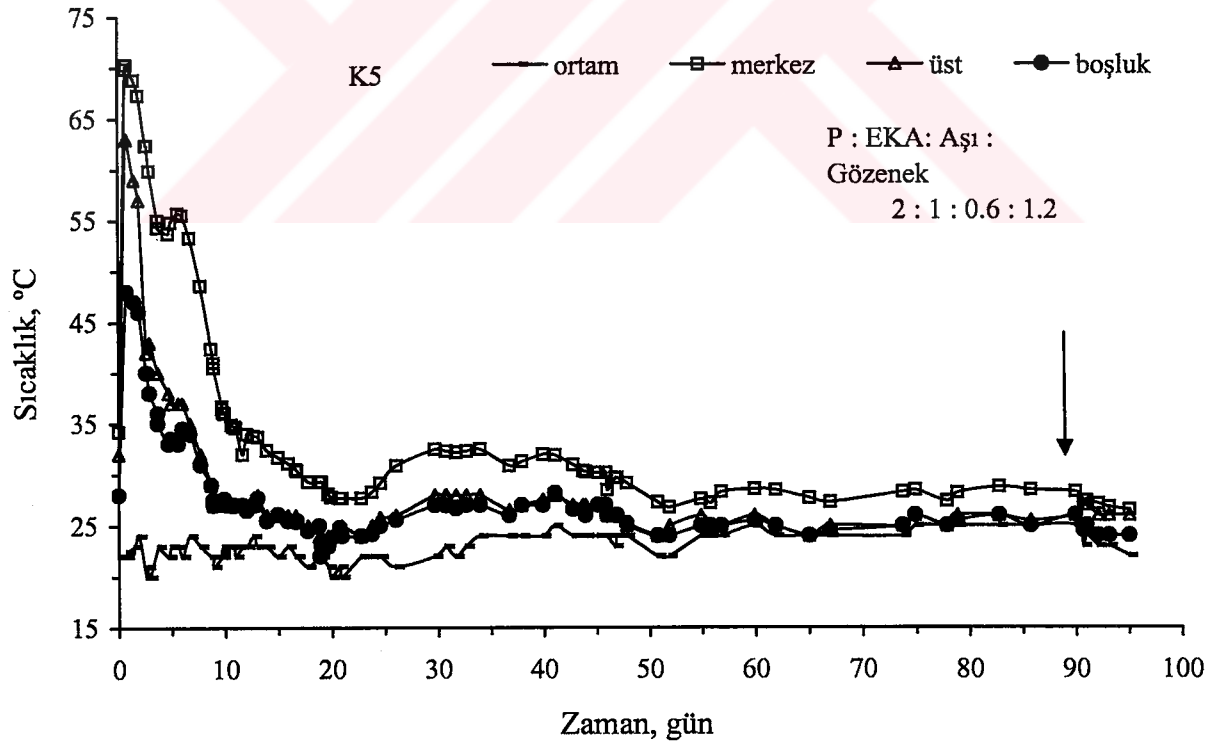
Şekil 6.5 K2 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi



Şekil 6.6 K3 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi



Şekil 6.7 K4 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi

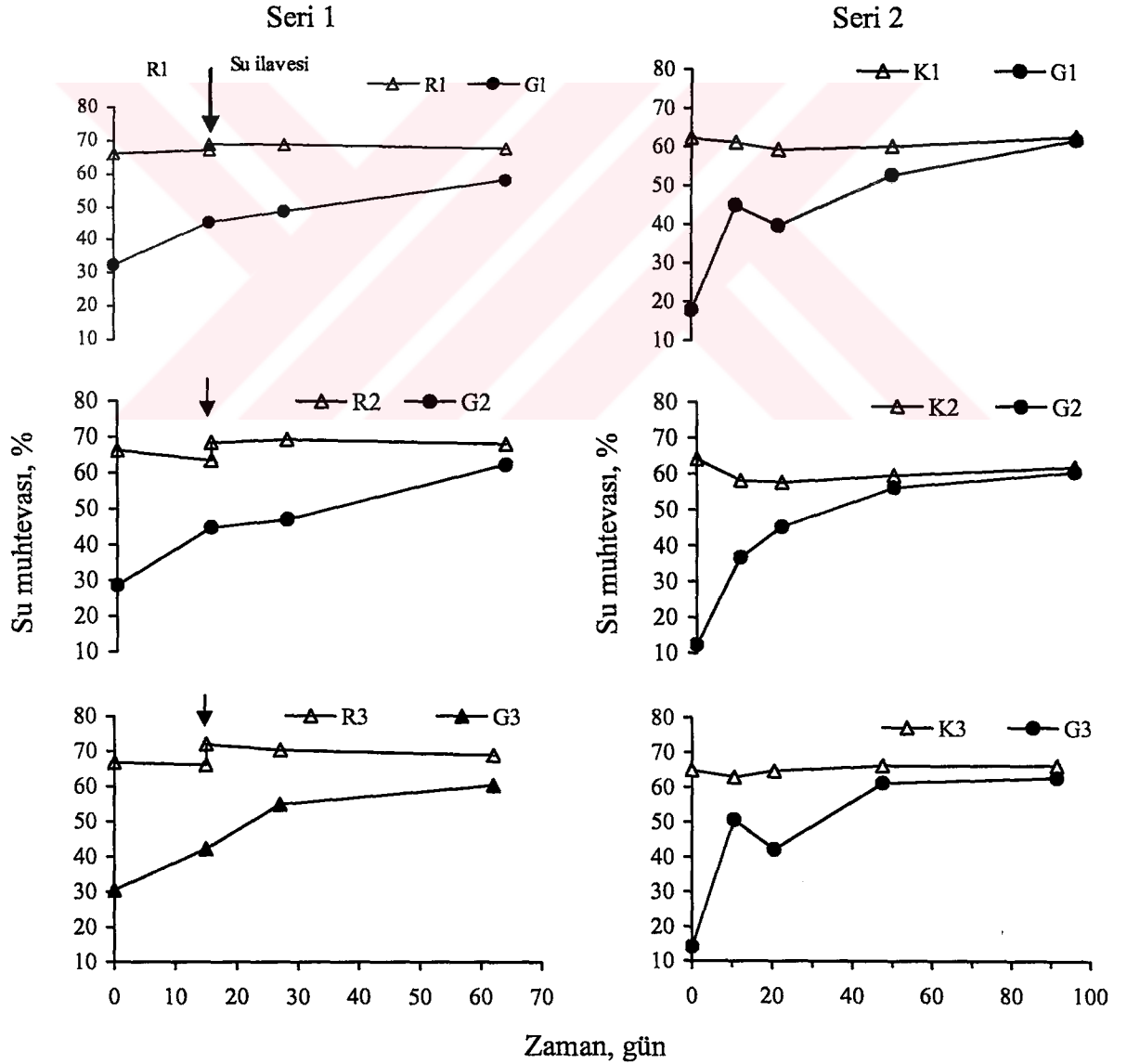


Şekil 6.8 K5 reaktörünün farklı noktalarındaki sıcaklık değişimi

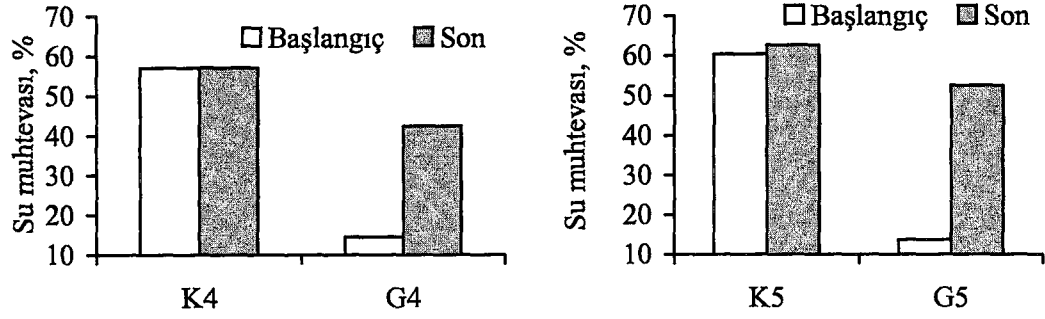
6.1.2 Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca SM Değişimleri

Her iki seri çalışmada, reaktörlerin tümünde, atık muhtevasının başlangıç su muhtevaları (SM) yaklaşık olarak % 60'a ayarlanmıştır. Sadece 1. seride ilk karışım esnasında 1 litrelik bir su ilavesi yapılmış ve serinin diğer karışımlarında ve 2. seri reaktörlerinin tümünde ara su eklemeleri yapılmamıştır. SM tespitleri, reaktörlerdeki kompostlaştırma işleminin başlangıcında, ara karışımlarda ve bitiminde tayin edilmiştir. Kontrol amaçlı olarak kurulan K4 ve K5 reaktörlerinde ise ara karışımlar yapılmadığından, sadece başlangıçta ve proses sonrasında numune alımları gerçekleştirilmiştir.

1. seri ve 2. seride yürütülen çalışmalarda karıştırma uygulanan reaktörlerin genelindeki SM değişimleri Şekil 6.9'da ve kontrol amaçlı reaktörlerin genelindeki SM değişimleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Karıştırmalı reaktörlerde su muhtevalarının zamanla değişimi



Şekil 6.10 Karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerindeki su muhtevalarının değişimi

Şekillerden, proses sürecinde tüm reaktörlerin kompost olacak malzemelerin SM'larında önemsiz mertebede bir azalmanın olduğu görülmüştür. Ortamdan buharlaşma ve sızma yoluyla kayda değer bir su kaybı olmasına rağmen, bu su kaybının SM'nın azalmasına yansımamasının sebebi, ortamdaki organiklerin bozunması ile meydana gelen kütle azalmasıdır.

Yine aynı şekillerden, reaktörlerde havalandırma etkinliğini artırmakta kullanılan gözenek malzemesinin de suyu absorpladığı ve zamanla başlangıç su muhtevasının yaklaşık 3-5 katına kadar arttığı da dikkati çekmektedir.

Reaktörlerde meydana gelen su kayıpları, proses süresince reaktörlerin tartımlarından hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelgeden, su kaybının 1. seri çalışmalarda % 32-42 ve 2. seri çalışmalarda ise %50-60 oranında oldu görülmektedir.

İkinci seri çalışmalarda, Çizelge 5.4'de verilen, reaktör profilleri ve eksenel durumları temsil edici A, B, C, D, E ve F noktalarında da SM tayinleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Şekil 6.11'den ayrışma süreci boyunca SM'nın en düşük ve en yüksek olduğu noktaların sırasıyla B (reaktör merkezi) ve D (üst kenar) noktaları olduğu görülmektedir. Her bir reaktörde, karışımlar bazında, ölçülen maksimum (D noktası) ve minimum (B noktası) su muhtevaları arasındaki farkların değişimi Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çizelgeden bu değerlerin ilk karışımda %26-38 arasında olduğu ve her karışımda azalarak, dördüncü karışımdan sonra %3-6 seviyesine düştüğü görülmektedir. Karıştırma yapılmayan K4 ve K5 reaktörlerinde ise proses sonrasında SM'nın maksimum ve minimum olduğu noktalar arasındaki fark sırasıyla 40.7 ve 24.0 olarak gerçekleşmiştir. Bu suretle, karıştırmanın SM'nın ve dolayısıyla biyolojik reaksiyonların da homojen olmasını sağlaması ortaya konulmuştur.

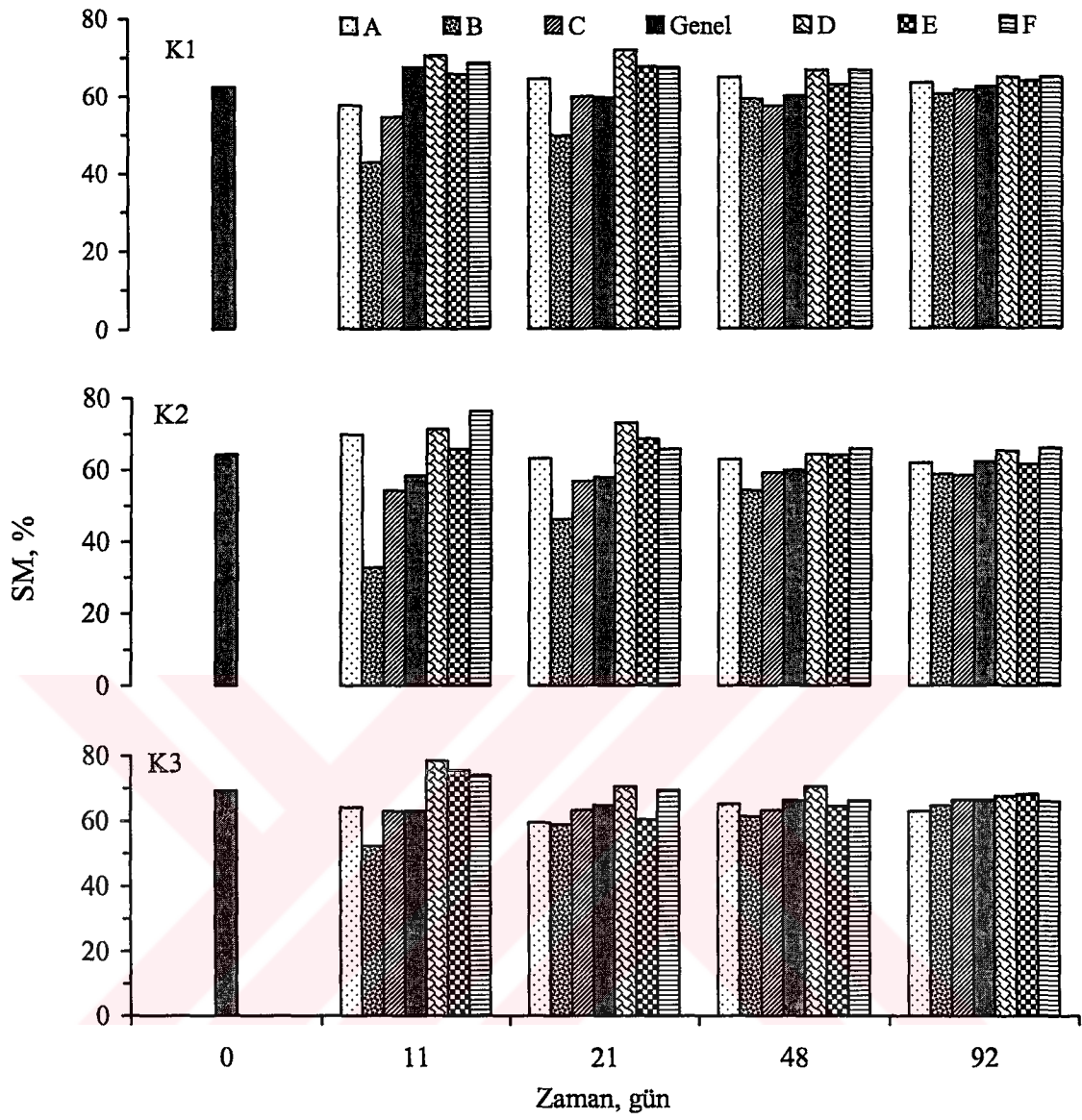
Çizelge 6.1 Reaktörlerdeki su kayıpları

	Reaktör No	Materyalin yaş ağırlığı, g		SM, %	Su miktarı, g	Su kaybı, %
Seri 1	R1	Başlangıç	19841	63,7	12641	32.4
		Son	12585	67,9	8544	
	R2	Başlangıç	18786	67,2	12626	41.6
		Son	10831	68,1	7376	
	R3	Başlangıç	18796	67.0	12595	37.3
		Son	11450	69.0	7900	
Seri 2	K1	Başlangıç	15601	60.0	9361	50.5
		Son	8426	55.0	4634	
	K2	Başlangıç	13926	60.0	8356	64.0
		Son	6340	47.4	3005	
	K3	Başlangıç	14148	63.7	9012	68.8
		Son	5873	47.9	2813	
	K4	Başlangıç	17404	60.0	10442	64.9
		Son	7808	46.9	3662	
	K5	Başlangıç	7737	60.0	4642	59.5
		Son	3998	47.0	1879	

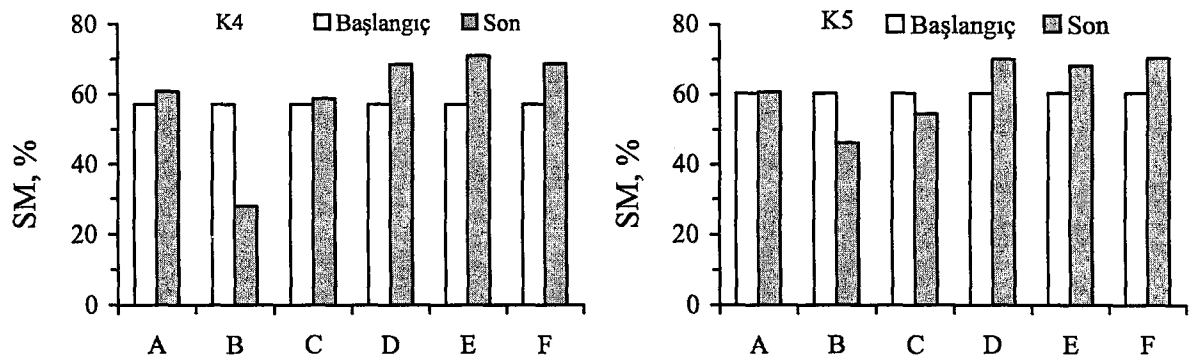
Çizelge 6.2 Maksimum ve minimum su muhtevaları farkı ($SM_{B\text{noktası}} - SM_{D\text{noktası}}$, %)

Zaman (gün)	Karıştırmalı reaktörler			Karıştırmaz reaktörler	
	K1	K2	K3	K4	K5
10.6	27.5	38.6	26.2	-	-
20.6	22.1	26.7	11.7	-	-
47.6	7.4	10.0	9.2	-	-
91.6	4.3	6.4	3.0	40.7	24.0

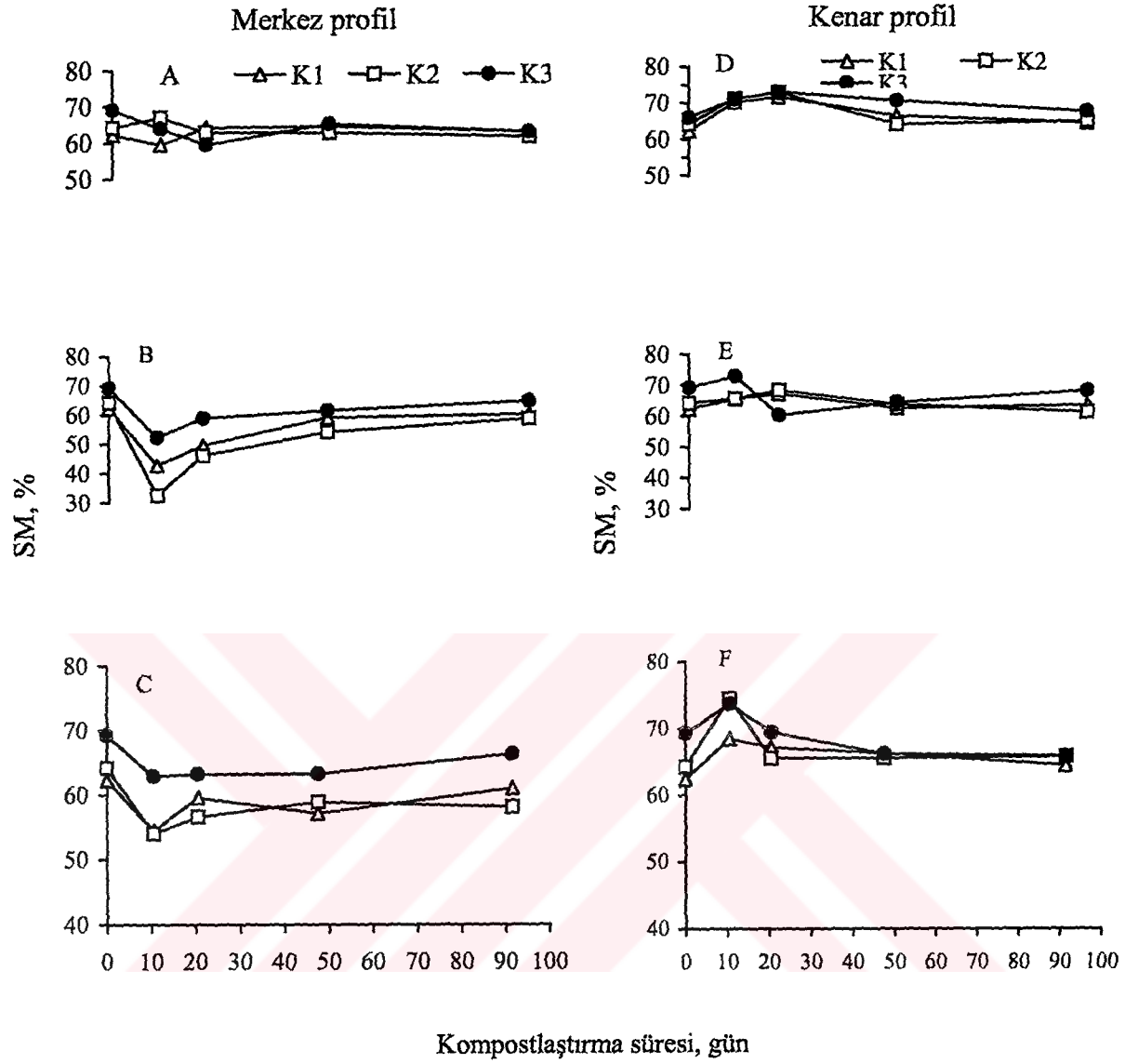
Şekil 6.13'de, karıştırmalı reaktörlerin her bir farklı noktası için ayrı olmak üzere, su muhtevalarının zamanla değişimi gösterilmiştir. En fazla değişim reaktörün merkez bölgesini temsil eden B noktasında görülmüştür. Reaktörün iç bölgelerinde (B, C) başlangıçta bir düşme olmuş daha sonra yükselme olurken, reaktörün dış bölgelerinde (A, D, E ve F) başlangıç aşamasında biraz yükselme olurken daha sonra düşme meydana gelmiştir. Reaktörün iç bölgelerinde reaksiyon hızının yüksek, dış bölgelerde düşük olmasından kaynaklanan bu durum karıştırma yapmanın etkisiyle zamanla birbirine yakın bir seviyeye gelmiştir.



Şekil 6.11 Seri 2 karıştırılmalı reaktörlerin farklı noktalarındaki su muhtevası dağılımı



Şekil 6.12 Seri 2 kontrol reaktörlerin farklı noktalarında su muhtevası dağılımı



Şekil 6.13 Reaktörlerin her bir noktasında su muhtevasının zamanla değişimi

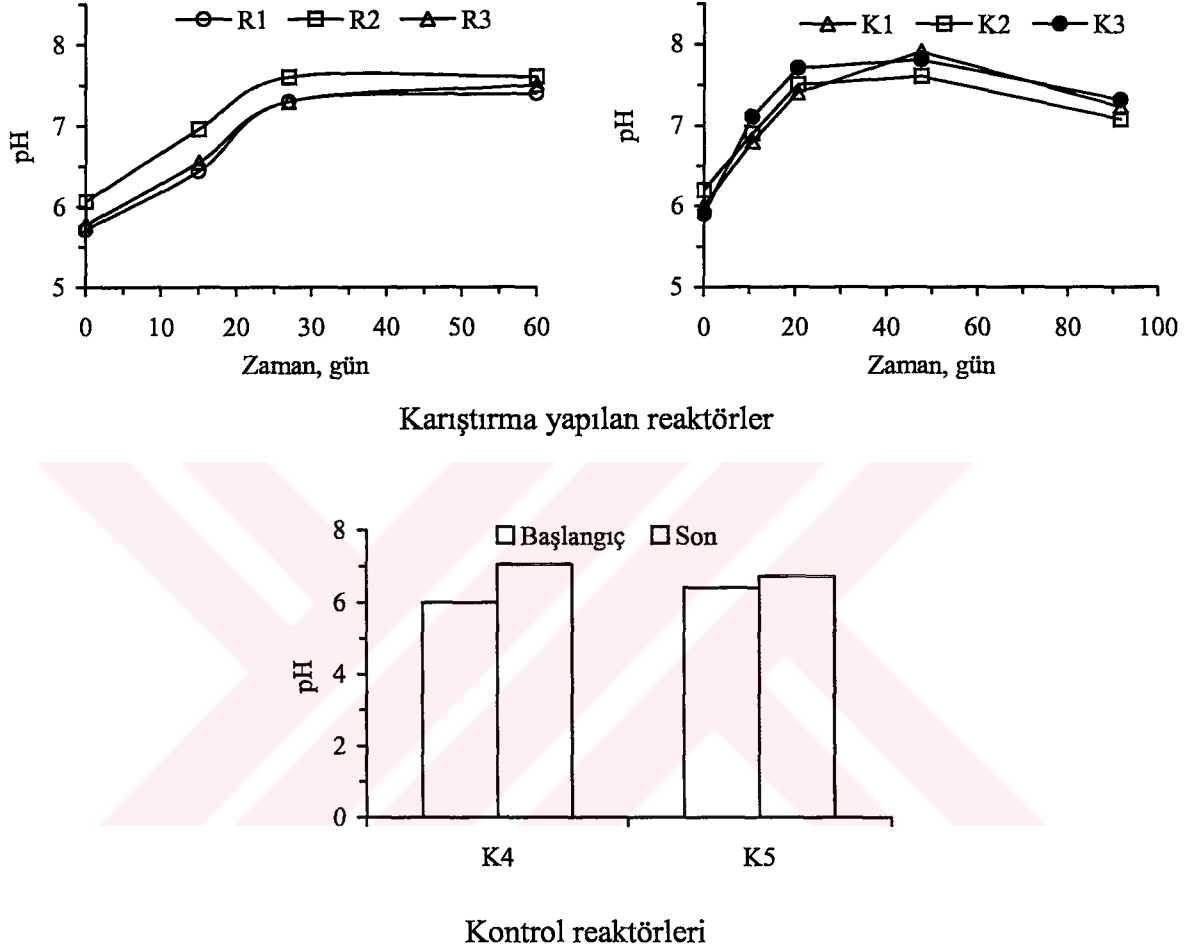
6.1.3 Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca pH Değişimleri

Seri 1 ve Seri 2’de yapılan pH ölçüm sonuçları Şekil 6.14’de gösterilmiştir. Her iki seride karıştırma yapılan reaktörlerdeki pH eğilimleri benzerlik göstermektedir. İlk 20 günde pH değerinde bir artış görülmüş, sonra aynı seviyede kalmıştır. İkinci seride stabilizasyon süresinin daha uzun olması nedeniyle 60 günden sonra pH değerinde nispeten bir düşme eğilimi görülmüştür.

1. Seri çalışmalarda her bir reaktör için pH değerleri sırasıyla başlangıçta 5.7, 6.1 ve 5.8 iken, proses sonrasında 7.4, 7.6 ve 7.5 değerlerine yükselmiştir.

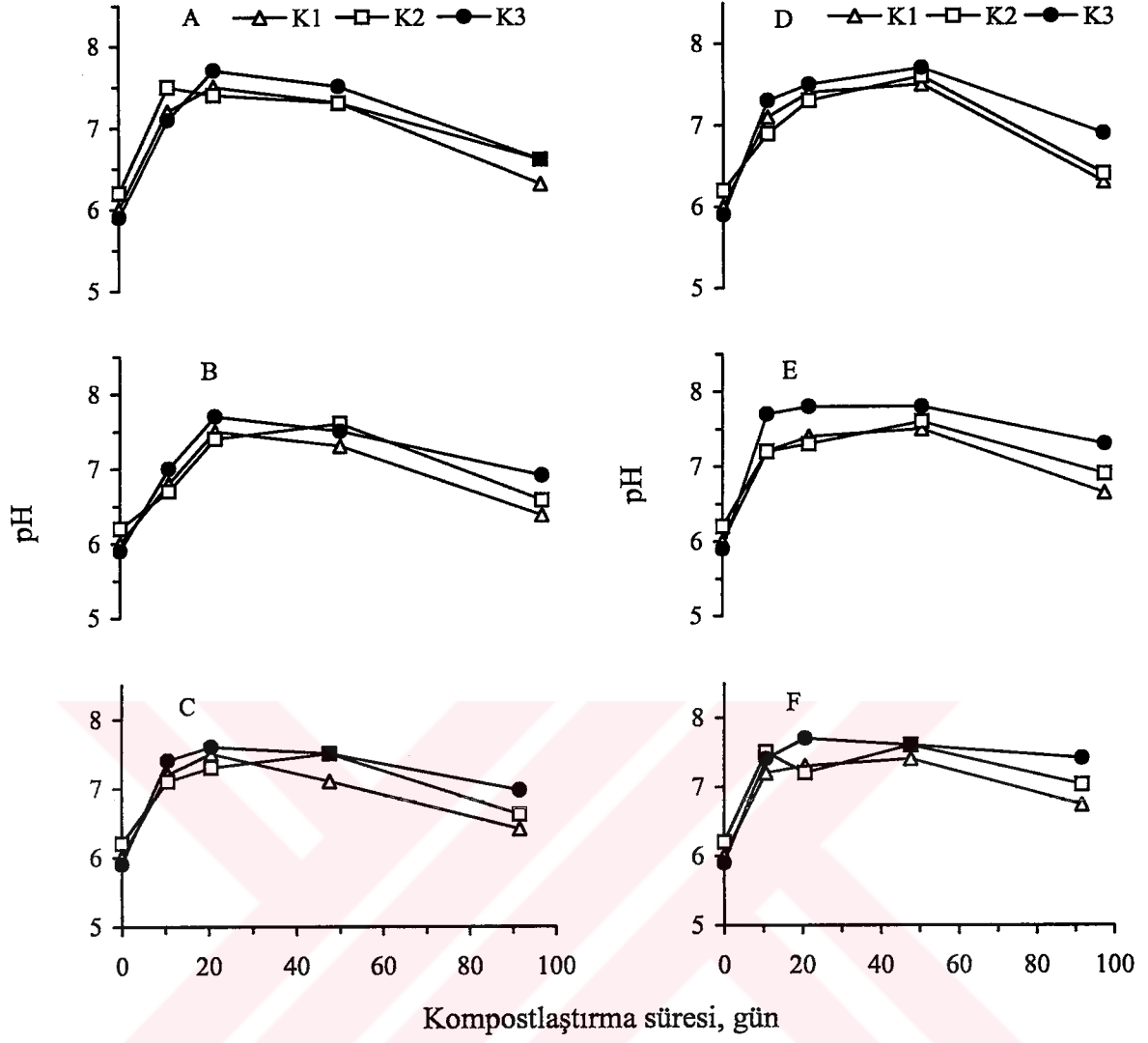
2. Seri başlangıç pH değerleri K1, K2 ve K3 reaktörleri için 6.0, 6.2, 5.9 iken proses sonunda 7.2, 7.1, 7.3 olarak gerçekleşmiştir.

Kontrol reaktörlerinde ise başlangıç pH değerleri K4 ve K5 için 6.0 ve 6.4 iken proses sonunda 7.1 ve 6.7 olmuştur.

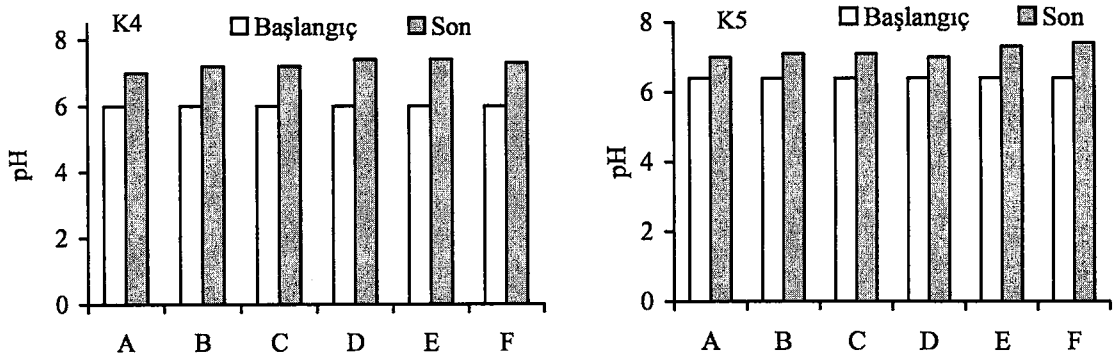


Şekil 6.14 Seri 1 ve seri 2 çalışmalarda pH'nın zamanla değişimi

Farklı noktalardaki pH değişimleri, karıştırmalı reaktörlerde Şekil 6.15'de ve kontrol reaktörlerinde Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Şekilden, tüm noktalardaki pH değerlerinde, zamanla değişim açısından, hemen hemen benzer eğilimler görülmüştür. Her noktada, genelde olduğu gibi, kompostlaştırma başlangıcından itibaren yaklaşık 20 gün boyunca bir artış varken daha sonra düşme meydana gelmiştir.



Şekil 6.15 Karıştırmalı reaktörlerin farklı noktalarında pH'nın değişimi

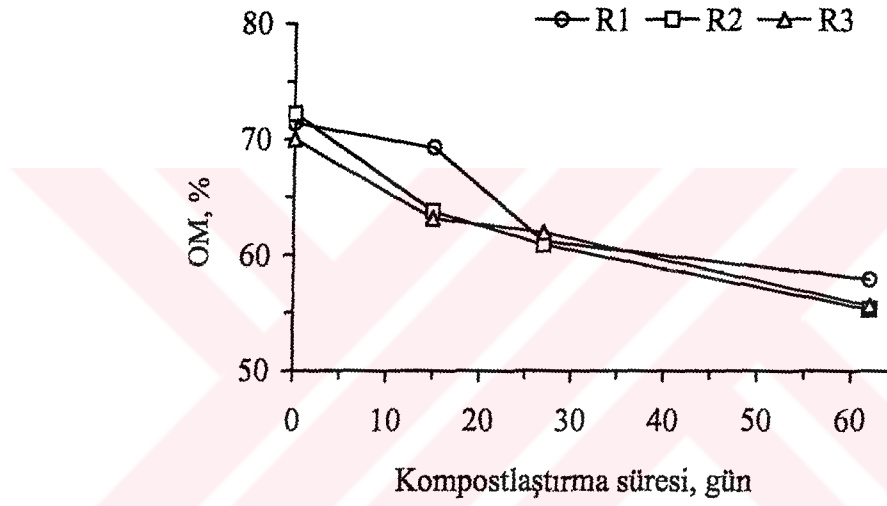


Şekil 6.16 Kontrol reaktörlerinin farklı noktalarında pH'nın değişimi

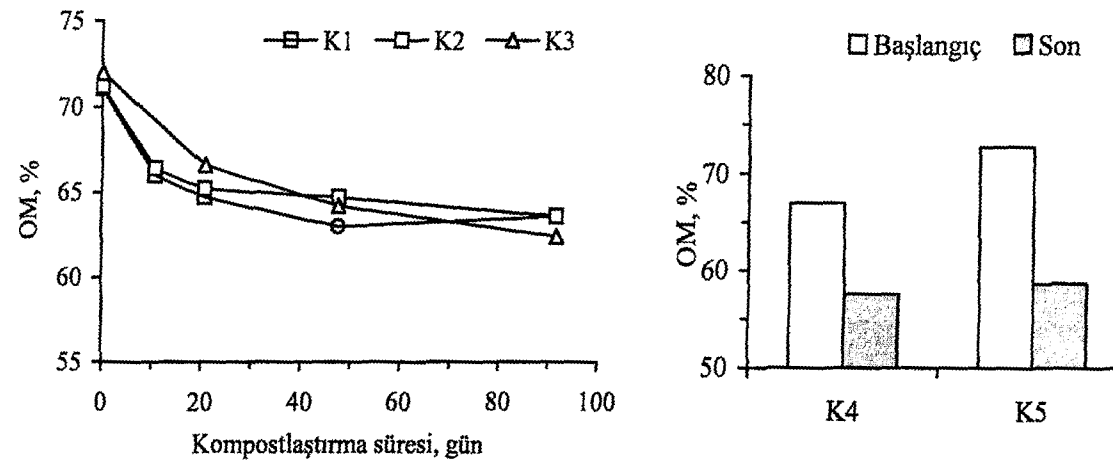
6.1.4 Reaktör Geneli ve Merkez/Kenar Profilleri Boyunca OM Değişimleri

Kompostlaştırma işlemi sürecince organik madde ayrışmasını takip edebilmek için, tespit edilen organik madde muhtevasının zamanla değişimleri Şekil 6.17’de gösterilmiştir.

1. seri çalışmalarda, organik madde muhtevası, %70 seviyesinden, stabilizasyon süresi sonunda %55 seviyesine düşmüştür. Gözenek oranı az olan R1 reaktöründe daha az ayrışma gerçekleşmiştir. 2. seri çalışmalarda organik madde muhtevasının %72 seviyesinden %62 seviyesine düştüğü belirlenmiştir. Ayrışma eğiliminin ilk 20 günde daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.17 Seri 1 kompostlaştırma işleminde OM'nin zamanla değişimi



Şekil 6.18 Seri 2 OM muhtevasının zamanla değişimi
a) Karıştırma yapılan reaktörler b) Kontrol reaktörleri

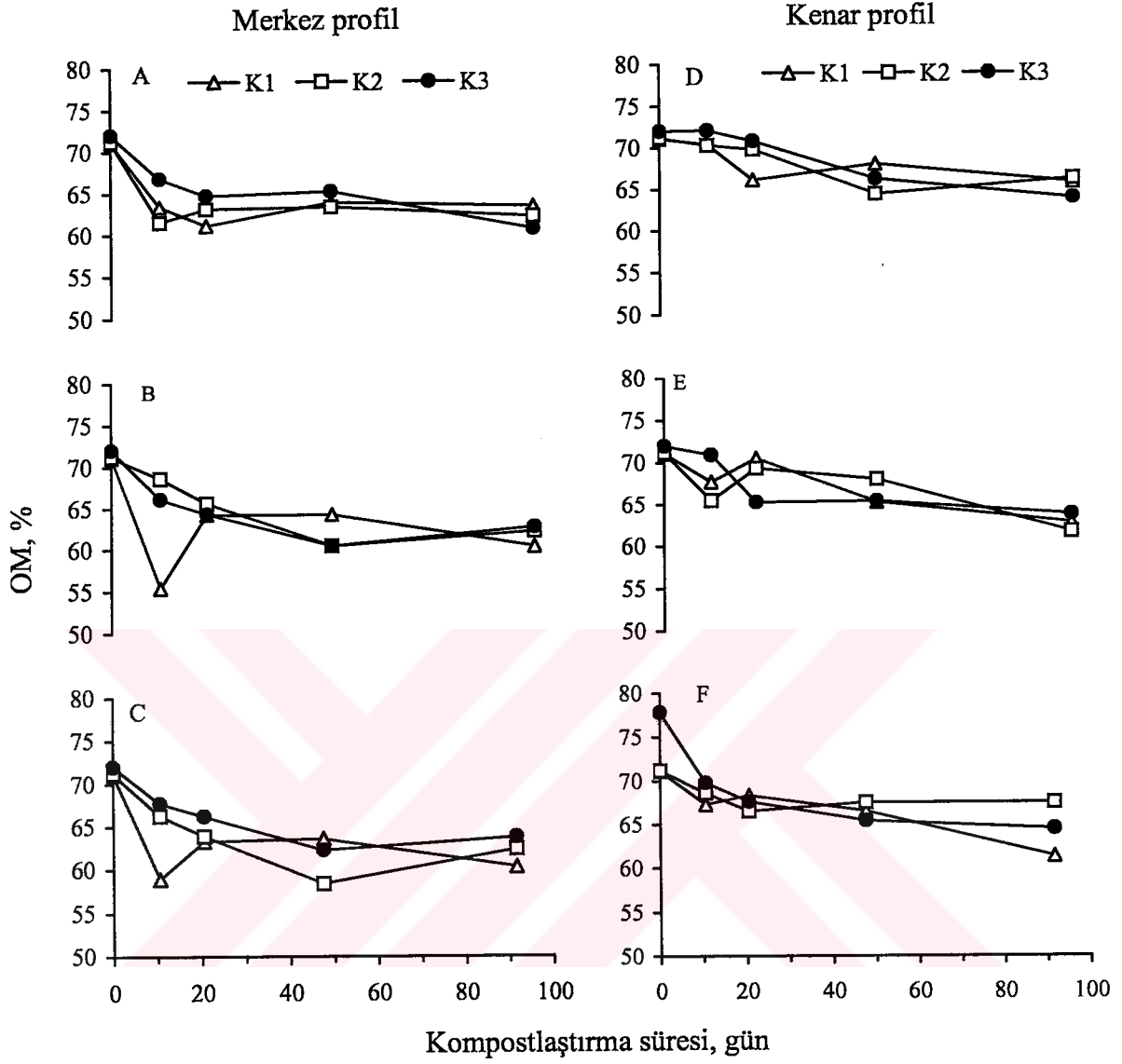
İkinci seri çalışmalarda farklı bölgelerdeki stabilizasyonu belirlemek amacıyla reaktörlerin merkez ve kenar profilleri boyunca A, B, C, D, E ve F simgesi ile temsil edilen bölgelerde organik madde muhtevası tayinleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de gösterilmiştir.

Ayrışma sürecinde zamanla alınan numunelerin organik madde muhtevası, reaktörün iç kısımlarında daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Her bir reaktöre ait numune alınan zamandaki maksimum ve minimum organik madde muhtevaları arasındaki farklar tespit edilmiş ve zamanla değişimi Çizelge 6.3’de verilmiştir. Çizelgeden bu değerlerin ilk karıştırmada %6-15 arasında olduğu ve zamanla azalarak proses sonunda %5 seviyesine düştüğü görülmektedir. Reaktörün iç bölgelerinde stabilizasyon hızının yüksek, dış bölgelerde düşük olması nedeniyle aynı zaman diliminde farklı bölgelerdeki maksimum ve minimum organik madde muhtevası arasındaki fark başlangıçta yüksek iken, belli aralıklarla yapılan karıştırmanın etkisiyle azalmıştır.

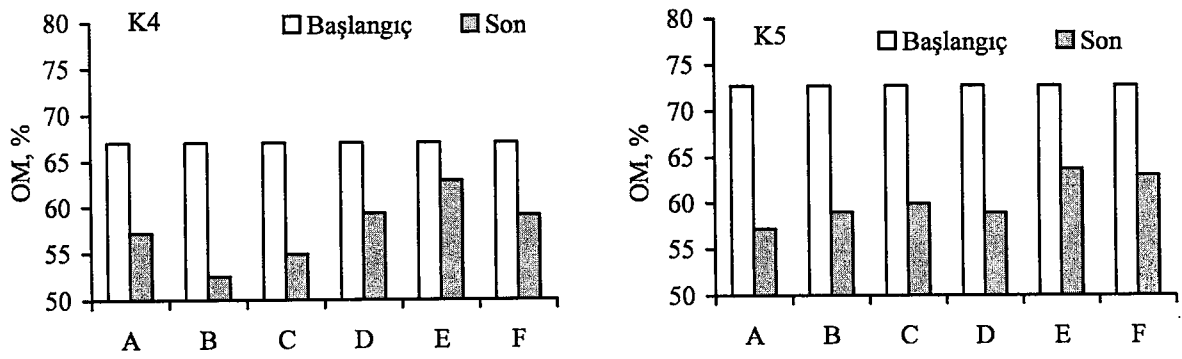
Kontrol amaçlı olan K4 ve K5 reaktörlerinde ise proses sonrasında organik madde muhtevasının maksimum ve minimum olduğu noktalar arasındaki fark sırasıyla %10.4 ve %6.5 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.3 Maksimum ve minimum OM muhtevaları farkı (%)

Zaman (gün)	Karıştırmalı reaktörler			Kontrol reaktörleri	
	K1	K2	K3	K4	K5
10.6	14.9	8.8	5.9	-	-
20.6	9.4	6.7	6.5	-	-
47.6	4.4	9.5	5.8	-	-
91.6	5.5	5.9	5.3	10.4	6.5



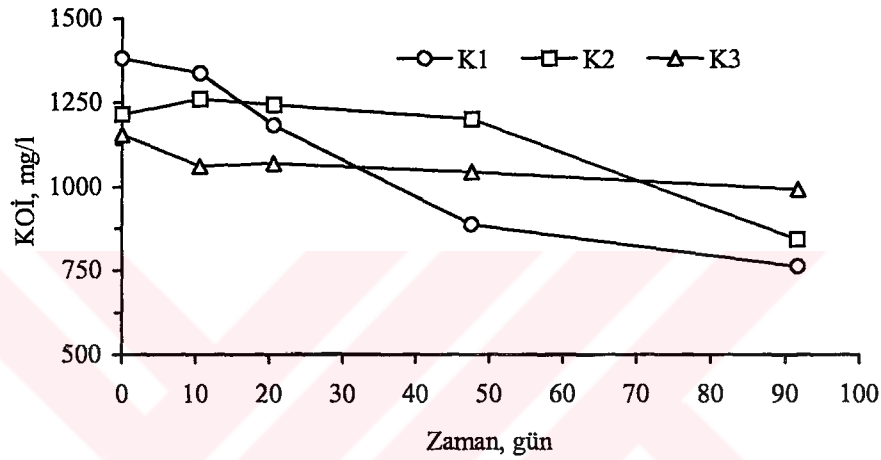
Şekil 6.19 Karıştırmalı reaktörlerin farklı noktalarında OM'nin değişimi



Şekil 6.20 Kontrol reaktörlerinin farklı noktalarında OM'nin değişimi

6.1.5 KOİ Değişimleri

Kompostlaştırma süresince alınan numunelerden su ekstraktlarına geçen çözünmüş KOİ ölçüm sonuçları Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Şekilden, organik maddelerin stabil hale gelmesi sebebiyle suya geçebilen, çözünmüş organik bileşenlerin konsantrasyonunun zamanla azaldığı görülmektedir. Reaktörlerde 1100-1300 mg/l mertebesinde olan başlangıç çözünmüş KOİ konsantrasyonlarının 92 günlük stabilizasyon süresi sonunda 800-1000 mg/l mertebesine düştüğü belirlenmiştir. Bu sonuç, Sidhu vd. (2001), tarafından yapılan benzer bir ekstraksiyon deneyi ile uyum göstermiştir.

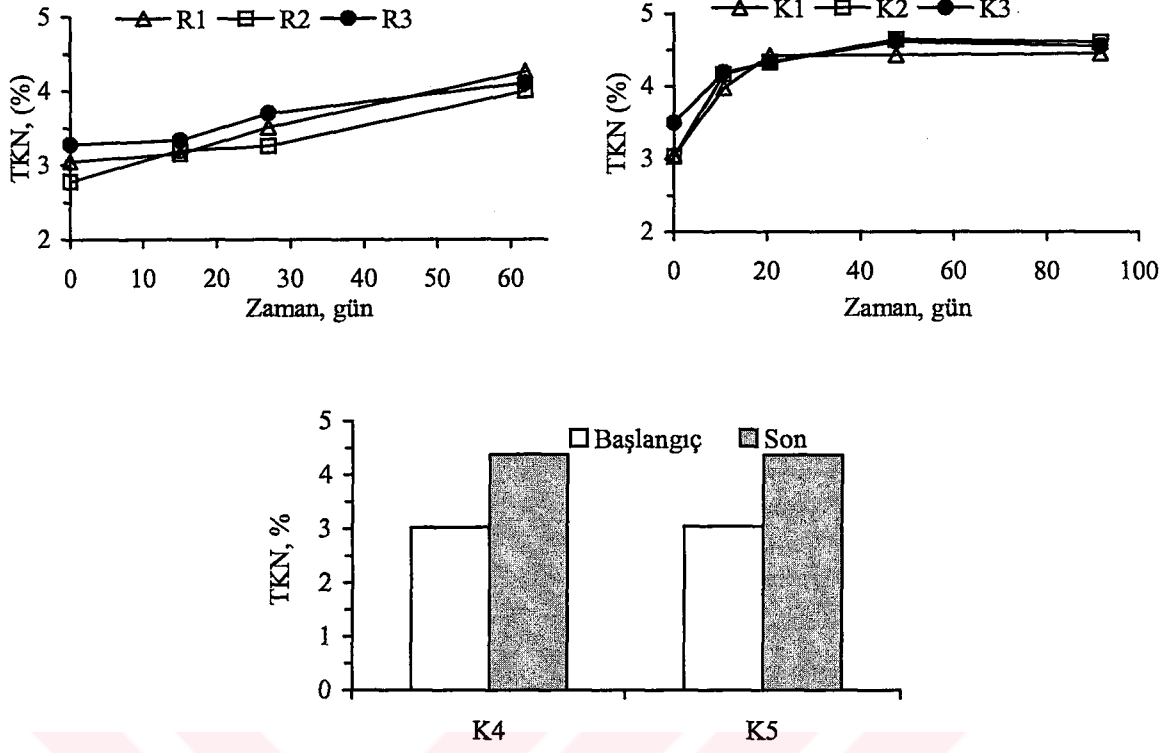


Şekil 6.21 Seri 2 çalışmalarda çözünmüş KOİ'nin zamanla değişimi

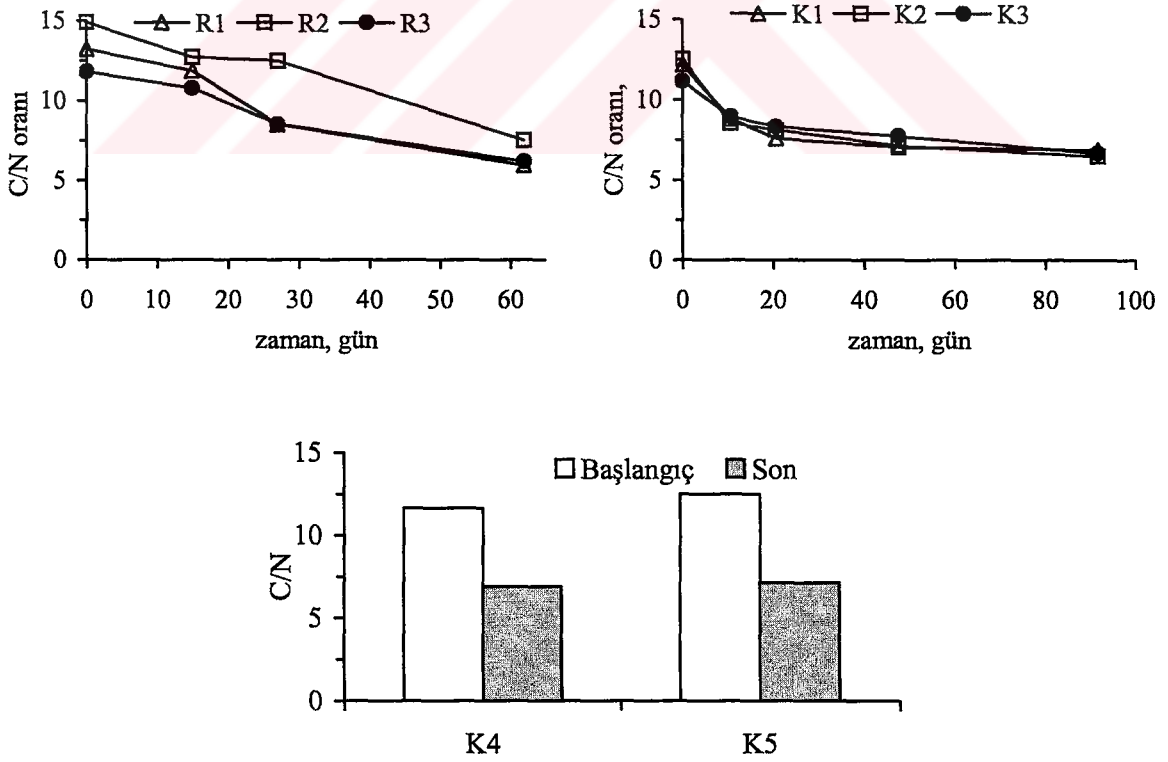
6.1.6 TKN ve C/N Oranı

Kompostlaştırma süresince TKN değerlerinin zamanla değişimi Şekil 6.22’de gösterilmiştir. Azot miktarlarında kütle kaybından ileri gelen bir artış görülmektedir. Her iki seride de başlangıçta %3 civarında olan azot miktarları stabilizasyon süresi sonunda %4-4.5 seviyesine yükselmiştir. Tejada vd., (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, aerobik ayrışma süresince karbonhidratlar ayrıştığı için CO₂ kaybı yüzünden azot değerlerinin, 1.34%’den 2.96%’ya çıktığı belirtilmiştir.

Kompostlaştırma işleminin en önemli göstergelerinden biri olan C/N oranının zamanla değişimi, her iki seri için Şekil 6.23’de gösterilmiştir. Şekilden, C/N oranının stabilizasyon süresince hızla azalmakta olduğu, proses sonunda ayrışmanın yavaşlamasıyla birlikte düşüş oranının çok azaldığı görülmektedir. 1. seri ve 2. seri çalışmalarda başlangıçta 12-15 civarında olan C/N oranı, stabilizasyon süresi sonunda 6.0-6.5 seviyesine düşmüştür.



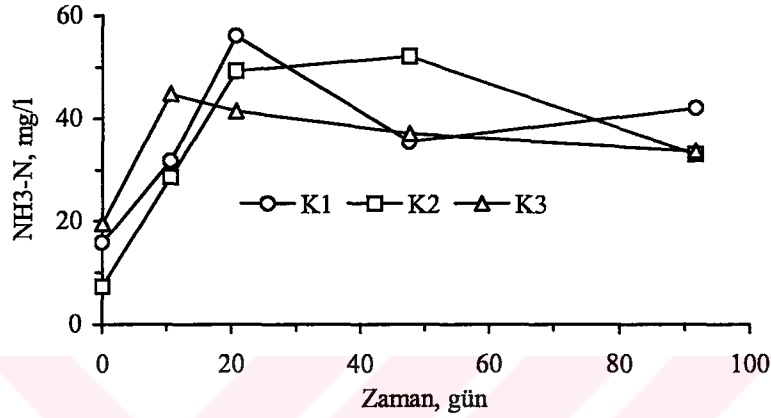
Şekil 6.22 Seri 1 ve seri 2'de TKN'un zamanla değişimi



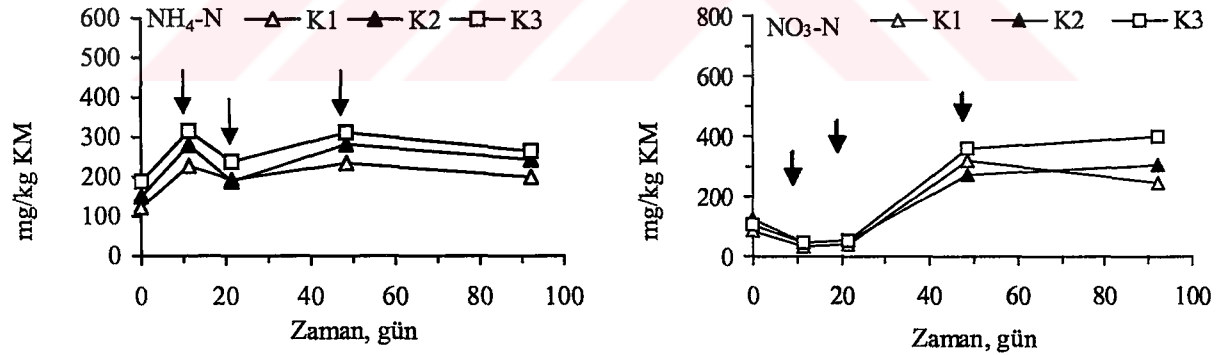
Şekil 6.23 Seri 1 ve seri 2'de C/N oranlarının değişimi

6.1.7 Amonyak ve Nitrat

Numunelerin su ile ekstraksiyonu sonrası elde edilen ekstraktlarda yapılan amonyak tayini sonuçları Şekil 6.24’de, buhar distilasyonu yöntemi ile yapılan amonyak ve nitrat sonuçları da Şekil 6.25’de gösterilmiştir. Ayrışmanın çok hızlı gerçekleştiği ilk 20 günde CO_2 çıkışına paralel olarak kütle kaybının etkisiyle ortamdaki amonyak konsantre hale gelmektedir. Başlangıçta ortamda çok az bulunan nitrat, stabilizasyon süreciyle birlikte artmıştır.



Şekil 6.24 Karıştırma yapılan reaktörlerde çözünmüş $\text{NH}_3\text{-N}$ 'nin zamanla değişimi (%5 KM ekstraktı)

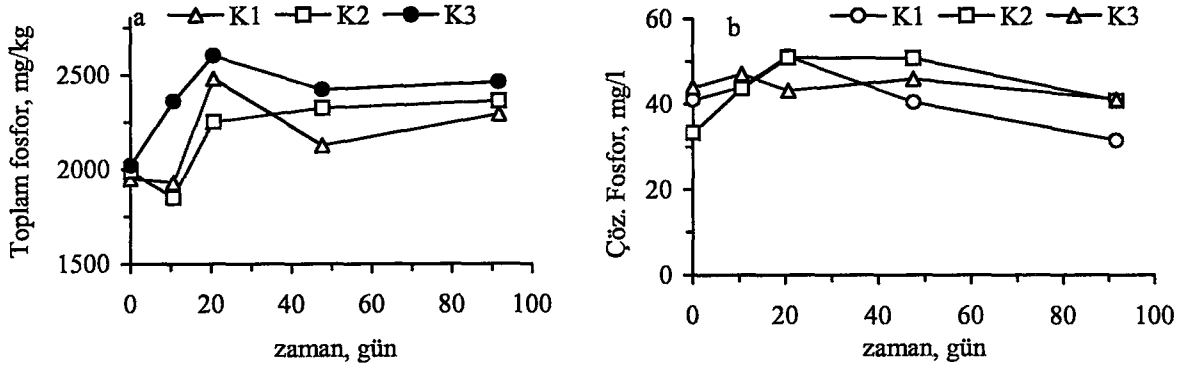


Şekil 6.25 Kompostlaştırma süresince materyaldeki $\text{NH}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin değişimi

6.1.8 Toplam Fosfor ve Çözünmüş Fosfor Değişimleri

Ortamdaki besi maddesi durumunu belirlemek amacıyla 2. seri çalışmalarda toplam fosfor ve su ekstraktlarında çözünmüş fosfor analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.26’de gösterilmiştir. Şekilden, ayrışma sürecinde organik karbonun sistemi terk etmesinden kaynaklanan kütle kaybı sebebiyle fosfor konsantrasyonunda tedrici bir artışın olduğu

görülmektedir.



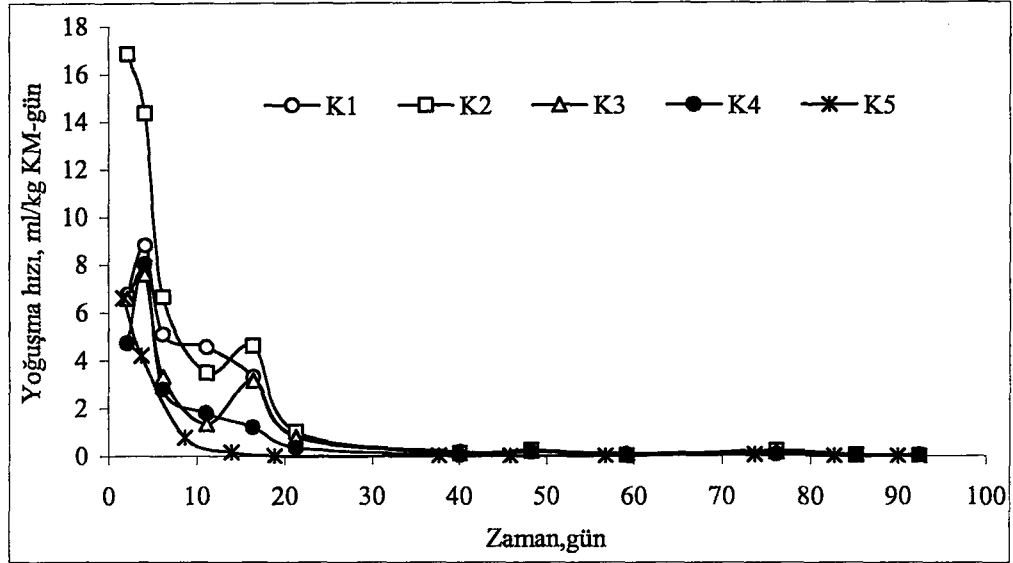
Şekil 6.26 Seri 2 çalışmalarda fosforun değişimi
a) Katı numunelerde fosfor (mg/kg), b) Su ekstraktlarında fosfor (mg/l)

6.2 Sıvı Numune Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeleri

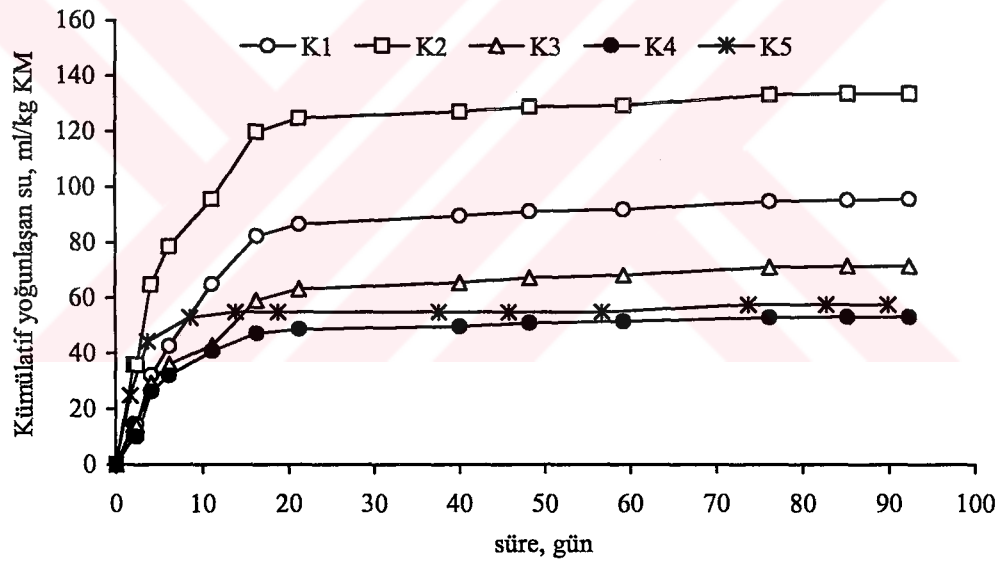
Kompostlaştırma esnasında buharlaşma ve sızma yoluyla su kayıpları meydana gelmektedir. Stabilizasyon sürecinde kaybedilen su ve sızıntı miktarları ile sızıntı suyu analizlerine ilişkin değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

6.2.1 Yoğunlaşan Su Miktarları

Kompostlaştırma esnasında mikrobiyal aktivite ile açığa çıkan ısı, ortamdaki nemin buharlaşmasına sebep olmaktadır. Ortamdan buharlaşan suyu tespit etmek amacıyla, 2. seri çalışmalarda reaktör sisteminin çıkış hattı üzerine yoğunlaştırıcı sistemi yerleştirilmiş ve biriken su miktarları tespit edilerek analizleri yapılmıştır. Yoğunlaştırıcıda biriken suyun günlük yoğunlaşma hızı (ml/kg KM-gün) Şekil 6.27’de ve kümülatif değerler (ml/kg KM) Şekil 6.28’de gösterilmiştir. Şekilden, su buharlaşmasının, ilk 20 günde büyük ölçüde tamamlandığı görülmektedir. Stabilizasyon süresince oluşan su miktarları, karıştırma yapılan reaktörlerde, K1, K2 ve K3’de, yaklaşık olarak 95, 130 ve 70 ml/kg KM olurken, K4 ve K5 kontrol reaktörlerinde ise sırasıyla 53 ve 58 ml/kg KM olmuştur. Buradan, kontrol reaktörlerinde birim katı madde başına oluşan su miktarlarının, karıştırma yapılan (K1~K3) reaktörlerine göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır. K4 ve K5 reaktörleri arasında önemli bir fark görülmemiştir.



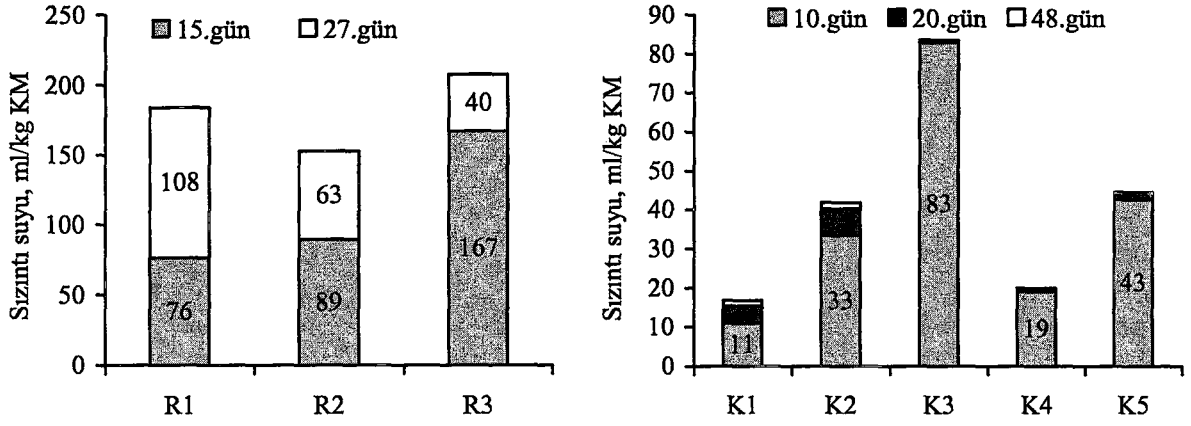
Şekil 6.27 Yoğunlaştırıcıda biriken suyun yoğunlaşma hızı



Şekil 6.28 Yoğunlaştırıcıda toplanan kümülatif su miktarları

6.2.2 Sızıntı Suyu Miktar ve Özellikleri

Kompostlaştırma esnasında oluşan sızıntı suyu, karıştırma işlemleri öncesi tahliye borusundan alınarak analize tabi tutulmuştur. Birim katı madde başına oluşan sızıntı suyu miktarları Şekil 6.29'da gösterilmiştir. Şekilden, sızıntı suyu oluşumunun ayrışmanın hızlı olduğu ilk 20 gün içinde tamamlandığı görülmektedir.



Şekil 6.29 Reaktörlerden oluşan sızıntı suyu miktarları

“R reaktörleri”nde oluşan toplam sızıntı suyu miktarları sırasıyla 184, 153, 207 ml/kg KM olarak bulunmuştur. R2’de biraz düşük, R2 ve R3’de ise birbirine yakın değerler elde edilmiştir. “K Reaktörleri”nde ise birim katı madde başına oluşan toplam sızıntı suyu miktarları sırasıyla 17, 42, 83, 20 ve 45 ml/kg KM olmuştur. En fazla sızıntı suyu oluşumu EKA oranının en fazla olduğu K3 reaktöründe gerçekleşmiştir.

Oluşan sızıntı sularında çeşitli parametreler için yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 6.4’de verilmiştir. Çizelgeden, kompost sızıntı sularının gül sanayi proses atıksularına göre (Çizelge 3.5) önemli oranda organik madde azalması olduğu görülmektedir.

KOİ konsantrasyonu gül sanayi proses atıksularında 10,000 mg/l civarında iken, karıştırma yapılan reaktörlerde 1500-3000 mg/l, kontrol reaktörlerinde 4000-4800 mg/l seviyesine düşmüştür. pH 4.8’den 7.5-8.3 seviyesine, alkalinite 300-500 mg/l CaCO_3 mertebesinden 700-1250 mg/l CaCO_3 mertebesine yükselmiştir. Amonyak konsantrasyonu, atıksuya göre tüm reaktörlerde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Biyomas olarak sadece posanın bulunduğu reaktörlerde (R1~R3, K4) en fazla 12 mg/l değerine kadar bulunurken, EKA karışımı olan reaktörlerde EKA oranının artışına paralel olarak (K1’den K3’e doğru) arttığı (11, 12, 24 mg/l) ve. K5 kontrol reaktöründe 40 mg/l olduğu belirlenmiştir. Atıksuya göre azot hemen hemen aynı seviyede kalırken fosforda biraz yükselmenin olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4 Kompost reaktörlerinde oluşan sızıntı suyu özellikleri

Reaktör No	Zaman, gün	pH	Alkalinite (mg/l)	KOİ (mg/l)	Amonyak (mg/l)	TKN (mg/l)	Top. P (mg/l)
Gül sanayi proses atıksuyu		4.8	395	10150	60	110	5
R1	15	7.8	748	2425	8.4	179.2	23.0
	25	7.8	1063	2060	8.4	48.2	11.1
R2	15	8.1	780	1582	0.0	112.0	9.0
	25	7.7	1135	1541	1.1	47.0	4.7
R3	15	7.8	713	2314	0.0	120.4	19.0
	25	7.5	790	1660	12.3	86.2	10.8
K1	10	7.9	940	2750	11.2	84.0	20.0
K2	10	8.3	1180	1713	12.3	91.0	11.0
K3	10	8.3	1250	2990	23.5	169.0	7.5
K4	10	8.2	1185	4815	11.8	119.0	21.0
K5	10	8.0	1150	4084	40.6	175.0	5.0

6.3 Kompost Gazı Ölçüm/Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

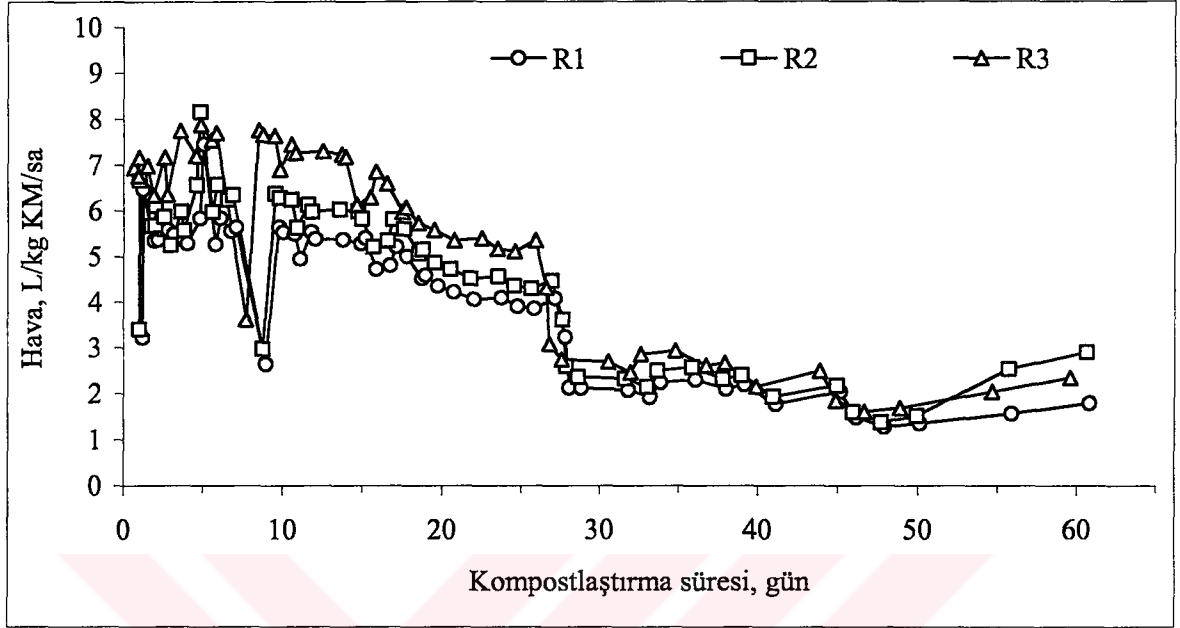
6.3.1 Reaktörlere Beslenen Hava Miktarı

Aerobik sistemlerde mikroorganizmalar için gerekli oksijenin temini çok önemlidir. Stabilizasyon süresince sürekli izlenmesi gereken parametrelerden biri mikroorganizmalar için gerekli olan hava ihtiyacıdır. Her iki seri çalışmada, hava beslemesi çıkış gazındaki karbondioksit ve oksijen analiz sonuçları izlenerek, kontrollü bir şekilde yapılmıştır. Hava beslemesi yapılırken, ortamın yeterince aerobik olmasına dikkat edilirken, diğer taraftan enerji sarfiyatından kaynaklanan işletme maliyetlerini düşük düzeyde tutmak için fazla hava vermekten kaçınılmıştır.

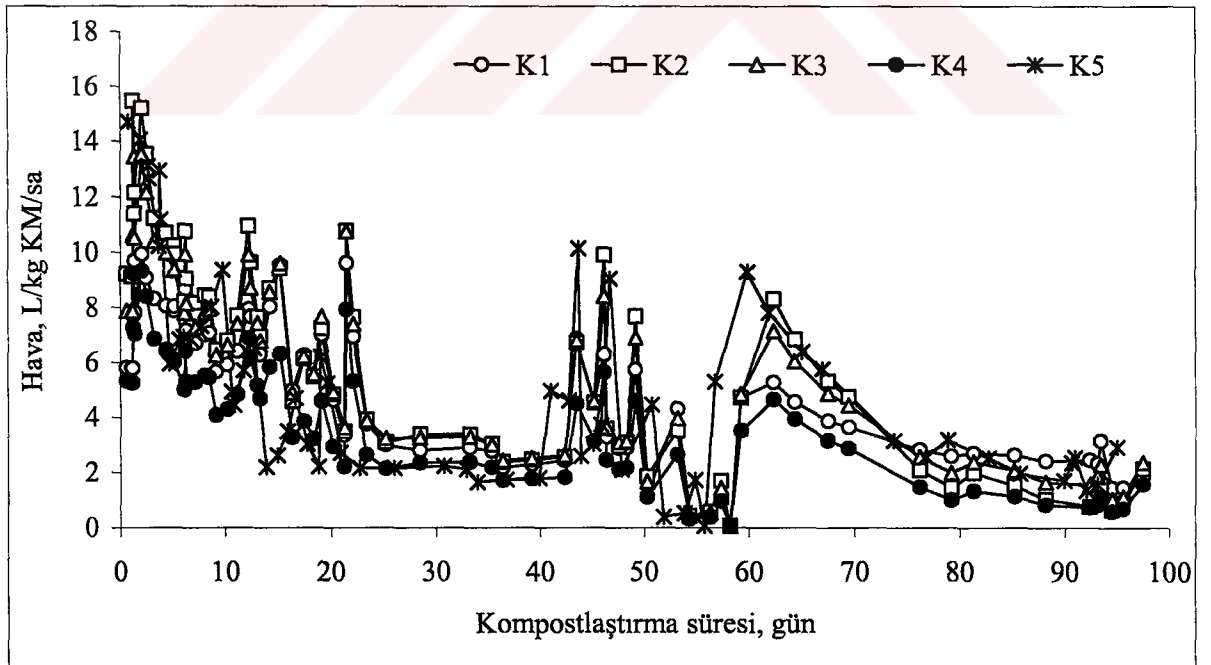
Reaktörlere beslenen hava debisi birim katı madde başına (L/kg KM-sa) Seri 1 için Şekil 6.30 ve Seri 2 için Şekil 6.31’de gösterilmiştir. Şekillerden, stabilizasyon hızına paralel olarak hava miktarının azaldığı görülmektedir.

Seri 1’deki reaktörlere beslenen hava debisi, yaklaşık olarak başlangıçta 3-7 L/kg KM-sa, proses sonunda 2 L/kg KM-sa ve ortalama olarak 3-4 L/kg KM-sa olarak gerçekleşmiştir.

Seri 2'deki reaktörlere beslenen hava debisi, yaklaşık olarak başlangıçta 5-15 L/kg KM-sa, zamanla azalarak proses sonunda 1-2 L/kg KM-sa ve ortalama olarak 4 L/kg KM-sa olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6.30 Seri 1 reaktörlerine beslenen hava debisi



Şekil 6.31 Seri 2 reaktörlerine beslenen hava debisi

6.3.2 Reaktör Çıkış Gazındaki CO₂ Değişimleri

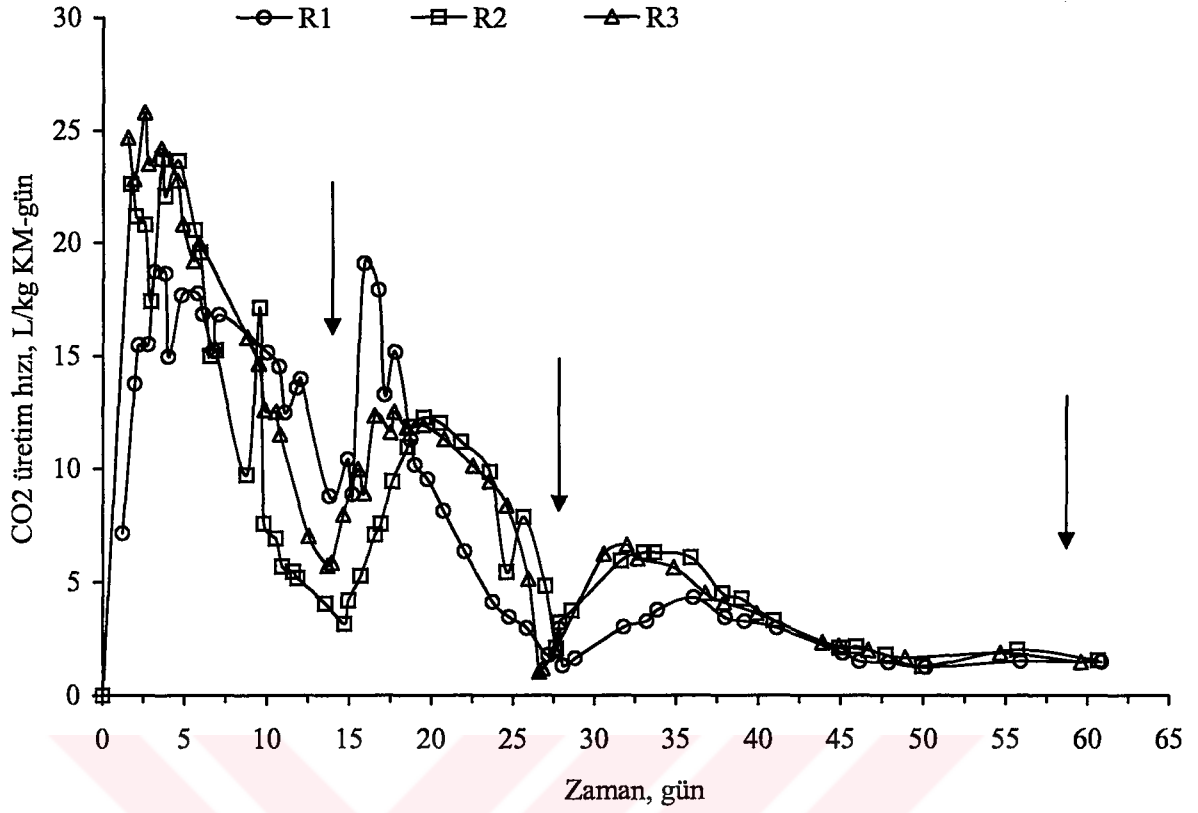
Reaktörlere beslenen hava debileri ölçülmüş ve reaktörleri terk eden gazlarda %CO₂ analizleri yapılarak elde edilen verilerden katı madde başına CO₂ oluşum miktarları hesaplanmıştır.

1. seri çalışmalar

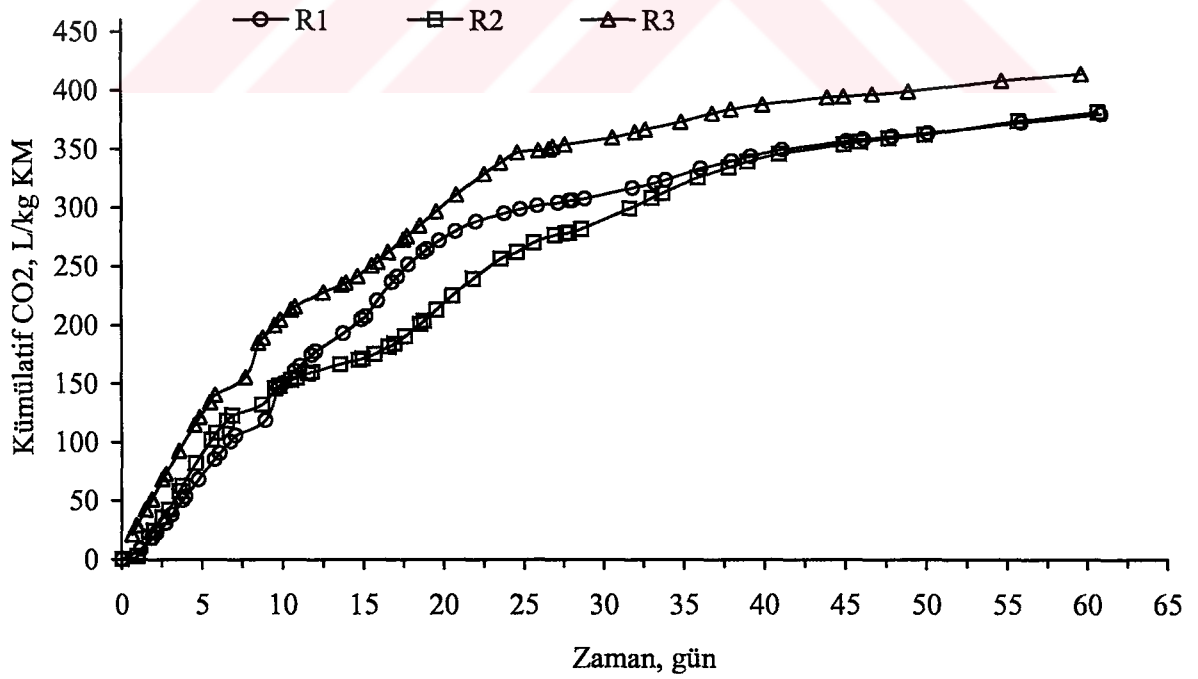
R1~R3 reaktörlerinde CO₂ üretim hızı (L/kg KM-gün) Şekil 6.32 'de gösterilmiştir. Şekilden, proses başlangıcından sonra CO₂ üretim hızının hemen artmaya başladığı ve 2-3 gün içinde her bir reaktörde sırasıyla 18.7; 23.7 ve 25.8 L/kg KM-gün ile en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Sistem kesikli olduğundan, zamanla organik maddenin azalmasıyla CO₂ üretim hızı da azalmıştır. Tüm reaktörlerde yaklaşık 50 günde stabilizasyonun tamamlandığı sonucuna varılmıştır.

Karıştırma sonrasında organik maddenin homojen dağıtılmasıyla ayrılmayan kısımlar reaksiyona girmekte ve tekrar üretim hızı artışa geçmektedir. Böylece her karıştırma sonrası pik değerlere ulaşılırken, her oluşan pik bir önceki pikden daha düşük seviyede gerçekleşmektedir. R1 reaktöründeki profilin farklı seyretmesi gözenek oranının diğerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Katı madde başına oluşan kümülatif CO₂ değerleri (L/kg KM) Şekil 6.33'de gösterilmiştir. Şekilden, reaktörlerdeki (R1~R3) CO₂ üretim değerleri sırasıyla 380, 381 ve 414 L/kg KM olduğu görülmektedir. Aşı olarak ayrılmış posanın kullanıldığı ve gözenek oranının fazla olduğu R3 reaktöründe daha iyi ayrışma olması sebebiyle, kümülatif CO₂ miktarının daha fazla oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 6.32 Seri 1 reaktörlerde CO₂ üretim hızının zamanla değişimi

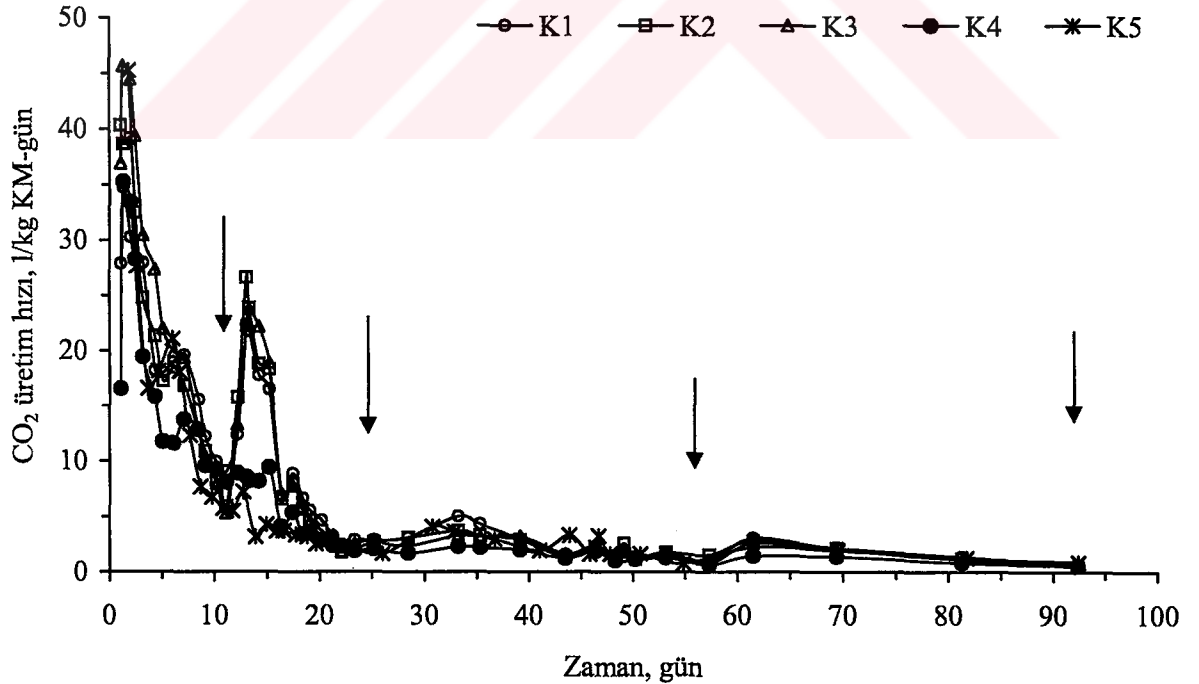


Şekil 6.33 Seri 1 reaktörlerde kümülatif CO₂ oluşumunun zamanla değişimi

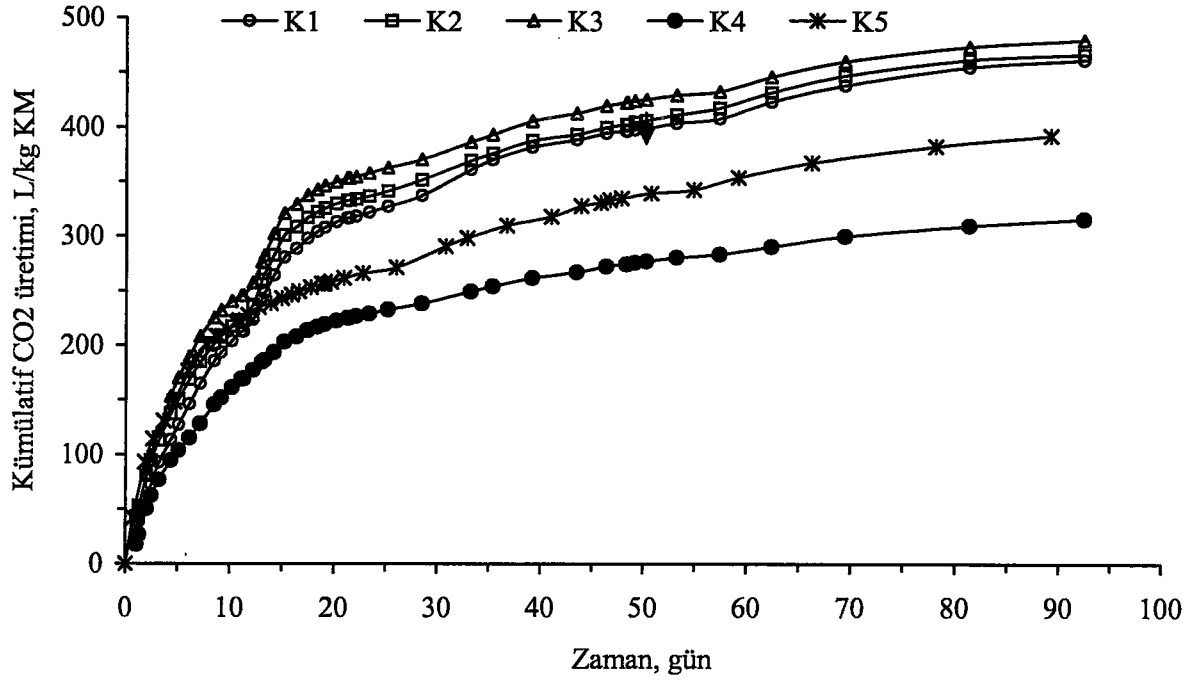
2. seri çalışmalar

K1~K3 karıştırmalı reaktörler ile K4 ve K5 kontrol reaktörlerinde katı madde başına CO₂ üretim hızı Şekil 6.34'de gösterilmiştir. CO₂ üretim hızı, tüm reaktörlerde yaklaşık 25 günden sonra fazla değişmemiştir. Tüm reaktörlerde ilk 1-2 gün içinde CO₂ üretimi maksimum hıza ulaşmış ve bu değerlerin K1~K5 sırasıyla 40.3, 34.7, 45.7, 35.2, 45.2 L/kg KM-gün olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta reaktörlerde karıştırma farkı olmadığından, aradaki farklar, karışım içinde evsel katı atıkların bulunma oranından ileri gelmektedir. İlk üç reaktörde uygulanan karıştırma işlemi sonrasında üretim hızları tekrar artışa geçmiştir.

Reaktörlerde katı madde başına oluşan kümülatif CO₂ değerlerinin (L/kg KM) zamanla değişimi Şekil 6.35'de gösterilmiştir. Şekilden, kümülatif CO₂ üretim miktarları, karıştırmalı reaktörlerde (K1~K3) sırasıyla 460, 465 ve 478 L/kg KM iken kontrol reaktörlerinde (K4 ve K5) sırasıyla 315 ve 391 L/kg KM olduğu belirlenmiştir. Karıştırmalı reaktörlerde EKA oranı artışı yönünde CO₂ üretimi de artmıştır. Kontrol reaktörlerinde EKA karışımı olan K5 reaktöründe daha fazla üretim olmuştur. Aynı karışım oranlarına sahip olan K2 ve K5 reaktörleri CO₂ üretim değerleri kıyaslandığında, karıştırmalı K2 reaktöründeki üretimin yaklaşık %16 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.34 Seri 2 kontrol reaktörlerinde CO₂ üretim hızının zamanla değişimi



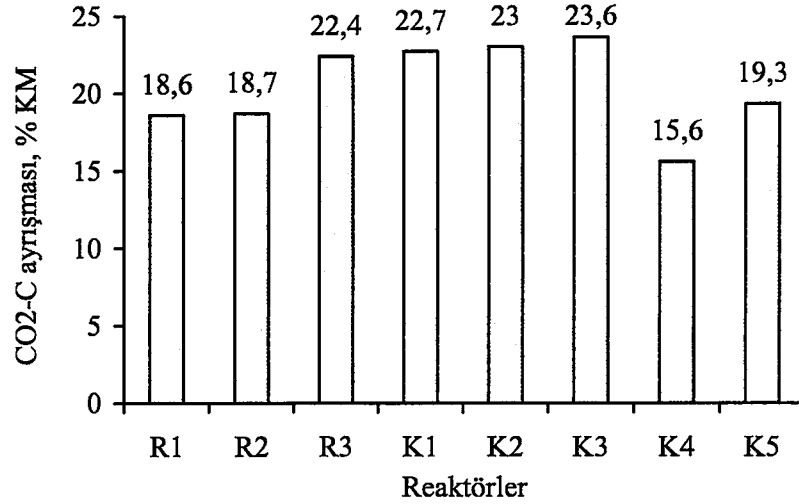
Şekil 6.35 Seri 2 reaktörlerde kümülatif CO₂ oluşumunun zamanla değişimi

- %CO₂-C dönüşüm oranları

Reaktörlerde oluşan CO₂-C miktarları ile katı madde % dönüşüm oranları Çizelge 6.5’de ve Şekil 6.36’da gösterilmiştir. 1.seri çalışmalarda R3 reaktöründeki ayrışma verimi diğer iki reaktörden daha fazla olmuştur. Buradan R3 reaktörünün aşısı türü (ayrışmış posa) ve gözenek oranı bakımından uygun bir karışım olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.5 Reaktörlerde CO₂-C ayrışması

	R1	R2	R3	K1	K2	K3	K4	K5
KM başlangıç, g	7200	6190	6200	6240	5570	5132	6962	3095
CO ₂ -C oluşumu, g	1338	1157	1390	1419	1281	1214	1084	599
Dönüşüm, % KM	18,6	18,7	22,4	22,7	23,0	23,6	15,6	19,3



Şekil 6.36 Reaktörlerdeki malzemelerin ayrışma verimleri

2. seri çalışmalarda karıştırma yapılan reaktörlerde (K1~K3) 1. seri çalışmalara göre (R1~R3) daha yüksek dönüşüm oranları elde edilmiştir. Bunun sebebi 2. seri çalışmalarda evsel katı atık bulunmasıdır. Reaktör muhtevası içinde evsel katı atık oranı arttıkça (K1'den K3'e doğru) ayrışma oranı artmaktadır.

Kontrol reaktörlerinde diğer reaktörlere göre ayrışmanın daha düşük olduğu görülmektedir. K5 reaktöründe karıştırma olmamasına rağmen 1. seri çalışmalardaki ayrışma verimleri ile benzer sonucun görülmesi K5'de evsel katı atık kullanımından kaynaklanmaktadır.

Karışım oranları aynı olan karıştırmasız K2 reaktörü ile karıştırma yapılan K5 reaktörü mukayese edildiğinde, K2 reaktöründeki dönüşüm K5'den yaklaşık %20 daha fazladır. Buradan karıştırma işleminin ayrışmadaki önemi açıkça görülmektedir. Karıştırma yapılmayan K4 ve K5 reaktörleri ayrışma oranı sırasıyla %15,6, %19,3 olup muhtevasında evsel katı katık karışımı olan K5'deki ayrışma K4'dekinden %24 daha fazla gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak, EKA'ların ayrışma veriminin posadan daha yüksek olduğu, karıştırma işlemi, gözenek oranı ve aş tütünün ayrışma verimini önemli oranda etkilediği belirlenmiştir.

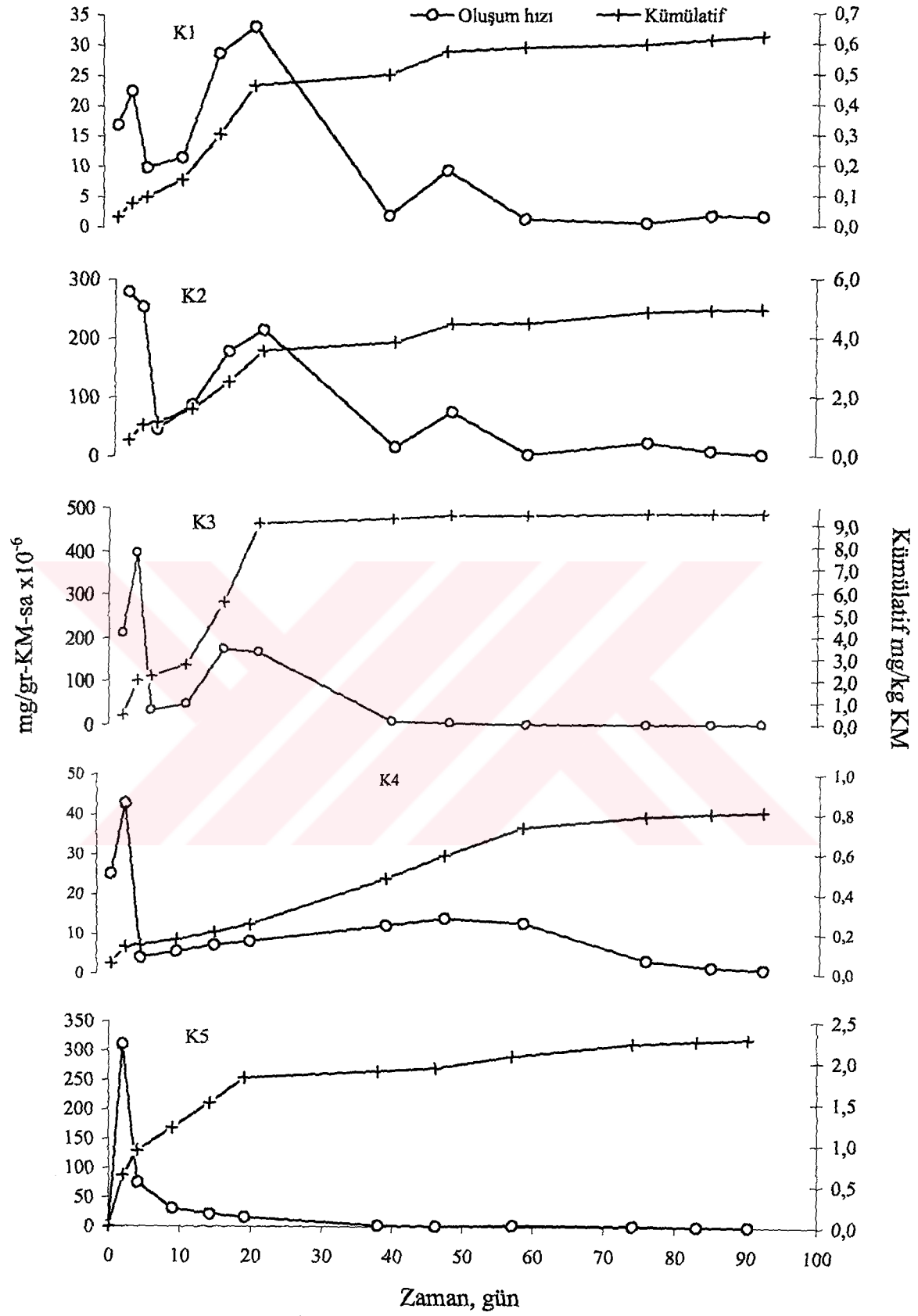
6.3.3 Amonyak Konsantrasyonları Değişimi

Organik ayrışmanın sonucu olarak oluşan amonyak, uçmasına yardımcı olan sıcaklık ve pH'ın yükselmesi ($\text{pH} > 7$) nedenleriyle kompost kütlesinden kompost gazına geçmektedir. Karıştırmalı ve kontrol amaçlı kurulan ikinci seri çalışmalarda (K1~K5 reaktörleri) reaktör çıkışında belirlenen NH_3 miktarları, oluşum hızı (mg/gr-KM-sa) ve kümülatif değerler

bazında (mg/kg KM) Şekil 6.37 'da gösterilmiştir. Şekilden, prosesin ilk 20 gününde NH_3 miktarları ve oluşum hızlarının yüksek olduğu görülmektedir. Proses süresince birim katı madde başına oluşan toplam NH_3 miktarları, sırasıyla, 0.56, 4.48, 9.51, 0.81, 2.29 mg/kg KM olarak belirlenmiştir. Reaktörlerde evsel katı atıkların oranı arttıkça amonyak miktarı büyük oranda artmaktadır. En fazla amonyak oluşumu, evsel katı atık oranının en yüksek olduğu K3 reaktöründe elde edilirken, en az oluşum K1 (posa oranı en yüksek olan reaktör) ve K4 (evsel katı atık bulunmayan reaktör) reaktörlerinde gerçekleşmiştir.

6.3.3.1 Biyofiltre

Reaktörden çıkan amonyak ve diğer uçucu organik bileşenleri tutmak amacıyla reaktör çıkış hattına yerleştirilen biyofiltreye giden gazların sıcaklığı, reaktörün gaz boşluğundan ölçülmüştür. Pik durumlar hariç sıcaklıklar genelde 25-45°C aralığında seyretmiştir. Biyofiltre çıkışında ortama bırakılan gazlarda rahatsız edici kokular oluşmadığı sonucuna, laboratuarda çalışan 8 kişi zaman zaman sorgulanarak ve diğer zamanlarda herhangi bir şikayet gelmemesi ile varılmıştır. Biyofiltrasyon sistemi ile kompostlaştırma esnasında oluşan koku ve diğer spesifik bileşenlerin giderilmesinde yüksek giderme verimleri elde edilmektedir. Canovai vd. (2002) yaptıkları çalışmada, koku gideriminde %98.5 verim elde etmişlerdir.



Şekil 6.37 Kompostlaştırma prosesi boyunca açığa çıkan amonyağın zamanla değişimi ve oluşan kümülatif amonyak miktarları

6.4 Reaksiyon Kinetiği Değerlendirmeleri

Bu kısımda, organik madde ayrışmasının kinetiğini açıklamak için, deneysel çalışma ile elde edilen gaz ürünlerdeki gaz bileşenleri ile zaman, sıcaklık ve diğer bir gaz bileşenleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kinetik değerlendirmeler, alt başlıklar halinde aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- Oluşan CO₂ ve zaman ilişkisi
- Oluşan CO₂ ve sıcaklık ilişkisi
- Tüketilen O₂ ve sıcaklık ilişkisi
- Oluşan CO₂, tüketilen O₂ ve sıcaklık ilişkisi
- Oluşan NH₃ ve zaman ilişkisi

6.4.1 CO₂ Oluşumu ve Zaman İlişkisi

Kümülatif CO₂-C (%) değerlerinin zamana göre değişiminin 1. derece kinetiğe uymadığı Şekil 6.38'den görülmektedir. Bu durum, reaksiyonların iki fazda meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. İlk faz yaklaşık 30 günlük bir süreci kapsamakta ve eksponansiyel bir artış göstermesine rağmen, takip eden günleri oluşturan ikinci faz döneminde lineerleşme olduğu görülmektedir. Literatürde, iki fazlı kinetik değerlendirme (birinci-sıfıncı derece kinetik) örneği, Kirchmann ve Bernal (1997) tarafından denenmiş ve uygun olduğu ortaya konulmuştur. Dördüncü bölümde Denklem (4. 7) ile verilen bu yaklaşım, bu çalışmada kurulan 5 reaktörden elde edilen sonuçları değerlendirmek için kullanılmıştır;

$$C = C_0 (1 - e^{-k_E t}) + (100 - C_0) k_L t, \quad \text{birinci+sıfıncı derece} \quad (4. 7)$$

Tüm reaktörlerin, birinci+sıfıncı derece kinetiğe uygun olduğu ve deneysel olarak bulunan değerlerin model ile korelasyonunun R²=0,99 olduğu Şekil 6.39'den görülmektedir. Ayrıca, her bir reaktör için her fazda söz konusu kinetik katsayılar ve korelasyon değerleri ve her iki fazın birlikte benzetildiği birinci-sıfıncı derece korelasyon değerleri Çizelge 6.6'de verilmiştir. Katsayıların incelenmesi ile, karıştırma yapılan reaktörlerde reaksiyon hızlarının birbirine yakın değerlerde olduğu ve karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerinde ise reaksiyon hızının düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu kinetik inceleme çalışması sonucunda, posa ve evsel katı atık karışımının kompostlaştırma prosesinde biyolojik olarak ayrışabilen organik maddenin CO₂-C cinsinden zamanla değişiminin birinci-sıfıncı derece kinetiğine çok iyi bir şekilde uyduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.6 Birinci-sıfıncı derece kinetik için elde edilen reaksiyon hız sabitleri

Reaktör no	Birinci faz (birinci derece)		İkinci faz (sıfıncı derece)		Co, Ayrılan kısmın %olarak	R ² (*) İki faz birlikte (birinci-sıfıncı derece)
	k _E	R ² (birinci derece kısmı)	k _L	R ² (sıfıncı derece kısmı)		
K1	0.1325	0.968	0.0039	0.9712	46.35	0.9918
K2	0.1246	0.9787	0.0041	0.9766	46.83	0.9908
K3	0.1318	0.981	0.0038	0.9707	47.93	0.9922
K4	0.1268	0.9916	0.0023	0.9732	44.30	0.9969
K5	0.1211	0.9929	0.0034	0.9683	36.47	0.9858

(*)Deneysel olarak bulunan değerler ile birinci-sıfıncı derece regresyonun uyum ilişkisi

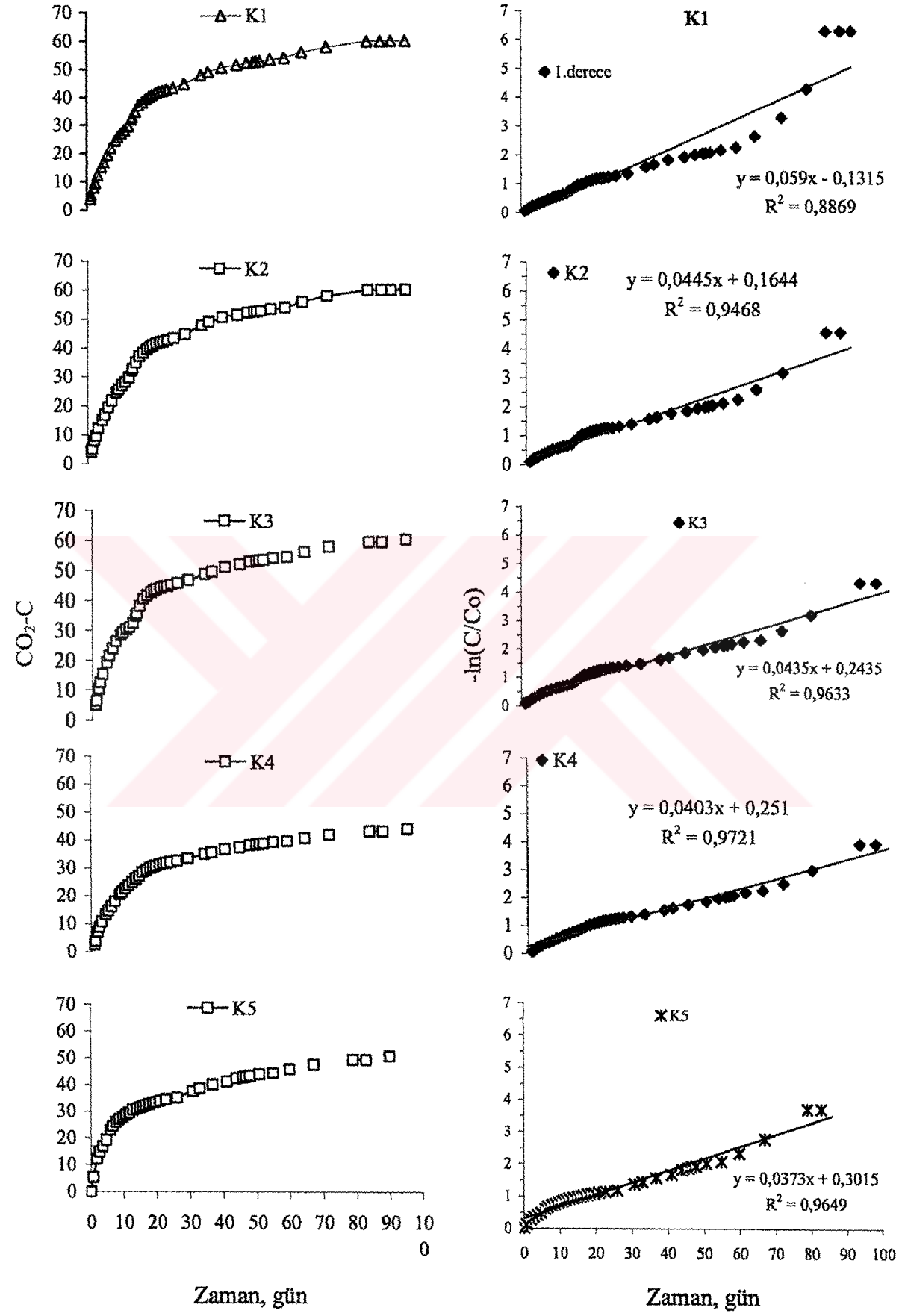
6.4.2 CO₂ ve Sıcaklık İlişkisi

CO₂ ölçüm sonuçları ve sıcaklık arasında bir paralellik bulunduğu ilk gözlem olarak belirlenmiştir. Mikrobiyal aktivitenin artması ile sıcaklık artmakta ve bunu sağlamak için oksijen tüketimi ve dolayısıyla da CO₂ üretimi artmaktadır.

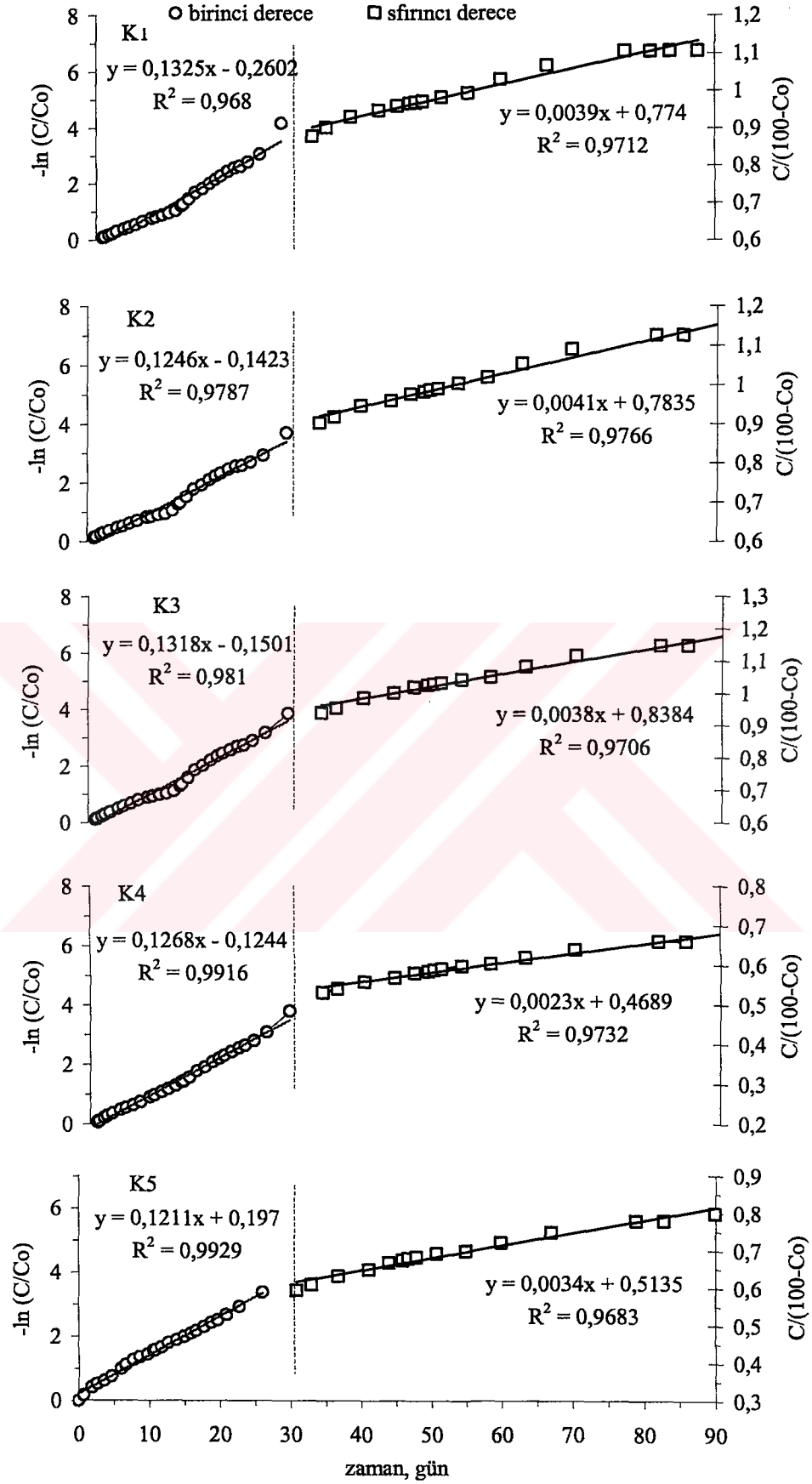
Seri 1 çalışmalarda, kompostlaştırma sürecinin değişik aşamalarındaki reaksiyon gelişme eğilimlerini anlamak için CO₂ ve sıcaklık arasında regresyon incelemeleri yapılmış ve Çizelge 6.7'den de görüldüğü üzere genel olarak her bir aşama için iyi uyum sonuçları elde edilmiştir. Sıcaklığın arttığı dönemlerdeki ilişkinin diğer aşamalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Regresyon katsayılarının yüksek olduğu döneme ait ilişkiler (sıcaklıkların artış süreçleri) Şekil 6.40 'da gösterilmiştir.

Kompost süresi boyunca, 1.karıştırmaya kadar (0-15 gün), 1. karıştırma sonrası (16-63 gün), 1. ve 2. karıştırma arası (15-27 gün), 2. karıştırmaya kadar, 2. karıştırma sonrası (27-63 gün), sadece sıcaklık artışları süreci, sadece sıcaklık düşmeleri süreci dikkate alınarak CO₂ ile sıcaklık arasındaki regresyon denklemleri Çizelge 6.7'de gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi, ilk alıştırma devresindeki ilişki biraz zayıf (R²=0.45-0.52), diğerlerinde ise anlamlı derecede (R²=0.80-0.99)yüksektir.

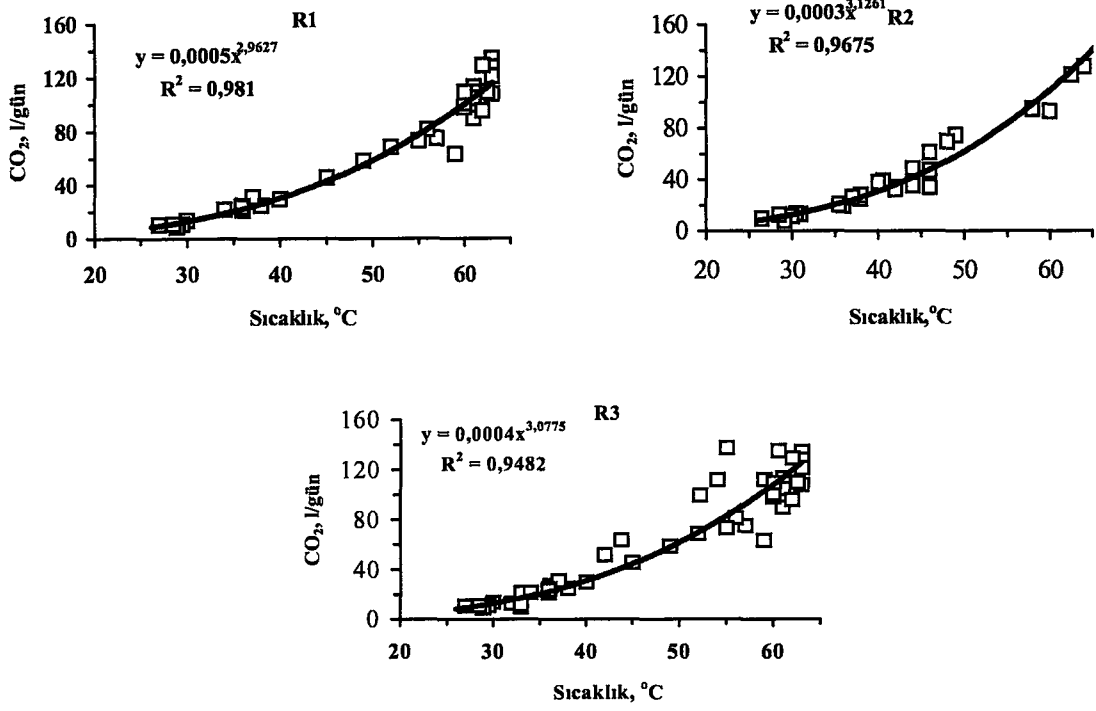
Seri 2 çalışmalar için merkez sıcaklıklar ile kompostlaştırma süresince üretilen CO₂ (L/gün) arasındaki ilişki, karıştırma yapılan reaktörler için Şekil 6.41 'te gösterilmiştir (R²=0.92-0.93). Kontrol reaktörlerinde daha düşük ilişki tespit edilmiştir (0.85-0.90).



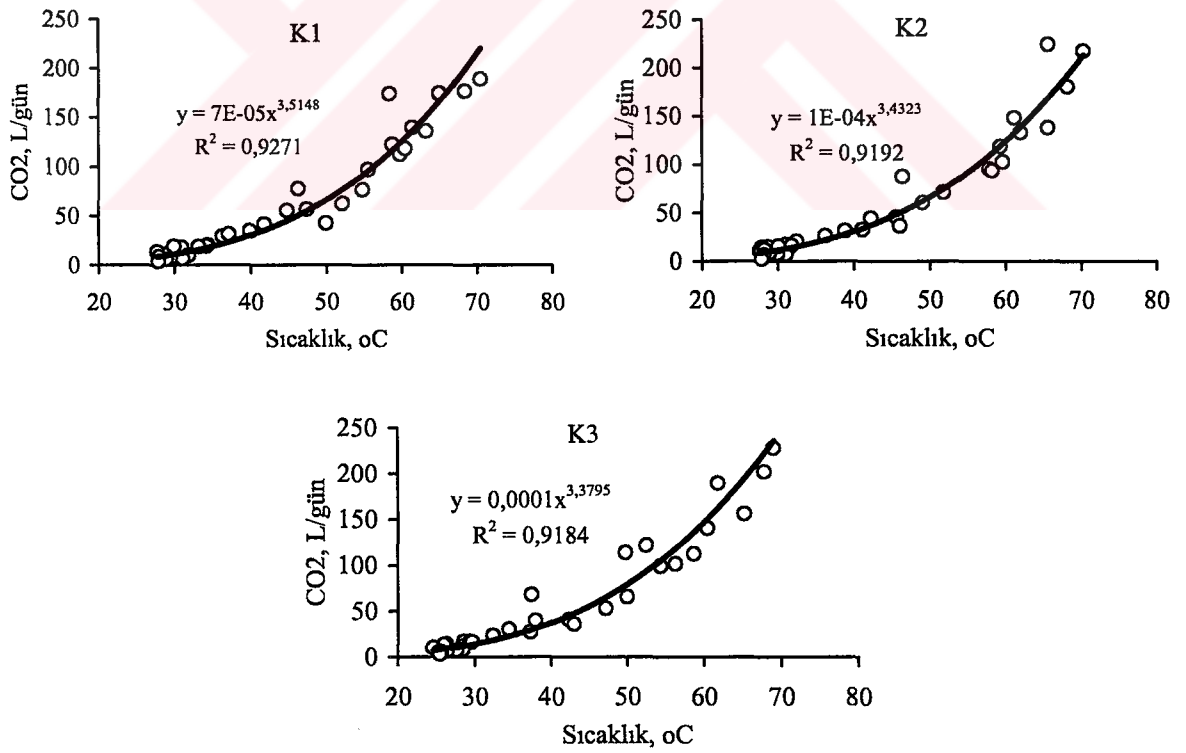
Şekil 6.38 K1 ila K5 Reaktörlerinden çıkan kümülatif $\text{CO}_2\text{-C}$ değerleri ve 1.derece kinetik uygulaması



Şekil 6.39 K1 ile K5 Reaktöründen çıkan kümülatif CO_2-C için birinci + sıfırıncı derece reaksiyon kinetiğinin uygulanması



Şekil 6.40 Seri 1 çalışmalarında sıcaklık ve CO₂ üretim hızı arasındaki regresyon analizi



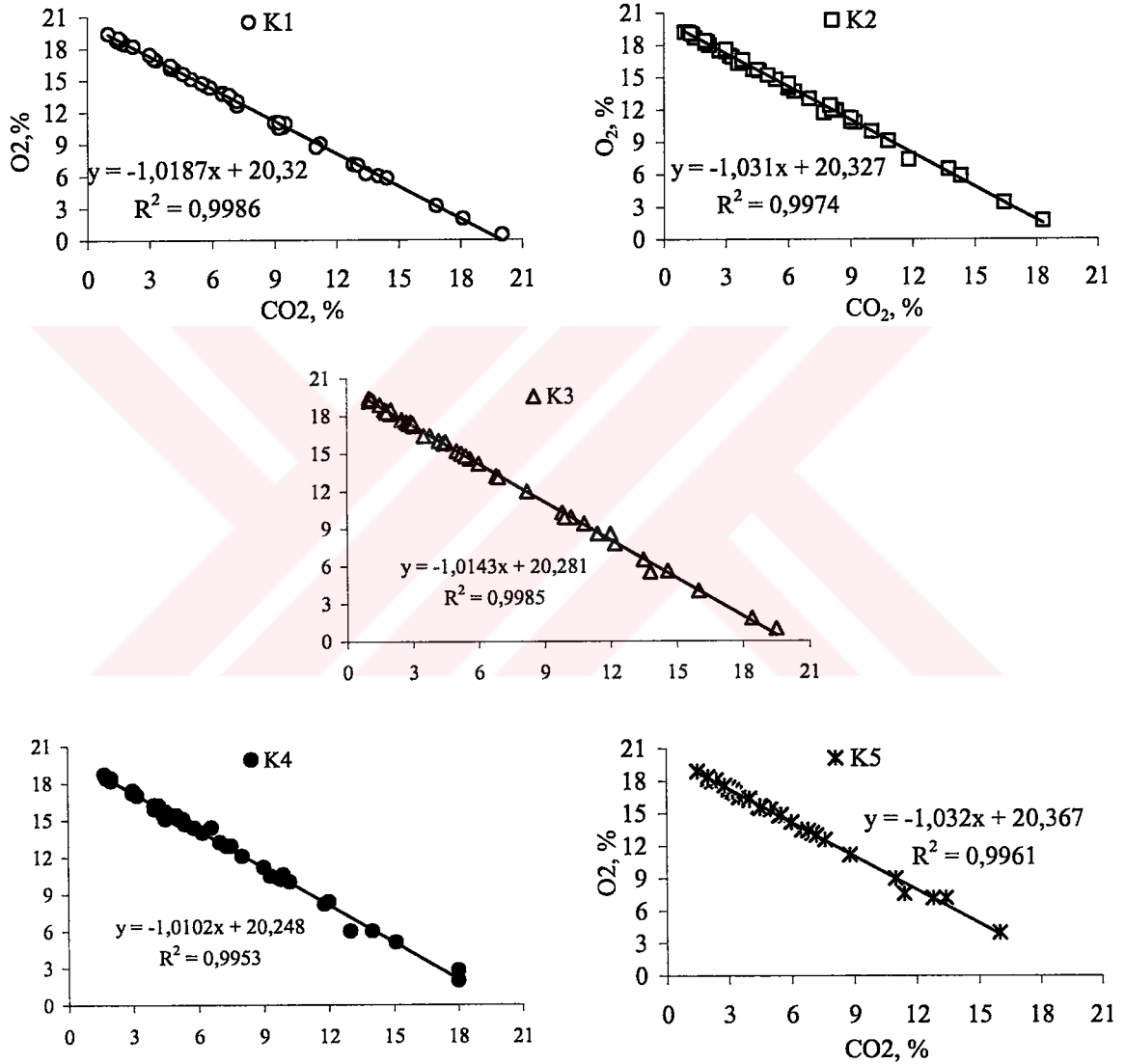
Şekil 6.41 Seri 2 çalışmalarında sıcaklık ve CO₂ üretim hızı arasındaki regresyon analizi

Çizelge 6.7 Farklı aşamalarda sıcaklık ve CO₂ üretim hızı arasındaki regresyon

ReakRegresyon . No Aralığı	Doğrusal CO ₂ =a+b.(T)	Logaritmik CO ₂ =c.Ln(T)+c	Üs CO ₂ =c.T ^b	Üstel CO ₂ =c.e ^{bT}
Tüm süreç boyunca	y = 3,2703x - 89,884 R ² = 0,9037	y = 144,98Ln(x)-488,38 R ² = 0,8879	y = 0,0004x ^{3,0774} R ² = 0,9481	y = 1,83e ^{0,0681x} R ² = 0,9279
1.karıştırmaya kadar (0-15 gün)	y = 2,9636x - 70,649 R ² = 0,4619	y = 156,02Ln(x)-531,22 R ² = 0,4556	y = 0,0519x ^{1,8602} R ² = 0,5187	y = 12,816e ^{0,035x} R ² = 0,517
1. karıştırma sonrası 16-63 gün	y = 3,2009x - 87,772 R ² = 0,8889	y = 134,22Ln(x)-450,47 R ² = 0,8589	y = 0,0002x ^{3,2157} R ² = 0,9374	y = 1,4275e ^{0,0745x} R ² = 0,9159
1. ve 2. karıştırma arası R1 15-27 gün	y = 3,6773x - 112,92 R ² = 0,7793	y = 177,58Ln(x)-620,94 R ² = 0,7762	y = 0,0004x ^{3,0411} R ² = 0,8823	y = 2,7301e ^{0,0621x} R ² = 0,8607
2. karıştırmaya kadar	y = 3,5087x - 103,59 R ² = 0,745	y = 176,03Ln(x)-613,67 R ² = 0,7443	y = 0,0014x ^{2,7368} R ² = 0,8347	y = 4,1741e ^{0,0538x} R ² = 0,8132
2. karıştırma sonrası 27-63 gün	y = 2,0028x - 47,904 R ² = 0,7666	y = 63,171Ln(x)-202,44 R ² = 0,7448	y = 4E-05x ^{3,7099} R ² = 0,7427	y = 0,3493e ^{0,1173x} R ² = 0,7598
Sadece sıcaklık artışları süreci	y = 3,2703x - 89,884 R ² = 0,9037	y = 144,98Ln(x)-488,38 R ² = 0,8879	y = 0,0004x ^{3,0774} R ² = 0,9481	y = 1,83e ^{0,0681x} R ² = 0,9279
Sadece sıcaklık düşmeleri süreci	y = 3,1196x - 85,748 R ² = 0,929	y = 136,39Ln(x)-457,71 R ² = 0,8974	y = 0,0005x ^{2,9624} R ² = 0,981	y = 1,8835e ^{0,0662x} R ² = 0,9703
Kompost Süresi boyunca	y = 3,5395x - 100,93 R ² = 0,8985	y = 157,69Ln(x)-537,07 R ² = 0,8569	y = 0,0004x ^{3,0415} R ² = 0,8836	y = 2,2956e ^{0,0654x} R ² = 0,8503
Sadece sıcaklık artışları süreci R2	y = 4,1275x - 129,28 R ² = 0,9173	y = 210,11Ln(x)-738,52 R ² = 0,9322	y = 0,0004x ^{3,0415} R ² = 0,8836	y = 2,3384e ^{0,0635x} R ² = 0,8702
Sadece sıcaklık düşmeleri süreci	y = 3,4837x - 101,47 R ² = 0,9391	y = 150,78Ln(x)-513,35 R ² = 0,8733		y = 1,7975e ^{0,0687x} R ² = 0,9407
Kompost Süresi boyunca	y = 3,7007x - 102,07 R ² = 0,8736	y = 0,0004x ^{3,1284} R ² = 0,7976	y = 0,0004x ^{3,1284} R ² = 0,7976	y = 1,816e ^{0,0727x} R ² = 0,7843
Sadece sıcaklık artışları süreci R3	y = 5,1562x - 164,3 R ² = 0,9625	y = 250,91Ln(x)-884,42 R ² = 0,955	y = 0,0001x ^{3,4598} R ² = 0,8042	y = 2,5093e ^{0,0693x} R ² = 0,7705
Sadece sıcaklık düşmeleri süreci	y = 3,2578x - 85,853 R ² = 0,8837	y = 131,85Ln(x)-437,17 R ² = 0,8311	y = 0,0005x ^{2,999} R ² = 0,7908	y = 1,7989e ^{0,0715x} R ² = 0,7838

6.4.3 Oksijen ve CO₂ İlişkisi

CO₂ üretimi ve O₂ tüketimi arasındaki oran literatürde 1 olarak verilmiştir (Diaz vd., 1993) Tüketilen oksijen, reaktör giriş ve çıkış oksijen değerleri arasındaki fark olarak ifade edilebilir. Reaktör çıkışında CO₂ ve O₂ ölçümleri arasındaki ilişki Şekil 6.42’te gösterilmiştir. Çıkıştaki fazla O₂ miktarı ile CO₂ üretimi ters orantılı olup $R^2=0.99$ ile yüksek korelasyona sahiptir.



Şekil 6.42 Reaktör çıkışı CO₂ ve O₂ ilişkisi

6.4.4 Oluşan CO₂, Tüketilen O₂ ve Sıcaklık İlişkisi

Oluşan CO₂ , en çok oksijen tüketimine bağlı olmakla beraber, sıcaklık ve mevcut organik madde miktarı gibi birçok parametreyle de ilişkilidir. Şekil 6.43’da K1 ila K5 reaktörleri için zamana karşı oluşan CO₂, tüketilen O₂ ve sıcaklık ilişkisi görülmektedir. Sıcaklık değişimi, O₂ tüketimi ve CO₂ oluşumu ile paralellik göstermektedir. CO₂ üretim hızı (L/kg KM-gün) ile en fazla ilişkisi olan oksijen tüketim hızı (L/kg KM-gün) ve sıcaklık(°C) değerleri arasında, Denklem (6.1)’deki gibi ifade edilebilen en küçük kareler yöntemi kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

$$CO_2 = a + b O_2 + c \text{ Sıcaklık} \quad (6.1)$$

Her bir reaktöre ait deneysel sonuçlar için elde edilen bağıntılar, Denklem (6.2) ila (6.6)’de verilmiştir. Benzer şekilde yapılan regresyon analizinde elde edilen bağıntılar da sırasıyla Denklem (6.7), (6.8) ve (6.9)’da verilmektedir. Denklemlerden, tüketilen oksijen miktarının CO₂ oluşum hızına etkisinin yüksek olduğu görülmektedir.

$$CO_2 = -0.9092 + 0.9513 * O_2 + 0.0089 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{K1 reaktörü}) \quad (6.2)$$

$$CO_2 = -1.4190 + 0.9267 * O_2 + 0.0216 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{K2 reaktörü}) \quad (6.3)$$

$$CO_2 = -2.6315 + 0.8721 * O_2 + 0.0737 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{K3 reaktörü}) \quad (6.4)$$

$$CO_2 = -5.6037 + 0.5726 * O_2 + 0.1980 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{K4 reaktörü}) \quad (6.5)$$

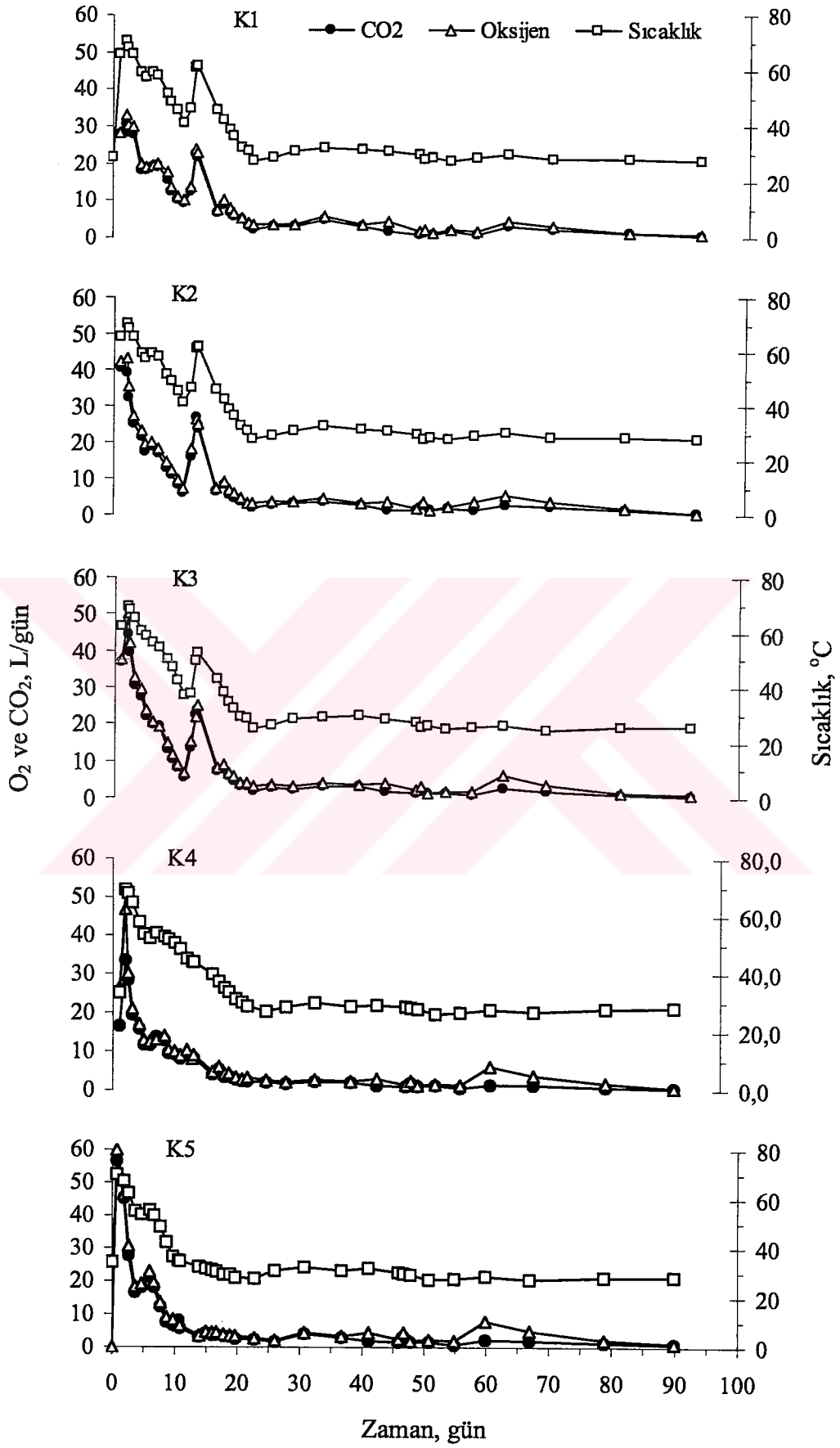
$$CO_2 = -2.1028 + 0.9212 * O_2 + 0.0452 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{K5 reaktörü}) \quad (6.6)$$

$$CO_2 = -1.6835 + 0.9134 * O_2 + 0.0347 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{Karıştırmalı reaktörler: K1~K3}) \quad (6.7)$$

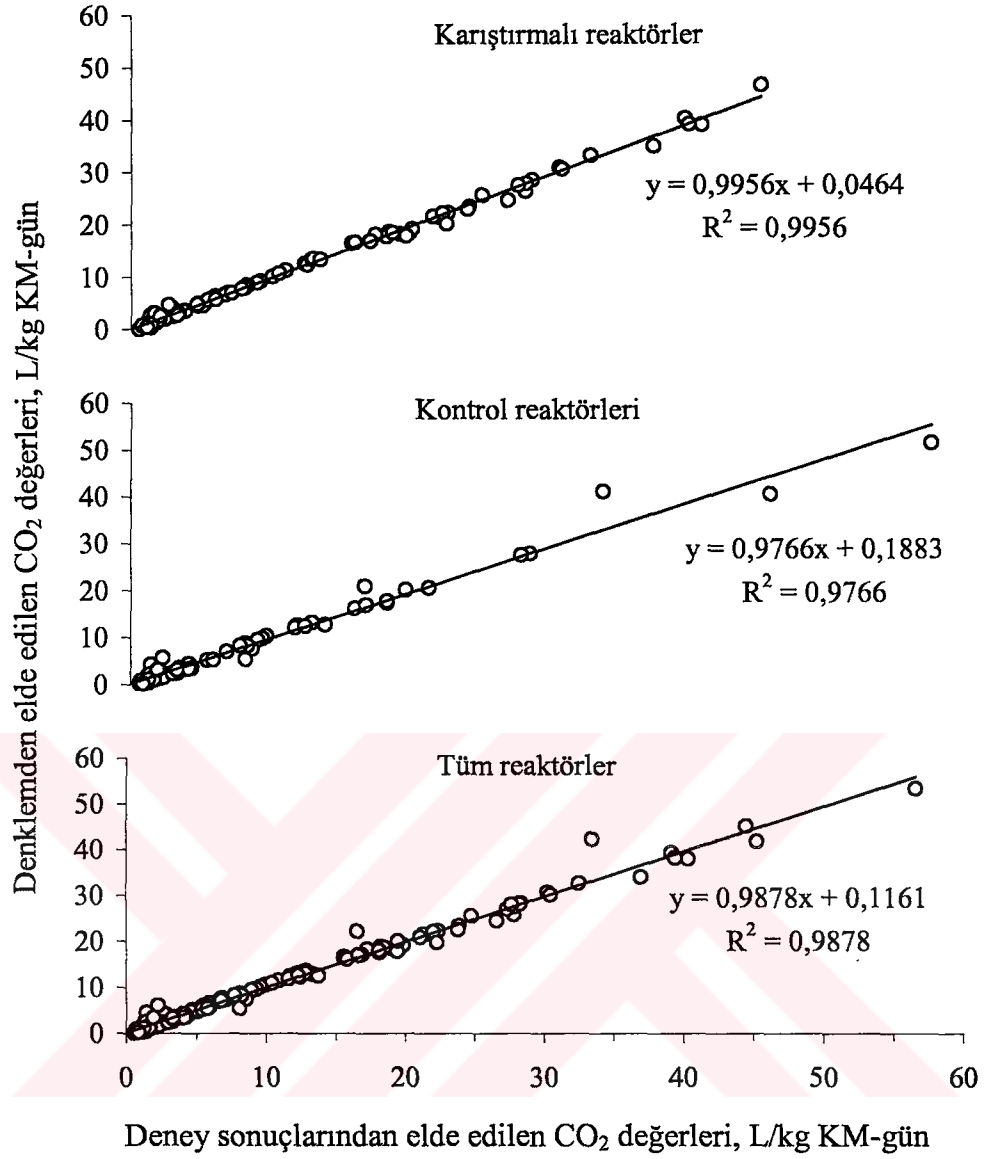
$$CO_2 = -3.7369 + 0.7917 * O_2 + 0.1125 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{Kontrol reaktörleri: K4-K5}) \quad (6.8)$$

$$CO_2 = -2.9110 + 0.8459 * O_2 + 0.0809 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{Tüm reaktörler: K1~K5}) \quad (6.9)$$

Karıştırmalı ve kontrol reaktörleri ile reaktörlerin geneli için deneysel verilerle regresyon bağıntılarından elde edilen değerler arasındaki uyum analizleri Şekil 6.44’de gösterilmiştir. Her bir reaktör için elde edilen ayrı ayrı uyum analiz sonuçları da Çizelge 6.8’de verilmiştir. Şekilden ve çizelgeden görüleceği üzere, çok yüksek uyum değerleri ($R^2=0.99$) elde edilmiştir.



Şekil 6.43 Kompostlaştırma işleminde CO₂ oluşumu, oksijen tüketimi ve sıcaklık



Şekil 6.44 Modelle deney verileri arasındaki uyum analizi

Çizelge 6.8 CO₂ üretim hızının deney ve bağıntı değerleri arasındaki regresyon analizi

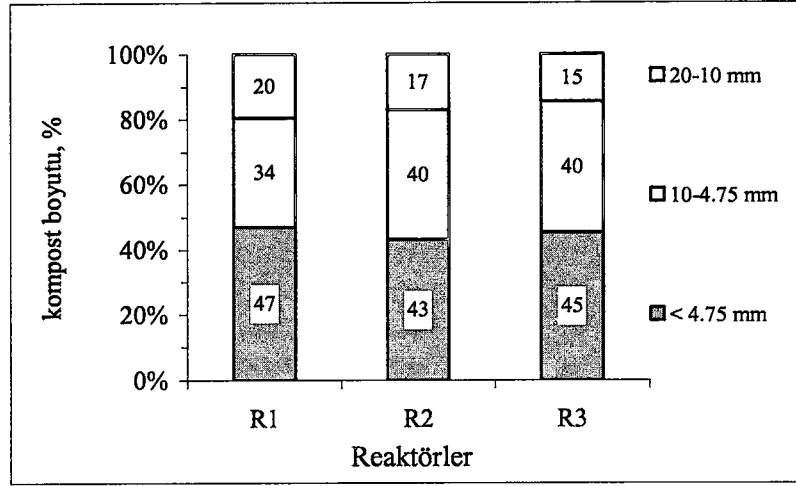
Reak. No	Doğrusal ilişki (CO ₂) _{deney} = a + b. (CO ₂) _{bağıntı}	R ²
K1	y = 0,9963x + 0,0369	0,9963
K2	y = 0,9961x + 0,0411	0,9961
K3	y = 0,9938x + 0,0889	0,9952
K4	y = 0,9877x + 0,0883	0,9877
K5	y = 0,9924x + 0,0678	0,9924
Tüm reaktörler	y = 0,9878x + 0,1161	0,9878
Karıştırılmalı reaktörler	y = 0,9956x + 0,0464	0,9956
Kontrol reaktörleri	y = 0,9766x + 0,1883	0,9766

6.5 Kompostlaştırma Sonrası Malzeme Boyut Analizleri

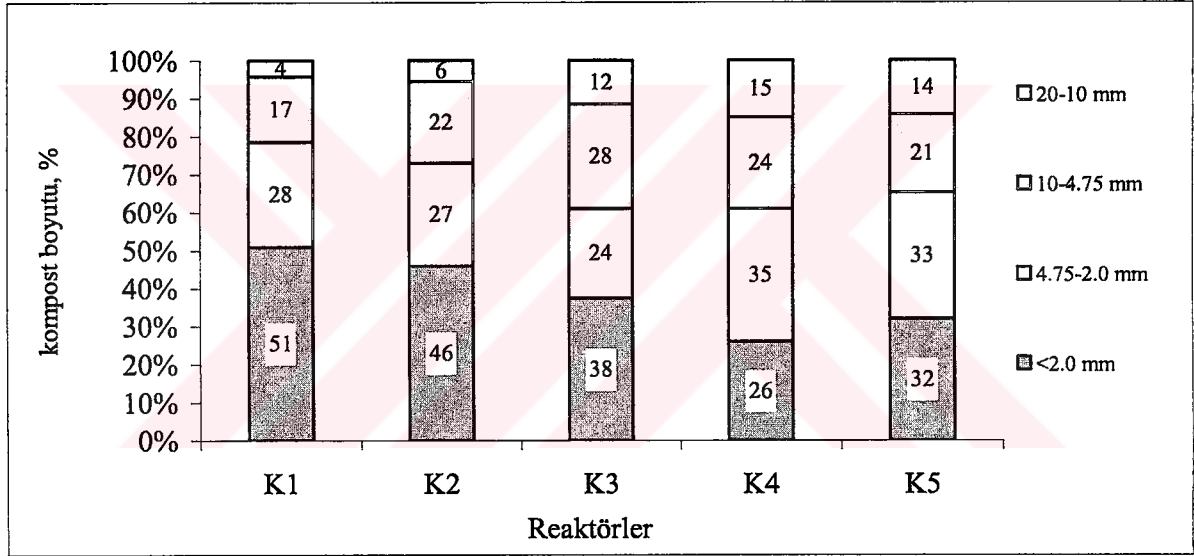
Seri 1 çalışmalarında elde edilen kompost materyalinden alınan 1 kg numunede 20,10, 4,75 mm'lik elekler kullanılarak yapılan analiz sonuçları Şekil 6.45'de gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi malzemenin yaklaşık % 80'inin boyutu 10 mm'nin altındadır. Reaktöre konan ham posanın boyutu ile oluşan ürün karşılaştırıldığında, malzemenin boyutunda belirgin bir şekilde azalmanın olduğu görülmektedir. 4,75 mm'den küçük malzeme oranı başlangıçta %17 iken 2,6 kat artarak %45 seviyesine yükselmiştir. 20-28 mm arasındaki malzeme boyutu ham posada %19 iken proses süresi sonunda bu boyutta malzemenin kalmadığı belirlenmiştir. Reaktörlerden elde edilen kompostun boyutları arasında belirgin bir fark olmamakla beraber gözenek oranının fazla olduğu R2 ve R3'den oluşan malzemenin boyutu R1'den nispeten küçük olduğu tespit edilmiştir.

Seri 2 çalışmalarında 3 ay stabilizasyon ve 3 ay olgunlaşma devresi sonrası elde edilen komposttan alınan numunelerde 20, 10, 4.75 ve 2 mm'li elekler kullanılarak yapılan analiz sonuçları Şekil 6.46'de gösterilmiştir. Karıştırma yapılan reaktörlerde evsel katı atık oranının artışına paralel olarak K1'den K3'e doğru malzeme boyutunun büyüdüğü görülmektedir. Karıştırma yapılmayan reaktörlerden oluşan kompostun boyutunun diğer üç reaktöre göre belirgin bir şekilde büyük olduğu tespit edilmiştir.

Seri 2'de elde edilen ürünün malzeme boyutunun, Seri 1'e göre daha küçük olduğu dikkati çekmektedir. Bu fark Seri 2'deki kompostun daha uzun süre beklemeinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 6.9 'de ham posanın, Seri 1 ve Seri 2 çalışmalarında elde edilen kompostun boyut dağılımı mukayeseli olarak verilmiştir. Burada karıştırmanın ve bekleme süresinin malzeme boyutunun küçülmesindeki rolü görülmektedir.



Şekil 6.45 Seri 1'den elde edilen kompostun stabilizasyon sonrası boyut dağılımı



Şekil 6.46 Seri 2'den elde edilen kompostun olgunlaşma sonrası boyut analizi

Çizelge 6.9 Ham gül posanın ve gül kompostunun boyut dağılımı (%)

Eleğ. çapı (mm)	Gül posası	Seri 1 (ortalama)		Seri 2 (ortalama)	
		Karıştırmalı R1,R2,R3		Karıştırmalı K1, K2, K3	Karıştırmasız K4, K5
+20 - 28	19.0	-	-	-	-
+4.75 - 20	63.6	55	30	37	
- 4.75	17.4	45	70	63	

6.6 Ağırlık Kaybı ve Hacim Azalması

Reaktörlerdeki katı atıkların zaman içinde miktar ve hacmi azalmaktadır. Proses sürecinde, sızma ve buharlaşma ile meydana gelen su kayıpları ve organik maddenin ayrışması kütle kaybına sebep olmaktadır. Kütle kayıpları ve malzeme boyutundaki küçülme, beraberinde, hacim azalmasını da meydana getirmektedir.

Reaktörlerdeki malzeme hacminin azalması, yapılan çalışmalar sırasında karıştırma öncesi ve proses sonrası reaktörün üst boşluğundaki artıştan fark edilir biçimde görülebilmektedir. Şekil 6.47'den de görüleceği üzere, karıştırmalı reaktörlerde kontrol reaktörlerine göre daha fazla hacim azalması meydana gelmiştir.



Şekil 6.47 K1 karıştırmalı reaktörü (solda) ve K4 kontrol reaktörünün (sağda) kompostlaştırma sonrası görünümü

Proses süresince, reaktörlerdeki ağırlık kayıplarını tespit etmek için karıştırma işlemleri öncesi reaktörlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Hacimde meydana gelen azalma, reaktör içinde bulunan kütlenin yüksekliği ölçülerek ve her karıştırma öncesinde kütlenin hacmi ölçek kapları ile ölçülerek belirlenmiştir.

Seri 1 ve Seri 2 reaktörlerinde tespit edilen kütle ve hacim azalmaları Çizelge 6.10 'da verilmiştir. Seri 1'de başlangıç materyallerine göre yaklaşık 1/3 oranında hacim azalması

tespit edilmiştir. R1 reaktöründe en büyük hacim azalması görülmüş ve R2 ve R3 reaktörlerinde aynı oranda azalma meydana gelmiştir. R1 ile diğer reaktörler arasındaki fark, gözenek oranından kaynaklanmaktadır. Kuru ağırlık bazında da hacimdeki eğilimlere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ağırlık bazında azalma %37-38 mertebesinde gerçekleşmiştir.

Seri 2 karıştırmalı reaktörlerde EKA oranının artışı yönünde %29-40 oranında ağırlık kaybı ve %49-59 oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Kontrol reaktörlerinde ise ağırlık azalması sırasıyla %31-40 ve hacim kaybı %28-42 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre, EKA'larda posaya göre daha fazla kütle ve hacim kaybının olduğu tespit edilmiştir. Karıştırma işleminin kütle ve hacim azalmasına önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.10 Kompost materyalindeki kütle ve hacim azalmaları

Reaktör No	Gözenek kuru ağırlık g	Ağırlık			Gözenek hacmi l	Hacim		
		Başlangıç KM, g	Son KM, g	kayıp (%)		Başlangıç l	Son l	kayıp (%)
R1	1800	7200	4438	38.4	6.3	40.3	26.4	34.4
R2	3080	6190	3871	37.5	10.8	33.7	22.9	32.1
R3	3100	6200	3914	36.9	10.8	34.7	23.5	32.1
K1	2081	6240	4424	29.1	7.2	38.8	19,9	48,6
K2	1857	5570	3335	40.1	6.4	38.6	16,9	56,2
K3	1711	5132	3060	40.4	5.9	40.1	16,3	59,3
K4	3485	6962	4146	40.4	12.1	33.9	24,3	28,4
K5	1031	3095	2119	31.5	3.6	21.4	12,5	41,6

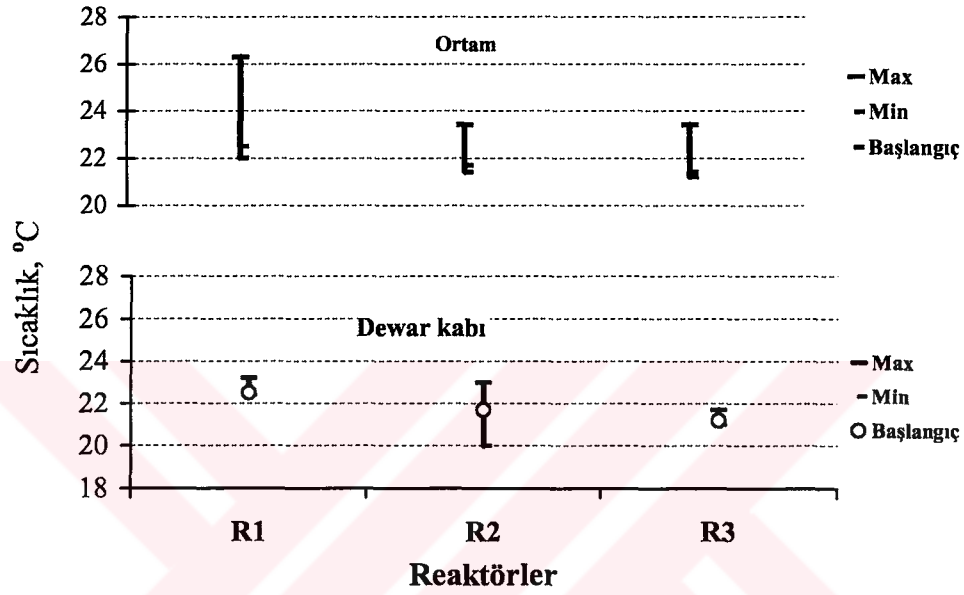
6.7 Dewar Kabında Ürünün Kendi Kendine Isınma Testi

Reaktörler boşaltıldıktan sonra elde edilen kompost ürünlerinden yaklaşık 1'er litre numune alınarak, 2 litre hacimli Dewar kaplarına konulmuş, Dewar kabının tabanından yaklaşık 1/3 yüksekliğe Max/Min termometre probu yerleştirilerek, sıcaklık artışı 5 gün süreyle izlenmiştir.

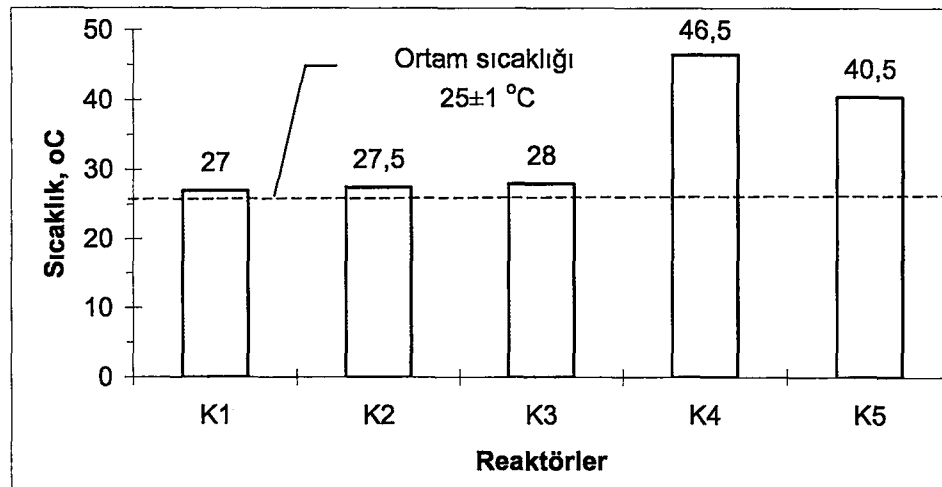
Seri 1 çalışmaları için elde edilen sonuçlar, Şekil 6.48'de gösterilmiştir. Şekilden, 5 gün içinde kaydedilen maksimum sıcaklık yükselmesinin en fazla 3 °C ile sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durumdaki kompostun literatürde verilen "stabilizasyon sınıflaması"na göre tamamen stabil ve depolanabilir olduğu görülmektedir.

Seri 2 çalışmaları sonucu elde edilen kompostta yapılan Dewar testi sonuçları Şekil 6.49'da

verilmiştir. Karıştırma yapılan K1~K3 reaktörlerinden elde edilen kompostta maksimum sıcaklık yükselmesi 2-3 °C olup, tamamen stabil ürün elde edilmiştir. Karıştırma yapılmayan K4 ve K5 reaktörleri ürünlerinde ise maksimum sıcaklık yükselmesi sırasıyla 22 ve 15 °C olarak gerçekleşmiştir. Stabilizasyon sınıflamasına göre K4 kompostu “III.sınıf-ayırışma devam ediyor” ve K5 kompostu “IV.sınıf-olgun kompost” olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.48 Seri 1 ürünlerinin Dewar kabı ısınma testi sonuçları



Şekil 6.49 Seri 2 ürünlerinin Dewar kabı ısınma testi sonuçları

6.8 Ürün Stabilité ve Olgunluğu

Kompostlaştırma süresince alınan numunelerde yapılan C/N oranlarına ilişkin sonuçlar, stabilizasyon göstergesi olarak $(C/N)_t / (C/N)_{\text{başlangıç}}$ şeklinde hesaplanmış ve Çizelge 6.11’de verilmiştir. Çizelgeden, $(C/N)_{\text{son}} / (C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerinin tüm reaktörlerde 0.45-0.60 arasında olduğu görölmektedir. Bu değerler, Epstein (1997) tarafından verilen genelde karşılaşılan 0.47-0.85 aralıkta kalarak daha iyi stabilizasyon ve nutrient zenginleşmesi olduğunu göstermiştir. Akgöze-Aydın ve Kocasoy (2002) tarafından yapılan çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir.

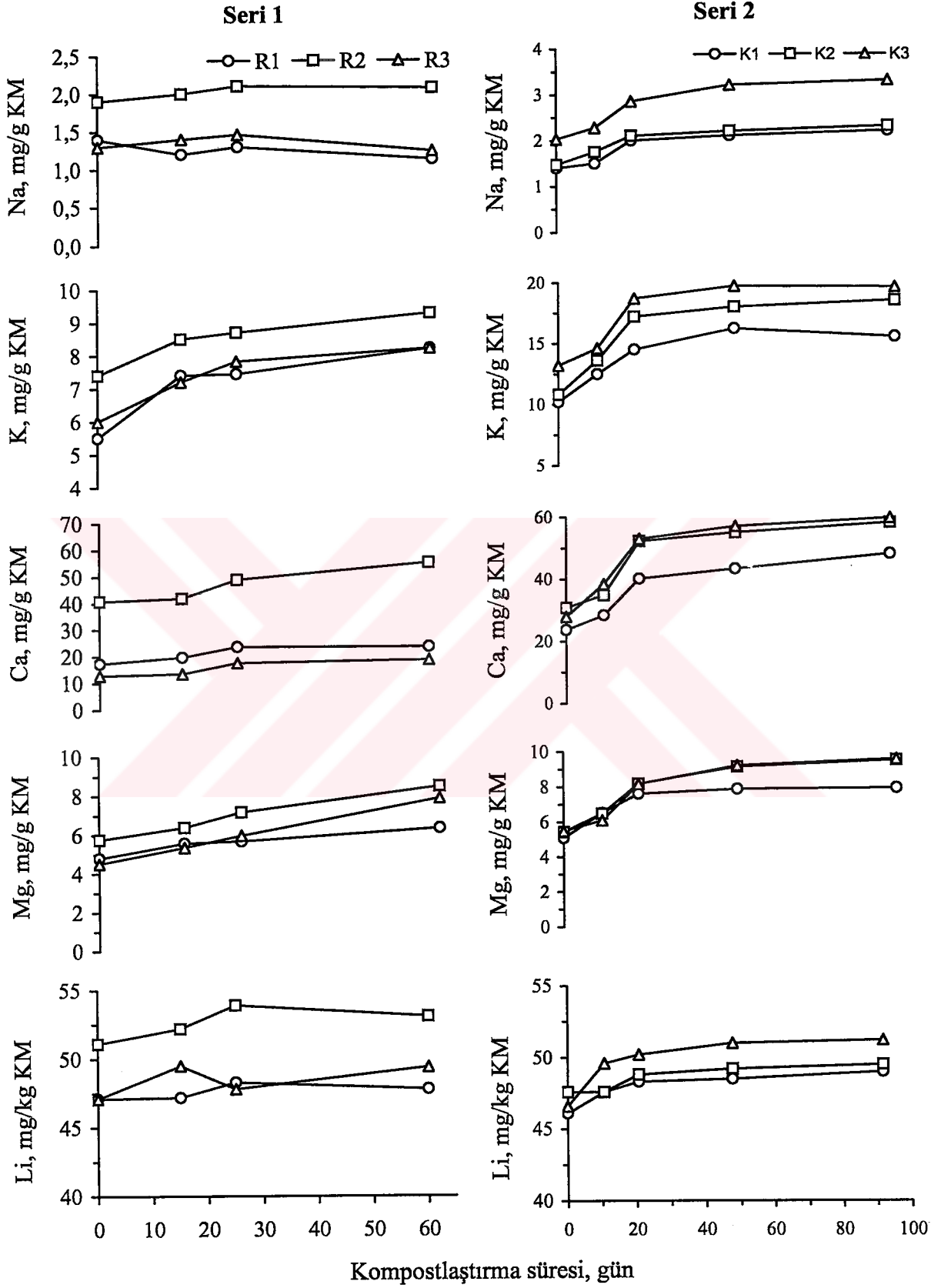
Çizelge 6.11 Tüm reaktörlerde $(C/N)_t / (C/N)_{\text{başlangıç}}$ değeri

Seri 1				Seri 2					
Süre, gün	R1	R2	R3	Süre, gün	K1	K2	K3	K4	K5
0	1,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	0,90	0,85	0,91	11	0,72	0,68	0,80	-	-
27	0,64	0,84	0,72	21	0,62	0,65	0,75	-	-
62	0,45	0,50	0,52	48	0,58	0,57	0,69	-	-
				92	0,56	0,52	0,60	0,59	0,57

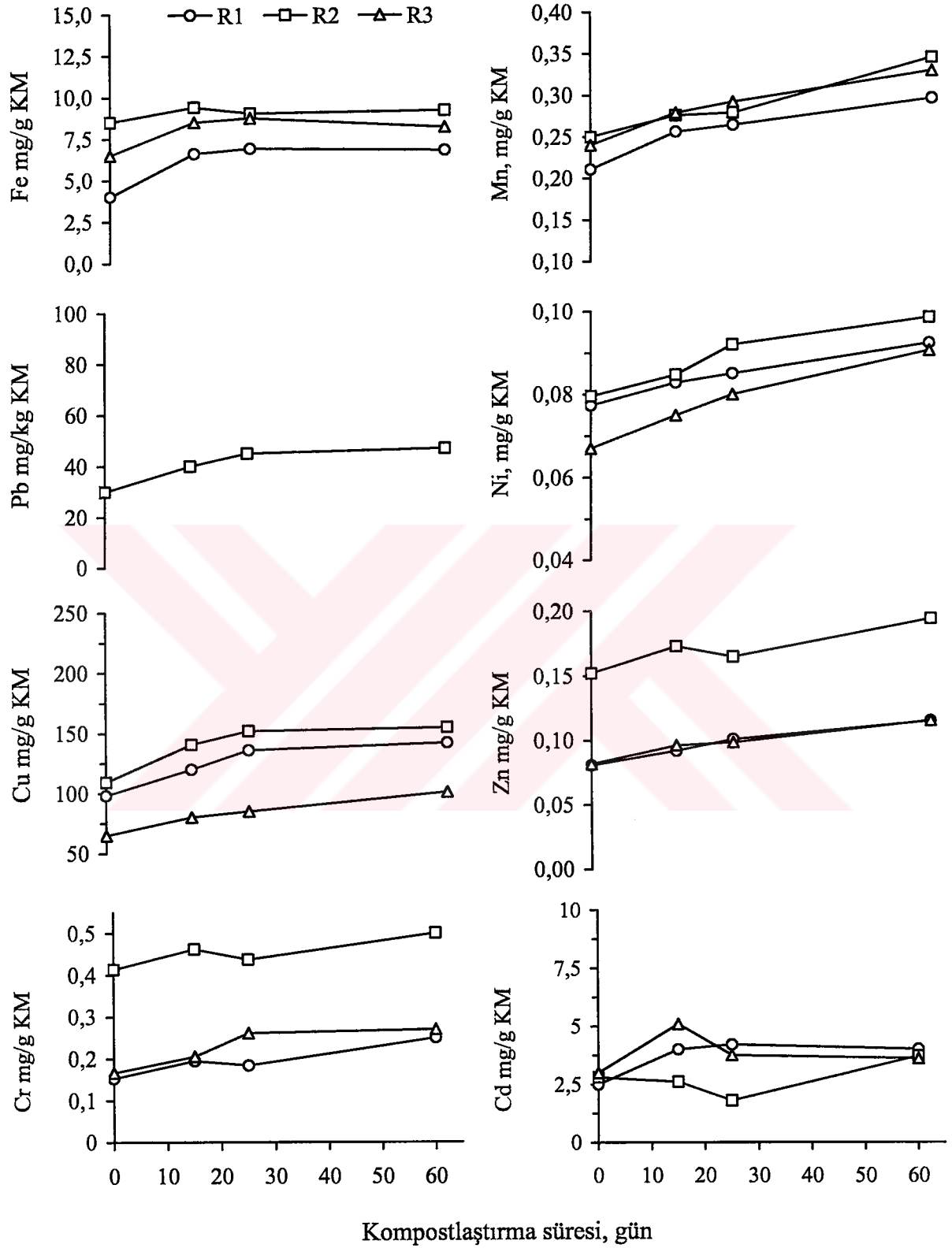
6.9 Ürünlerde Alkali Metal ve Ağır Metal Tespitleri

Seri 1 ve Seri 2 çalışmalarda alkali metallerin zamanla değışimi Şekil 6.50’de gösterilmiştir. Ağır metallerin zamanla değışimi Seri 1 için Şekil 6.51 ve Seri 2 için Şekil 6.52’de gösterilmiştir. Şekillerden, genel olarak, metal konsantrasyonlarının başlangıçta artış eğilimine sahip olduğu ve daha sonraları ise bu artış hızının giderek düştüğu görölmektedir. Konsantrasyonlardaki artış materyaldeki ağırlık kaybından ileri gelmektedir. Fang ve Wong (1999), arıtma çamurlarının kompostlaştırılması ile ilgili yaptıkları çalışmada benzer sonuçları ortaya koymuşlardır.

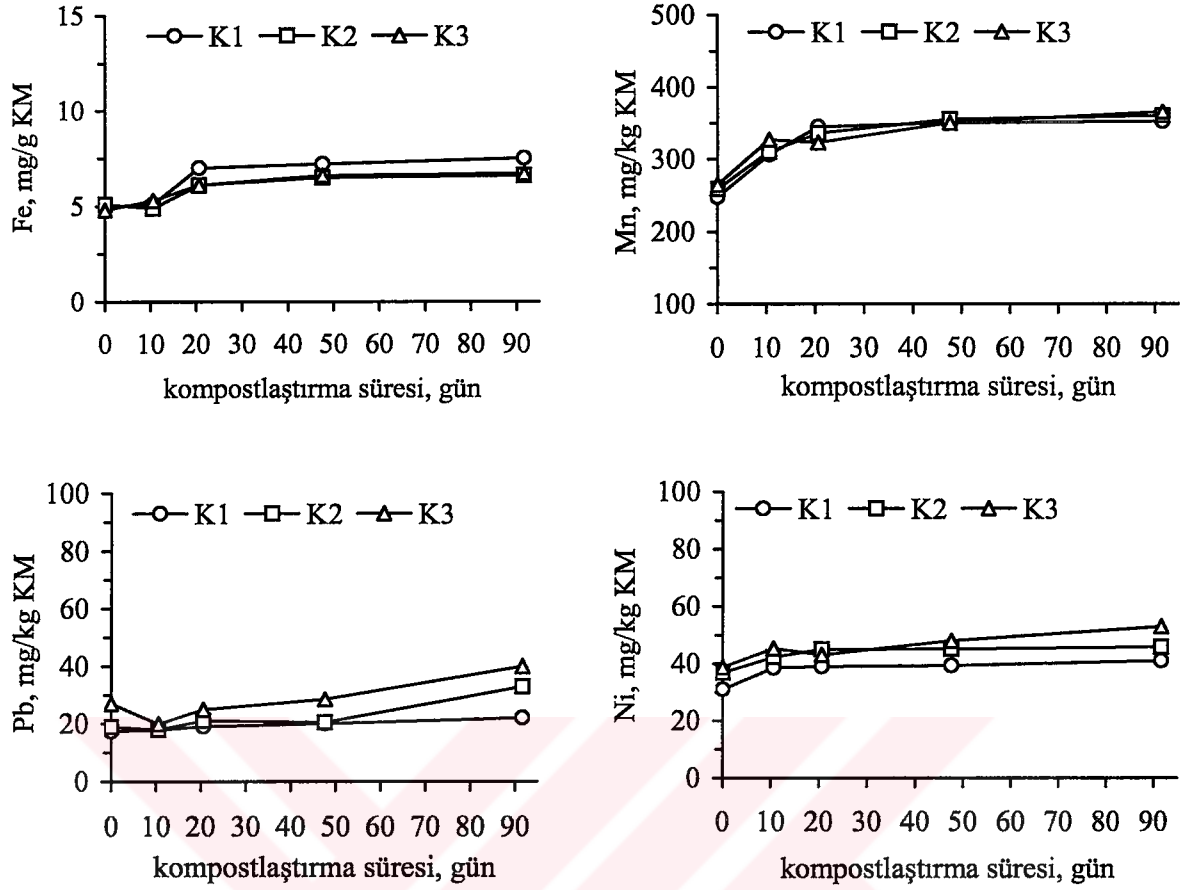
Posa ve evsel katı atıklarda Fe ve Mn miktarları birbirine çok yakın değerlerde olduğu için kompostlaştırma sürecinde de reaktörler arası benzer eğilim devam etmiştir. Posa Pb içermemekte, eser miktarda Ni içermektedir. Şekilde görölen Pb ve Ni konsantrasyonları EKA’tan ileri gelmekte ve reaktörlerdeki EKA oranındaki artışa paralel olarak artmıştır.



Şekil 6.50 Seri 1 ve 2 alkali metallerin değişimleri



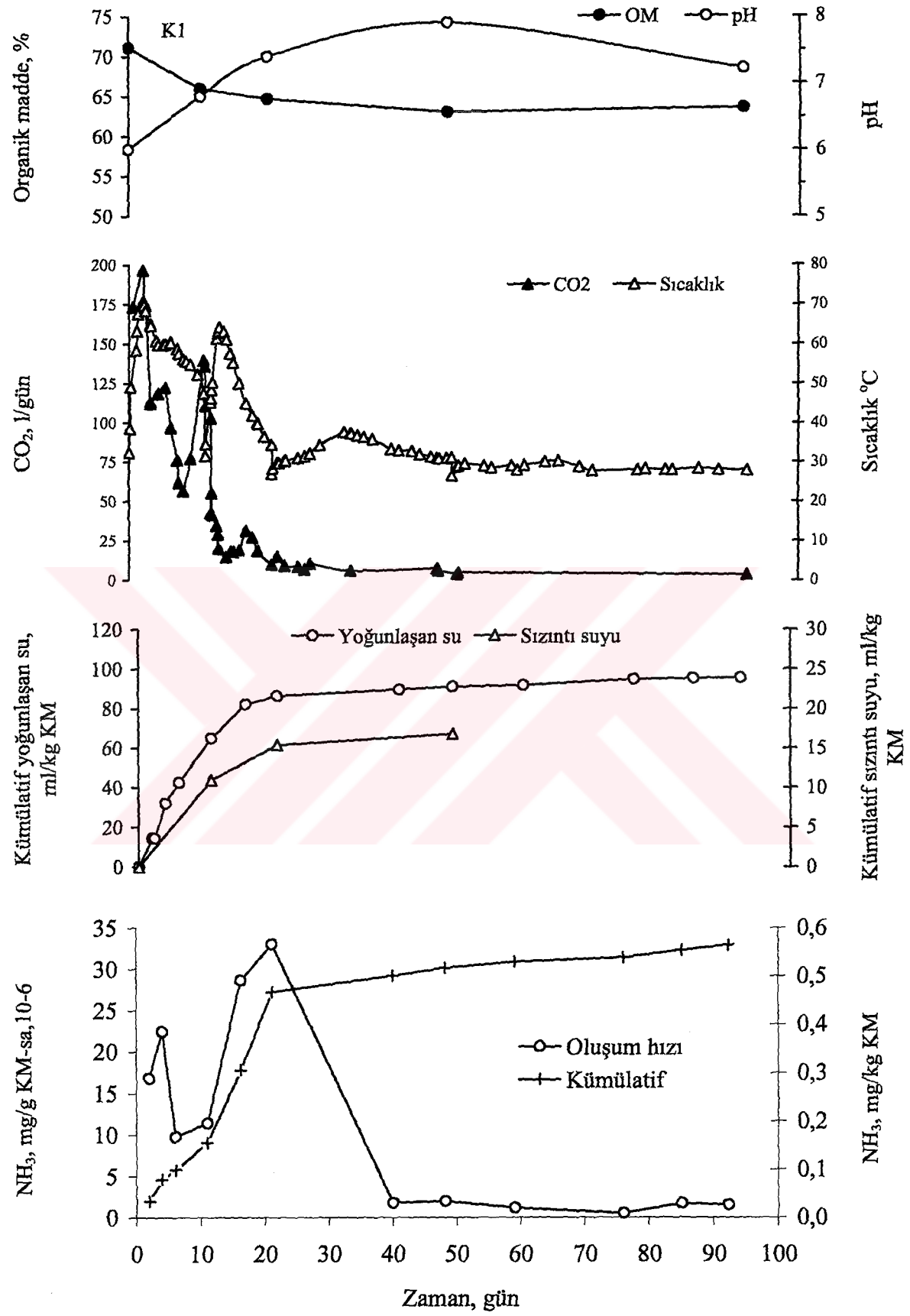
Şekil 6.51 Seri 1 ağır metal değişimleri



Şekil 6.52 Seri 2 ağır metallerin değişimi

6.10 Ayrışmada Etkileşim İçinde Olan Parametrelerin Birlikte Değerlendirilmesi

Organik maddelerin ayrışması sürecinde birbirine etki eden bir çok parametre vardır. Mikrobiyal aktivitenin etkili bir şekilde devam etmesi için ortamda yeterli oksijenin ve nütrientin bulunması, su muhtevasının ve pH'ın optimum değerlerde olması gerekir. Şekil 6.53'de ayrışma esnasında birbiri ile ilişkili olan parametreler gösterilmiştir. Şekilden, organik madde muhtevasında zamanla azalma görülürken, ayrışma ürünü olarak CO₂, H₂O ve NH₃ çıkışı gözlenmektedir. Aktivitenin artması ile birlikte sıcaklık yükselmekte ve ortamın ısınması ile buharlaşan su miktarı artmaktadır.



Şekil 6.53 K1 reaktöründe CO₂, OM, pH, NH₃ ve sıcaklığın zamanla değişimi

6.11 Gül Kompostu Üretimine Dair Öneriler

Gül çiçeğinin hasat edilmesi ve fabrikada işlenmesi, yaklaşık 1.5 aylık bir zamanda gerçekleştiğinden, proses sonrası açığa çıkan gül posasının uygun yöntemler seçilerek bertaraf edilmelidir. Gül posasının kısa süreli oluşan bir atık olması, nutrientlerce zengin olması ve organik madde miktarının fazla olması, su muhtevasının yüksek olması ve homojen bir yapıda olması nedenleriyle; ekonomik özelliğe sahip olan biyolojik dönüşüme dayalı aerobik/anaerobik kompostlaştırma yönteminin uygulanması uygundur. Posanın su muhtevasının yüksek olması sebebiyle, bertarafında, anaerobik kompost prosesinin kullanılmasının uygun olacağı düşünülebilmekle beraber, pres veya açık havada bekletme ile suyu azaltıldıktan sonra aerobik kompostlaştırma işlemi de kullanılabilir. Kompostlaştırma, yakma ve depolama işlemine göre çevre açısından tercih edilen bir yöntemdir.

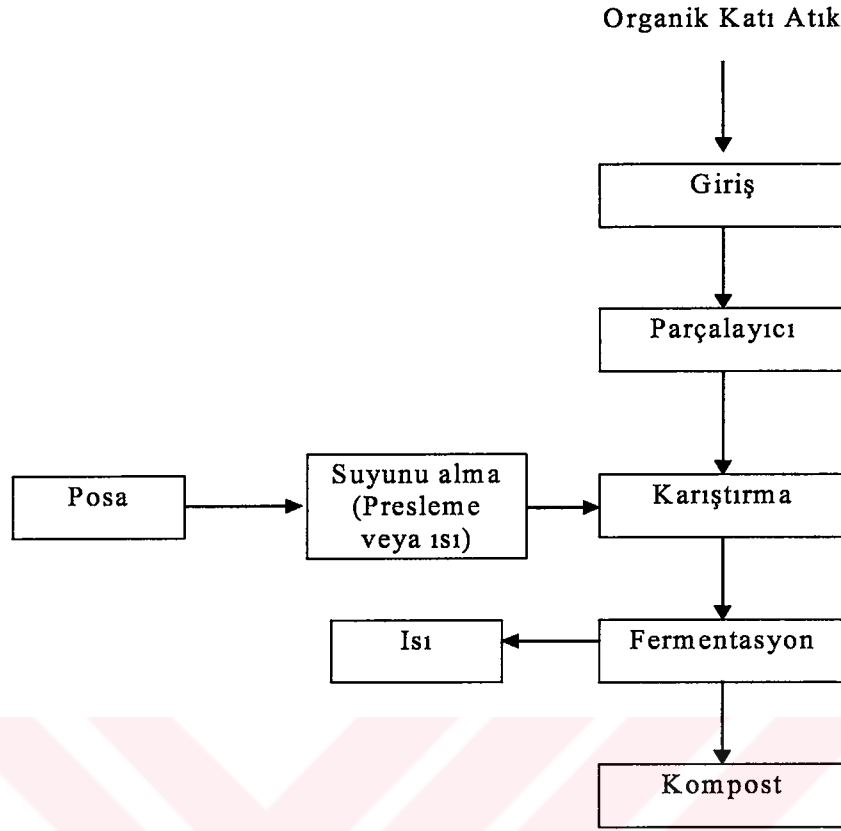
Tosun vd., (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, posanın hidrolizli ve hidrolizsiz olarak anaerobik parçalanma prosesi 45 gün süreyle incelenmiş ve metan oluşumu sırasıyla 0.28 ve 0.26 L CH₄/g UKM olarak bulunmuştur. Oluşan gazın ortalama metan içeriği %72 olup, stabilizasyon süresi 15-20 gün sürmüştür.

Aerobik kompostlaştırma alternatifine ilişkin muhtemel akım şeması Şekil 6.54 'da görülmektedir. Evsel katı atıklarla birlikte işlem görmesi halinde tesise organik atıkların gelmesi sağlanmalı, ürün kalitesinin bozulmamasına dikkat edilmelidir.

6.11.1 Gül Kompostunun Kullanılması

Gül posasının evsel katı atıklarla kompostlaştırılması sonucu elde edilecek kompost gül bahçelerinde, park ve bahçelerde, yol kenarlarındaki yeşil alanlarda ve şehir merkezine yakın yerlerdeki meyve bahçelerinde de kullanılabilir. Ayrıca şehre düzenli depolama tesisi yapılması halinde, depolama sahasının kapatılması sırasında üst örtü malzemesi olarak kullanılabilir. Elde edilen ürün homojen yapıda ve besin değeri yüksek olduğundan öncelikli olarak tarımsal amaçlı kullanılması önerilir.

Gül posası analiz sonuçları incelendiğinde, gül posasının azot ve mineral madde bakımından zengin olduğu ve tarımsal amaçlı olarak kullanılabileceği görülmüştür.



Şekil 6.54 Posanın kompostlaştırılması için akım şeması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

En çok gül üretilen ve işlenen şehir olan Isparta'da gül işleme endüstrisinden yılın sadece 1.5 ayı için yaklaşık 26000 ton gibi önemli bir miktarda posa oluşumu nedeniyle çevre için çok önemli bir kirlilik yükü ortaya çıkmaktadır. Gül işleme sezonu boyunca şehrin evsel katı atıklarının 2 katından daha fazla miktarda posa oluşmaktadır. Bu önemli çevre kirleticisi kaynağın giderilmesi ve değerlendirilmesi için yapılan kompostlaştırılabilirlik araştırmasında elde edilen genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Reaktörlerde patojen mikroorganizmaların ölmesi için gereken sıcaklık seviyelerine (60-70 °C) 3-4 gün içinde ulaşılmıştır. Reaktör profili boyunca sıcaklık fazla değişmemekle beraber, tabandan yukarıya doğru çok az bir artış olmuştur. Reaktör merkezindeki sıcaklıklar, takriben 50 gün sonra dış ortam sıcaklığına yaklaşmıştır. Ortamdaki gözenek malzemesi oranı sıcaklık seyrini tüm aşamalarda etkilemiştir. Ulaşılan maksimum sıcaklık sonrasında, kontrol amaçlı olan reaktörlerdeki sıcaklığın düşme seyri karıştırılmalı reaktörlere göre daha yavaş olarak gerçekleşmiştir.
2. Proses boyunca tüm reaktörlerdeki malzemelerin su muhtevalarında önemsiz mertebede bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Reaktörlerde profil ve aksel olarak yapılan analizlerde ayrışma süreci boyunca su muhtevasının reaktör merkezinde en az ve reaktörün üst kenarında en yüksek olduğu belirlenmiştir. Reaktörlerin değişik noktalarında ölçülen maksimum ve minimum su muhtevaları arasındaki farkların, ilk karıştırmada %26-38 arasında olduğu ve her karıştırmada azalarak, dördüncü karıştırmadan sonra %3-6 seviyesine düştüğü görülmüştür. Karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerinde ise, proses sonrasında su muhtevasının maksimum ve minimum olduğu noktalar arasındaki fark, %20'lerin üzerinde kalmıştır. Bu bulgu ile, karıştırmanın su muhtevası ve dolayısıyla biyolojik reaksiyonların homojen olmasını sağlamadaki etkisi ortaya konulmuştur.
3. İlk 20 günde pH değerinde bir artış görülmüş, sonra aynı seviyede kalmıştır. Evsel katı atıkların bulunmadığı 1.seri reaktörlerde pH değerleri başlangıçta 5.7-6.1 iken, proses sonrasında 7.4-7.6 değerlerine yükselmiştir. Evsel katı atıkların da karıştırıldığı 2. seri çalışmada, karıştırma yapılan reaktörlerde pH değerleri 5.9-6.2'den 7.1-7.3'ye, kontrol reaktörlerinde ise 6.0-6.4'den 6.7-7.1'e ulaşmıştır. Farklı noktalardaki pH değerlerinin proses boyunca ölçülmesi ile reaktörlerin hemen her noktasında aynı olduğu belirlenmiştir.

4. Organik madde muhtevası 1. seri çalışmalarda, %70 seviyesinden, stabilizasyon süresi sonunda %55 seviyesine düşmüştür. Gözenek oranı fazla olan reaktörde %9 daha fazla ayrışma gerçekleşmiştir. 2. seri çalışmalarda ise %72 seviyesinden %62 seviyesine düşmüştür. 92 günlük sürede meydana gelen ayrışmanın yaklaşık %70'i ilk 20 günde gerçekleşmiştir.
5. Reaktörlerin merkez/kenar profilleri boyunca organik madde muhtevalarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, reaktörün iç kesimlerindeki değerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Her bir reaktörün çeşitli noktalarında belirlenen maksimum ve minimum organik madde muhtevaları arasındaki farklar, ilk karıştırmada %6-15 arasında iken proses sonunda %5 seviyesine kadar düşmüştür.
6. Kompostlaştırma sürecini izlemek amacıyla, zamanla alınan numunelerde çözünmüş KOİ değerleri tayin edilmiş ve çözünmüş organik bileşenlerin konsantrasyonunu ifade eden KOİ'nin zamanla azaldığı görülmüştür. Başlangıçtaki çözünmüş KOİ değerleri 1100-1300 mg/l mertebesinde iken, 92 günlük stabilizasyon süresi sonunda 800-1000 mg/l mertebesine düşmüştür. Burada meydana gelen düşüş ile organik maddede meydana gelen azalma uyum göstermiştir.
7. %TKN değerleri, başlangıçta %3 civarında iken, stabilizasyon süresi sonunda %4-4.5 seviyesine yükselmiştir. Buradaki yükselme, kompostlaştırma süresince meydana gelen genel kütle kaybından ileri gelmektedir. Amonyak değerlerinde de benzer eğilim meydana gelmiş; başlangıçta 120-190 mg/kg'dan 20 gün sonunda 200-240 mg/kg'a yükselmiştir. Oksitlenme ürünü olan nitrat, 92 günlük stabilizasyon sonrası 90-130 mg/kg'dan 250-400 mg/kg değerine yükselmiştir.
8. Kompostlaştırma işleminin en önemli göstergelerinden biri olan C/N oranı, stabilizasyon süresince hızla azalmış, her iki seri çalışmada başlangıçta 12-15 civarında olan C/N oranı, 20 günlük stabilizasyonla 7.5-10.5 arasına ve 92 gün sonra ise 6.2-6.8 arasına düşmüştür.
9. %Toplam fosfor ve su ekstraktına geçen çözünmüş fosfor analizlerinde, ayrışma sürecinde organik karbonun sistemi terk etmesinin, azot içeriğinde olduğu gibi, fosfor konsantrasyonunda da tedrici bir artışa neden olduğu görülmüştür. Toplam fosfor 2000 mg/kg'dan 2400 mg/kg seviyelerine yükselmiştir.
10. Reaktör kütlelerinden su buharlaşması, sıcaklık seyrine paralel olarak, stabilizasyon süresinin ilk 20 gününde büyük ölçüde tamamlanmıştır. Stabilizasyon süresince

yoğunlaştırıcıda biriken su miktarları, karıştırma yapılan reaktörlerde, yaklaşık olarak 70-130 ml/kg KM olurken, kontrol reaktörlerinde ise 55 ml/kg KM olmuştur.

11. Sızıntı suyu oluşumu, ayrışmanın hızlı olduğu ilk 20 gün sonunda tamamlanmış ve daha sonraki zaman içinde görülmemiştir. En fazla sızıntı suyu oluşumu EKA oranının en fazla olduğu reaktörlerde gerçekleşmiştir.
12. Kompost sızıntı sularındaki KOİ değerinin, gül sanayii proses atıksularına göre önemli ölçüde azalmış olduğu görülmüştür. KOİ konsantrasyonu gül sanayi proses atıksularında 10,000 mg/l civarında iken, karıştırma yapılan reaktörlerde 1500-3000 mg/l ve karıştırma yapılmayan reaktörlerde 4000-4800 mg/l seviyesine düşmüştür.
13. Seri 1'deki reaktörlere beslenen hava debisi, yaklaşık olarak başlangıçta 3-7 L/kg KM-sa, proses sonunda 2 L/kg KM-sa ve ortalama olarak 3-4 L/kg KM-sa olarak gerçekleşmiştir. Seri 2'deki reaktörlere beslenen hava debisi, yaklaşık olarak başlangıçta 5-15 L/kg KM-sa, zamanla azalarak proses sonunda 1-2 L/kg KM-sa ve ortalama olarak 4 L/kg KM-sa olarak gerçekleşmiştir.
14. Katı madde başına oluşan kümülatif CO₂ değerleri, R1~R3'de sırasıyla 380, 381 ve 414 L/kg KM (62 günlük) iken, K1~K3 karıştırmalı reaktörlerde 460, 465 ve 478 L/kg KM (92 günlük) ve K4 ve K5 kontrol reaktörlerinde 315 ve 391 L/kg KM (92 günlük) olarak belirlenmiştir. Karıştırmalı reaktörlerde EKA oranının artışı yönünde CO₂ üretimi de artmıştır. Karıştırma yapılan K2 reaktöründeki CO₂ üretimi, karıştırma yapılmayan K5 reaktörüne göre yaklaşık %16 daha fazladır. Böylece, karıştırma işleminin ayrışma veriminin artışına çok önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir. Aşı türünün aynı olduğu R1 ve R3 reaktörlerinde, CO₂ üretim değerleri arasındaki %8'lik fark gözenek oranının artışından kaynaklanmaktadır.
15. Ayrışma sonucunda oluşan amonyak, uçmasına yardımcı olan sıcaklık ve pH'ın yükselmesi nedenleriyle kompost kütesinden kompost gazına geçmektedir. Ayrışmanın ilk 20 gününde NH₃ miktarı ve oluşum hızının yüksek olduğu görülmektedir. Proses süresince birim katı madde başına oluşan toplam NH₃ miktarları sırasıyla 0.56, 4.48, 9.51, 0.81, 2.29 mg/kg KM olarak gerçekleşmiştir. Reaktörlerde evsel katı atıkların oranı arttıkça amonyak miktarı büyük oranda artmaktadır.
16. Reaktörlere konulan posanın boyutunda, proses sonrasında, önemli bir küçülme olduğu görülmüştür. Gözenek oranının fazla olduğu reaktörlerde, ürün malzeme boyutunun diğer

reaktördekilerden daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Seri 1 çalışmalarında stabilizasyon sonrası elde edilen malzemenin yaklaşık % 80'inin boyutu 10 mm'nin altındadır. 4.75 mm'den küçük malzeme oranı başlangıçta %17 iken, proses sonrası 2,6 kat artarak %45 seviyesine yükselmiştir. Seri 2 çalışmalarında olgunlaşma devresi sonrasında malzeme boyutunun; posa oranının yüksek olduğu reaktörlerde daha küçük, karıştırma yapılmayan reaktörlerde daha büyük olduğu belirlenmiştir.

17. EKA'ların kullanılmadığı Seri 1'de başlangıç materyallerine göre yaklaşık 1/3 oranında hacim azalması tespit edilmiştir. Kuru ağırlık bazında malzeme kütleindeki azalma %37-38 mertebesinde gerçekleşmiştir. Seri 2 karıştırmalı reaktörlerde EKA oranının artışı yönünde %29-40 oranında ağırlık kaybı ve %49-59 oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Kontrol reaktörlerinde ise ağırlık azalması %31-40 ve hacim kaybı %28-42 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre, EKA'ların posaya göre daha fazla kütle ve hacim kaybına uğradığı tespit edilmiştir. Karıştırma işleminin kütle ve hacim azalmasına pozitif yönde etkisinin olduğu belirlenmiştir.
18. Karıştırma işlemi uygulanan R1~R3 reaktörleri ile K1~K3 reaktörlerinden elde edilen ürünlerde yapılan çalışmalarda; 5 gün içinde kaydedilen maksimum sıcaklık yükselmesinin 2-3 °C ile sınırlı kaldığı ve tamamen stabil ürün elde edildiği tespit edilmiştir. Karıştırma yapılmayan K4 ve K5 reaktörleri ürünlerinde ise maksimum sıcaklık yükselmesi sırasıyla 22 ve 15 °C olarak gerçekleşmiş olup, stabilizasyon sınıflamasına göre K4 reaktör ürünü "III.sınıf-ayırışma devam ediyor" ve K5 reaktör ürünü "IV.sınıf-olgun kompost" olarak değerlendirilmiştir.
19. Kompostlaştırma süresince alınan numunelerde, stabilizasyon göstergesi olarak hesaplanan $(C/N)_{\text{son}} / (C/N)_{\text{başlangıç}}$ değerlerinin tüm reaktörlerde 0.45-0.60 arasında olduğu görülmüştür. Tüm reaktörlerdeki elde edilen ürünlerin stabilite kriterlerini sağladığı belirlenmiştir.
20. Metal konsantrasyonlarının başlangıçtaki hızlı kütle azalması ile beraber giderek yükseldiği ve kütle azalmasının durmaya başlaması ile de stabil değerlerde kaldığı tespit edilmiştir.
21. Kümülatif $\text{CO}_2\text{-C}$ (%) değerlerinin zamana göre değişiminin, tüm reaktörlerde "birinci-sıfırıncı derece kinetik"e uyduğu ve deneysel değerlerin korelasyon değerinin $R^2=0.99$ olduğu belirlenmiştir. Kinetik katsayıların incelenmesi ile, karıştırma yapılan reaktörlerde, EKA/posa oranlarının değişmesine rağmen, reaksiyon hızlarının birbirine

yakın değerlerde olduğu ve karıştırma yapılmayan kontrol reaktörlerinde ise reaksiyon hızının karıştırma yapılan diğer reaktörlere göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

22. Kompostlaştırma sürecinin değişik aşamalarındaki reaksiyon gelişme eğilimleri incelemelerinde, genel olarak her bir aşama için sıcaklık arasında iyi uyum sonuçları elde edilmiştir. Sıcaklık ve CO₂'nin arttığı dönemlerdeki ilişkinin, diğer dönemlere göre daha yüksekte olduğu belirlenmiştir. En düşük ilişki ($R^2 = 0.45-0.52$) korelasyon değerleri ile ilk adaptasyon fazında meydana gelmiştir. Tüm reaktörlerde kompostlaştırma süresi boyunca CO₂ ile sıcaklık arasındaki R^2 değerleri 0.80-0.95 aralığında gerçekleşmiştir.

23. Aralarında paralel bir ilişki olması nedeniyle, CO₂ üretim hızı (L/kg KM-gün), oksijen tüketim hızı (L/kg KM-gün) ve sıcaklık(°C) deneysel ölçüm değerleri arasında

$$CO_2 = -2.9110 + 0.8459 * O_2 + 0.0809 * \text{Sıcaklık} \quad (\text{Tüm reaktörler: K1~K5}) \quad (6.9)$$

çoklu regresyon denklemi elde edilmiştir.

24. Çalışmalar sonucunda, posanın evsel katı atıklarla 1:1 oranında karıştırılmak suretiyle çok elverişli bir şekilde kompost yapılabileceği tespit edilmiştir.

Yukarda elde edilen deneysel çalışmalar ve bunların kinetik değerlendirmeleri sonucunda; kısa bir sezon için oluşan, nutrientlerce zengin, organik madde miktarı fazla ve homojen bir yapıda olması nedenleriyle gül posasının aerobik kompostlaştırma ile değerlendirilmeye çok uygun olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, evsel katı atıkların organik kısımlarıyla birlikte işlem görmesinin uygun olduğu da belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen kompostun çevre problemini çözmenin ötesinde, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre, tarımda ve diğer alanlarda güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

8. EKLER

Ek 1 Seri 1 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar, sayaç okumaları ve CO₂ ölçüm değerleri

Ek2 Seri 2 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar

Ek 3 Seri 2 reaktörlerde sayaç okumaları ve CO₂ ölçüm değerleri



8. EKLER

Ek 1 Seri 1 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar, sayaç okumaları ve CO₂ ölçüm değerleri

Tarih	Sıcaklıklar °C (reaktör merkezleri)				Sayaç okumaları			CO ₂ ölçümleri (%)		
	ortam	R1	R2	R3	S1	S2	S3	R1	R2	R3
17.08.01 15:46	27,00	26			3557,9					
17.08.01 20:25	27,00	29,0	25,0					20,0	20,5	
18.08.01 14:25	27,50	37,5	35,0		3768,0	3440,0				
18.08.01 16:35	28,00				3860,6	3524,3		19,4	19,0	
18.08.01 20:35	27,50	42,0	40,0		3880,0	3541,5				
18.08.01 21:00	27,00									
18.08.01 21:25	27,00			22,0			4171,7			
18.08.01 21:45	27,00	42,5	41,5		4524,6	4129,8	4874,9	11,0	17,0	18,5
19.08.01 13:45	27,00	52,2	55,0	33,9	4759,9	4344,0	5129,8	12,0	15,5	19,0
19.08.01 19:50	26,50	54,0	60,0	41,7	4786,8	4369,2	5159,4			
19.08.01 20:30	26,00				5316,4	4848,3	5729,0	11,0	14,0	14,0
20.08.01 09:40	26,00	59,0	64,0	52,4	5681,9	5149,2	6092,4	14,2	13,8	15,0
20.08.01 18:55	27,00	60,5	65,0	55,5	6298,4	5742	6803,3	14,5	16,5	15,0
20.08.01 21:10	27,00	62,0	65,5	56,2	6475,9	5902,9	6987,2	11,8	16,5	15,4
21.08.01 10:55	27,00	63,0	66,0	60,2	7299,3	6698,8	7927,9	12,6	15,0	13,0
22.08.01 11:10	27,00	63,0	66,0	62,0	8269,4	7635,5	9051,7	12,8	13,2	12,2
22.08.01 16:35	27,00	63,0	66,0	62,1	8584,7	7940,4	9418	12,0	12,4	11,0
23.08.01 10:30	27,00	63,0	64,0	61,8	9221,4	8555,4	10162	11,4	10,0	10,6
23.08.01 18:00	27,00	63,0	62,5	61,4	9530,8	8854,5	10525,4	12,4	10,0	10,8
24.08.01 09:55	27,00	62,5	60,0	60,4				9,5	7,6	8,2
24.08.01 17:32	28,00	63,0	58,0	59,8	10381,5	9678	11527	11,0	7,0	9,5
25.08.01 10:15	27,00	62,1	54,0	58,2	12128,9	11377,7	13601,1	11,3	5,0	8,8
26.08.01 14:15	27,50	62,0	53,0	57,7	12385,0	11628,0	13906,4	11,4	5,0	8,6
27.08.01 09:31	26,00	61,0	46,0	55,4	13069,2	12296,6	14724,9	11,0	4,6	8,0

(Ek 1 Devam)

Tarih	Sıcaklıklar °C			Sırt okumaları			CO ₂ ölçümleri (%)			
	ortam	R1	R2	R3	S1	S2	S3	R1	R2	R3
27.08.01 15:57	27,50	61,0	46,0	55,3	13379,7	12600,5	15098,0	10,5	4,2	7,6
28.08.01 09:15	27,00	61,0	44,0	54,9	14036,6	13225,3	15858,0	10,2	3,7	7,0
28.08.01 17:58	27,00	61,0	44,0	54,5	14261,3	13440,0	16119,1	10,8	3,6	6,6
29.08.01 10:26	27,20	60,0	42,0	54,0				6,6	3,0	5,0
29.08.01 16:14	27,00	60,0	42,0	53,7	15863,6	14985,6	17993,8	6,8	2,8	4,0
30.08.01 16:00	26,00	59,0	39,0	51,2	16910,2	16005,8	19225,9	8,2	2,2	3,3
31.08.01 09:40	26,00	59,0	38,0	48,1						
01.09.01 13:11	26,00	57,0	36,0	42,9	17149,6	16227,7	19499,2	6,8	3,0	3,4
01.09.01 16:00	25,00	40,0	30,0	33,0	17733,5	16781,8	20152,4	16,8	4,2	5,4
01.09.01 19:20	25,60	43,8	32,0	34,0	18466,5	17482,8	20977,4	15,5	5,5	6,6
02.09.01 12:30	25,00	55,0	34,0	37,5	18788,8	17791,6	21342,1	10,6	5,4	5,4
02.09.01 15:30	25,30	58,0	35,0	38,0	19371,4	18352,0	22003,0	12,6	7,0	7,8
02.09.01 19:35	25,20	60,0	35,5	38,7	20112,2	19066,4	22846,3	10,4	9,0	8,1
03.09.01 09:40	25,20	62,0	37,0	40,9	20292,3	19240,1	23051,2	9,2	9,6	8,6
03.09.01 18:15	25,50	62,0	38,0	42,1	20871,9	19797,6	23708,6	9,1	10,5	8,6
04.09.01 10:25	25,00	60,0	41,0	44,0	21603,5	20501,4	24541,4	8,0	10,6	8,9
05.09.01 09:12	25,10	56,0	45,0	46,2	22492,4	21352,9	25550,9	6,5	10,3	8,8
05.09.01 14:39	25,50	55,0	46,0	46,5	23724,9	22534,6	26951,6	4,2	9,0	7,8
06.09.01 09:10	24,90	52,0	48,0	47,4	24405,9	23187,8	27728,2	3,7	5,2	7,6
07.09.01 09:15	25,20	49,0	49,0	47,7	25117,5	23870,0	28541,0	3,2	7,6	6,8
11.09.01 09:51	24,80	38,0	46,0	44,5	26044,5	24743,0	29588,6	1,8	4,5	4,0
12.09.01 11:30	24,50	36,0	44,0	43,6	26430,8	25114,0	30031,8	3,8	2,4	1,0
13.09.01 11:55	24,40	34,0	42,0	41,7	26510,0	25196,9	30130,4	2,6	5,2	1,6
13.09.01 15:30	24,50	31,0	35,0	33,3	26787,9	25462,9	30439,4	3,2	6,6	3,0
13.09.01 17:30	24,60	32,0	37,0	34,9				2	7,8	3,2
13.09.01 20:40	24,8	32,0	38,0	36,5	27864,1	26496,7	31638,8	6	10,6	9,6

(Ek 1 Devam)

Tarih	Sıcaklıklar °C			Sayaç okumaları			CO ₂ ölçümleri (%)			
	ortam	R1	R2	R3	S1	S2	S3	R1	R2	R3
14.09.01 11:40	24,7	33,0	38,0	37,1				6,4	12,2	11
14.09.01 16:50	24,7	33,0	38,0	37,2	28330,0	26945,2	32153,5	7,1	12,2	11,2
15.09.01 11:02		33,0	38,2	37,3	28586,8	27190,7	32435,4	7	10,5	8,8
17.09.01 11:05	23,8	33,5	39,0	37,4				6,6	9,4	8,8
17.09.01 17:30		34,0	39,0	37,5	29455,4	28027,6	33390,0	7,8	9,8	8
18.09.01 10:49	24,1	34,0	39,5	37,8	30153,1	28686,5	34134,0	6,8	8,1	7,2
19.09.01 10:45	24,7	35,0	40,0	38,3	30599,0	29105,6	34600,5	6,2	7,4	6,4
19.09.01 16:25		35,5	40,2	38,4				7,5	8,5	7,2
19.09.01 20:35		35,9	40,2	38,5	31200,4	29671,2	35230,5	7	7,1	7
20.09.01 12:30	25	36,1	40,6	38,8	32607,0	30961,8	36710,2	3,8	4	3,9
20.09.01 20:05		36,5	40,5	38,8	32867,2	31202,6	36989	4,2	5,6	4,9
21.09.01 14:40	24,2	37,0	40,5	38,7	33256,5	31562,6	37407,4	4,7	5,4	5,2
21.09.01 19:30		37,0	40,3	38,5	33780,2	32066,5	37967,4	3,8	3,5	4,1
22.09.01 17:00		37,0	40,0	37,8	35341,0	34233,5	39715	4	3,3	3,8
24.09.01 15:05	24	36,0	38,0	35,5	36866,4	36355,5	41429,9	3,4	2,2	2,6
25.09.01 19:20		35,9	37,0	34,5						
26.09.01 18:30		35,0	36,0	34,0						
27.09.01 18:35	23,5	34,0	35,5	33,2						
28.09.01 19:00		33,5	34,5	32,3						
01.10.01 18:30		30,0	31,0	29,0						
04.10.01 13:00	23,2	29,0	30,0	28,2						
06.10.01 18:35	23,3	28,9	29,1	27,8						
12.10.01 13:05	23,2	28,5	28,5	27,2						
19.10.01 18:00	23,5	26,2	26	24,8						

Ek 2 Seri 2 reaktörlerde kaydedilen sıcaklıklar (°C)

Tarih	ortam	K1			K2			K3		K4		K5			
		alt	merkez	üst	boşluk	alt	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	üst	boşluk
24.01.02 09:00	21,5	30	32,4	32	25	32	28,9	25							
24.01.02 12:10	21,4	36,5	38,6	36,8	28,5	33	33,6	26,5							
24.01.02 14:50	20,8	45,3	49,1	47,5	33	32,2	33,6	25,5							
24.01.02 22:55	20,0					49,5	50,7	35,5	50,6	38	20,7	22			
25.01.02 10:45	22,5	57,4	58,4	50,5	38	68	65,6	45,5	61,8	45	33,5	28			
25.01.02 13:15	22,0	62,1	63,3	54,2	40	72	69,3	50,0	64,1	50	42,0	32			
25.01.02 17:20	22,0	65,9	67,6	62,3	45	73,5	71,8	54,0	67,2	53	52,3	36,5			
26.01.02 09:40	24,7	67,7	70,5	72,5	53	72,7	70,3	53,0	69,0	55,5	69,2	53,2			
26.01.02 11:40	25,0	67,5	70,3	72,1	52,7	72	70,0	52,0	68,9	55,5	69,3	53,5			
26.01.02 14:30	24,5	67,0	69,8	72,0	51,8	70,5	69,5	51,5	68,6	54	69,1	52,5			
26.01.02 20:05	22,0	65,7	68,4	71,0	51	70	68,2	51,0	67,8	54	68,0	52,5	34,2	32,0	28,0
27.01.02 13:45	22,0	62,0	65,0	66,0	46	66	65,6	46,0	65,2	49,5	64,7	47	69,9	63,0	48,0
27.01.02 15:00	22,5	61,6	64,7	65,8	45,5	65,5	65,4	45,5	65,0	48	64,4	46	70,3	63,0	48,0
28.01.02 09:00	23,0	57,2	60,8	62,0	43	61	60,9	43,0	61,5	46	60,1	44	68,8	59,0	47,0
28.01.02 17:05	24,0	56,0	59,8	61,5	43	59,5	59,3	42,5	60,4	45,5	58,0	43	67,3	57,0	46,0
29.01.02 11:30	20,0	55,7	59,8	61,5	42	59	57,8	40,0	58,7	43	53,7	39	62,4	42,0	40,0
29.01.02 12:15	21,0	55,7	59,8	61,5	42	59	57,8	40,0	58,7	43	53,7	39	62,4	42,0	40,0
29.01.02 18:00	20,0	55,7	59,9	61,5	42	57	57,8	39,5	57,9	42,5	52,4	38	59,9	43,0	38,0
30.01.02 11:45	23,0	56,7	60,5	62,0	42,5	58,5	59,6	40,0	56,3	41,5	52,4	38	55,0	40,0	36,0
30.01.02 13:30	23,0	56,3	60,3	61,7	42,2	58,5	59,7	40,0	55,9	41	52,7	37	54,3	40,0	35,0
31.01.02 18:45	23,0	54,1	57,6	59,0	40,8	58	56,8	38,0	53,4	39,5	54,0	39	54,8	37,0	33,5
01.02.02 10:46	23,0	52,8	56,2	57,9	39	53,8	53,8	36,0	51,4	38	53,3	38	55,7	37,0	33,0
01.02.02 20:34	22,0	52,1	55,6	57,0	39,5	51	51,8	36,0	50,0	37,5	52,9	38,5	55,5	37,0	34,5

(Ek 2 Devam)

Tarih	ortam	K1			K2			K3			K4			K5		
		alt	merkez	üst	boşluk	alt	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	üst	boşluk	
02.02.02 12:16	24,0	51,6	54,8	55,0	38	49	49,1	34,0	47,2	35,5	52,0	38	53,3	35,0	34,0	
03.02.02 12:55	23,0	49,3	52,2	51,5	36	45	45,7	32,0	42,4	33	50,7	36	48,6	32,0	31,0	
04.02.02 11:50	22,0	44,9	47,5	47,0	33	41	41,2	30,0	37,3	30	48,6	35	42,4	29,0	29,0	
04.02.02 16:30	22,0	31,4	31,6	31,0	23	30	29,3	23,0	27,0	20	46,4	25	41,0	25,0	25,0	
04.02.02 18:30	21,0	34,5	34,5	32,0	26	32	31,7	25,0	27,9	25	46,8	32	40,5	27,0	27,5	
05.02.02 12:30	22,0	40,9	45,2	40,0	30,5	43,5	45,1	31,0	36,9	30	45,4	33	36,7	27,3	27,2	
05.02.02 13:50	22,5	41,8	46,3	42,0	31	44,5	46,4	31,5	37,5	30,3	45,3	33	36,5	27,0	27,1	
05.02.02 16:22	23,0	43,5	48,4	42,0	32,5	47,5	49,0	33,0	38,9	31	45,1	33	36,1	27,0	27,5	
05.02.02 18:25	23,0	45,1	50,3	45,0	33,2	50	51,1	34,2	40,0	32	45,0	33,2	36,0	27,5	27,6	
06.02.02 10:20	23,0	57,3	61,5	56,0	41	61,7	61,2	41,0	49,8	37	44,3	32	34,9	27,0	27,0	
06.02.02 16:12	23,0	59,6	63,3	58,0	43	63	62,0	42,5	52,5	39	44,1	33	34,7	27,0	27,0	
06.02.02 19:30	22,0	60,2	64,1	60,0	44	63	62,3	43,0	54,0	40	44,0	33	34,6	27,0	27,0	
07.02.02 10:39	23,0	59,6	63,1	62,0	44	61	59,8	41,0	55,9	42	43,7	32	32,0	27,0	27,0	
07.02.02 20:10	23,0	57,9	61,2	58,0	43	58	57,2	40,0	54,5	41,5	43,4	32,7	34,0	27,0	26,5	
08.02.02 11:05	24,0	54,8	57,6	54,0	40,5	56,5	53,2	37,5	51,0	39	42,6	32	33,8	27,0	27,0	
08.02.02 21:10	23,0	52,7	55,3	51,7	39	52	51,1	36,5	48,7	37	42,0	32	33,7	28,0	27,7	
09.02.02 17:25	23,0	47,9	50,0	46,0	35,5	47	46,1	33,0	43,0	34	39,9	31	32,4	26,0	25,5	
10.02.02 18:58	22,0	43,3	44,9	42,0	33	42,5	42,3	31,2	38,0	31,5	37,4	30	31,7	26,0	26,1	
11.02.02 17:10	23,0	40,6	41,9	39,0	30,5	39,5	38,9	29,0	34,5	29	35,2	28,8	31,1	26,0	25,5	
12.02.02 10:50	22,0	38,4	40,0	38,4	29,5	36,2	36,3	28,0	32,4	28	33,7	28	30,5	26,0	25,4	
12.02.02 13:25	22,0	38,1	39,7	38,4	29,5	36	35,9	28,0	32,0	28	33,5	28	30,4	25,5	25,5	
13.02.02 13:55	21,0	35,3	36,4	34,0	27,5	32,3	32,5	26,0	29,5	26,5	31,4	26,5	29,3	25,0	24,5	
14.02.02 15:10	22,0	33,4	34,4	32,0	27	31	31,1	26,0	28,6	26	30,2	26,5	29,3	24,0	25,0	
14.02.02 20:15	22,0	29,1	28,4	27,5	23,5	27	26,2	26,0	23,7	23	30,0	25	29,3	24,0	23,0	

(Ek 2 Devam)

Tarih	ortam	K1			K2			K3			K4			K5		
		alt	merkez	üst	boşluk	alt	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	üst	boşluk	
15.02.02 11:40	21,0	29,1	29,7	28,0	23,5	27,5	27,7	23,0	25,0	23,5	28,9	24,5	28,1	24,0	23,0	
15.02.02 17:50	20,0	29,2	29,7	29,0	24,2	27,8	27,8	23,7	25,2	24,2	28,5	25	27,8	24,0	23,8	
16.02.02 13:50	21,0	29,8	30,3	29,4	25	28	28,4	24,0	25,7	24,5	27,8	25	27,7	24,0	24,8	
16.02.02 17:50	20,0	29,9	30,4	29,0	25	28	28,5	24,5	25,9	25,4	27,7	25	27,7	25,0	24,0	
18.02.02 13:50	22,0	30,5	31,0	29,8	25,2	28	28,8	24,5	26,3	25	27,1	24,8	27,7	24,0	24,0	
19.02.02 13:31	22,0	31,0	31,4	30,0	25,5	29	29,1	24,5	26,7	25,2	27,1	24,8	28,3	25,0	24,2	
20.02.02 08:50	22,0	31,6	32,1	31,0	26,5	29,8	29,8	25,5	27,5	26	27,4	25,7	29,2	25,8	25,0	
21.02.02 20:15	21,0	33,7	34,3	33,0	27,5	31,2	31,1	26,0	28,5	27	28,6	26,3	30,9	26,0	25,6	
25.02.02 11:40	22,0	37,0	37,5	35,0	29,5	32,3	32,6	27,5	29,2	27,7	30,1	27,5	32,5	28,0	27,0	
26.02.02 14:15	23,0	36,8	37,2	35,5	29,5	32,5	32,5	27,5	29,4	27,7	30,1	27,5	32,3	28,0	27,0	
27.02.02 12:10	22,0	36,4	36,7	35,0	29	32,3	32,4	27,2	29,5	27,7	30,0	27,3	32,2	28,0	26,7	
28.02.02 11:15	23,0	35,9	36,3	34,2	29,2	32,3	32,6	27,5	29,9	28,2	30,0	27,5	32,3	28,0	27,0	
01.03.02 18:10	24,0	35,4	35,7	34,0	29,2	33	32,9	28,0	30,5	28,7	30,0	28	32,5	28,0	27,0	
04.03.02 13:00	24,0	33,1	33,2	32,0	27,5	32,3	31,8	26,8	29,7	27,5	28,9	26,5	30,9	26,5	26,0	
05.03.02 17:10	24,0	32,8	32,9	32,0	28	32,1	32,0	27,5	29,6	28	28,9	27,5	31,3	27,0	27,0	
07.03.02 16:45	24,0	32,7	32,7	31,0	27,8	32	31,9	27,5	29,2	28	29,6	27,5	32,0	27,5	27,0	
08.03.02 20:40	25,0	31,7	31,9	31,0	28	32	31,1	28,0	28,5	28	29,3	28	31,9	28,0	28,2	
10.03.02 13:30	24,0	31,3	31,3	30,5	27	31	30,4	26,5	27,9	27	29,0	27	31,0	27,0	26,6	
11.03.02 17:40	24,0	30,8	30,9	30,0	26,8	30	29,7	26,0	27,5	27	28,6	27	30,3	27,0	26,0	
12.03.02 22:25	24,0	30,9	30,9	29,5	27,3	30,1	30,1	27,0	27,6	27,4	28,5	27,3	30,2	27,0	27,0	
13.03.02 16:00	24,0	31,1	31,1	30,0	27,2	30,4	30,0	27,0	27,7	27,2	28,7	27	30,2	27,0	27,0	
13.03.02 18:50	24,0	26,5	26,5	26,5	26	26	26,0	26,0	26,0	26	28,0	27	28,5	26,0	26,0	
14.03.02 12:20	23,0	29,0	28,8	27,8	26	27,5	28,0	26,0	25,9	26,8	28,4	27	29,7	26,0	26,0	
14.03.02 16:54	24,0	29,3	29,0	27,8	26	27,5	28,2	25,5	26,0	26	28,2	26,5	29,7	26,0	26,0	

(Ek 2 Devam)

Tarih	ortam	K1			K2			K3			K4			K5		
		alt	merkez	üst	boşluk	alt	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	boşluk	merkez	üst	boşluk	
15.03.02 15:15	24,0	29,9	29,5	27,8	26	27	28,7	25,5	26,4	26	28,0	26	29,2	25,0	25,2	
18.03.02 13:25	22,0	29,2	29,0	27,0	25	26	27,8	24,5	25,1	25	26,3	24,5	27,3	24,0	24,0	
19.03.02 16:50	22,0	28,9	28,5	26,5	25	26	27,6	25,0	25,0	25,5	25,7	25	26,8	25,0	24,0	
22.03.02 16:35	24,0	29,4	29,0	27,0	25,5	27	28,9	25,5	25,7	26	26,7	25,5	27,6	26,0	25,0	
23.03.02 14:05	24,0	28,9	28,0	26,2	25,5	27	28,5	25,5	26,0	26	26,5	25,5	27,2	25,0	25,0	
24.03.02 14:30	24,0	29,3	29,1	27,0	25,5	28	29,5	26,0	26,2	26	27,3	26	28,3	25,0	25,0	
27.03.02 16:53	25,0	30,1	30,0	28,0	26,5	28,2	30,1	26,5	26,0	26,7	27,8	26,6	28,6	26,0	25,5	
29.03.02 16:40	24,0	30,3	30,2	28,0	26	28	30,0	26,0	25,8	26	28,0	26	28,5	25,0	25,0	
01.04.02 20:10	24,0	29,1	28,8	26,0	25	27	28,9	25,2	25,0	25	27,6	25,5	27,7	24,0	24,0	
03.04.02 18:46	24,0	28,0	27,8	25,0	25	27	28,3	25,5	24,6	25	27,0	25,5	27,3	25,0	24,5	
10.04.02 13:00	24,0	28,3	28,0	25,0	25,5	27,5	28,6	25,5	25,3	25,4	28,4	26	28,3	25,0	25,0	
11.04.02 16:27	25,0	28,4	28,2	26,0	26	28	28,8	28,0	25,5	26	28,5	26,5	28,5	26,0	26,0	
14.04.02 15:40	25,0	28,4	28,0	25,0	25,5	27,8	28,0	25,0	25,5	26	26,9	26	27,4	25,0	25,0	
15.04.02 15:30	25,0	28,2	28,0	25,0	25,5	28	28,2	26,0	25,5	26	28,0	26,5	28,2	26,0	25,5	
19.04.02 13:10	25,0	28,7	28,4	25,8	26	28	28,5	26,0	25,9	26,5	29,2	27	28,8	26,0	26,0	
22.04.02 13:00	25,0	28,5	28,1	25,5	26	27,8	28,1	26,0	25,6	26	28,9	26,8	28,5	25,5	25,0	
26.04.02 18:00	25,0	28,2	27,9	25,2	26	27,8	27,9	26,0	25,5	26	28,4	26,2	28,3	26,0	26,0	
27.04.02 11:45	23,0	27,0	26,7	22,5	24	26,2	26,7	24,0	24,7	25	27,8	25,5	27,4	27,0	24,5	
27.04.02 19:15	24,0	26,7	26,5	22,5	24,5	26	26,5	24,0	24,5	25	28,3	26	27,4	27,0	25,0	
28.04.02 21:20	23,0	26,1	25,8	22,0	23,5	23	25,7	23,5	23,9	24	29,1	25,9	27,1	26,0	24,0	
29.04.02 22:34	23,0	25,6	25,4	21,0	23	25	25,4	23,5	23,4	24	29,1	25,8	26,8	26,0	24,0	
01.05.02 20:00	22,0	25,3	25,1	20,5	23	24,5	25,2	23,0	23,0	24	30,1	26	26,5	26,0	24,0	

Ek 3 Seri 2 reaktörlerde sayaç okumaları ve CO₂ ölçüm değerleri

Tarih	Sayaç okumaları					CO ₂ ölçümleri (%)				
	S1	S2	S3	S4	S5	K1	K2	K3	K4	K5
24.01.02 09:00	37535	36800	41800	28800						
24.01.02 22:55	38040	37515	42363	29316						
25.01.02 10:45	38468	38116	42842	29749		20,0	18,3	19,5	13,0	
25.01.02 13:15						18,1	16,4	18,4	18,0	
25.01.02 14:00	38624	38396	43019	29913						
25.01.02 16:40	38786	38565	43203	30085		16,8	11,8	16,0	18,0	
25.01.02 17:20	38818	38611	43239	30117						
26.01.02 09:40	39831	39995	44374	31177		12,8	10,8	13,8	15,1	
26.01.02 20:05	40421	40780	45024	31787	36081	13,0	10,0	13,5	14,0	3,5
27.01.02 13:45	41337	41884	45967	32631	36886	14,0	9,2	12,2	11,8	16,0
28.01.02 17:05	42711	43512	47369	33859	38075	9,4	8,3	11,4	10,2	13,4
29.01.02 11:30	43618	44563	48252	34641	38822	9,5	7,0	9,8	8,0	8,8
29.01.02 12:15	43655	44604	48288	34672	38852	9,5	7,0	9,8	8,0	8,8
30.01.02 11:45	44652	45679	49229	35491	39595	11,2	9,0	10,2	9,3	6,5
30.01.02 13:30	44746	45784	49318	35569	39665	11,2	9,0	10,2	9,3	6,5
30.01.02 16:20	44873	45927	49437	35674	39763					
31.01.02 12:23	45712	46840	50187	36410	40133	11,0	7,7	9,9	9,9	11,4
01.02.02 10:46	46692	47893	51087	37271	40606					
01.02.02 20:34	47125	48351	51487	37643	40816	9,2	6,3	6,8	9,7	12,8
02.02.02 12:16	47679	48917	51992	38088	41149	9,0	7,0	6,9	9,8	11,0
03.02.02 12:55	48589	49851	52832	38824	41707	7,0	5,0	5,0	9,0	7,0
04.02.02 11:50	49506	50833	53705	39594	42276	5,9	3,2	3,0	7,0	4,0
05.02.02 13:50	50562	52133	54790	40616	42894	6,5	6,0	5,6	5,4	3,0

(Ek 3 Devam)

Tarih	Savaş okumaları					CO ₂ ölçümleri (%)				
	S1	S2	S3	S4	S5	K1	K2	K3	K4	K5
06.02.02 10:20	51452	53057	55603	41385	43320	13,4	13,7	12,0	6,6	5,0
06.02.02 16:12	51682	53284	55807	41576	43401	14,4	14,3	14,6	7,3	5,4
07.02.02 13:50	52767	54333	56758	42457	43784	9,2	9,0	10,8	5,8	4,0
08.02.02 13:50	54194	55591	57940	43512	44268	7,2	8,1	8,2	6,2	4,6
09.02.02 17:25	55050	56294	58633	44140	44455	5,7	6,0	6,0	5,2	6,0
10.02.02 18:58	56047	57169	59450	44824	44662	5,9	5,4	5,2	5,8	6,8
11.02.02 17:10	56812	57847	60086	45321	44902	5,0	4,3	4,4	4,4	4,4
12.02.02 10:50	57584	58560	60781	45885	45159	3,3	2,7	2,5	3,2	3,3
13.02.02 13:55	58367	59290	61466	46440	45413	4,2	3,2	2,7	4,0	4,6
14.02.02 15:10	58895	59782	61937	46829	45586	4,0	3,3	3,8	4,5	6,0
14.02.02 20:15	58920	59807	61960	46852	45594					
15.02.02 11:40	59587	60464	62546	47423	45844	1,4	1,0	1,0	1,8	2,0
16.02.02 17:50	60295	61122	63149	47977	46098	3,2	2,2	2,8	3,0	4,5
18.02.02 13:50	61118	61882	63880	48633	46393	4,0	3,6	3,5	4,0	4,5
21.02.02 20:15	62492	63357	65196	49916	46918	4,6	3,8	3,0	3,0	3,2
26.02.02 14:15	64555	65498	67121	51802	47707	7,2	4,6	4,2	4,0	7,6
28.02.02 16:45	65430	66352	67902	52570	48035	6,5	4,5	4,4	4,2	7,2
01.03.02 18:10	65774	66688	68219	52874	48165					
04.03.02 13:00	66731	67601	69080	53692	48525	5,5	5,0	5,4	4,8	7,2
07.03.02 16:45	67884	68680	70101	54652	48948					
08.03.02 20:40	69080	69727	71078	55526	49377	1,8	1,5	1,8	2,0	3,0
10.03.02 13:30	70237	70758	72042	56417	49960					
11.03.02 17:40	71237	72110	73117	57398	50710	1,7	1,5	1,7	2,0	2,2
12.03.02 22:25	71754	72581	73573	57822	50979					

(Ek 3 Devam)

Tarih	Savaş okumaları					CO ₂ ölçümleri (%)				
	S1	S2	S3	S4	S5	K1	K2	K3	K4	K5
13.03.02 16:00	72072	72883	73857	58088	51182	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
13.03.02 18:50	72072	72883	73857	58088	51182					
14.03.02 12:20	72699	73632	74478	58648	51672	1,0	1,4	1,2	1,7	1,5
15.03.02 15:15	72889	73910	74709	58857	51847	4,0	3,0	2,9	4,2	3,2
18.03.02 13:25	74775	75287	76138	60147	52817	1,6	2,1	1,5	2,0	1,5
19.03.02 16:50	74845	75353	76201	60209	52850					
21.03.02 17:00	74985	75508	76337	60341	52930					
22.03.02 16:35	75138	75730	76509	60499	53056	6,8	8,0	4,5	5,3	4,0
24.03.02 14:30	75866	76380	77123	61102	53462					
27.03.02 16:53	78316	79820	79852	63508	55600	3,0	6,0	3,0	5,0	3,0
01.04.02 20:10	81498	83884	83224	66476	58248					
03.04.02 18:46	82557	85119	84285	67408	59080	3,0	6,0	3,0	5,0	3,0
10.04.02 13:00	85415	86999	86427	69068	60665					
14.04.02 15:40	86581	87580	87162	69570	61234					
15.04.02 15:30	86983	87843	87453	69791	61468	1,5	3,0	2,0	5,0	2,4
19.04.02 13:10	88517	88635	88449	70530	62200	1,5	3,8	1,8	4,5	3,0
22.04.02 13:00	89599	89047	89057	70942	62635					
26.04.02 18:00	91142	89482	89854	71462	63167	1,0	2,0	1,5	3,0	2,0
26.04.02 18:00	91142	89482	89854	71462	63167					
27.04.02 19:15	91545	89686	90112	71623	63355	1,0	1,2	1,0	7,5	2,8
28.04.02 21:20	91779	89781	90249	71731	63464	2,2	1,3	1,1	12,0	5,5
01.05.02 20:00	92523	90449	90945	72352	63997					

KAYNAKLAR

- Akgöze-Aydın, G., Kocasoy, G., (2002), "Investigation of Appropriate Initial Composting and Aeration Method for Co-Composting of Yard Waste and Market Wastes", Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, 2:1277-1284, ISWA' 2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı, İstanbul.
- Alyanak, İ., Filibeli, A., (1987), "Tavuk Çiftliği Artıklarının Çevre Etkilerinin Önlenmesi ve Yararlı Hale Getirilmesi Alternatifleri", Uluslararası Çevre'87 Sempozyumu, Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Atık ve Kirlenme Denetimi Araştırma Grubu, İstanbul.
- APHA, (1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed.1995, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Arıkan, O.A., (1996), "İstanbul Katı Atıklarının Karakterizasyonu ve Havasız Kompostlaşabilirliği Üzerine Bir Çalışma", Y. Lisans tezi, İTÜ.
- Badawi, M.A., Blanch, F.C., Wise, D.L., El-Shinnawi, M.M., Abo-Elnaga, S.A., El-Shimi, S.A., "Anaerobik Composting with Methane Recovery from Agricultural and Village Wastes".
- Bari, Q.H., Koenig, A., (2001), "Effect of air recirculation and reuse on composting of organic solid waste", Resources, Conservation and Recycling, 33 (2001) 93–111.
- Bari; Q.H., Koenig; A., Guihe, T., (2000), "Kinetic analysis of forced aeration composting -I. Reaction rates and temperature" Waste Management & Research, 18:4, 303-312.
- Baştürk, A., (1979), "Katı Atıklar Üzerine Bir Araştırma Modeli ve İstanbul İçin Uygulamaları", Doçentlik tezi, İstanbul.
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., and Cegarra, J., (1998), "Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes", Bioresource Technology, 63:1, 91-99
- Canovai, A., Valentini, F., Manetti, E., Zagaroli, M., (2002), "Odour Control for Composting Plants: Results from a Full-Scale Experiences", Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, 2:1363-1370, ISWA' 2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı, İstanbul.
- Chynoweth, DP and Owens, JM, (1993), "Biochemical methane potential of Municipal Solid Waste components", Water Science Technology, 27:1-14.
- Clark, C.S., Buckingham, C.O., Charbonneau R., Clark, R.H., (1978), "Laboratory Scale Composting: Studies", Journal of Environmental Engineering Division, Feb. 1978.
- Clark, C.S., Buckingham, C.O., Derek, H.B., Clark, R.H., (1977), "Laboratory Scale Composting: Techniques", Journal of Environmental Engineering Division, 103:5, 893-906.
- Demir, A., Özkaya, B., Avşar, F., (2001), "İstanbul Katı Atık Yönetiminde Kompostlaştırma ve Geri Kazanma", 1.Ulusal Katı Atık Kongresi, 18-21 Nisan 2001, İzmir.
- Demir, İ., (1993), "Hayvan atıklarından biyogaz eldesi", Türk Devletleri Arasında 2.İlmi İşbirliği Konferansı, 27-29 Haziran, Almatı, Kazakistan.

- Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O.A., Öztürk, İ., “Aerobic Composting of Anise Wastes from Beverage (Rakı) Industry”, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Demir, İ.; Baştürk, A., Arıkan, O., Altınbaş, M., (1999), “İstanbul’da Kompost Üretimi”, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu’99, 282-291, 17-19 Şubat 1999, İstanbul.
- Demirekler, E., Anderson, G.K., (2000), “Evsel Katı Atıkların Anaerobik Ortamda . Ön Çökeltme Çamuru ile Çürütülmesi”, Turk J Engin Environ Sci, 24:335- 341.
- Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Golueke, C.G., (1993), “Composting and Recycling”, Lewis Publishers.
- Epstein, E., (1997), “The Science of Composting”, Technomic Publishing Company, Inc.
- Erdin, E., (1981), Çöp ve Katı Artıklar Ders Notu, DEÜ Müh. Mim. Fakültesi, 1981.
- Fang, M.; Wong, J.W.C., (1999), “Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting”, Environmental Pollution, v 106, n 1, 1999.
- Filibeli, A., (1996), “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Basım Ünitesi, İzmir.
- Genois, C., (1995), “Kompost Tesisleri”, Türk-Kanada Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, 17-18 Ekim, Ankara.
- Goldstein, J., (1997), “Monitoring Compost Process and Quality”, BioCycle, July 97, 38:7, 48-49.
- Gönüllü, M.T. ve Beyhan, M., (2000), "Isparta Evsel ve Ticari Atıklarındaki Geri Kazanılabılır Maddeler", GAP 2000 Semp., 16-18 Ekim 2000.
- Graves, R.E. and Hattemer, G.M., (2000), Composting, Chapter 2, Environmental Engineering National Engineering Handbook, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Guerrero, C., Gómez, I., Moral, R., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J., and Hernández, T., (2001), “Reclamation of a burned forest soil with municipal waste compost: macronutrient dynamic and improved vegetation cover recovery”, Bioresource Technology, 76, 3, 221-227.
- Gülçiçeği Ekonomik Raporu, (1999), Gülbirlik, Gül-Gülyağı ve Yağlı Tohumlar Tarım Satış Kooperatifleri Birliği, Isparta.
- Hachicha, R., Hassen, A., Jedidi, N., Kallali, H., (1992), “Optimal Conditions for MSW Composting”, BioCycle, June 92, 33:6, 76-77.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. and Newham, J., (1998), “Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Kinetics”, Resources, Conservation and Recycling, 23:4, 209-223.
- Haug, R.T., (1980), The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers.
- Haug, R.T., (1993), The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers.
- Huang, Ju-S., Wang, C.H., Jih, C.G., (2000), “Empirical Model and Kinetic Behavior of Thermophilic Composting of Vegetable”, Journal of Environmental Engineering, 126: 11, 1019-1025.

- IGA-Rus-Mimko (1996), İstanbul Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanım) Tesisi İçin Planlama Raporu, İstanbul.
- Isparta Valiliği (1994), "Isparta İli Çevre Durum Raporu", Çevre İl Müdürlüğü, Isparta.
- İleri, R. (2000), Çevre Biyoteknolojisi, Değişim Yayınları, Adapazarı.
- İpek, U., Öbek, E., Akça, L., Arslan, E.I., Hasar, H., Doğru, M., Baykara, O. (2002), "Determination of degradation of radioactivity and its kinetics in aerobic composting", *Bioresource Technology* 84, 283 –286.
- Kain, D.J., Shimp, R.J., (1996), "Predicting Compostability of Disposable Products", *BioCycle*, 37: 3, 51-52.
- Karagüzel, R., Akyol, E., Mutlutürk, M., (1995), "Alternatif Katı Atık Arıtma ve Depolama Tesisleri Alanlarının Araştırılması", SDÜ, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, Isparta.
- Kazaz, S., 1997; "Hasat zamanı ve Hasat Sonrasının Bekleme sürelerinin yağ gülünde (*Rosa damascena* Mill.) yağ miktarı ve kalitesine etkileri üzerine bir araştırma", Y.Lisans tezi, SDÜ Fen Bil. Ens., Isparta.
- Kirchmann, H., Bernal, M.P., (1997), "Organic Waste Treatment and C Stabilization Efficiency", *Soil Biology and Biochemistry*, 29:11/12, 1747-1753.
- Kocasoy, G., (1994), "Atıksu Arıtma Çamuru ve Katı Atık Kompost Örneklerinin Analiz Yöntemleri", Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, No.545, İstanbul.
- Kubota, H., Nakasaki, K., (1991), "Accelerated Thermophilic Composting of Garbage", *BioCycle*, June 91, 32:6, 66-68.
- Kuter, G.A., Hoitink, H.A.J., Rossman, L.A. (1985), "Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system", *Journal Water Pollution Control Federation*, 57: 4, April 1985.
- Kürkçüoğlu, M., (1988), "Türk gülyağının üretimi ve özelliklerinin tespiti", Y.Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Lei and VanderGheynst, (2000), "The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting", *Process Biochemistry*, 35:9, 923-929.
- Lo, K.V., Lau, A.K., Liao, P.H., (1993), "Composting of Separated Solid Swine Wastes", *J. Agric. Engng Res.*, 54:3, 307-317.
- Meechin, J.D., (1961), "Municipal composting", *The Compost Society Journal*, 20:5, 3-4.
- Metcalf & Eddy, (1991), *Wastewater Engineering: Collection, Treatment and Disposal*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y, USA.
- Nakasaki, K., Aoki, N., and Kubota, H., (1994), "Accelerated composting of grass clippings by controlling moisture level", *Waste Management & Research*. 12:1, 13-20.
- Nakasaki, K., Kuratomi, H., Wakizaka, H., Hiyama, R. and Akakura, N. (1998), "Quantitative analysis of ammonia and odorous sulfur compounds evolved during thermophilic composting" *Waste Management & Research*, 16:5.
- Nakasaki, K., Ohtaki, A., Takano, H., (2001), "Effect of Bulking Agent on the Reduction of

NH₃ Emissions During Thermophilic Composting of Night-Soil Sludge” *Waste Management & Research*, August 2001, 19:4, 301-307.

Nuwayhid, R.Y., Ayoub, G.M., Saba, E.F., Abi-Said, S., (1996), “The Solid Waste Management Scene in Greater Beirut”, *Waste Management & Research*, 14:2, 519-531.

Önder, N., (1998), “Arıtma Çamurlarının Çöp İle Beraber Kompostlaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bil. Ens., İstanbul.

Özcan, Ö., (1998), “Isparta İli ve Çevresinde Gül Tarımı ve Türkiye Ekonomisine Katkısı”, Yüksek Lisans tezi, Marmara Ün., Sosyal Bil. Ens., İstanbul

Öztürk, İ., (2000), “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”, Su Vakfı Yayınları.

Poggi-Varaldo, H. M., Trejo-Espino, J., Fernández-Villagómez, G., Esparza-García, F., Caffarel-Méndez, S., and Rinderknecht-Seijas, N., (1999), “Quality of Anaerobic Compost from Paper Mill and Municipal Solid Wastes for Soil Amendment”, *Water Science and Technology*, 40:11-12, 179-186.

Reeves, J., B., (1958), “Sanitary Aspects of Composted Sewage Sludge and Sawdust, Sewage and Industrial Wastes”, 34th Annual Meeting of the southwestern and Rock Mountain Division of the American Association for the Advancement of Science, Las Vegas, N., Meex., 31: 5.

Resmi Gazete, 1991, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Tarih: 14.03.1991, Sayı: 20814.

Sánchez, G., Olguín, E.J., Mercado, G., (1999), “Accelerated Coffee Pulp Composting”, *Biodegradation*, 10:1, 35-41.

Schultze, K.L., (1958), “Rate of Oxygen Consumption and Respiratory Quotients During the Aerobic Decomposition of a Synthetic Garbage”, 13th Industrial Waste Conference , May 5-7, 1958, Purdue University, Lafayette, Ind., 541-554.

Schwab, B.S., Ritchie, C.J., Kain, D.J., Dobrin, G.C., King, L.W., Palmisano, A.C., (1994), “Characterization of Compost from a Pilot Plant-Scale Composter Utilizing Simulated Solid Waste”, *Waste Management & Research*, 12:4, August 1994, 289-303.

Sesay, A.A., Lasaridi, K.E. and Stentiford, E.I., (1998), “Aerated static Pile Composting of Municipal Solid Waste (MSW): A Comparison of Positive Pressure Aeration with Hybrid Positive and Negative Aeration”, *Waste Management & Research*, 16: 3.

Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., Cornacchia, G., (1997), “Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting: Review”, *Energy Conversion & Management*, 38:5, 453-478.

Shi, W., Norton, J.M., Miller, B.E., Pace, M.G., (1999), “Effects of Aeration and Moisture During Windrow Composting on the Nitrogen Fertilizer Values of Dairy Waste Composts”, *Applied Soil Ecology* 11:17±28.

Sidhu, J., Gibbs, R.A., Ho, G.E. and Unkovich, I., (2001), “The role of indigenous microorganisms in suppression of salmonella regrowth in composted biosolids”, *Water Research*, 35:4, 913-920.

Slater, R.A., and Frederickson, J., (2001), “Composting Municipal Waste in the UK: Some

Lessons from Europe", *Resources, Conservation and Recycling*, 32:3/4, 359-374.

Sparks, D.L., (1996), (Editor), Bartel, J.M. (Managing editor), "Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part 3", SSSA.

Szikriszt, G., (1992) "Full Scale Demonstration Plant for Anaerobic Digestion of Sorted Municipal Solid Waste", Swedish Environmental Research Institute, Stockholm, Sweden.

Tabasaran, O., (1979), "Katı Atık Teknolojisinde Gelişmeler", İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A. (1993), "Integrated Solid Waste Management", McGraw Hill International Editions, 1993.

Tejada, M., Dobao, M. M., Benitez, C., and Gonzalez, J.L., (2001), "Study of composting of cotton residues", *Bioresource Technology*, 79, 2, September 2001, 199-202.

Tiquia, S.M.; Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J., (1996), Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents, *Bioresource Technology*, 55:201-206.

Tolay, M., Arhan, Y., Söğüt, N., Öztürk, İ., (1996), "Aerobik Arıtma Çamurlarından Tarımsal Kompost Üretimi", 5. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu '96, İstanbul.

Tosun, İ., Gönüllü, M.T., Arslankaya, E., (2002), "Gülyağı Sanayi Proses Atıkları Özelliklerinin Belirlenmesi", 1.Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Erzurum.

Tosun, İ., Gönüllü, M.T., Günay, A., (2002), "Anaerobic Digestion of Residues From Rose Oil Production" Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, 1:703-710, ISWA' 2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı, İstanbul.

Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka A., and Itävaara, M. (2000), "Biodegradation of lignin in a compost environment: a review", *Bioresource Technology*, 72:2, 169-183.

Tutaş, M., Özkan, G. Kılıç, Z. ve Ok, T., (1990), "Gül Kongreti Hidrokarbonlarının Kromatografik Yöntemlerle İncelenmesi" *Doğa Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, 14: 2.

Uğurlu, A. (Türkçe Bas. Edit.), Suess, M.J., (Editör), (1995), *Katı Atık Yönetimi*, Çevre Müh. Odası, Yayını, Ankara.

Wang, L.K., Pereira, N.C., (1980), "Handbook of Environmental Engineering", Humana Press, 8.137-8.145.

Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang M.J. and Wang, J.-S., (2000), Composting and Compost Application in China, *Resources, Conservation and Recycling*, 30:4, 277-300.

Wiley, J.S., (1955), "Studies of High Rate Composting of Garbage and Refuse", *Proceeding of 10th Industrial Waste Conference*, May 9-11, Purdue University, Lafayette, Ind., 306-313.

Wiley, J.S., (1956), "Progress Report on High-Rate Composting: Studies", *Proceeding of 11th Industrial Waste Conference*, May 15-17, Purdue University, Lafayette, Ind., 334-341.

Wiley, J.S., (1962), "Pathogen Survival in Composting Municipal Solid Wastes", *Journal of WPCF*, 34: 1.

Williams, P.T., (1999), *Waste Treatment and Disposal*, Jhon Wiley & Sons Ltd.

Wilson, H.A., (1961), "World Developments in Municipal composting", The Compost Society Journal, 20:5, 17-23.

Zorpas, A.A., Kapetanios, E., Zorpas, G.A., Karlis, P., Vlyssides, A., Haralambous, I., and Loizidou, M., (2000), "Compost produced from organic fraction of municipal solid waste, primary stabilized sewage sludge and natural zeolite", Journal of Hazardous Materials, 77, 1-3, 149-159.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.tarim.gov.tr

[2] www.cfe.cornell.edu/compost/Composting_homepage.html



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.12.1970

Doğum yeri Şarkikaraağaç

Lise 1984-1987 Şarkikaraağaç Lisesi

Lisans 1987-1992 Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1992-1996 Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı

Doktora 1997-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,
Çevre Müh. Programı

Çalıştığı kurumlar 1993-1996 SDÜ Çevre Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi
1996-2000 SDÜ Çevre Müh. Bölümü Öğretim Görevlisi
2000-Devam ediyor YTÜ Fen Bil. Enstitüsü Çevre Müh. Anabilim Dalı
Araştırma Görevlisi