

**FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE BOYA  
ÇAMURLARININ KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ**

**Behice Gamze GÜMRAH**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE BOYA ÇAMURLARININ  
KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ**

**Behice Gamze GÜMRAH**  
0000-0002-6527-3072

Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU  
0000-0003-4888-7934  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Behice Gamze GÜMRAH tarafından hazırlanan "FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE BOYA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

**Başkan** : Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU  
0000-0003-4888-7934  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Prof. Dr. F. Olcay TOPAÇ  
0000-0002-6364-4087  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL  
0000-0002-7718-0340  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

..!..!..!

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

24/10/2019



**Behice Gamze GÜMRAH**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FARKLI TİPTE KATKI MADDELERİ İLE BOYA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANABİLİRLİĞİ

**Behice Gamze GÜMRAH**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

Bu çalışmada su bazlı boya çamurlarının hacmini azaltmak ve bertarafı için farklı tipte düzenleyici katkı maddeleri kullanılarak kompostlanabilirliği ve bu düzenleyici katkı maddelerinin kompostlama işlemine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Otomotiv endüstrisinde üretim sonucu oluşan boya çamurlarının farklı katkı maddeleri kullanılarak kompostlanabilirliği ve kompostun fiziksel ve kimyasal değişimi incelenmiştir. Boya çamuru, farklı karışım reçetelerinde ondört ayrı reaktörde kompostlanmıştır. Boya çamurunun kompostlanması için düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı, fıstık kabuğu ve mısır koçanı kullanılmıştır. Kompost karışımının mikroorganizma gereksinimini gidermek amacıyla aşı maddesi olarak gıda endüstrisi arıtma çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru eklenmiştir. Kompostlama işlemi, 28 gün boyunca 30 L'lik reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Proses boyunca 0., 2., 7., 14., 21. ve 28. günlerde alınan örnekler üzerinde kuru madde, nem, organik madde, sıcaklık, toplam kjeldahl azotu (TKN), pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve C/N parametreleri izlenmiştir.

Kompostlama işlemi gerçekleştirilen on dört reaktörden on iki tanesi 40 °C'yi aşarak termofilik faza geçmiş olup üç reaktör de 55 °C'nin üstüne çıkmıştır. 55 °C'nin üstünde en uzun süre kalan reaktör % 70 boya çamuru ve % 30 mısır koçanı ile hazırlanan B<sub>14</sub> reaktörü olmuştur. Nem oranları incelendiğinde, 28 günlük aktif kompostlama döneminde kompost için gerekli nem oranı (% 40-60) sağlanmış olup, yönetmelikte istenen nem değerlerine de aktif kompost fazını takiben yapılacak olan olgunlaştırma fazında ulaşılabilceği düşünülmektedir. Reaktörlerdeki karışımların organik madde kayıpları hesaplandığında B<sub>1</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> reaktörlerinde diğer reaktörlere göre daha yüksek oranda kayıp olduğu gözlemlenmiştir. B<sub>2</sub> ve B<sub>5</sub> reaktörleri dışındaki diğer reaktörlerde C/N oranı literatürde belirtilen oranlarda azalmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda kompostlama prosesinin, boya çamurlarının yönetiminde kullanılabileceği, bu proses ile boya çamuru miktarının azaltılabileceği ve daha az zararlı formlara dönüştürülebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompostlama, Boya Çamuru, Gıda Endüstrisi Arıtma Çamuru, Endüstriyel Arıtma Çamuru, Katkı Maddeleri

**2019, vii + 104 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### COMPOSTING OF PAINT SLUDGE WITH DIFFERENT BULKING AGENTS

**Behice Gamze GÜMRAH**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU

In this study, it is aimed to determine the compostability of water based paint sludges by using different types of bulking agent to reduce the volume and to determine the effect of these bulking agents on the composting process. In the automotive industry, the compostability and the physical and chemical changes of the paint sludge produced by using different bulking agent were investigated. The compostability of the paint sludge produced in the automotive industry using different bulking agent and the physical and chemical change of the compost were investigated. The paint sludge was composted in 14 different reactors. Sunflower stalk, peanut shell and corn cob were used as bulking agent for the composting of paint sludge. Food industry treatment sludge and industrial treatment sludge were added as a vaccine to supply the microorganism requirement of the compost mixture. Composting process was carried out in 30 L reactors for twenty-eight days which is prepared in fourteen reactors with different recipes. Composting was carried out in 14 different reactors with different mixing ratios. Dry matter, moisture, organic matter, temperature, TKN, pH, EC and C / N parameters were monitored on samples taken on days 0., 2., 7., 14., 21 and 28 throughout the process.

Twelve of the fourteen reactors, which were regularly monitored and analyzed for 28 days, passed the thermophilic phase exceeding 40 ° C and three reactors went above 55 ° C. Reactor with the longest residual temperature above 55 ° C was the B<sub>14</sub> reactor which is prepared with 70% paint sludge and 30% corn cob. When the moisture content is examined, the required moisture content (40-60%) is provided for compost during 28 days of active composting period. When organic matter losses of the mixtures in the reactors were calculated, it was observed that the B<sub>1</sub>, B<sub>9</sub> and B<sub>12</sub> reactors lost more than the other reactors. In the reactors other than B<sub>2</sub> and B<sub>5</sub>, the C/N ratio decreased in the literature. As a result of the studies, it has been determined that the composting process can be used in the management of paint sludges, the amount of paint sludge can be reduced and converted to less harmful forms.

**Key words:** Composting, Paint Sludge, Food Industry Treatment Sludge, Bulking Agents

**2019, vii + 104 pages.**

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans sürecim boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen, tüm bilgi birikimini paylaşan, her türlü desteği sağlayan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Selnur Uçaroğlu'na, tezim ve bilimsel çalışmalarım boyunca desteğini esirmeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Güray Salihoğlu ve Doç. Dr. Nezih Kamil Salihoğlu'na, hem okulda hem özel hayatımda, her an manevi desteğini hissettiğim değerli hocalarım Prof. Dr. F. Olcay Topaç Şağban ve Doç. Dr. Efsun Dindar'a, laboratuvar çalışmalarım da her türlü ilgiyi gösteren sevgili ekip arkadaşlarım Ecem Özdemir, Birgül Esen, Ali İhsan Coşkun, Nihan Aygün, Vildan Şenteke ve Şaban Pekacar'a, okulda ve özel hayatımda desteklerini esirmeyen sevgili arkadaşlarım Aslı Cansu Özgen, Melike Ordu ve Gizem Evrim Dilcan'a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün hayatım boyunca her zaman yanımda olduklarını hissettiren, başarılarımın temellerini sağlayan, her türlü desteği esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan annem Dilek Gümrah, babam Bahattin Gümrah'a, kardeşlerim Mehmet Can Gümrah ve Mustafacan Gümrah'a teşekkürlerimi sunarım.

Behice Gamze GÜMRAH  
24/10/2019.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Boya Prosesleri.....	3
2.1.1. Mimari boyalar.....	4
2.1.2. Endüstriyel boyalar.....	4
2.1.3. Özel boyalar.....	4
2.2. Boya Çeşitleri.....	4
2.2.1. Solvent bazlı boyalar.....	4
2.2.2. Su bazlı boyalar.....	5
2.2.3. Toz boyalar.....	6
2.3. Otomotiv Sektöründe Boya Prosesi.....	6
2.4. Boya Çamuru.....	10
2.5. Kompostlama.....	12
2.5.1. Kompostlama tanımı ve tarihçesi.....	12
2.5.2. Kompostlama mekanizması.....	21
2.5.3. Organik atıkların kompostlanmasında fiziksel ve kimyasal parametrelerin değişimi.....	24
2.5.4. Kompost mikrobiyolojisi.....	34
2.5.5. Kompostlama sistemleri.....	36
2.5.6. Kompostlama ile ilgili Türkiye'deki yasal durum.....	39
2.5.7. Kompostlama ile ilgili dünyadaki yasal durum.....	44
2.5.8. Türkiye'deki kompost tesisleri.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	55
3.1. Materyal.....	55
3.1.1. Boya çamuru.....	55
3.1.2. Gıda endüstrisi arıtma çamuru.....	55
3.1.3. Endüstriyel arıtma çamuru.....	55
3.1.4. Mısır koçanı.....	55
3.1.5. Ayçiçeği sapı.....	56
3.1.6. Fıstık kabuğu.....	56
3.2. Yöntem.....	56
3.2.1. Kompost karışımının hazırlanması.....	56
3.2.2. Kompost reaktörü.....	58
3.2.3. Ham malzemeler ve kompost örneklerinde yapılan analizler.....	59
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	1
4.1. Ham Materyallerin ve Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu.....	61
4.2. Kompostlama Karışımlarında Meydana Gelen Değişiklikler.....	67
4.2.1. Sıcaklık.....	67
4.2.2. Nem.....	75
4.2.3. Organik madde (OM).....	79
4.2.4. Toplam azot (TKN).....	83



4.2.5.C/N değişimleri .....	86
4.2.6.pH.....	89
4.2.7.Elektriksel iletkenlik (EC).....	93
5. SONUÇ.....	97
KAYNAKLAR .....	100
ÖZGEÇMİŞ .....	104

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Su bazlı boya prosesinde akım şeması .....	6
Şekil 2.2. Yüzey hazırlama, kataforez ve boya aşamaları .....	8
Şekil 2.3. Çelik sac üzerinde gerçekleştirilen boya aşamaları .....	9
Şekil 2.4. Boya çamuru .....	10
Şekil 2.5. Türkiye’de boya çamuru alan lisanslı işletmelerde uygulanan bertaraf yöntemleri .....	12
Şekil 2.6. Kompostlama prosesi.....	14
Şekil 2.7. Aerobik bir kompost yığının kütle dengesi .....	16
Şekil 2.8. Kompost tesisi proses akım şeması .....	17
Şekil 2.9. Kompost yığnında pasif hava hareketi .....	18
Şekil 2.10. Aerobik kompostlama prosesi .....	18
Şekil 2.11. Anaerobik bir kompost yığının kütle dengesi.....	19
Şekil 2.12. Sıcaklığın zaman içerisindeki değişimi .....	23
Şekil 2.13. Kompostlama prosesinde mikroorganizmaların değişimi .....	28
Şekil 2.14. Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki.....	34
Şekil 2.15. Denizli Kompost Tesisi iş akım şeması.....	52
Şekil 3.1. Aerobik kompost reaktörü .....	59
Şekil 4.1. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar .....	67
Şekil 4.2. Kompost reaktörlerinde nem miktarındaki değişim .....	76
Şekil 4.3. Kompostlama reaktörlerinde organik madde değişimi.....	80
Şekil 4.4. Kompostlama reaktörlerin TKN değişimleri .....	84
Şekil 4.6. Kompost reaktörlerindeki pH değişimi .....	91
Şekil 4.7. Kompost reaktörlerinde elektriksel iletkenlik değişimi.....	94

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Aerobik ve anaerobik kompost proseslerinin karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.2. Mikrobiyal ayrışmada sıcaklık bölgeleri.....	23
Çizelge 2.3. Bazı kompost materyallerinin C/N oranları.....	26
Çizelge 2.4. Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları.....	27
Çizelge 2.5. Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri .....	30
Çizelge 2.6. Kompostlama işleminde görev yapan mikroorganizmalar için optimum... sıcaklıklar .....	30
Çizelge 2.7. Katı atıklar içerisinde bulunan ağır metal oranları .....	32
Çizelge 2.8. Seçilen madde-metot kombinasyonlarına uygun kompostlama süreleri. ....	33
Çizelge 2.9. Kompost kalite parametreleri .....	41
Çizelge 2.10. Arıtma çamurlarının topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	43
Çizelge 2.11. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları.....	43
Çizelge 2.12. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri .....	44
Çizelge 2.13. Bazı ülkelere ait kompost standartları .....	45
Çizelge 2.14. AB üyesi ülkelerde ayrı toplanan ve kompostlanan evsel organik atık miktarı .....	47
Çizelge 2.15. Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri, mg/kg .....	49
Çizelge 3.1. Kompost reaktörlerin karışım reçeteleri .....	58
Çizelge 4.1. Ham materyallerin karakterizasyonu .....	62

## 1. GİRİŞ

Boya, bağlayıcı kimyasallar, çözücüler, katkı maddeleri ve renk pigmentlerinin bir araya getirilerek homojen bir kıvama getirilmesi sonucu oluşan, yüzeye ince bir şekilde yayıldığında katı ve pürüzsüz bir tabaka oluşturan renkli ve sıvı bir maddedir. Boyalar, sürüldüğü maddelerin yüzeyini koruyucu ve dekor verici bir ürün olarak kullanılmaktadır. Boyalar içerisinde bulunan çözücü ve kimyasallara bağlı olarak su bazlı boyalar, solvent bazlı boyalar ve toz boyalar olmak üzere gruplandırılmaktadır. Boya, otomotiv sektörünün de önemli bir parçasıdır. Üretimi tamamlanan parçalar boya prosesine alınarak boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Genelde püskürtme yöntemi ile boyama yapılan proses sonucunda bir atıksu oluşmaktadır. Bu atıksuyun bertaraf edilmesi amacıyla susuzlaştırma üniteleri oluşturulmaktadır. Susuzlaştırma sonucunda su ve içeriğindeki boya heterojen bir kıvama getirilerek birbirinden ayrılmaktadır. Sudan ayrılan boya parçaları çamur halini alarak boya çamuru haline gelmektedir. Otomotiv sektöründe en fazla oluşan atık boya çamurudur. Yapılan bir araştırma neticesinde bir araç başına “2,5- 5 kg” boya çamuru üretimi olduğu tespit edilmiştir. Otomotiv sektöründe boya prosesi sonucunda oluşan boya çamurları tehlikeli atık olarak nitelendirilmektedir. Tehlikelilik sınıfında bulunmasının sebebi boyanın içerisindeki solvent, çözücü, ağır metal ve pigmentlerdir. Bu nedenle boya çamurunun bertaraf edilmesi ya da geri kazanılması amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Boya çamurları Türkiye’de geri kazanım ve termal işlemlere tabi tutularak bertaraf edilmektedir (Uçaroğlu ve ark. 2016).

Kompostlama biyolojik olarak ayrışabilir organik içerikli atıkların uygun şartlar altında humus elde etmek amacıyla kullanılan çevre dostu bir yöntemdir (Choy ve ark. 2015). Yeşil alanları korumak amacıyla çevre dostu bir yaklaşım ile kompostlama işlemi uygulanmaktadır. Kompostlama işlemi ile organik atıkların çevreye vereceği zarar en aza indirilerek geri dönüşümü sağlanmaktadır. Kompostlama, mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanabilen organik atıkların bitkiler için besin maddesi olarak kullanılabilen bir ürüne dönüştürülmesidir. Bu sayede organik atıklar arıtılarak yok etme denecek kadar aza indirilmektedir (Sundberg ve ark. 2013). Boya çamurları da yüksek karbon içermesi nedeniyle kompost prosesi kullanılarak stabilize edilebilir ve

miktarları azaltılabilir. Boya çamurlarının kompostlanması konusunda dünyada çok az sayıda çalışma yapılmıştır (Tian ve ark. 2012,a,b,c).

Bu çalışmada, su bazlı boya çamurlarının hacmini azaltmak ve boya çamurlarını stabilize ederek daha az zararlı hale getirmek amacıyla kompostlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Otomotiv endüstrisinden kaynaklı olan boya çamurunun, farklı düzenleyici katkı malzemeleri kullanılarak kompostlanabilirliği ve kompostun fiziksel ve kimyasal değişimi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda boya çamuru ondört farklı reaktörde kompostlanmıştır. Otomotiv endüstrisi boya çamuru, düzenleyici katkı maddesi olan ayçiçeği sapı, mısır koçanı ve fıstık kabuğu karıştırılarak kompostlama işlemine tabi tutulmuştur. Aşırı maddesi olarak bazı reaktörlerde gıda endüstrisi arıtma çamuru kullanılırken, bazı reaktörler de endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır. Kompostlama işlemi her reaktör için 28 gün boyunca 30 L'lik reaktörlerde gerçekleştirilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Boya Prosesleri

Boya, materyallerin yüzeylerine renklendirme, süsleme, koruma, dikkat çekme ve dekor amacıyla sürülerek ince bir film tabakası oluşturan, kimyasal bileşime sahip sıvı bir maddedir. Genellikle yapı malzemelerini doğal, atmosferik, fiziksel ya da kimyasal etkilere karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır. Koruma vazifesi dışında maddelere ve yapılara estetik bir görüntü katmak için renklendirme yapılmaktadır (Louis 1996). Boyalar kullanıldıkları yerlere göre mimari ve dekoratif boyalar, endüstriyel boyalar ve özel boyalar olmak üzere üç ayrı grupta sınıflandırılır. Mimari boyalar, cephe ve ahşap boyaları olup inşaat işlerinde kullanılır. Endüstriyel boyalar, otomotiv ve plastik gibi sektörlerde kullanılmakta olup sanayi boyaları olarak bilinmektedir. Özel boyalar ise marinelere, bakım, trafik ve yol yapım işlerinde kullanılmaktadır (Toroman 2017).

Boyanın içeriği hammaddesinin özelliklerine göre organik, metalik ya da plastik olabilir. Boyalar genel olarak bağlayıcılar, pigmentler, yardımcı pigmentler, katkı ve dolgu maddeleri, solventler ve yardımcı kimyasalların bileşimiyle meydana gelir.

Katkı ve dolgu maddeleri boyanın düzgünlüğü, pürüzsüzlüğü, maliyeti ve kalitesini ayarlamak için kullanılan malzemelerdir. Boyanın depolanması ve uygulanması sırasında düzgün yayılmasını, köpük engellemesini, akışkanlığını, kurumasını, matlaşmasını sağlayan ve çökmesini, kabuklanmasını, sarkmasını engelleyen kimyasal ajanlar kullanılır. Boya içerisinde kullanılan bağlayıcı maddeler, koruyucu bir film tabakası oluşturarak boyaya renk, kıvam, yoğunluk ve dayanıklılık sağlayan diğer katkı maddelerinin bir arada tutulmasını sağlar (Anonim 2010a). Boyaya renk veren maddeler pigmentlerdir. Pigmentler, boyaların cins ve miktarına bağlı olarak renk verme özelliği dışında parlaklık ve matlık özelliğini de belirlemektedir. Pigmentler beyaz pigmentler, siyah pigmentler, renkli pigmentler ve metalik pigmentler olmak üzere dört gruba ayrılır. Boyanın yapımını kolaylaştırmak amacıyla çözücüler kullanılır. Boyalarda çözücü kullanılmadaki amaç, boyanın viskozitesini belirli bir düzeye getirmek ve boyanın uygulandığı alanı düzgünce kaplamasını sağlamaktır (Kocabaş 2009).

### **2.1.1. Mimari boyalar**

Mimari boyalar binaların iç ve dış cephelerinde renklendirme ve koruma amacıyla kullanılan boyalardır. İnsanların en çok bildiği ve kullandığı boya grubudur. Dekoratif ve işlevsel olarak ihtiyaçları karşılamak amacıyla düz, mat, parlak ya da yarı parlak olmak üzere özellikleri mevcuttur. Dış cepheler için kullanılan mimari boyalar, rüzgar, yağmur ve güneş ışığına dayanıklı şekilde üretilir (Toroman 2017).

### **2.1.2. Endüstriyel boyalar**

Endüstriyel boyalar, ürünlerin üretim sürecinin bir parçası olan ve fabrikalarda kullanılan boyalardır. Otomobil, mobilya ve metal yapı ürünlerinde kullanılır. Endüstriyel boyalar sıkı kalite prosedürleri altında kontrollü olarak ürünlere uygulanır.

Dayanıklılık ve nemden uzaklık sağlamak amacıyla kolay zımparalanabilirlik ve yapışma sağladığı için mineral dolgu maddesi olarak talk kullanılır (Toroman 2017).

### **2.1.3. Özel boyalar**

Özel boyalar, mimari boyalar ve endüstriyel boyalar dışında özel ve geniş bir kullanım alanı olan boyalardır. Yol ve trafik boyları, köprü ve tabela boyları, çatı ve metal koruyucu boyları özel boya grubunda bulunmaktadır. Bu boyalar için kullanım alanı ve asgari düzeyine göre pigment ve katkı maddeleri kullanılmaktadır (Toroman 2017).

## **2.2. Boya Çeşitleri**

Belirli bir karışıma göre hazırlanan boyalar içeriğindeki çözücü maddelere göre solvent bazlı, su bazlı ve toz boyalar olmak üzere üç ayrı kategoride bulunmaktadır (Salihoğlu ve Akcan 2016).

### **2.2.1. Solvent bazlı boyalar**

Çözücü madde olarak solvent kullanılan boyalar, solvent bazlı boyalar olarak tanımlanmaktadır. Solvent bazlı boyaların üretiminde tiner kullanılır. Tiner boyanın inceltmesini sağlamaktadır. Solvent bazlı boyalar uzun sürelerde kurumakta olup

temizlenmesi için kuvvetli çözücülere ihtiyaç duyulmaktadır. Solvent bazlı boyalar genellikle ahşap ve metal sektörü için kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe solvent bazlı boyalar kullanılmaktadır.

Solvent bazlı boyaların üretiminde kullanılan reçine ve pigmentlerin hızlı karıştırıcılar ile karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma işlemi sırasında solvent ve diğer maddeler eklenerek boya hazırlanmaktadır. Hazırlanan boya elek ve öğütücülerden geçirilerek homojen hale getirilmektedir. Homojen hale getirilmiş olan boya pastasının pH ve viskozite analizleri yapılarak solvent ile inceltilmektedir (Kocabaş 2009).

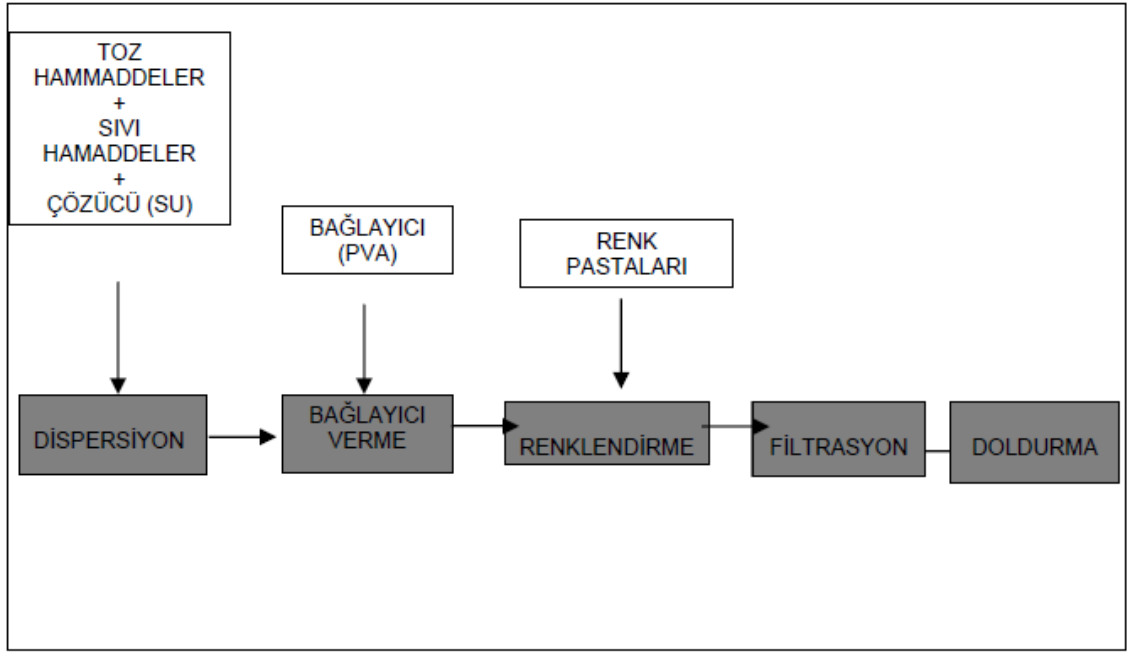
Solvent bazlı boyaların atıkları tehlikeli olup yanıcılığı yüksektir. Tehlikeli olmasına karşın solvent bazlı atıkların çözücü içeriğinden dolayı ısı değeri ve uçuculuğu yüksektir. Bu nedenle geri dönüşümü konusunda uygulamalar oldukça fazladır (Camcıoğlu 2010).

### **2.2.2. Su bazlı boyalar**

Su bazlı boyaların içeriğinde belirli oranlarda su kullanılır. Genel olarak iç ve dış cephe boyası olarak kullanılmaktadır. Duvar boyalarında genel olarak saten boyalar ve plastik boyalar kullanılmaktadır. Su bazlı boyaların üretimi aşamasında pigmentler, katkı kimyasalları ve su karıştırılmaktadır. Karışım hazırlandıktan sonra homojen olarak dağılması amacıyla su ile çözümlenerek hızlıca karıştırılmaktadır. Boyaya renk vermek için malzemeler eklenerek renklendirme yapılmaktadır. Son aşama olarak filtreleme işlemi ile boyanın içerisindeki toz ve kireç gibi maddeler uzaklaştırılmaktadır.

Dış cephe boyalarında pürüz yaratmak amacıyla filtreleme işlemi gerçekleştirilmez. Fakat pürüzsüzlük elde etmek amacıyla iç cephe boyalarında filtreleme yapılmaktadır (Kocabaş 2009). Su bazlı boya proseslerinin akım şeması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.





**Şekil 2.1.** Su bazlı boya prosesinde akım şeması (Kocabaş 2009)

Genel olarak duvar boyamalarında kullanılan su bazlı boyaların uygulanacağı bölgenin yağlardan arındırılmış olması gerekmektedir. Bu boyaların kuruması için biraz uzun süreye ihtiyaç vardır (Camcıoğlu 2010).

### 2.2.3. Toz boyalar

Toz boyalar, çözücü içermeyen toz halinde bulunan boya grubudur. Elektrostatik olarak püskürtme yöntemi kullanılarak kuru şekilde uygulanmaktadır. Toz halinde bulunan boyanın yüzey üzerinde tabaka oluşturabilmesi amacıyla ısı uygulanmaktadır.

Toz boyalar içerisinde herhangi bir çözücü içermemekte olup çevresel diğer boyalara göre daha az zarar teşkil etmektedir. Toz boya üretimden oluşan atık miktarı daha azdır (Camcıoğlu 2010).

### 2.3. Otomotiv Sektöründe Boya Prosesi

Otomotiv endüstrisi günümüzde ve dünyada en gelişmiş sektörlerden biridir. Bu nedenle atık miktarı ve tehlikeli atık üretimi en çok olan endüstridir. Türkiye’de otomotiv sektörü 1990’lı yılların başında ihracat konusunda diğer Avrupa ülkelerine

büyük oranda rekabetçi olmuştur. 1990'lı yılların sonlarında Türkiye'de yabancı ortaklıklar kurularak otomotiv sektörüne net giriş yapılmıştır.

Otomotiv sektöründe işlemler pres, kaynak, boya ve montaj olmak üzere dört ana aşamada toplanmaktadır.

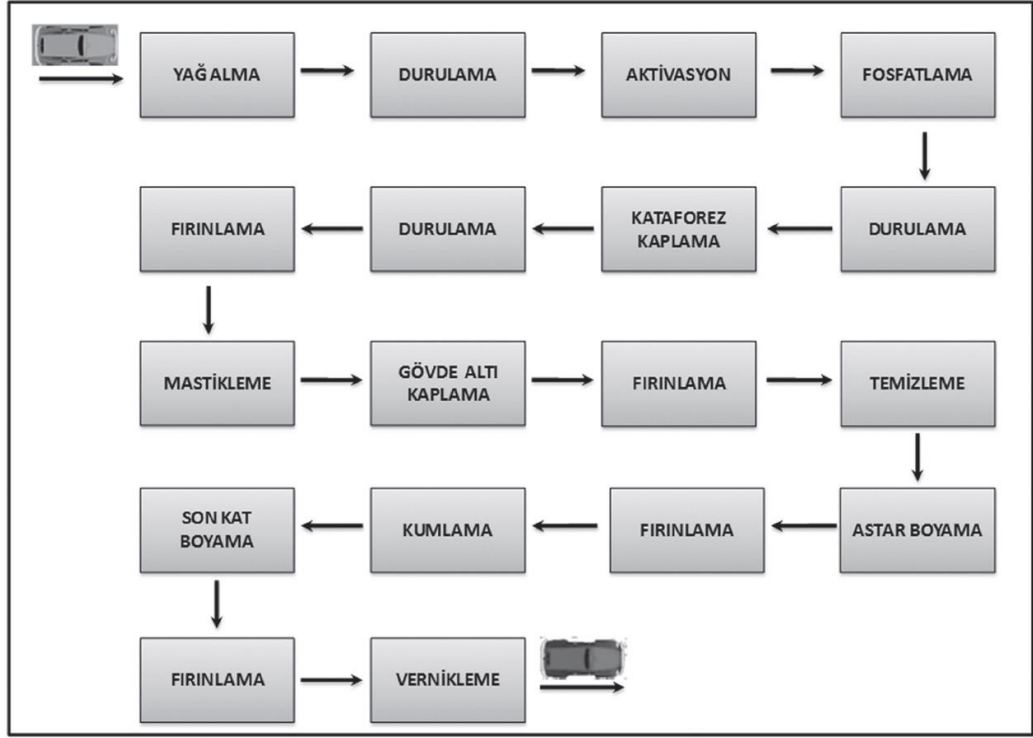
**Pres:** Otomotiv sektörü için bir taşıtın ilk aşaması pres işlemidir. Araçlarda bulunan kaporta kısmını meydana getiren parçalar preslenerek hazırlanmaktadır. Yan sanayilerden gelen metal saç parçalar pres işlemi sonucunda şekillendirilmektedir. Şekillendirme gerçekleştirildikten sonra fazla kalan parçalar kesilmektedir. Kesilme işlemi ile verilen son şekilde açılması gereken delikler de presleme işlemi ile gerçekleştirilmektedir.

**Kaynak:** Kaynak iki ayrı parçanın belirli bir ısıya getirilerek birleştirilmesi işlemidir. Preslenmiş halde birbirine kaynatılarak birleştirilen parçalar kaportayı oluşturmaktadır. Kaynak işlemi tamamlanmış olan kaporta belirli kontrollerden geçtikten sonra boyama işlemine tabi tutulmaktadır.

**Boya:** Araçların kaynak işlemi tamamlandıktan sonra boyama işlemi gerçekleştirilir. Boyama işleminin amacı araçta kullanılan saç parçaların paslanmasını önlemek, birleşim noktalarında olabilecek sızıntıları engellemek, sesi engellemek ve araçlara renk vermektir. Boya işleminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan aşamalar:

- Yağ alma fosfat kaplama
- Kataforez banyosu
- Mastikleme
- Astar boya
- Son kat boya ve vernik
- Finisyonudur.

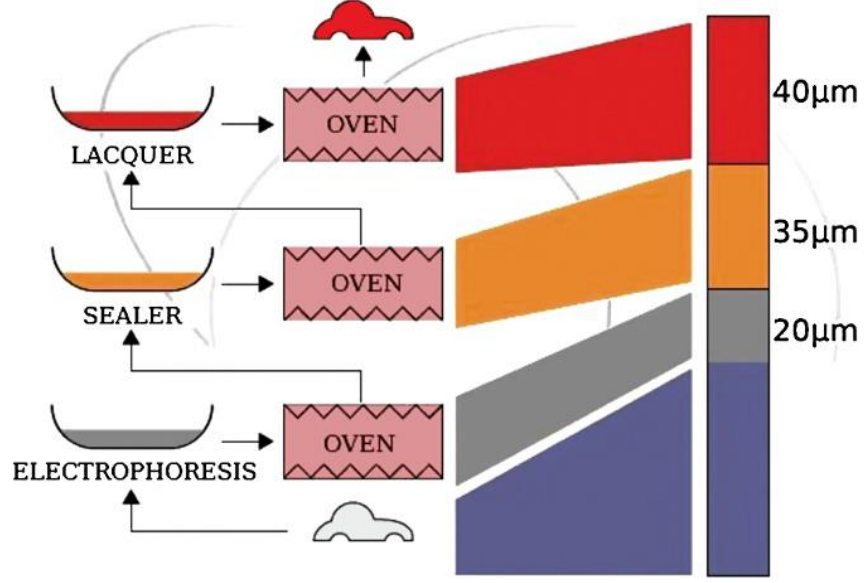
Şekil 2.2'de bir aracın hazırlanabilmesi için yüzey hazırlama, kataforez ve boya aşamaları belirtilmiştir.



**Şekil 2.2.** Yüzey hazırlama, kataforez ve boya aşamaları (Yılmaz ve ark. 2016)

Presleme ve kaynak işleminde tamamlanan kasa yüzey işlem tüneli ve kataforez hattında banyoya alınmaktadır. Fosfatlama ve kataforez işlemleri tamamlandıktan sonra kasanın dış yüzeyine astarlama, son kat ve vernik uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamaların akabinde kasa 140- 180 °C'lik fırınlarda tutulmaktadır. Pişirmenin amacı boya ve mastik malzemelerin pişmesini sağlamaktır (Yılmaz ve ark. 2016).

Boyama aşamasına geçmiş olan bir araç üç defa ve ayrı ayrı olmak üzere boya kabinlerine alınmaktadır. Kataforez ve fosfatlama işlemi tamamlanan araç ilk olarak korozyon önleyici bir boya ile boyanmaktadır. Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra sızdırmazlığını sağlamak amacıyla başka bir boya banyosuna batırılarak yeniden pişirilmektedir. Son pişirme işlemi tamamlandıktan sonra lake cila işlemi uygulanarak boyama işlemi tamamlanmaktadır. Son yapılan boya ve cilalama işlemi araca estetik bir görüntü katmak amacıyla yapılmaktadır (Figliuzzi 2012). Bir aracın 3 ayrı aşamada boyama kabinlerine alınma süreci Şekil 2.3' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Çelik saç üzerinde gerçekleştirilen boya aşamaları (Figliuzzi 2012)

**Montaj:** Otomotiv sektöründe montaj işlemi son aşamadır. Presleme ve kaynak sonucunda boyası tamamlanan tüm parçalar bu proseste birbirine monte edilmektedir. Giydirmiş işlemleri tamamlanarak plastik parçalar yerlerine takılmaktadır.

Bir boya prosesindeki işlemler tamamlandığında oluşan atıklar aşağıda listelenmiştir.

- Atık boya ve solventler,
- Boya çamuru,
- Atık yapışkanlar ve dolgu macunu çamuru,
- Sulu yapışkan ve dolgu macunu çamuru,
- Fosfatlama çamuru,
- Kullanılmış parafin ve yağlar,
- Atık çözücüler,
- Kontamine varil,
- Kontamine bez, eldiven,
- Zımpara kâğıdı, hava ve kabin filtreleri.

## 2.4. Boya amuru

Otomotiv sektöründe araçların boyanması işlemi birkaç seri işlem sonucunda gerçekleştirilmektedir. Boyanacak olan malzeme astar boyama, bazlama ve vernikleme gibi birçok işleme tabi tutulmaktadır (Salihoğlu ve Akcan 2016). Araç parçaların boyanması sırasında yüzeylere spreyleme ya da sıkma yoluyla uygulanan boyanın bir kısmı yüzeye tutunamamaktadır. Parçanın yüzeyine tutunamayan boya havanın etkisiyle boya kabinlerinin altında bulunan su tankına düşerek orada toplanmaktadır (Yılmaz ve ark. 2016). Su tankında bulunan atıksu bertarafı gerçekleştirilmek üzere ilgili prosese aktarılır. İlgili proseste atıksuya eklenen kimyasallar ile ya da membran sistemleri ve filtrasyon işlemleri uygulanarak suyun içerisindeki kalıntı boyanın çamur haline getirilip sudan ayrılması sağlanmaktadır. Susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilen çamurumsu malzeme boya çamuru olarak tanımlanmaktadır (Louis 1996).

Boya amuru otomobil üretimi sonucunda boyama prosesinden kaynaklanan ve “tehlikeli atık” olarak tanımlanan atıktır. Boya amuru üretimi konusunda İtalya’da yapılan bir araştırma neticesinde bir araç başına “2,5- 5 kg” boya çamuru üretimi olduğu tespit edilmiştir (Zanetti ve ark. 2017). Dünyada ve Türkiye’de otomotiv endüstrisi oldukça fazla sayıdadır. Otomotiv sektöründe en fazla boya proseslerinden kaynaklanan boya çamuru atığı oluşmaktadır (Uçaroğlu ve Özdemir 2018). Şekil 2.4’te bir boya çamuruna ait görüntü verilmektedir.



Şekil 2.4. Boya amuru

Boya çamurları, Türkiye’de 2 Nisan 2015 tarihinde 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne istinaden “08 01 13 Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik çamurları” kodu ve tanımı ile tehlikeli atık olarak belirtilmektedir (Anonim 2015a).

Dünyada ve Türkiye’de her yıl yüzbinlerce araç üretimi yapılmaktadır. Gün geçtikçe artan araç sayısı boya çamurunun da artmasına neden olmaktadır. Boya çamurunun oluşumunu etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörler çamuru çöktürmek ve çürütmek için kullanılan kimyasallar ve çamur susuzlaştırma yöntemleridir.

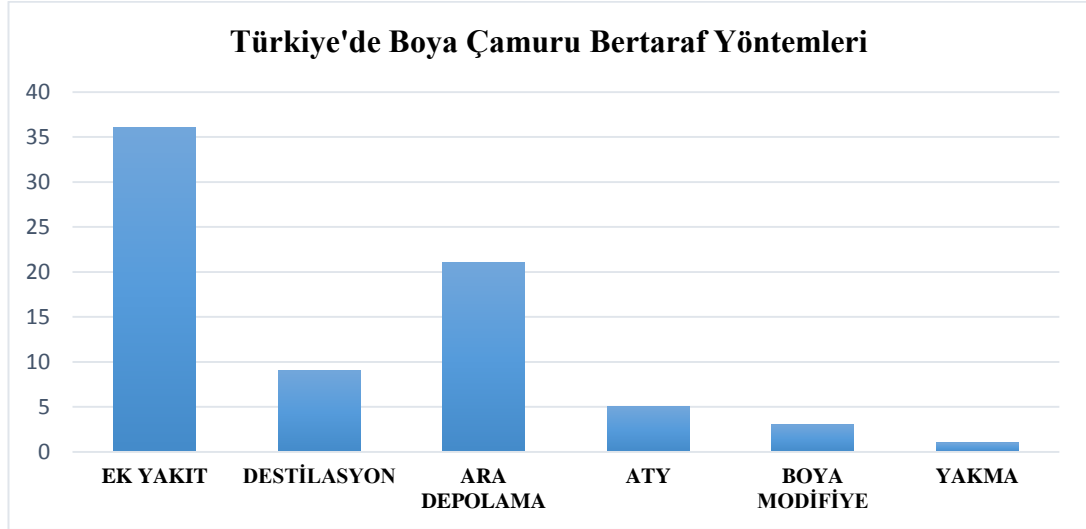
Kullanılan boya türleri, boya çamurunun oluşum miktarında önemli bir faktördür. Boyanın içeriğindeki çeşitli bileşenler boya üretiminde ve kullanımında oluşacak potansiyel çevre tehlikesi ile mevcut atık yönetim seçeneklerini de içeren atığın niteliğini belirlemektedir.

Çürütülen boya çamurunun bir araya getirilerek su içerisinden kolayca ayrılmasını sağlamak amacıyla koagülanlar kullanılmaktadır. Çamurun çökmesini sağlamak amacıyla ise flokülantlar kullanılmaktadır. Koagülant ve flokülantların yapısı ve miktarı boya çamurunun oluşumunu etkileyen önemli faktörlerdendir.

Susuzlaştırma yöntemi boya çamurunun su içeriğinin azaltılması için uygulanan fiziksel bir işlemdir. Susuzlaştırma yöntemi doğru uygulandığı zaman oluşan avantajlar aşağıda belirtilmiştir:

- Çamurun nihai bertaraf sahasına taşınma maliyeti önemli ölçüde azalır.
- Suyu alınmış çamur daha kolay işlenir.
- Yakma işleminden önce su alma işlemi çamurun enerji içeriğini artırır.
- Kompostlama öncesi gözenek malzemesi kullanım miktarını azaltır.
- Koku giderimi için aşırı nemin alınması gerekebilir.
- Depolama sahalarında sızıntı suyu oluşumunu azaltır.

Türkiye’de 08 01 13 atık koduyla boya çamuru kabul edebilen 2456 adet lisanslı firma bulunmaktadır. Türkiye’de boya çamuru kabul eden lisanslı firmaların uyguladığı bertaraf yöntemleri Şekil 2.5.’te belirtilmektedir.



Şekil 2.5. Türkiye’de boya çamuru alan lisanslı işletmelerde uygulanan bertaraf yöntemleri

## 2.5. Kompostlama

### 2.5.1. Kompostlama tanımı ve tarihçesi

Kompostlama, biyolojik olarak parçalanabilir organik içeriğe sahip olan atıkların toprakta yetişen bitkiler için besin maddesi olarak kullanılabilen bir son ürüne dönüştürüldüğü atık bertaraf ya da azaltma işlemidir (Sundberg ve ark. 2013). Kompostlama işleminde organik maddeler kontrollü şartlar altında biyolojik olarak ayrıştırılmaktadır. Mikroorganizma adı verilen ve gözle görülmeyen canlılar organik içeriğe sahip olan atıkları parçalayarak humus şeklindeki gübreye dönüştürmektedir (Erdin 1980). Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin içeriğinde bulunan zararlı canlılar mikroorganizmalar tarafından stabilize edilerek gıda geri dönüşümünü sağlamaktadır. Bu sayede kompostlama prosesi çevre dostu bir proses halini almaktadır (Zhang ve Sun 2016). Kompostlama mikrobiyolojik faaliyetler ile sıcaklığının artması sağlanan katı atıkların içeriğindeki organik maddelerin termofilik koşullarda biyolojik olarak bozunmasını ve stabilizasyonunu sağlamaktadır.. Bitkiler için oldukça faydalı

hale getirilen humus içeriği zengin kompost ürünü, tarımda gübre olarak kullanılmaktadır (Bilgili ve ark. 2011).

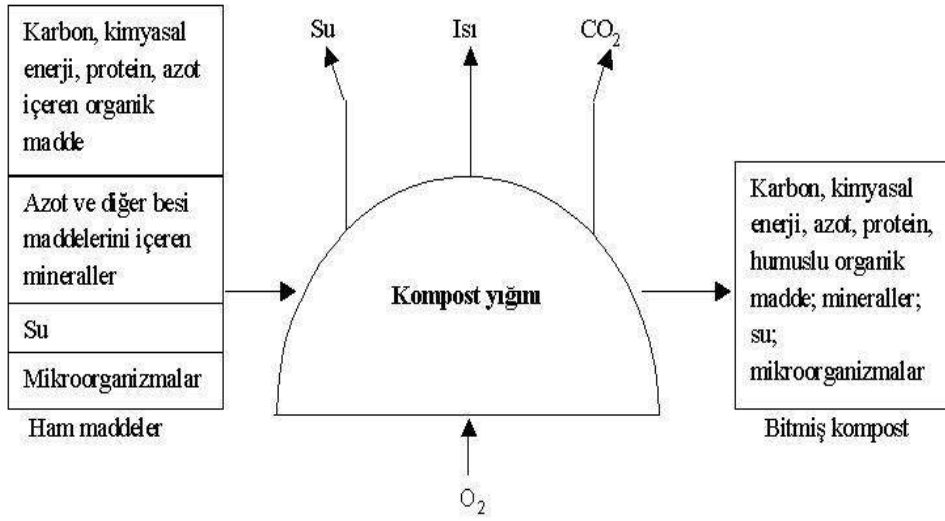
Kompostlama işleminde organik maddeler harcanmakta olup mikroorganizmalar tarafından ortamdaki oksijen tüketilmektedir. Kompostlama sırasında ısı ve karbondioksit üretilerek su buharı açığa çıkartılmaktadır. Karbondioksit ve su kaybı ham materyalin ağırlığının yaklaşık olarak yarısıdır. Kompostlama aşamasında organik maddeler toprak için kaliteli bir gübreye dönüştürülürken hacminde ve ağırlığında azalmalar gözlemlenmektedir.

Kompostlamanın hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun şartların sağlanması gerekmektedir. Bunun için gerekli şartlar aşağıda liste ile belirtilmektedir.

- Uygun karbon ve azot oranının sağlanması,
- Mikroorganizmaların düzgün çalışabilmesi için uygun olan organik maddelerin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması,
- Mikroorganizmaların yaşayabilmesi ve uygun şartlarda çalışabilmesi için yeterli oksijenin sağlanması,
- Ortamdaki nemin yeterli oranda sağlanması,
- Ortam sıcaklığının mikroorganizmaların yaşayabileceği hale getirilmesi (Öztürk 2017).

Kompostlama prosesi için gerekli olan şartları gösteren şema Şekil 2.6.'da belirtilmiştir.





Şekil 2.6. Kompostlama prosesi (Öztürk 2017)

Kırsal yerleşimler zamanla kenstsel yerleşimlere döndükçe katı atık sorunu artmaya başlamıştır. Katı atık sorunu çoğalmaya başladıkça araştırmacılar kompost ile ilgili çalışmalarını arttırmıştır. Gübrelerin toprağa dönüştürülmesi ilk olarak Akad İmparatorluğu'ndan kalan kil tabletlerde görülmüştür. Romalılar tarafından kompost ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Araplar ise kemikleri, yün kırıntılarını ve odun küllerini kompost sürecinde kullanılmıştır. Çin ve Hindistan'da yüzyıllar önce kompost ile ilgili faaliyetler gerçekleştirilmiştir.

1860'lı yıllarda yapay gübre bulunmuş olup kompost yerine kullanılabileceği düşünülmüştür. Fakat yapay gübre kullanılarak yetiştirilen bitkilerin bir süre sonra çoğalma özelliğinin kaybedildiği tespit edilmiştir. Bu uygulamalar neticesinde bitkilerde görülen hastalıklar artmıştır. Hastalıkları önlemek amacıyla yoğun bir şekilde pestisit kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda da çevre kirlenmesi söz konusu olmuştur.

Yaşanan olumsuzluklar neticesinde kompostlama için yapılan çalışmalar artmıştır. İlk olarak teknolojik şekilde gerçekleştirilen kompost Hindistan'da "Sir Albert" tarafından açıklanmış ve tanımlanmıştır. Kompost çalışmaları 2. Dünya Savaşı sonrasında hız kazanmıştır (Erdin 2005).

“MÖ 3000 yıllarında Çin İmparatoru sarayında bulunan ahırların yakınındaki gübreliliği uzaklaştırma kararı almıştır. Bunun sonucunda gübrelerin uzaklaştırılması için nehrin suyu gübreliliğe doğru yönlendirilmiştir. Gübrelerin sel suları neticesinde aktığı ovada verimlenme meydana gelmiş olup bitkilerde canlanma ve artış gözlemlenmiştir. Bu durumun sonucunda bitkilerin hayvan gübresi ile gübrelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Çin’in nehir deltalarında 4000 yıl boyunca kompost uygulamaları yapılarak bitkilerin verimliliği sürdürülmüştür. Batı dünyasında kompostlama ile ilgili çalışmalar Amerika Tarım Bölümü’nden Prof. F.H. King’in kitap hazırlamasıyla başlamıştır. Sonrasında İngiliz Sir Albert Howard çalışmaları artırarak kompostun farklı organik maddelerle yapılması gerektiğini belirlemiştir. Romalı ilk tarım yazarlarından Cato (M.Ö. 234-149) kuş gübresinin önemine işaret ederken ahır gübresinin çok dikkatle saklanması gerektiğini ileri sürmüştür (Kaçar 1994).

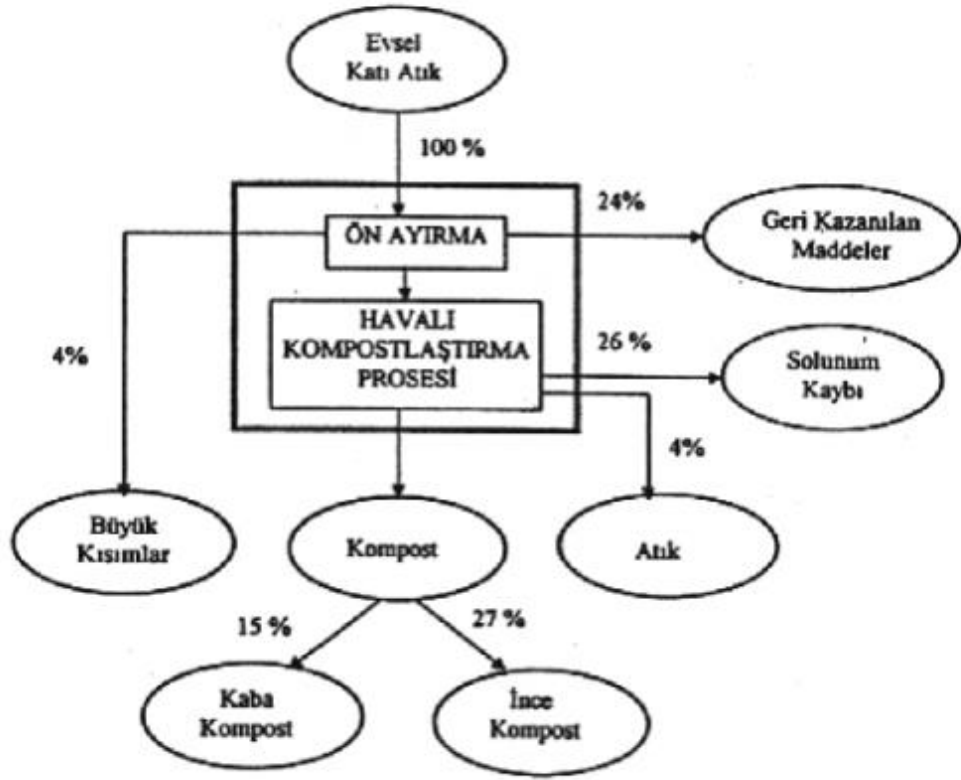
Türkiye’de kompost organik atıkların mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak gübre haline gelmiş ürün olarak tanımlanmaktadır. Kompostlama işlemine arıtma çamurları da dahil edilmektedir (Erdin 1992).

Kompostlama işleminde ayrıştırmaya yardımcı olan mikroorganizmaların bir kısmı oksijene ihtiyaç duyarken bir kısmının oksijene ihtiyacı yoktur. Kompostlama işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilmektedir (Uygun 2012).

### **Aerobik kompostlama**

Aerobik kompostlama kentsel katı atıkların organik kısımlarının humus yapısındaki stabil bir ürüne dönüştürmekte kullanılan biyolojik bir yöntemdir. Aerobik kompostlama işlemi bahçe atıklarının, kentsel katı atıkların organik kısmının ve arıtma çamurunun kompostlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Organik atıkların havalı şartlarda mikrobiyal parçalanmaya tabi tutularak, bitki besin elementleri ihtiva eden, organik madde bakımından zengin, sağlık yönünden zararsız olan, humus görünümünde stabil haldeki son ürüne kompost adı verilmektedir (Erdin 2005). Organik içerikli atıkların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak için uygun bertaraf yöntemleri kullanılmalıdır. Kompostlama prosesi organik parçalanma işlemi kolay olabilecek olan atıklar için uygun bir bertaraf yöntemidir (Uçaroğlu ve Gümrah 2016).

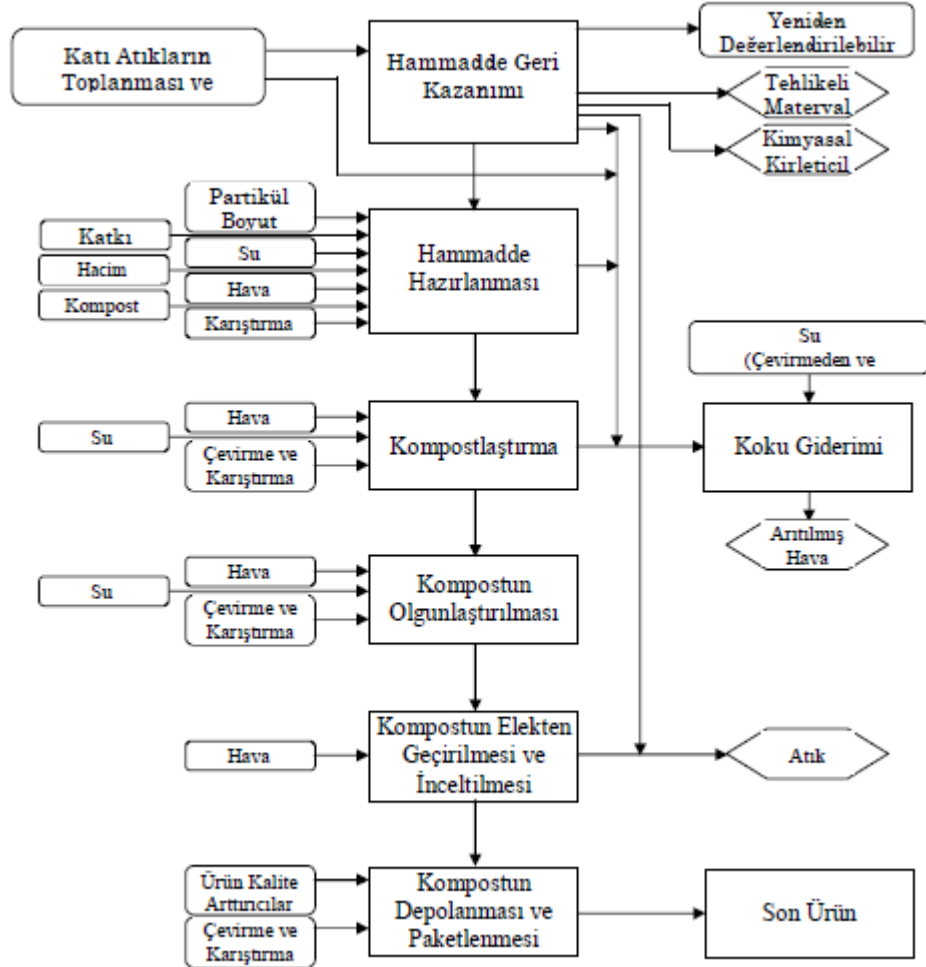
Kompostlama organik içeriğe sahip olan ürünlerin belirli şartlar altında biyolojik olarak ayrıştırılması ve stabilizasyonu prosesidir. Kompost organik atıkların parçalanarak bozunması ile oluşmaktadır. Kompostlama prosesinde organik atıklar oksijenli ortamda yaşayabilen mikroorganizmalar sayesinde, önce hızlı bir şekilde, daha sonra yavaş bir şekilde parçalanmaktadır. Parçalanma süreci yavaşlayan organik atıklar stabilize olarak olgunlaşır. Şekil 2.7’de aerobik bir kompostlama yığınının kütle dengesi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Aerobik bir kompost yığınının kütle dengesi (Erdin2005)

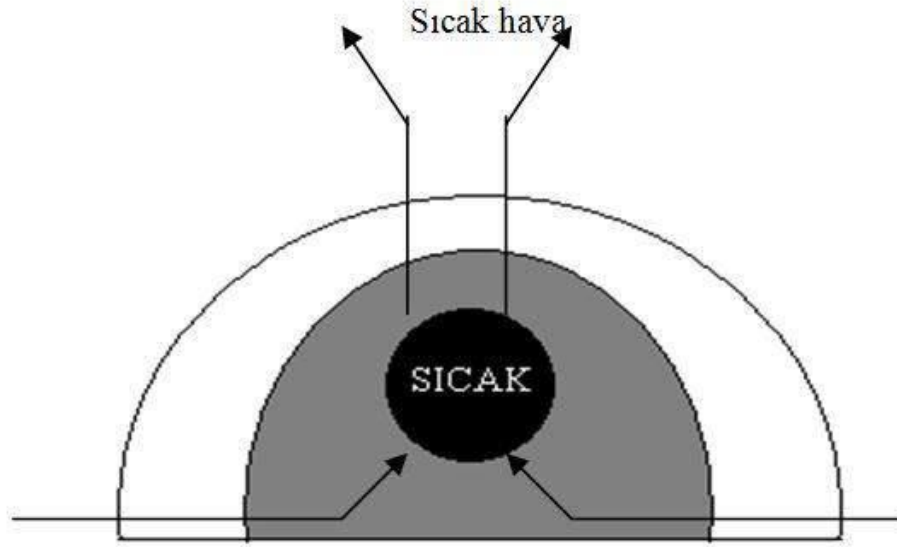
Kompostlama belirli oranlarda hazırlanan organik atıkların karıştırılarak uygun yığının hazırlanması ile başlamaktadır. Organik olan ürünler ve diğer katkı maddelerinin karıştırılması sonucunda kompostlamanın başlayabilmesi için gerekli olan hava sağlanmış olur. Mevcut oksijen mikrobiyal faaliyetler başladığında ortamda harcanır ve karbondioksit içeren hava sistem dışına verilir. Ortamdaki oksijenin azalmaması için

pasif ya da aktif bir şekilde ortama oksijen ilavesi yapılmaktadır. Bir kompost tesisine ait proses akım şeması Şekil 2.8.'de gösterilmektedir (Yıldız ve ark. 2009).



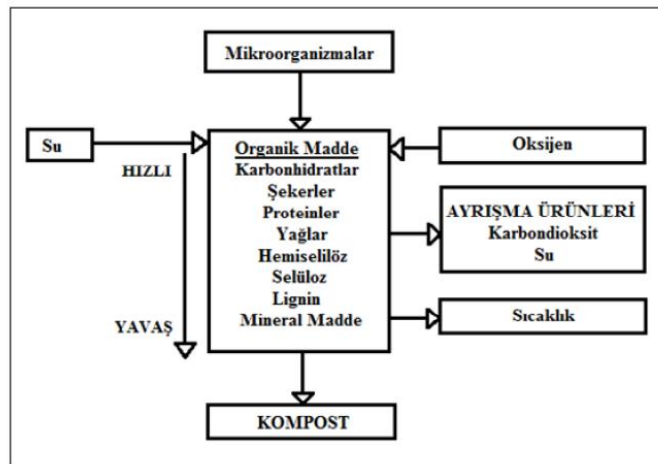
Şekil 2.8. Kompost tesisi proses akım şeması (Yıldız ve ark. 2009)

Kompost karışımına mekanik ya da elle karıştırma ile oksijen sağlanmaktadır. Fakat bu oksijen mikroorganizmaların faaliyeti sonucunda hemen harcanmaktadır. Ortamdaki oksijenin azalmaması için pasif olan doğal ısı yayılımı ve difüzyon ile ya da basınçlı havalandırma olan blower sistemi ile oksijen ilavesi yapılmaktadır. Hava, bu işlem neticesinde yığın içerisindeki gözenek boşluklarında kolayca dağılmaktadır. Bir kompost yığımındaki pasif hava hareketi Şekil 2.9.'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.9.** Kompost yığnında pasif hava hareketi (Öztürk 2017)

Kompost yığnı belirli oranlarda hammadde ve katkı maddeleri karıştırılarak hazırlandıktan birkaç saat sonra mikrobiyal aktivite arttığından sıcaklıkta da artış gözlenmektedir. Mikroorganizmaların faaliyetleri neticesinde gerçekleşen sıcaklık artışı yığnın oluşmasından birkaç saat sonra netleşmektedir (Öztürk 2017). Normal şartlar altında kompost yığnın sıcaklığı 50-65 °C'a yükselerek birkaç hafta bu sıcaklık aralığında seyretmektedir. Kompostlama işlemi yavaşladıkça sıcaklıkta düşmeler başlamaktadır. Kompost yığnın sıcaklığı 40 °C'a kadar düşerek yavaş yavaş atmosfer sıcaklığına sabitlenmektedir (Yıldız ve ark. 2009). Aerobik kompostlama prosesine ait bir şema Şekil 2.10' da gösterilmektedir.

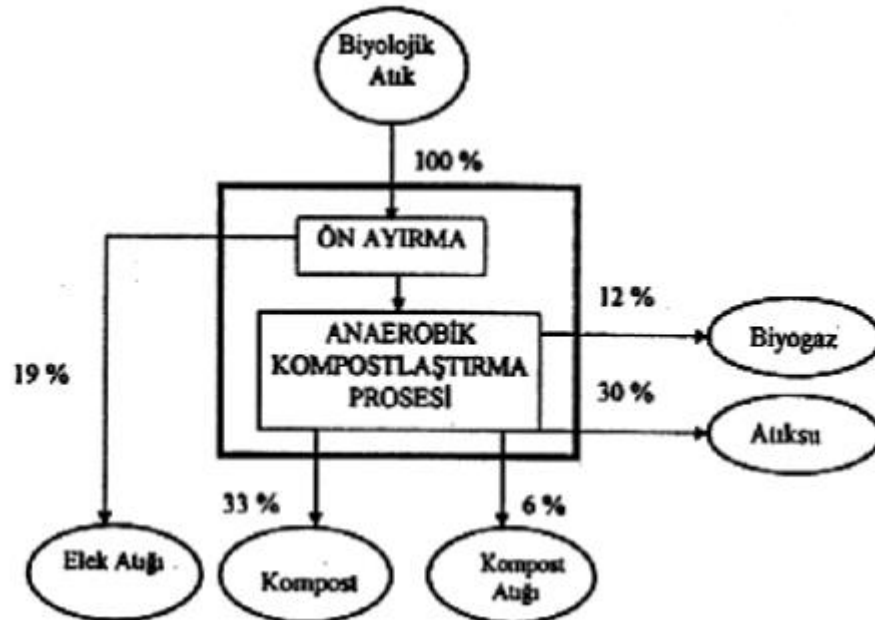


**Şekil 2.10.** Aerobik kompostlama prosesi (Bayer 2008)

Aerobik kompostlama prosesinde ortamdaki oksijen azaldıkça mikrobiyal parçalanma yavaşlar ve oksijen sağlanmazsa işlem durur. Ortama oksijen vermek için havalandırmanın sürekliliğinin sağlanması şarttır. Aerobik kompostlama, maddelerin parçalanmasını hızlandırır ve patojenlerin mikroorganizmaların yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir. Aerobik kompostlama aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimuma indirmektedir (Uygun, 2012).

### Anaerobik kompostlama

Kompostlama prosesi aerobik ortamda gerçekleştirildiği gibi anaerobik ortamda da gerçekleştirilebilmektedir. Ortamda yeterli miktarda oksijen bulunmaması durumunda kompostlama prosesi anaerobik olarak işlemektedir. Anaerobik kompostlama işleminde bulunan mikroorganizmalar farklı özellikte olup biyokimyasal reaksiyonlar da farklılık göstermektedir. Anaerobik kompostlama prosesi yavaş ilerleyen ve daha az verim sağlayan bir prosestir. Şekil 2.11’da anaerobik bir kompost yığınının kütle dengesi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Anaerobik bir kompost yığınının kütle dengesi (Erdin 2005)

Anaerobik kompost prosesinde metan, karbondioksit, hidrojen sülfür ve organik asitler oluşmaktadır. Bu sistemde oluşan kötü kokunun azaltılması için korunaklı sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır (Öztürk 2017). Anaerobik kompost prosesinin sonucunda aynı tip ürünler açığa çıkmaktadır. Oksijensiz ortamda gerçekleştirilen kompostlama çok yavaş bir şekilde ilerlemektedir. Anaerobik kompost sisteminde dezenfeksiyonun gerçekleştirilmesi için yeterli ısıya ulaşamamaktadır. Bu durumun neticesinde ortamda ve gübre üzerinde yabancı otların üremesi engellenmemektedir (Erdin 2005).

Organik atıkların anaerobik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması durumunda atık bir madde ve biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Biyogaz metan, karbondioksit ve diğer gazların bir araya gelerek oluşturduğu bir gaz toplumdur. Kompostlama prosesine tabi tutulan organik maddenin ağırlık ve hacmi, prosese alınmadan önce ham atığınki ile aynı oranlardadır (Öztürk 2017). Anaerobik kompostlama prosesinde ham atığın yaş ağırlığının yaklaşık olarak % 12'si metan (CH<sub>4</sub>) içeren biyogaz son ürününe dönüşmektedir. Proses sonucunda organik atıkların tonu başına "130-160 m<sup>3</sup>" biyogaz üretimi olmaktadır. Anaerobik kompostlama sonucunda oluşan biyogaz, enerji ve ısı elde etme konusunda oldukça faydalı olmaktadır. Üretilen biyogaz elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Uygun 2012).

Anaerobik kompost tankları beton malzemelerden yapılmış olup korozyona dayanıklı bir şekilde tasarlanmaktadır. Tankların içerisinde mekanik karıştırıcılar mevcut olup genelde düşey silindirik tank olarak inşa edilmektedir. Tanklarda kompostlama sırasında oluşacak ısıyı muhafaza etmek için iyi bir yalıtım tasarlanması ve sisteme ısı ilavesi yapılması gerekmektedir. Kompost karışımı anaerobik kompostlama tanklarının içerisinde yaklaşık olarak 3-5 hafta tutulmaktadır.

Anaerobik kompostlama esnasında tanklarda bulunan ve düzenli olarak karıştırılan organik karışımın bazı parametrelerinin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu parametreler pH, sıcaklık ve ağırlıktır (Öztürk 2017).

Aerobik bir kompost prosesi için hedef, organik atıkların hacminin azaltılmasıdır. Fakat anaerobik kompost proseslerinin öncelikli hedefi biyogaz üretimi gerçekleştirerek enerji

elde etmektedir. Çizelge 2.1’de aerobik ve anaerobik kompost proseslerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.

**Çizelge 2.1.** Aerobik ve anaerobik kompost proseslerinin karşılaştırılması (Uygun 2012)

<b>Özellik</b>	<b>Aerobik Yöntem</b>	<b>Anaerobik Yöntem</b>
Enerji Kullanımı	Net enerji tüketimi	Net enerji tüketimi
Son ürün	Humus, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Çamur, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>
Hacim azalması	% 50’ ye kadar	% 50’ ye kadar
Proses süresi	20-30 gün	20-40 gün
Hedef	Hacim azaltmak	Enerji üretmek

### **2.5.2. Kompostlama mekanizması**

Kompostlama, organik atıkların kontrollü çevresel şartlar altında tutularak, oksijenli ortamda faaliyet gösteren mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak stabil hale getirilmiş bir son ürün olan humusa dönüştürülmesi prosesidir (Yıldız ve ark. 2009). Kompostlama esnasında ortamda su buharı, ısı ve CO<sub>2</sub> açığa çıkmaktadır (Öztürk 2017).

Kompostlama için ham materyaller karıştırılarak yığın haline getirildikten kısa bir süre sonra mikrobiyal aktivite başlamaktadır. Mikroorganizmaların faaliyetlerine başlaması ile ortamda ısı artışı meydana gelmektedir (Yıldız ve ark. 2009). Yığında gerçekleşen sıcaklık artışı nedeniyle ısıya duyarlı olan mikroorganizmaları ölerek yerini ısıya dayanıklı ve yararlı olan bakteriler almaktadır. Isı, organik parçalanma esnasında ortamdan hızlıca uzaklaştırılmaktadır (Erdin 2005).

Organik atıklardan kompost üretimi sonucunda genelde ham materyalin yarısı kadar ağırlık kaybı olmaktadır. Aerobik kompostlama işlemi temel olarak dört aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar;



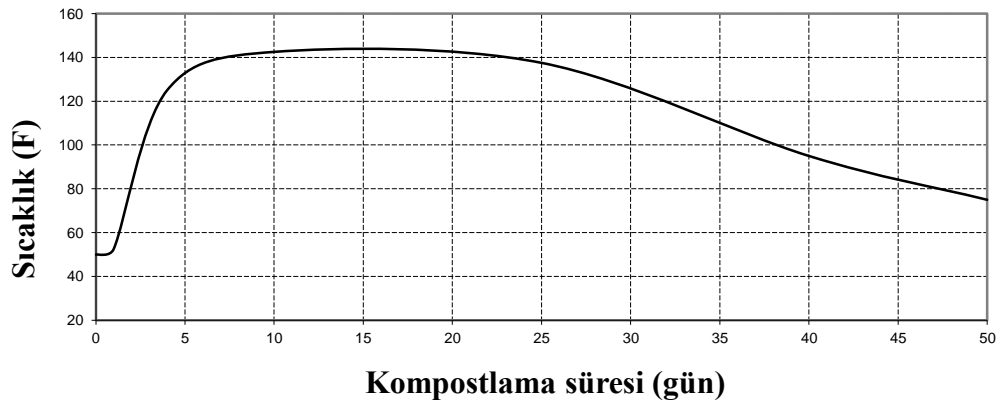
- Mezofilik safha,
- Termofilik safha,
- Soğuma safhası,
- Olgunlaşma safhasıdır (Özkaya ve Demir 2012).

Kompostlama prosesinin başında mezofilik bakteriler aktiftir. Mezofilik bakteriler, mantarlar, aktinomisetler ve mayalar ilk aşama olan mezofilik safhada yağlar, proteinler ve karbonhidratları parçalamaktadır. Ortamdaki sıcaklık 30 °C'ye ulaşıncaya kadar küf mantarları, nematodlar ve bakteriler faaliyet göstermektedir. 30-40 °C arasında aktinomisetler faaliyet göstermekte olup ortama topraksı bir koku dağılmaktadır. Aktinomisetler bu aşamada antibiyotik üretimi yaparak zararlı patojen mikroorganizmaları yok etmektedir. Sıcaklık 40-50 °C'ye ulaştığında kompostlama prosesini başlatan ve işlemi gerçekleştiren mikroorganizmaların tamamı ölmektedir. Yaklaşık birkaç hafta sıcaklık bu seviyelerde kalmaktadır. Ölen mikroorganizmaların yerini 70 °C sıcaklığa kadar dayanabilen termofilik bakteriler almaktadır. Prosesin 60-70 °C'ye ulaştığı safhada birkaç spor dışında bütün patojenik mikroorganizmalar kısa bir süre içerisinde ölmektedir. Termofilik bakteriler mevcut besini parçalayarak tükettiklerinde ısı üretimini durdurmaktadır. Ortam hızlıca ısı kaybederek soğumaya başlamaktadır. Soğuyan ve faaliyeti duran kompost yığını içerisinde yalnızca mantarlar ve aktinomisetler çoğalmaktadır (Erdin 2005). Çizelge 2.2'de sıcaklık bölgelerine göre mikroorganizma ve parçalanmaları belirtilmektedir.

**Çizelge 2.2.** Mikrobiyal ayrışmada sıcaklık bölgeleri (Erdin 2005)

<b>Sıcaklık Bölgeleri</b>	<b>Mikroorganizma Türleri</b>	<b>Ayrışma Bölgesi</b>	<b>Hijyenik Nitelik Sınıfı</b>
<b>45 °C</b>	Mezofil Organizmalar	Oligoterm (Soğuk Ayrışma)	Tam Virulans
<b>45-55 °C</b>	Mezofilden Termofil Organizmalara Geçiş	B-Mezoterm	Biyokimyasal Dezenfeksiyon
<b>55-65 °C</b>	Termofil Organizmalar	Mezoterm	Biyofiziksel Dezenfeksiyon
<b>65-80 °C</b>	Termofil Organizmaların Harmonileşmesi	Politerm (Sıcak Ayrışma)	Termik Dezenfeksiyon

Kompostlama sırasında ortamda oksijen miktarının azalması mikrobiyal aktiviteyi azaltarak sıcaklığı düşürmektedir. Belirli periyotlarda kompost karışımının karıştırılması sıcaklık artışına neden olmaktadır. Ortamda yeterli oranda oksijen olması durumunda mikrobiyal faaliyetler hızla devam etmektedir. Mikroorganizmaların organik parçalamayı hızlı olarak gerçekleştirmesi sonucunda ortamdaki sıcaklık 60 °C'nin üstüne ulaşmaktadır. Kompost karışımının bu sıcaklığın üzerine çıkması sonucu mikroorganizmalar ölmeye başlayarak aktivitede yavaşlama gözlenmektedir. Sıcaklığı tekrar arttırarak sabitlemek amacıyla karıştırma ve havalandırma yapılmaktadır. Aktif kompostlama işlemi tamamlanarak sıcaklık sabitlendikten sonra olgunlaşma evresi başlamaktadır. Olgunlaşma evresinde kompostlama işlemi çok yavaş bir şekilde devam etmektedir (Öztürk 2017). Kompostlama prosesinde sıcaklığın zaman içerisindeki değişimi Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.12.** Sıcaklığın zaman içerisindeki değişimi (Öztürk 2017)

Kompostlama prosesinin başarısı organik maddelerin içeriğine ve mikroorganizmaların türüne bağlıdır. Bazı organik materyaller çok hızlı parçalanarak kompostlama prosesinin sıcaklığını hızlıca arttırmaktadır. Bazı mikroorganizmalar oksijenli ortamda faaliyet gösterirken bazıları oksijene ihtiyaç duymamaktadır (Erdin 2005).

### **2.5.3. Organik atıkların kompostlanmasında fiziksel ve kimyasal parametrelerin değişimi**

Kompostlama işlemi birkaç aşamada gerçekleşen bir prosestir. Bu proseste kompostlama faaliyeti gerçekleşirken birçok faktör göz önünde tutulmak zorundadır. Kompostlama mikroorganizmaların büyümesi için uygun koşullar sağlandığında çok hızlı gerçekleşir. Kompostlama için en önemli şartlar;

- Uygun karbon ve azot (C/N) oranı da dahil olmak üzere, mikrobiyal aktivite ve büyüme için gereken besin maddeleri için organik maddelerin karıştırılması,
- Aerobik mikroorganizmaların verimli çalışabilmesi için yeterli oksijen,
- Ortamdaki oksijeni engellemeden biyolojik aktiviteyi sağlayan yeterli nem içeriği,
- Mikrobiyal aktiviteyi sağlayan termofilik sıcaklıklardır.

Kompostlama işlemi değişik koşullarda ve birçok madde ile gerçekleşir. Kompostlama hızı ve bitmiş kompostun kalitesi ham maddelerin seçimi ve karışımına bağlıdır (Öztürk ve Bildik 2005).

Kompostlamaya etki eden en önemli faktörler tane çapı, C/N oranı, mikrobiyal özellikler, sıcaklık, pH, su muhtevası ve havalandırmadır. Belirlenen faktörlerin kompostlama için standart değerleri ve özellikleri vardır. Kaliteli bir kompost üretimi için değerlerin standartlara uygun olması gerekir.

#### **Tane çapı**

Katı atıkları parçalamadaki amaç mikroorganizmalar için mümkün olduğu kadar fazla faaliyet imkanı sağlamaktır. Mikroorganizmaların faaliyetini arttırmak karışım içerisindeki katı atıkların iyi parçalanması ile bağlantılı olmaktadır. Bu sayede reaksiyonun süresi kısaltılabilmektedir (Erdin 2005).

Tane çapı kompostlama prosesinde havalandırmayı etkilemektedir. Kompost karışımının tane boyutu, ham materyal seçimi, karıştırma ve parçalama ile ayarlanabilmektedir (Öztürk 2017).

Tane çapının çok küçük ve yoğun olması ise yığın içerisindeki havayı engelleyerek mikroorganizmaların ihtiyacı olan oksijenin ve mikrobiyal aktivitenin azalmasına sebep olmaktadır. Tane boyutu karbon ve azot kullanımını etkilemektedir (Uygun 2012).

### **C/N oranı**

Kompostlama prosesinde mikroorganizmaların faaliyet gerçekleştirebilmesi için karışımdaki C, N, P ve K gibi besin maddelerinin yeterli miktarda ve belirli oranda bulunması gerekmektedir. Bu maddelerin oranı kompostlama prosesinin verimini belirlemektedir. C ve N miktarı kompostlama prosesini ve son ürün olan kompostun kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Proseste mikroorganizmalar karbon maddesini büyüme ve enerji için tüketmekte olup azotu protein ve üreme için kullanmaktadır. Karbon miktarı, her zaman azot miktarından daha fazladır (Öztürk 2017).

Bir kompost karışımında besinlerin uygun miktarda hazırlanması için C/N oranına dikkat edilmektedir. C/N oranının yüksek olması durumunda toprakta bulunan N miktarı organik materyalin parçalanması için uygun olmamaktadır. Bu durum neticesinde parçalama yapacak olan mikroorganizmalar, üreme için ihtiyaçları olan azotu topraktaki kolay çözünebilir azot bileşiklerinden almaktadır. C/N oranının küçük olması halinde ise fazla azot amonyak halinde dışarıya atılmaktadır. Bu oranın istenen değerlerde olmaması durumunda kompost kalitesizleşerek bulunduğu toprağı fakirleştirmektedir (Varank 2006).

Azot dışındaki bütün elementler evsel atıklarda bol miktarda bulunmaktadır. Saman, yaprak, ayçiçeği sapı ve kağıt gibi maddeler yüksek C/N oranına sahiptir. Bu nedenle evsel katı atıklar ile yapılan kompostlama prosesine azot oranı yüksek olan malzemeler eklemek gerekmektedir. Çizelge 2.3'de kompost materyallerinin genel olarak C/N oranları belirtilmektedir.

**Çizelge 2.3.** Bazı kompost materyallerinin C/N oranları (Erdin 2005)

<b>Karbon İçeriği Yüksek Maddeler</b>	<b>C/N</b>
Yaprak	30-80: 1
Saman	40-100: 1
Ağaç kırpıntısı, talaş	100-500: 1
Ağaç kabuğu	100-130: 1
Karışık kağıt	150-200: 1
Gazete kağıdı veya karton	560: 1
<b>Azot İçeriği Yüksek Maddeler</b>	<b>C/N</b>
Sebze atıkları	15-20: 1
Kahve telvesi	20: 1
Kesilmiş çim	15-25: 1
Hayvan dışkısı	5-24: 1

Russell ve ark. (2003) tarafından yapılan araştırmalarda C/N oranının 35'den büyük olması halinde azotun tutulduğu kanaatine varılmaktadır. C/N oranının 20'den küçük olması halinde de açığa çıkarmaktadır. Bu değerler arasında teorik olarak azot değerlerinde bir kayıp olmamaktadır. Optimal C/N oranı çeşitli araştırmacılar tarafından farklı olarak verilmektedir.

Kompostlama prosesinde bulunan mikrobiyolojik faaliyet daha yüksek C/N oranında da gerçekleşmektedir. Ortamda azotun az olması nedeni ile hızı düşerek zamanla ölen mikroorganizmaların azotundan faydalanan canlılar organik maddeleri indirgemektedirler. Böylece zaman içerisinde CO<sub>2</sub> çıkışı olmaktadır. Bunun sonucunda C/N oranı düşerek ve reaksiyonun hızı artmaktadır. Fakat bu durum da karbon kaybına yol açarak kompostun kalitesini düşürmektedir.

Kompostlama prosesi için C/N oranının 35' den küçük olması genel olarak tüm araştırmacıların savunduğu bir durumdur. Mikroorganizmaların cinsine göre hücre özünün C/N değeri 4 ila 10 arasındadır. Ortalama olarak 7 alınabilmektedir. Küçük canlılar işledikleri karbonun % 20' sini yeni hücre yapımında kullanmakta olup % 80'

ini de disimilasyonda kullanmaktadır. Böylece beslenmeleri için ihtiyaç duydukları C/N değeri:

$$7 (\%20) + 28 (\%80) = 35/1 \text{ olarak bulunur (Erdin 2005).}$$

Optimal C/N oranı çeşitli araştırmacılar tarafından farklı olarak verilmiştir (Çizelge 2.4). Thompson ve Ndegwa (1999)' a göre bu değerler 33-17 arasında değişmektedir. C/N oranının 11,6 olması halinde ayrışma işleminin duracağı iddia edilmiştir. Bu değer ise yaklaşık olarak toprağın kendine has olan C/N oranına eşittir. C/N oranının 6' nın altına düşmesi yani ortamdaki C miktarının az olması durumunda amonyak açığa çıkarak N kaybı gözlenmektedir (Erdin 2005).

**Çizelge 2.4.** Bazı kaynaklarda öngörülen optimum C/N oranları

C/N Oranı	Kaynak
20-40	Dougherty, 1995; Kilpatrick ve ark., 2002
25-30	Rynk, 1992
30	Manios and Stentiford, 2003; Hamoda ve ark., 1998
20-35	Epstien, 1997; Tchobanoglous ve Kreith, 2002
15-30	Haug, 1993

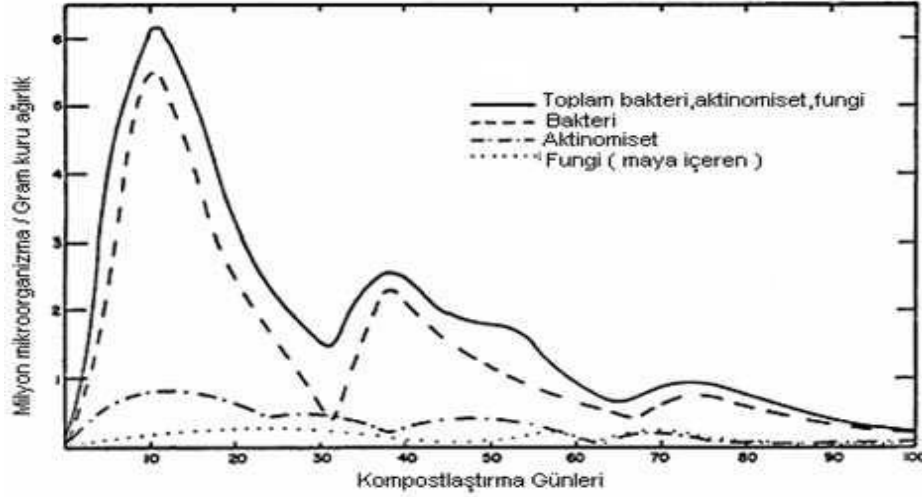
C/N oranı kompost karışımının içerisindeki materyallerin oranını belirleme noktasında önemli bir faktör olmasına rağmen karbon bileşiklerinin bozunma oranını da dikkate almak gerekmektedir. Organik maddeler içerisinde bulunan azotun büyük bir bölümü biyolojik olarak kullanılabilir. Karbonun bir kısmı ise biyolojik olarak parçalanmaya direnç göstermektedir. Karbonun bozunmasının zor olması durumunda kompostlama prosesi yavaşlamaktadır (Öztürk 2017).

### **Mikrobiyal özellikler**

Kompostlama çok çeşitli mikroorganizma içeren organik madde karışımıdır. Kompostlama prosesinde faaliyet gösteren mikroorganizmalar, bakteriler, protozoolar, aktinomisetler, funguslar ve alglerdir (Uygun 2012).

Bakteri mikroorganizmaları çoğu zaman mantarlardan daha çok faaliyetlere katılmakta ve başarı göstermektedir. Kompostlama prosesindeki mikrobiyal faaliyetlerin % 90'ı

bakterilerden kaynaklanmaktadır. Aktinomisetler kompost karışımı uygun şartlara gelene kadar gözle görülür bir şekilde büyümektedir. Kompostlama prosesi içerisinde beşinci günden itibaren büyümeye başlamaktadır. Kompost ürününden gelen topraksı kokunun sebebi aktinomisetlerdir. Karışımdaki mantar ve aktinomisetlerin sayısı hemen hemen aynıdır. Kompost içerisindeki mantar çeşitliliği çok fazladır. Yapılan bir çalışmada kompost karışımının içerisinde yaklaşık olarak 304 çeşit mantar görülmüştür. Karışım içerisindeki patojenler sıcaklık arttıkça ölmektedir. Virüsler 70°C’de 25 dakika içerisinde yok olmaktadır (Yüksel 2006). Şekil 2.13’de kompostlama işlemi sırasında çeşitli mikroorganizmaların değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Kompostlama prosesinde mikroorganizmaların değişimi (Uygun 2012)

### Nem içeriği

Kompostlama prosesinde faaliyet gösteren mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini sürdürebilmeleri için suya ihtiyaçları bulunmaktadır. Su kimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi için uygun ortamı sağlamaktadır. Besin maddelerini taşıyarak mikroorganizlar tarafından kullanılması sağlanmaktadır. Organik maddelerin nem miktarının %15’ in altına düşmesi durumunda biyolojik faaliyet son bulmaktadır (Öztürk 2017).

Kompost karışımındaki nem içeriği minimum % 30-40 civarında olmaktadır. En fazla nem oranı ise oksijenin gözeneklerden mikroorganizmalara ulaşmasını sağlayabilecek kadardır. Genelde %60 oranında olduğu görülmektedir. Bir kompost karışımındaki su ve

hava miktarı ters orantılıdır. Su miktarının artması ile hava boşlukları kapanmaktadır (Erdin 2005).

Uygun bir kompost karışımı için nem miktarının %40-65 aralığında olması gerekmektedir. Nem muhtevası %40'a yaklaştıkça kompostlama hızı yavaşlamaktadır. Nem miktarı, kompostlama ilerledikçe gerçekleşen aktiviteler neticesinde düşmektedir. Bu nedenle başlangıçtaki nem muhtevasının %40'dan büyük olması gerekmektedir. Uygun nem miktarını ayarlayabilmek için bazı durumlarda karışıma direk su eklenmektedir. (Öztürk 2017).

Arıkan (2003), kompostlama için optimum su içeriğini % 50-60 (maksimum % 70) olarak ifade etmiştir. Hamoda ve ark. (1998) ise, başlangıç su içeriği % 45, % 60 ve % 75 olan kentsel katı atıklarla yaptığı kapalı kompostlanma çalışmasında, optimum bozunmayı % 60 su içeriği ile sağlamıştır. Adhikari ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada kompostlama prosesinde % 50' nin altına düşen nem seviyelerindeki örneklerde kompostun en iyi olduğu gözlemlenmiştir.

### **Sıcaklık**

Mikroorganizmaların organik maddeleri parçalaması sırasında ısı açığa çıkmaktadır. Kompost karışımındaki ısı artışı mikroorganizmaların faaliyetinin bir göstergesi olup patojenlerin ölümünün gerçekleşmesini sağlamaktadır (Erdin 2005). Çizelge 2.5.'te kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri verilmiştir.



**Çizelge 2.5.** Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri (Tchobanoglous ve ark. 1993)

Organizma	Gözlem Sonucu
Salmonella typhosa	46 °C'nin üzerinde büyüme yok. 55-60 °C'de 30 dk. da veya 60 °C'de 20 dk'da ölüm
Salmonella sp.	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da ölüm
Shigella sp.	55 °C'de 1 saatte ölüm
Escherichia Coli	55 °C'de 1 saatte ölüm veya 60 °C'de 15-20 dk'da ölüm
Entamoeba histolytica sistleri	45 °C'de birkaç dk'da veya 55 °C'de birkaç sn'de ölüm
Taenia saginata	55 °C'de birkaç dk'da ölüm
Trichinella spiralis larvae	55 °C'de çabuk veya 60 °C'de hemen ölür
Brucella abortus or BR. Suis	62- 63 °C'de 3 dk'da veya 55 °C'de saatte ölüm
Micrococcus pyogenes var aureus	55 °C'de 10 dk'da ölüm
Streptococcus pyogenes	54 °C'de 10 dk'da ölüm
Mycobacterium tuberculosis var. Hominis	66 °C'de 15-20 dk'da veya bir an için 67 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ölüm
Corynebacterium diphteria	55 °C'de 45 dk'da ölüm
Necator Americanus	45 °C'de 50 dk'da ölüm
Ascaris lumbricoides yumurtaları	50 °C'nin üzerinde en az 1 saatte ölüm

Kompost karışımında sıcaklık arttıkça ölen patojenlerin yerini daha yüksek sıcaklıklarda yaşayabilen mikroorganizmalar almaktadır. 55 °C'nin üzerinde kompostlama hızı düşmektedir. Karışımdaki sıcaklığın artışı ve çıkabileceği son nokta ortamdaki besin miktarı ile ilişkilidir (Erdin 2005). Kompost prosesinde faaliyet gösteren mikroorganizmalar için uygun olan sıcaklık aralıkları Çizelge 2.6' da gösterilmektedir.

**Çizelge 2.6.** Kompostlama işleminde görev yapan mikroorganizmalar için optimum sıcaklıklar

Mikroorganizma Çeşidi	Optimal Sıcaklık
Bakteriler	15-60 °C
Mantarlar	20-30 °C
Aktinomisetler	30-40/50-55 °C
Protozoolar	40 °C

Kompostlama prosesinde gerçekleşen reaksiyonların yüksek hızda olması için yüksek sıcaklıklara gerek yoktur. Karışımdaki sıcaklık 75°C veya 85 °C'ye kadar yükselirse, yüksek sıcaklık yüzünden reaksiyon hızı azalacaktır. Sıcaklığı azaltmak için havalandırma oranını arttırmak veya karıştırma işlemini daha sık yapmak gerekmektedir (Tosun 2003).

## **pH**

Mikroorganizmaların yaşabildikleri belirli bir pH aralığı bulunmaktadır. Kompostlama prosesinin başlangıç aşamasında içinde katkı maddesi olmadığı durumda evsel atıklarda pH 7 civarında olmaktadır. Karışım ısınmaya başladıkça bakterilerin salgıladığı organik asitlerle 4-5 aralığına düşmektedir (Erdin 2005).

Kompostlama işlemi en etkin 4,5- 5 aralığında olmaktadır. pH ın 8,5'den büyük olması durumunda azot bileşikleri amonyağa dönüşmekte olup 8'den küçük olması durumunda amonyak oluşumu azalmaktadır (Öztürk 2017).

## **Havalandırma**

Kompostlama prosesi oksijenin tüketildiği ve karbondioksidin üretildiği bir oksidasyon işlemidir. Kompostlama işlemi süresince bu iki gazın izlenmesi, kompostlama aktivitesinde güvenilir bir gösterge olarak görülmektedir (Stoffella ve Kahn 2001).

Kompostlama prosesinin koku yaratmadan gerçekleşmesi ve aerobik şartların sağlanabilmesi için ortamda yeterli miktarda oksijen bulunması gerekmektedir (Erdin 2005).

Kompostlama işleminin ilk günlerinde organik maddeler hızlıca parçalandığından oksijen ve hava ihtiyacı çok olmaktadır. İşlem ilerledikçe ihtiyaç azalmaktadır. Oksijen ve hava kaynağının az olması durumunda kompostlama prosesi yavaşlar. Kompost karışımı içerisindeki gözenekler bulunan oksijen miktarı minimum %5 olmalıdır. Ortamda oksijen bulunmaması durumunda kompostlama anaerobik olarak devam etmektedir (Öztürk 2017).

## Zehirli ve zararlı maddeler

Organik atıklar içeriğinde Hg, Cd, Cu, Zn, Pb ve Cr gibi ağır metaller bulundurmaktadır. Katı maddelerin içeriğinde bulunan ağır metal oranları Çizelge 2.7 'da verilmektedir (Erdin 2005).

**Çizelge 2.7.**Katı atıklar içerisinde bulunan ağır metal oranları (Erdin 2005)

Ağır Metaller	(mg/kg) Kuru Madde
Cd	10
Pb	600
Cr	100
Cu	550
Hg	0.40
Zn	600

Kompost karışımında ağır metal arttıkça sıcaklık düşmektedir. Sıcaklık düşüşleri mikroorganizmaların faaliyetlerinin yavaşladığını, hatta bazılarının öldüklerini göstermektedir. Çünkü komposttaki sıcaklık mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu yükselmekte olup belli konsantrasyonlardaki ağır metallerin mikroorganizmalara olan toksik etkileri sıcaklık düşüşlerine neden olmaktadır (Halistürk ve ark 2006).

## Kompostlama süresi

Organik materyalin kompost ürününe dönüşmesi için gerekli olan süre karışımın içerisine eklenen maddeler, sıcaklık, nem ve havalandırma durumlarına bağlıdır. Kompost için uygun olan nem miktarının ayarlanması, C/N oranı ve yeterli oksijen kompostlama süresini oldukça kısaltmaktadır. Kompost ürününü kullanım yerine ve özelliğine göre kompostlama prosesinin süresi kısalabilmektedir. Kompostun iyi bir şekilde stabil hale getirilmesi ve kuruluşunun sağlanması gerekiyorsa süre uzatılmaktadır.

Uygun şartlar sağlandığında organik maddelerin parçalanabilmesi ve stabilizasyonu için gereken süre birkaç haftadır. İyi bir kompost için olgunlaşma süresi 4-6 hafta aralığında olmaktadır (Öztürk 2017). Farklı kompost sistemleri için uygun kompost süreleri Çizelge 2.8’de verilmektedir.

**Çizelge 2.8.**Seçilen madde-metot kombinasyonlarına uygun kompostlama süreleri (Öztürk 2017).

Metot	Kullanılan Madde	Aktif Kompostlama süresi		
		Aralık	Tipik	Olgunlaşma süresi
Pasif Kompostlama	Yaprak	2-3 yıl	2 yıl	-
	İyi-katmanlaşmış gübre	6 ay ile 2 yıl	1 yıl	-
Sıralı yığın-seyrek döndürme <sup>a</sup>	Yaprak	6 ay ile 2 yıl	9 ay	-
	Gübre + Düzenleyici	4-8 ay	6 ay	-
Sıralı yığın - sık döndürme <sup>b</sup>	Gübre + Düzenleyici	1-4 ay	2 ay	4 ay
Pasif havalandırılmalı yığınlar	Gübre + yatak	10-12 hafta	-	1-2 ay
	Balık atıkları + çürümüş yosun	8-10 hafta	-	-
Havalandırılmış statik yığınlar	Çamur + odun yongaları	3-5 hafta	4 hafta	1-2 ay
Dikdörtgen karıştırmalı yatak	Çamur + Bahçe atıkları veya gübre + testere talaşı	2-4 hafta	3 hafta	1-2 ay
Döner tambur	Çamur ve/veya katı atık	3-8 gün	-	2 ay <sup>c</sup>
Dikey silolar	Çamur ve/veya katı atık	1-2 hafta	-	2 ay <sup>c</sup>

<sup>a</sup> örneğin, keçeli yükleyiciler ile; <sup>b</sup> örneğin özel yığın-sırası döndürücüleri ile; <sup>c</sup> genelde ikinci bir kompostlama basamağı gerektirir (örneğin sıra-yığınları veya havalandırılmış yığınlar).

### Porozite ve serbest hava boşluğu

Porozite maddelerin fiziksel özellikleri olup kompostlama prosesinde havalandırmayı etkilemektedir. Porozite kompost karışımı içindeki hava boşluğunun bir ölçüsüdür. Büyük partiküller poroziteyi arttırmaktadır. Parça boyutunun küçük halde olması hava boşluklarını azaltmakta olup oksijenin gözeneklerden geçmesine engel olmaktadır (Öztürk 2017).

Porozite(n), boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilmektedir.

$$n = V_{\text{bosluk}} / V_{\text{toplaml}}$$

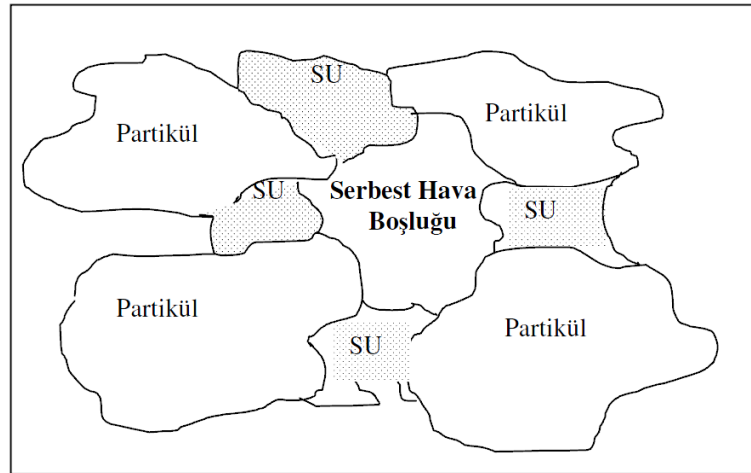
$$n = ( V_{\text{toplaml}} - V_{\text{katı}} ) / V_{\text{toplaml}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplaml}}$$

Serbest hava boşluğu (f) ise gaz hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilmektedir (Haug 1993, Çataltaş 2013).

$$f = V_{\text{gaz}} / V_{\text{toplaml}}$$

$$f = ( V_{\text{toplaml}} - V_{\text{katı}} - V_{\text{su}} ) / V_{\text{toplaml}}$$

Şekil 2.14' da Serbest hava boşluğu kavramı Epstein (1997) tarafından şematik olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 2.14.** Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki (Epstein 1997)

#### 2.5.4. Kompost mikrobiyolojisi

Kompostlanmada etkili olan mikroorganizmalar; fungi, aktinomiset, alg, protozoa ve bakterilerdir. Bakteri, fungi ve aktinomisetlerin mikrobiyal popülasyonu kompostlanma süresince değişim gösterir (Bayer 2008).

Kompostlama işleminin hızını ve bakterilerin aktivitelerini kompost karışımının yüksek nemde olması arttırmaktadır. Düşük nemde ise küf ve aktinomisetler aktivite göstermektedir. Nem miktarı % 40' ın altında olduğu durumlarda mikrobiyolojik aktivite yavaşlamaktadır. Karışımdaki nem oranının % 65' i aşması durumunda, yığındaki malzemelerin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olmaktadır. (Öztürk 2005).

Mikroorganizmaların sıcaklıklara göre isimleri aşağıda belirtilmektedir.

- Mezofilik Safha (10-40 °C)

Bakteriler: *Pseudomonas*, *Proteus*, vd.

Fungiler: *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Phanaerochaeta*, *Trichoderma*

- Termofilik Safha

Bakteriler (30-65 °C): *Basicillus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*

Fungiler (40-50 °C): *Aspergillus*, *Fumigatus*, *Chaetomium*, *Humicola*

Kompostlama prosesi genellikle 3-4 hafta sürmekte olup 6 aşamada gerçekleşmektedir. (Kutzner 2000):

- Kuluçka Dönemi: Mikroorganizmaların kompost karışımına uyum sağladığı süreç olarak tanımlanmaktadır.
- Mezofilik Safha: Kompostlanmada nütrientleri parçalayabilen mezofilik bakteri ve mantarları içeren aşamadır. Mezofilik safhada sıcaklık 45 °C civarına yükselmektedir. Mezofilik bakteriler oksijeni kullanmakta olup kompost karışımından enerji üretmek için karbon transferi yaparak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O üretmektedir. Bu esnada ortamda ısı açığa çıkmaktadır. Kompostlamanın devamında sabit noktalara gelen sıcaklık mikroorganizmaların faaliyetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu durumun sonucunda mezofilik mikroorganizmalar gelişimini bitirerek ölmeye başlamaktadır.
- Termofilik Safha: Termofilik safhada termofilik bakteriler, mantarlar ve aktinomisetler tarafından karışımda bulunan organik maddeler parçalanmaktadır. Bu mikroorganizmalar için optimum sıcaklık 50-65 °C arasından olup 70-80 °C' ye kadar faaliyet gösterebilmektedir. Yüksek sıcaklık patojenlerin yok olmasına sebep olmaktadır. Mezofilik ve termofilik safhada kompost karışımının yeterli

oranda havalandırılması gerekmektedir. Termofil bakteriler, nütrient ve enerji kaynakları yetene kadar faaliyet göstermeye devam etmektedir. Ancak kaynaklar tükendikten sonra mikroorganizmalar ölerek sıcaklık düşmeye başlamaktadır.

- Soğuma Safhası: Bu fazda sıcaklık mezofilik seviyelere düşmekte olup termofilik bakteriler, mezofilik bakteriler ile yer değiştirmektedir.
- Olgunlaşma Safhası: Olgunlaşma safhasında kompostun sıcaklığı ortam sıcaklığı seviyelerine düşmektedir. Daha yüksek beslenme düzeyine sahip mikroorganizmalar komposta dahil olmaktadır. Olgunlaşma safhasında, proses yüksek sıcaklıklara karşı hassastır ve nitrifikasyon bozulması meydana gelir. Bu proses genelde 30-180 gün sürmektedir.
- Kuruma Safhası: Kuruma safhası birkaç günden birkaç aya kadar değişen sürelerde devam edebilmektedir. Kompostun satılabilmesi için % 50-60 katı içermesi gerekmektedir.

### **2.5.5. Kompostlama sistemleri**

Kompostlama prosesi katı atıkların bertarafında iyi bir yöntem olup, dünya genelinde uygulanan farklı modelleri bulunmaktadır. Genel olarak açık ve kapalı sistemler olarak ikiye ayrılmakla birlikte işletme şartları, kullanılan makine ve ekipmanlara göre kendi içinde çeşitlere ayrılmaktadır.

#### **I. Açık kompostlama sistemleri**

##### **a. Statik yığın kompostlama sistemleri**

##### **b. Dinamik yığın kompostlama sistemleri**

#### **II. Reaktör kompostlama sistemleri**

##### **a. Düşey akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

##### **b. Yatay akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

##### **c. Akışsız-statik reaktör kompostlama sistemleri**

şeklindedir (Haug, 1993).

Tüm bu metotlar başarıyla ve yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Statik ve dinamik kompostlama işlemleri açık havada gerçekleştirilmektedir. Düşey akışlı, yatay akışlı ve akışsız- statik reaktör kompostlama prosesleri bir reaktöre kapatılarak nem, koku kontrolü ve arıtımı için uygun şartlar sağlanmaktadır.

Kompost karışımı için kullanılan organik maddelerin fiziksel özellikleri ve işleme karakteristikleri kompostlama sistemini seçme konusunda oldukça etkili olmaktadır. Yerleşim yerlerine uzaklık, maliyet, kompostlama süreci ve hızı da bu seçimi etkilemektedir (Yıldız ve ark, 2009).

### **Statik yığın kompostlama yöntemleri**

Statik yığınlar halinde kompostlama sistemleri çamurlar gibi yaş materyaller için uygulanmaktadır. Kompostlama prosesinde karışım, ağaç kabuğu veya talaş gibi hacim arttırıcılar ile karıştırılıp geniş yığınlar halinde serilmektedir. Hacim arttırıcılar, kompost materyalinin nem oranını düzenlemekte olup materyal içinde hava boşlukları oluşturarak, karıştırmanın gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Yığınlar kesikli olarak oluşturulmaktadır ve bir kompostlama döngüsü süresince yığın hiçbir şekilde karıştırılmamaktadır.

Statik yığın kompostlama sistemlerinde organik maddeler yığın haline getirilerek karıştırılmadan kendi kendine parçalanması beklenmektedir. Doğal havadan faydalanabilmek adına küçük yığınlar oluşturulmaktadır. Ayırışması devam eden kompost yığını içeride ısınırken, sıcak hava hareket ederek karışımdan ayrılmaktadır. Sıcak hava yerini soğuk havaya bırakmaktadır (Yıldız ve ark. 2009).

Bu yöntemde sarfedilen emek çok az olup havalandırma ekipmanlarına da çok az ölçüde ihtiyaç duyulmaktadır. Çöplerin kompostlanmasında bu yöntemden yaygın olarak faydalanılmaktadır. Havalandırma oranı çok düşük olduğundan kompostlama prosesi yavaş ilerleyerek koku problemi yaratmaktadır (Uygun 2012).



### **Dinamik yığın kompostlama sistemleri**

Dinamik yığın kompostlama sistemleri, sıralı yığınlar halinde uzun uzun ve düzenli aralıklarla yerleştirilerek oluşturulmaktadır. Yığın halindeki karışımlar periyodik aralıklarla döndürülerek karıştırılmaktadır. Sıralı yığınların yükseklikleri 1 m ile 3,6 m aralığında değişmektedir. Genişlikleri 3-6 m arasındadır (Öztürk 2017).

Kompost yığınlarının karıştırılmasının nedeni organik atıkların gözeneklerini arttırarak yığına hava girişini sağlamaktır. Düzenli olarak yapılan karıştırma işlemi sayesinde yığın eşit olarak kompostlanmaktadır (Yıldız ve ark. 2009).

Dinamik yığın kompostlama sistemlerinde yığının döndürülme aralığının belirlenmesi gerekmektedir. Karıştırma periyodu materyallerin ayrışma oranına, nem miktarına, malzemelerin porozitesine bağlı olmaktadır. Yığınların sıcaklığı ve yaydığı koku da döndürme periyodunu değiştirebilmektedir. Düşük sıcaklık ve fazla koku olması durumunda kompost karışımı daha sık karıştırılmalıdır (Uygun 2012).

### **Düşey akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

Düşey akışlı reaktör kompostlama sistemleri, reaktördeki yatak şartlarına göre dinamik ve paket yataklı olmak üzere iki şekilde tasarlanmaktadır. Her iki sistem de, kesikli veya sürekli olarak çalıştırılabilmektedir.

Dinamik reaktör sistemleri, kompostlama karışımının reaktörden aşağıya inişi boyunca, katı hareketinin sağlandığı sistemlerdir. Paket yataklı reaktör sistemleri, düzenli olarak reaktörün altından üstüne karıştırma gerçekleştirilen sistemlerdir. Sistemde, katıların hareketi bu transfer sonucunda sağlanmaktadır.

Paket yataklı reaktör sistemleri, özellikle çamur keklerinin talaş vb. gibi materyallerle kompostlanmasında kullanılmaktadır. Bu reaktörlerin dairesel ve dikdörtgen şeklinde pek çok versiyonu bulunmaktadır (Haug 1993).

### **Yatay akışlı reaktör kompostlama sistemleri**

Yatay akışlı reaktör kompostlama sistemlerinde malzemeler beton duvarlar ile kapatılmış kanallar içerisinde oluşturulmuş uzun ve dar yataklar içerisinde muhafaza edilmektedir. Yatakların üzeri açık olduğundan bir reaktör içine yerleştirilmektedir. Yatakların içerisinde genelde mekanik döndürme sistemleri bulunmaktadır. Malzemeler kanalın ucundan yüklenerek kompostlama işlemi tamamlandıktan sonra diğer ucundan çıkartılmaktadır. Kanal içerisindeki döndürme periyodu kompostlama için gerekli süreye bağlı olmakta ve genelde 10-28 gün sürmektedir (Bayer 2008).

### **Akışsız-statik reaktör kompostlama sistemleri**

Akışsız reaktör sistemleri, tünel, kutu veya biyokonteyner olmak üzere değişik şekillerde tasarlanmaktadır. Sistemlerde, havalandırma çıkış gazının CO<sub>2</sub> içeriği ile sürekli kontrol edilmekte ve pozitif ve negatif modlar arasında değişimli olarak gerçekleştirilmektedir. Malzemeler, kompostlama prosesinin başlangıcında, sistemlere yüklenmekte ve sistemde yaklaşık 7-14 gün boyunca kalmaktadır. Bu süre sonunda, kompost sistemden alınmakta ve açık alanda olgunlaşmaya bırakılmaktadır. Olgunlaşma, yaklaşık 10 haftada sağlanmaktadır (Haug 1993).

### **2.5.6. Kompostlama ile ilgili Türkiye'deki yasal durum**

Türkiye' de katı atıkların kompostlanmasına ilişkin ilk yasal sınırlandırma 14.03.1991 tarihinde 20814 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)' nde belirlenmiştir. Yapılan değişikliklerle KAKY' ne ilaveler yapılarak bu yönetmelikteki bazı hükümler Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (TKKY)' ndeki hükümlere tabi tutulmuştur. Daha sonra 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan TKKY ve 14.03.1992 tarihli ve 20814 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan KAKY yürürlükten kaldırılmıştır.

Türkiye' de bugün yürürlükte olan, 02.04.2015 tarihli 29314 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde kompost, "Organik esaslı atıkların oksijenli

veya oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen ürünü” olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2010).

05.03.2015 tarihinde 29286 sayılı Resmi Gazete’ de yayınlanarak yürürlüğe giren Kompost Tebliği Türkiye’ de kompost ile ilgili yayınlanmış olan ilk tebliğdir. Tebliğ organik atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden ayrı toplanarak yönetimin sağlanması, düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılması, kompost tesislerinin teknik kriterlerinin belirlenmesi, kompost tesislerinden elde edilen ürünlerin kalite kriterlerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Tebliğ ile kompost yapılabilecek atıkların listesi, kompost tesisleri genel ve teknik özellikleri, kompost kalite parametreleri, kompostun kullanılması, ürünün piyasaya arz edilmesine yönelik yasal çerçeve belirlenmiştir. Kompost Tebliği’nde belirlenen kalite parametreleri Çizelge 2.9’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Kompost kalite parametreleri (Kompost TebliğiEK-2) (Anonim 2015e)

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
<b>pH</b>	5,5 – 8,5
<b>Hijyen değeri</b>	Kesintisiz olarak 55 °C'de 2 hafta, 60 °C'de 1 hafta, 65 °C'de 5 gün, 70 °C'de 1 saat, işlem görmüş olacaktır.
<b>Patojenler</b>	
Toplam Bakteri	1x10 <sup>3</sup> kob/g veya kob/ml
Enterobactericea grubu bakteriler	< 3cfu/ml
Mycobacterium spp	Yok (25 g veya ml)
Toplam maya ve küf	1<10 <sup>4</sup> kob/gr-ml
Salmonella spp	Yok (25 g veya ml)
Staphylococcus aureus	Yok (25 g veya ml)
Bacillus cereus	Yok (25 g veya ml)
Bacillus anthracis	Yok (25 g veya ml)
Clostridium spp	<2 kob/g veya kob/ml
Clostridium perfiringens	Yok
Listeria spp	Yok
Staphylococcal Enterotoksin	Yok
E.coli	Yok
E.coli	0157 Yok

**Çizelge 2.9.** Kompost kalite parametreleri (Kompost TebliğiEK-2) (Anonim 2015e) (Devam)

İz elementler	Parametre	Kompostta ppm (mg/kg kuru madde)
	Arsenik (As)	20
	Kadmiyum (Cd)	3
	Krom (Cr)	350
	Bakır (Cu)	450
	Cıva (Hg)	5
	Nikel (Ni)	120
	Kurşun (Pb)	150
	Çinko (Zn)	1100
	Kalay (Sn)	10
<b>Kompostun Nem İçeriği</b>		< % 30
<b>Karbon/Azot Oranı (C/N)</b>		10-30
<b>Organik Madde (kuru madde içerisinde)</b>		> %35
<b>Mineral iyonlar halindeki tuzlar</b>		< 10dS/cm
<b>Biyobozunur Olmayan Yabancı Madde İçeriği (Kuru Ağırlık Olarak)</b>		< % 2
<b>Komposttaki yabancı ot değeri</b>		< 5 adet/lt
<b>10 mm'lik elekten ürünün % 90'ı geçecektir.</b>		
<b>Plastik madde ya da diğer mevcut muhtemelen geri dönüşümü olmayan madde parçacıklarının büyüklüğü 10 mm'yi geçmeyecektir.</b>		

Tebliğ ile park, bahçe ve evler ile lokantalar, satış noktaları, gıda üretim ve benzeri tesislerden kaynaklanan organik esaslı atıklar, kompost tesislerinde oksijenli veya oksijensiz ortamda ayrıştırılarak kompost üretilmesi ve toprak iyileştirici madde olarak kullanılması etkinleştirilecektir (Anonim 2015e).

Türkiye' de Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik( EKAÇTKDY) toprakta kullanılan kompostlar için herhangi bir ağır metal sınırlamasına sahip değildir. 03.08.2010 tarihinde 27661 sayılı Resmi Gazete' de

yayımlanan EKÇTKDY’ te yalnızca toprakta kullanılan stabilize arıtma çamurları için ağır metal sınırlamaları belirtilmiştir (Topal, 2013). EKÇTKDY’ de bildirilen arıtma çamurlarının topraktaki ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.10’ da, toprakta kullanılabilen stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal içerikleri Çizelge 2.11’ da, toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri Çizelge 2.12’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Arıtma çamurlarının topraktaki ağır metal sınır değerleri (EKÇTKDY EK I-A), (Anonim 2010c)

Ağır Metal (Toplam)	6≤pH<7	pH≥7
	mg. kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak	mg. kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak
<b>Kurşun</b>	70	100
<b>Kadmiyum</b>	1	1,5
<b>Krom</b>	60	100
<b>Bakır</b>	50	100
<b>Nikel</b>	50	70
<b>Çinko</b>	150	200
<b>Civa</b>	0,5	1

**Çizelge 2.11.** Toprakta kullanılabilen stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları (EKÇTKDY EK I-B), (Anonim 2010c)

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg kg <sup>-1</sup> kuru madde)
<b>Kurşun</b>	750
<b>Kadmiyum</b>	10
<b>Krom</b>	1000
<b>Bakır</b>	1000
<b>Nikel</b>	300
<b>Çinko</b>	2500
<b>Civa</b>	10

**Çizelge 2.12.**Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri (EKÇTKDY EK I-D), (Anonim 2010c)

<b>Organik Bileşikler</b>	<b>Sınır değerler (mg kg<sup>-1</sup> kuru madde)</b>
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineer alkilbenzin sülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı )	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0.8
<b>Dioksinler</b>	<b>ng Toksik Eşdeğer.kg<sup>-1</sup> kuru madde</b>
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

### **2.5.7.Kompostlama ile ilgili dünyadaki yasal durum**

Kompost ürününün toprağa uygulanabilmesi için belirli parametre değerlerine sahip olması gerekmektedir. Kompost kalitesi ile ilgili ülkelerdeki standartlarda yakın bir uyum görülmektedir. Farklı alanlar bulunması ise normal bir durumdur. Uygulanabilir standart seçmenin bir yolu, kolay olan yolu seçmektir. Bu yol; genel kabulün belirgin olduğu alanı yansıtan bir dizi ölçütü açık ve kesin ifade etmek, sonra, uygulamada hemfikir olunmayan veya zaafın açık olduğu alanları belirlemektir. Genel bir uzlaşıya varmak için önemli kademelerin yumuşatılmasına ihtiyaç duyulduğunda, beklemede olan daha sonraki araştırmalar yerine istenilen standartların kullanımına izin vermek en iyisidir. Bazı ülkelerde uygulanan kompost standartları Çizelge 2.13’de verilmiştir (Topal, 2013).

**Çizelge 2.13.** Bazı ülkelere ait kompost standartları (Topal, 2013)

<b>Ülkeler</b>	<b>Standartlar</b>
Almanya	Federal Biyoatık Kararnamesi ( BioAbfallV) Federal Çamur Kararnamesi (KlarschlammV)
ABD	EPA CFR 40/503 Çamur Yönetmeliği
Avusturalya	AS4454-2003
Avusturya	Kompost Kanunu FLG II Nr. 292/2001
Belçika	Kraliyet Kararnamesi, Tarım Dairesi Standartları
Danimarka	EPA 1/06/2000
Finlandiya	Tarım ve Ormancılık Bakanlığı Kararları (46/94)
Fransa	NFU 44-095 ve NFU 44-051
Hollanda	Atık Kanunu
İngiltere	PAS100: 2005
İspanya	Tarım Bakanlığı Standartları
İsveç	QAS
İsviçre	Federal Standartlar
İtalya	Gübre Kanunu ve Özel Kompost Birliği tarafından belirlenen standartlar
Kanada	Ulusal Kanada Standardı (BNQ) Tarım ve Tarımsal-Gıda Kanada Kriterleri (AAFC) Kanada Çevre Bakanlıkları Konseyi (CCME)
Lüksemburg	RAL
Norveç	EPA
Yunanistan	Temel Katı Atık Talimatnamesi
Türkiye	Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)

### **Kompostlama ile ilgili Avrupa’ daki yasal durum**

Çevre duyarlılığındaki artış ve çevre standartları Avrupa’ da yeni kompostlama faaliyetlerinin gelişmesine neden olmaktadır. Avrupa’ da uygulanan politikalar sayesinde organik atıkların kompostlanmasında kaynak ayırımına doğru hızlı bir gelişim sergilenmektedir. Avrupa’ da her yıl yaklaşık 60 milyon ton potansiyel organik atık üretildiği tahmin edilmektedir.



Avrupa' da yaklaşık olarak 9 milyon ton evsel organik atık kaynak ayrımı, ev tipi kompostlama ve merkezi kompostlama ile geri kazanılmıştır. Bununla beraber, AB üyesi, devletler için geri kazanılan organik madde miktarlarında büyük farklar vardır.

Organik atık aktivitelerine göre Avrupa dört sınıfa ayrılmaktadır. Avusturya, Belçika, Almanya, İsviçre, Lüksemburg, İtalya, İspanya, İsveç ve Hollanda ilk sınıfta bulunmaktadır. Bu ülkeler kaynağında ayrı toplanan organik atıkların % 80' ini kompostlamayla geri kazanmaktadır. Danimarka, İngiltere ve Norveç ikinci sınıfta bulunur. Bu ülkeler ayrı toplama ve kompostlama için gereken kalite ve örgütlenme politikasını oluşturmuşlardır. Finlandiya ve Fransa üçüncü sınıfta bulunur. Bu ülkeler kompostlama konusunda stratejilerini belirlemiş ve uygulamanın başlangıç noktasında bulunmaktadırlar. Dördüncü sınıfta İspanya, Yunanistan, İrlanda ve Portekiz gibi organik atıkların kaynağında ayrı toplanıp kompostlama yöntemi konusunda hiçbir çalışma yapmayan ülkeler bulunur. Bu ülkelerde atıklar karışık toplanıp kompostlanmaktadır. Çizelge 2.14' de AB üyesi ülkelere ayrı toplanan ve kompostlanan evsel organik atık miktarları gösterilmektedir (Topal, 2013).

**Çizelge 2.14.** AB üyesi ülkelerde ayrı toplanan ve kompostlanan evsel organik atık miktarı (Topal, 2013)

AB Üyesi Ülkeler	Evsel Organik Atık		Kompost Ürünü
	Geri Kazanılan Organik Atık Miktarı ('000 ton)	Her Ülkede Toplam Geri Kazanım (%)	Miktarı ('000 ton)
Hollanda	1800	90	650
Danimarka	500	55	250
Avusturya	1100	50	500
Almanya	4000	45	2000
Belçika	320	34	160
İsveç	250	16	100
Lüksemburg	7	14	3
Finlandiya	70	10	30
İngiltere	317	6	159
Fransa	400	3	150
İtalya	200	2	100
Portekiz	0	0	0
İspanya	0	0	0
Yunanistan	0	0	0
İrlanda	0	0	0
<b>Toplam</b>	8964	(Toplam 15)	4102

Almanya’ da ki düzenlemeler ile tamamen ispatlanmış kalite teminat sistemi işlemekte olup, Biyoatık Düzenlemesinde Tip I ve Tip II kompostları, RAL Kalite Güvenliği Standardında taze ve olgun kompost, saman ya da kuru yaprak örtüsü ve substrat kompostu, sıvı ve katı çürütme kalıntıları olarak ayrılmıştır.

Avrupa Birliği’nde uygulanacak olan kompost ürününde eko-etiketleme sistemi kullanılmaktadır. Bu sisteme göre; ürün üzerinde pH bilgisi bulunması istenmekte ancak herhangi bir sınırlama yapılmamaktadır. Avrupa Komisyonu’ nun toprak geliştiricileri ve yetiştirme ortamları için olan Eko-Etiket Standartları’ nda nem içeriğinin % 75’ den

küçük olması gerektiği belirtilmektedir. İtalya, Lüksemburg ve Almanya' nın ticari kompostta istediği nem sınır değeri % 45' dir. İspanya' da uygulanan Tarım Bakanlığı Yönetmeliği' ne göre sınır C/N oranı 20' dir. Almanya kompostun son kullanımı için organik madde içeriğinin % 15' den büyük bir değer olması gerektiğini tavsiye etmektedir. Avrupa Komisyonu' nun toprak geliştiricileri ve yetiştirme ortamları için olan Eko-etiket Standartları' na göre organik madde % 20 değerinden az olmamalıdır. ABD' de Kompost Kalite Kurulu (CCQC) kompostu olgunluğuna göre değerlendirmek için Grup A ve B parametreleri belirlemiştir. Grup A parametrelerinden birisi olan oksijen alımı çok olgun, olgun ve olgun olmayan kompostlar için sırasıyla <0,5; 0,5-1,5 ve >1,5 O<sub>2</sub>/uçucu katı/saat olarak bildirilmiştir (Topal, 2013).

Atık depolama konusunda AB Direktifi ile Almanya' da sıkı düzenlemeler yapılmıştır ve ön arıtımsız atık depolama yasaklanmıştır. Böylece biyoparçalanabilir atıkların depolanması nedeniyle oluşan problemler minimize edilmiştir. AB Direktifi (1999) ile atık depolama gibi birçok çevresel konularda uygulamalar getirilmiştir. Hollanda ve Almanya gibi ülkelerde başarılı atık yönetimi programları geliştirilmiştir. AB Direktifi, biyoparçalanabilir atıkların toplanması, işlenmesi ve kompostlama sektörlerinin gelişmesinde önemli bir etkiye sahiptir. AB Direktifinin genel hedefleri

- Üye devletler arasında depolama standartlarına uyum
- Atık gaz emisyonlarının azaltılması
- Biyoparçalanabilir evsel atıkların arıtımı/ geri dönüşümü için ayrı toplamanın teşvik edilmesi
- Depolama ücretlerinin ve çevresel maliyetlerinin azaltılması şeklindedir.

AB Direktifi toprakta biyolojik parçalanabilir evsel atık miktarını sınırlamıştır. Biyolojik atık miktarının limitlendirilmesi kompostlama gibi uygun arıtım yöntemlerine doğru atığı yönlendirmektedir. AB Direktifine göre depolama ile uzaklaştırılan biyolojik evsel atık miktarı azaltılmaktadır. Buna göre;

- 2010 yılına kadar 1995 yılında üretilen miktarın % 75' i
- 2013 yılına kadar 1995 yılında üretilen miktarın %50' i
- 2020 yılına kadar 1995 yılında üretilen miktarın %35' i azaltılmalıdır.

Son 5 yılda Avrupa’ da merkezi kompostlama faaliyetleri sayısı her yıl ortalama % 25 büyümüştür. 1999’ da kompostlanan evsel atıkların miktarı önceki yıla göre % 21, 2000 yılında ise 1999 yılına göre % 29 büyümeye görülmüştür.

Avrupa’ da kompostlamayla ilgili düzenlemelerde özellikle kompostun ağır metal içeriği üzerinde durulduğu görülmektedir. Özellikle Avusturya’ da kompost kalite sınıfları ağır metal içeriğine göre belirlenmiştir. Almanya’ da kompost sınıfları, kompostun özellikleri veya kullanımına göre belirlenmektedir. Belçika’ da ise; kompost kalitesi, kullanılan ham maddeye göre belirlenmektedir. Esasen nihai kompostun kalitesi; kullanılan ham maddeye, ağır metal muhtevasına ve kullanım amacına bağlıdır. Çizelge 2.15’ da Avrupa Ülkelerindeki ağır metal limit değerleri belirtilmiştir.

**Çizelge 2.15.** Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri, mg/kg (Öztürk, 2008)

Ülke	Kalite Standardı	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Avusturya	Biyoatık Yönetmeliği A Sınıfı	1	70	150	0,7	60	120	500
Belçika	Tarım Bakanlığı	1,5	70	90	1	20	120	300
Danimarka	Tarım Bakanlığı	0,4	-	1000	0,8	30	120	4000
Almanya	Biyoatık Yönetmeliği Tip II	1,5	100	100	1	50	150	400
İrlanda	Taslak	1,5	100	100	1	50	150	350
Lüksemburg	Çevre Bakanlığı	1,5	100	100	1	50	150	400
Hollanda	İkinci Sınıf Kompost	1	50	60	0,3	20	100	200
İspanya	A Sınıfı	2	100	100	1	60	150	400
İsveç	Kalite Güvence Organizasyon	1	100	100	1	50	100	300
İngiltere	TCA Kalite Etiketli	1,5	100	200	1	50	150	400

## **Kompostlama ile ilgili Amerika'daki yasal durum**

ABD' de kompost ürünleri, Biyokatılar veya Gübreler Yönetmeliği ile yönetilmektedir. ABD' de ayrıca çeşitli eyaletlerin uyguladığı standartlar bulunmaktadır. Örneğin Teksas TNR CC, New York DEC, Washington Ekoloji Dairesi Standartları gibi farklı standartları vardır. Çeşitli eyaletler kompost kalitesi kurallarını benimsemiştir. Bu kurallar EPA Biyokatı Kurallarından ayrılmaktadır.

Kompost kalite standardı olarak pH, hijyen, iz element, toksik elementler, nem içeriği, C/N oranı, organik madde, tuz, yabancı madde, oksijen alım hızı, çimlenme, nitrat ve amonyum gibi parametreler dikkate alınmakta ve takip edilmektedir.

ABD Kompostlaştırma Konseyi Kompost Kullanımı Tarla Yönetmeliği kapsamında, kompostun uygulanabilmesi için pH değerinin 5 ila 8 arasında olması gerektiğini belirtmiştir. ABD'de bulunan Doğal Kaynak, Tarım ve Mühendislik Servisi (NRAS) tarafından ise kompost için pH değerlerinin 5,5 ila 8 arasında bir değer alması gerektiği belirlenmiştir. Tam patojen giderimi için kapalı kompostlama prosesinde kompostun 5 gün 55 °C'de kalması istenmektedir. ABD standartları, hem izin verilebilir metal konsantrasyonları hem de toprağa yapılacak yıllık ve en yüksek yükleme oranları göz önünde tutulduğunda, diğer ulusal standartlarla herhangi bir ilişki taşımamaktadır. ABD eyaleti olan Kaliforniya' da Kompost Kalite Kurulu (CCQC)' na göre C/N oranının Kanada' da olduğu gibi 25' den küçük olması gerektiği bildirilmiştir. Kanada' da, Kanada'da faaliyet gösteren, lisanslı bir sertifika kuruluşu olan BNQ'ya göre göre kompostun içerebileceği en düşük organik madde yüzdesi, yüksek kalitedeki kompostlar (AA ve A tipi kompostlar) için sırasıyla % 50 ve 40, iyi bir kompost için gereken en düşük gereksinimleri içeren B tipi kompostlar için ise % 30' dur. Kanada Bakanlar Konseyi (CCME)'ne göre organik madde >% 60 (ağırlıkça) olmalıdır. ABD' de, CCQC'nin kompostu olgunluğuna göre değerlendirmedeki Grup B parametrelerinden birisi olan NH<sub>4</sub> + -N/ NO<sub>3</sub> - -N oranı; çok olgun, olgun ve olgun olmayan kompostlar için sırasıyla <0,5; 0,5-3 ve >3 olarak bildirilmiştir (Topal, 2013).

## **2.5.8. Türkiye'deki kompost tesisleri**

### **İstanbul Kemerburgaz Kompost Tesisi**

İstanbul genelinde toplanan organik içerikli evsel atıklar, 2001 yılında hizmet vermeye başlayan Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisi'nde kontrollü şartlar altında mikroorganizmaların aktivitesi ile doğal olarak işlenmektedir. Günlük 1000 ton evsel atık işleme kapasitesine sahip tesiste; yılda ortalama 20.000 ton toprağı ıslah edici, organik değeri yüksek kompost üretilmektedir. Kompost oluşum süreci 8 hafta olup kompost üretimi ön şartlandırma, ana çürüme, ayırma aşamalarından oluşmaktadır (Anonim 2015b).

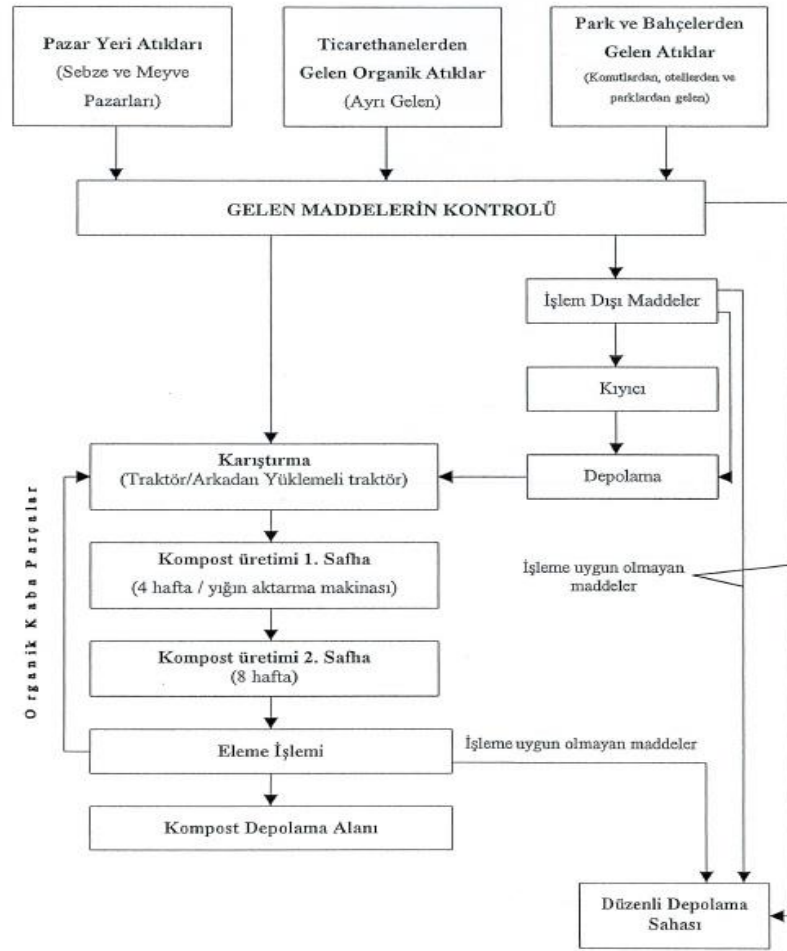
### **Kemer Kompost Tesisi**

1998 yılında Antalya'nın Kemer ilçesinde kurulan kompost tesisi yerleşim yerlerinin katı atık problemini çözmek amacıyla kurulmuştur. Kapasitesi 150 Ton/gün olan tesis Gatap-Aldaş kontrolünde çalışmaya devam etmektedir. Kompost üretimi su ayırma ünitesi, manyetik bant, tambur elek, brikolare pres, hava basma, biyofitre aşamalarından oluşmakta olup kompost oluşum süresi 8 haftadır (Anonim 2015c).

### **Denizli Kompost Tesisi**

Denizli Kompost Tesisinde, organik atıklar ayrı toplanarak tesis içerisinde hava, su ve sıcaklık yardımıyla parçalanarak kompost haline getirilmektedir. Park, bahçe, pazar yeri ve hal atıkları da tesise kabul edilerek ayıklama, parçalama, yığın oluşturma ve çürütme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Kompost 12-13 haftalık bir süreç sonrasında elde edilmektedir.

Kompost tesisinde üretilen kompost park ve bahçe düzenlemeleri, bağcılık, kültür mantarı ve süs bitkileri yetiştiriciliğinde değerlendirilmektedir. Denizli Kompost Tesisi İş Akım Şeması Şekil 2.15'de gösterilmektedir (Anonim 2016).



Şekil 2.15. Denizli Kompost Tesisi iş akım şeması (Anonim 2016)

### Ekosol Farm Kompost Tesisi

Ekosol Tarım, 2002 yılında Solucan Gübresi üretimi için Eisenia Foetida Kültür Solucanları ile çalışmaya başlamış olup 2005 yılında Ekosol Ticari ünvanını alarak Solucan Gübresini Türk Tarımı ile tanıştırmıştır. Manisa-Saruhanlı ilçesinde bulunmaktadır. Kapasitesi 400 ton/yıl'dır. Kompostlama işleminde büyükbaş hayvan gübresi, arpa ve buğday sapı kullanılmaktadır (Anonim 2017a).

### Argesol Tarım Kompost Tesisi

Balıkesir Gönen'de bulunan Argesol Tarım'a ait kompost tesisi 2015 yılında kurulmuştur. KapasiteSİ 350 ton/yıl olan tesiste, %80 hayvan gübresi ve %20 bitkisel atık kullanılarak kompostlama işlemi yapılmaktadır. Kompost oluşumu için 1 ay

gereklidir. Üretilen kompost paketlenerek tarım amaçlı kullanılmak üzere satışa sunulmaktadır (Anonim 2017b).

### **Mega Tesnim Kompost Tesisi**

1993 yılında Konya’da kurulan Mega Tesnim mantar üretim firması aktif olarak kompost üretimine 2005 yılında başlamıştır. Tesis, 45.084.04m<sup>2</sup> arazi üzerinde 3.500m<sup>2</sup> kapalı, 4.000m<sup>2</sup> kompost hazırlama platformu, 6 Adet 100 ton kapasiteli pastörize tünelleri, 38 adet kültür mantarı üretim odaları ile yıllık 31.200 ton kompost ve 1206 ton kültür mantarı üretim kapasitesine sahiptir (Anonim 2015d).

Kompost üretimi için minimum 1 ay gereklidir. Kompost karışımı için buğday sapı, tavuk gübresi, kepek ve alçı kullanılmaktadır. Üretilen kompost mantar yetiştiricilerine satışa sunulmaktadır.

### **Özdal Kompost Tesisi**

Özdal Kompost Tesisi, Antalya ilinin önde gelen İnşaat ve Turizm şirketlerinden olan Özdal İnş. Tur. Tar. Tic. Ltd. Şti. ’ne ait Korkuteli ilçe sınırları içerisinde kurulmuş mantar kompostu üretimi yapan bir işletmedir.

2002 yılında kompost üretimine başlanan tesiste, kompost karışımı için buğday ve tavuk gübresi kullanılmaktadır. Günlük 80 ton kompost üretilmektedir. Üretilen kompost tarım alanında kullanılmak üzere satışa sunulmaktadır (Anonim 2003).

### **Biosun Pamukova Kompost Tesisi**

Biosun Pamukova Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş. Türkiye’de enerji alanında yaptığı yatırımlarla öne çıkan Hexagon Grubu ile Kıraça Holding’in ortak iştiraki olarak kurulmuştur. Sakarya iline bağlı Pamukova ilçesinde kurulmuş olan Biosun Pamukova Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş., evsel ve hayvansal katı atıkların toplanması, aktarılması, ayrıştırılması ve geri kazanımı alanında



faaliyet gösteren ve entegre katı atık yönetim tesisi olarak kurulmuş dünyadaki ilk tesistir (Anonim 2012).

Kompost karışımı için evsel atık, hayvan gübresi, tarım atıkları, tavuk gübresi, organik atıksu arıtma tesisi çamurları reaktörlerde hazırlanarak yılda 36.000 ton kompost üretimi gerçekleştirmektedir. Kompost oluşum süresi 1 ay olmakla birlikte kompostlanmış organik madde zenginleştirilerek organomineral gübre haline getirilip tarım firmalarına satışa sunulmaktadır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

Bu çalışmada boya çamuru, on dört farklı reaktörde farklı düzenleyici katkı malzemeleriyle kompostlamaya tabi tutulmuş olup fiziksel kimyasal değişimleri incelenmiştir. Otomotiv endüstrisi boya çamuru (BÇ), ayçiçeği sapı (AÇ), mısır koçanı (MK) ve fıstık kabuğu (FK) karıştırılarak kompostlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşı maddesi olarak gıda endüstrisi arıtma çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır.

##### **3.1.1.Boya çamuru**

Kompostun ana materyali olan boya çamuru atıkları Bursa İli' nde faaliyet gösteren bir otomobil fabrikasından alınmıştır. Boya çamurları otomobil parçalarının püskürme yöntemi ile boyanması sonucunda prosesin sonunda oluşan atıklardır. Kompostlama prosesinde su bazlı boya çamurları kullanılmıştır.

##### **3.1.2.Gıda endüstrisi arıtma çamuru**

Çalışmada kullanılan gıda prosesi arıtma çamuru örneği, Bursa İli' nde bulunan bir gıda fabrikasının atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Arıtma çamuru kompostlama işleminde aşı maddesi olarak kullanılmıştır.

##### **3.1.3.Endüstriyel arıtma çamuru**

Çalışmada kullanılan endüstriyel arıtma çamuru örneği, Bursa İli' nde faaliyet gösteren bir otomobil fabrikasının atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Arıtma çamuru kompostlama işleminde aşı maddesi olarak kullanılmıştır.

##### **3.1.4.Mısır koçanı**

Kompost çalışmasında uygun nem ve C/N değerinin sağlanması gerekmektedir. Hem nemin ayarlanabilmesi hem de uygun C değerinin sağlanabilmesi için gözenek maddesi

olarak mısır koçanı kullanılmıştır. Mısır koçanı Bursa İli 'nde bulunan bir gıda fabrikasından alınmıştır. Kullanılan mısır koçanı 1-2 cm boyutlarında öğütülmüştür.

### **3.1.5.Ayçiçeği sapı**

Kompost çalışmasında uygun nem ve C/N değerinin sağlanması gerekmektedir. Hem nemin ayarlanabilmesi hem de uygun C değerinin sağlanabilmesi için gözenek maddesi olarak ayçiçeği sapı kullanılmıştır. Ayçiçeği sapı Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi çiftliklerinden temin edilmiştir. Boyutları büyük olması sebebiyle Uludağ Üniversitesi Ziraat Mühendisliği bölümüne ait öğütücülerde kompostlama işlemi için uygun partikül boyutu olan, 1-2 cm boyutlarına gelene kadar öğütülmüştür.

### **3.1.6.Fıstık kabuğu**

Kompost çalışmasında uygun nem ve C/N değerinin sağlanması için gözenek maddesi olarak fıstık kabuğu kullanılmıştır. Fıstık kabuğu, Osmaniye İli'nden fıstığı ayrılmış halde kabuk olarak çuval içerisinde, öğütülmüş şekilde gönderilmiştir.

## **3.2.Yöntem**

### **3.2.1.Kompost karışımının hazırlanması**

Kompostlama işlemi on dört ayrı reaktörde, su bazlı boya çamuruna farklı aş maddeleri ve gözenek maddesi olarak ayçiçeği sapı, mısır koçanı ve fıstık kabuğu kullanılarak hazırlanmıştır (Uçaroğlu ve ark 2016).

Reaktörler hazırlanırken nemli ağırlıklar baz alınmıştır. B<sub>1</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 40, gıda endüstrisi arıtma çamuru% 40, ayçiçeği sapı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranlarda toplam 10623 gr boya çamuru, gıda endüstrisi arıtma çamuru ve ayçiçeği sapı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>1</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>2</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 40, gıda endüstrisi arıtma çamuru % 40 ve fıstık kabuğu % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 15892,14 gr boya çamuru, fıstık kabuğu ve gıda endüstrisi arıtma çamuru

homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>2</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>3</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 40, gıda endüstrisi arıtma çamuru % 40 ve mısır koçanı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 13609,49 gr boya çamuru, mısır koçanı ve gıda endüstrisi arıtma çamuru homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>3</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>4</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 80 ve ayçiçeği sapı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 9476 gr boya çamuru ve ayçiçeği sapı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>4</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>5</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 40, endüstriyel arıtma çamuru % 40 ve ayçiçeği sapı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 8210 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve ayçiçeği sapı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>5</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>6</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 60, endüstriyel arıtma çamuru % 20 ve ayçiçeği sapı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 8022 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve ayçiçeği sapı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>6</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>7</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 50, endüstriyel arıtma çamuru % 40 ve ayçiçeği sapı % 10 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 10220 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve ayçiçeği sapı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>7</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>8</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 50, endüstriyel arıtma çamuru % 50 ve gözenek maddesi olarak içi boşluklu küçük plastik parçalar kullanılmıştır. Bu oranda toplam 14108 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve içi boşluklu küçük plastik parçalar homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>8</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>9</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 60, endüstriyel arıtma çamuru % 20 ve mısır koçanı % 20 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 12164 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>9</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>10</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 60, endüstriyel arıtma çamuru % 25 ve mısır koçanı % 15 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 12083 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>10</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>11</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 60, endüstriyel arıtma çamuru % 10 ve mısır koçanı % 30 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 8096 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>11</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>12</sub> reaktörü için

karışıma alınacak olan boya çamuru % 60, endüstriyel arıtma çamuru % 10 ve ayçiçeği sapı % 30 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 6100 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>12</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>13</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 70, endüstriyel arıtma çamuru % 15 ve mısır koçanı % 15 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 12184 gr boya çamuru, endüstriyel arıtma çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>13</sub> reaktörüne doldurulmuştur. B<sub>14</sub> reaktörü için karışıma alınacak olan boya çamuru % 70 ve mısır koçanı % 30 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranda toplam 9324 gr boya çamuru ve mısır koçanı homojen bir şekilde karıştırılarak B<sub>14</sub> reaktörüne doldurulmuştur. Çizelge 3.1’de tüm reaktörlerin karışım reçetesi belirtilmiştir.

Reaktörler, kompost karışımları hazırlandıktan sonra aktif kompost fazında 28 gün boyunca çalıştırılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kompost reaktörlerin karışım reçeteleri

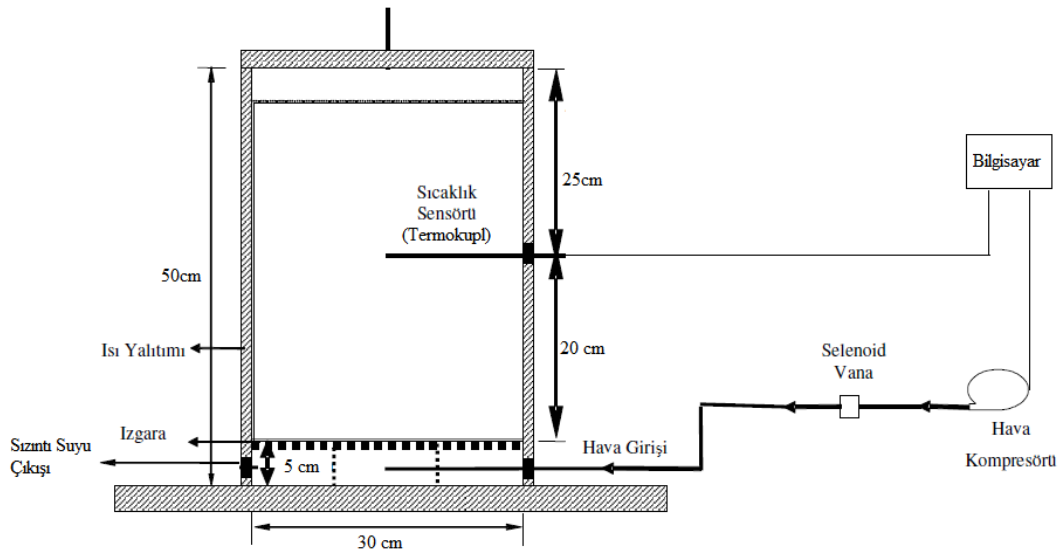
Materyal			B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>
<b>Boya Çamuru</b>			40	40	40	80	40	60	50	50	60	60	60	60	70	70
<b>Gıda</b>	<b>Endüstriyel</b>	<b>Arıtma</b>	40	40	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Çamuru</b>																
<b>Endüstriyel Arıtma Çamuru</b>			-	-	-	-	40	20	40	50	20	25	10	10	15	
<b>Mısır Koçanı</b>			-	-	20	-	-	-	-	-	20	15	30	-	15	30
<b>Ayçiçeği Sapı</b>			20	-	-	20	20	20	10	-	-	-	-	30	-	-
<b>Fıstık Kabuğu</b>			-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2.2. Kompost reaktörü

Aerobik kompostlama işlemi kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de kompostlama reaktörünün görünümü verilmektedir. Reaktörlere hava 8 çıkışlı 1 adet akvaryum pompası vasıtasıyla, rotometreden geçirilip debisi ayarlanarak verilmiştir.

Havalandırma, zaman ayarlayıcıya bağlı selenoid vana kullanılmak suretiyle 1 saatte 15 dakika 600–700 ml/dk hava verecek şekilde yapılmıştır. Havanın karışımın içine homojen olarak dağılmasını sağlamak için, reaktör tabanından 5 cm yükseklikte ızgara koyulmuştur. Reaktörlerdeki sıcaklık verileri sıcaklık sensörü vasıtasıyla ölçülmüştür. Dakikada bir ölçülen sıcaklık verileri bilgisayar ortamında otomatik olarak kaydedilmiştir. Atık kütesinin sıcaklığını korumak, çevreyle ısı alış-verişini önlemek amacıyla reaktör yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Reaktörler havalı kompostlama reaktörleri olup, paslanmaz ve çelik malzemeden üretilmiştir.

Reaktörlerin iç çapı 300 mm, et kalınlığı 10 mm ve yüksekliği 450 mm' dir. Faydalı hacmi ise 30 litredir.



Şekil 3.1. Aerobik kompost reaktörü

### 3.2.3. Ham malzemeler ve kompost örneklerinde yapılan analizler

Belirli oranda karıştırılan boya çamuru, arıtma çamuru ve düzenleyici katkı maddeleri reaktörlere konulduktan sonra 0, 2, 7, 14, 21 ve 28. günlerde karışımlardan örnekler alınmıştır. Reaktörlerin içinden örnek alınmadan önce her reaktör de tartılmış ve ayrı ayrı hepsi karıştırılarak, farklı noktalarından belirli miktarlarda örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde aşağıdaki parametrelerin analizleri yapılmıştır.

### **Kuru madde ve nem**

Rektörlerden 0, 2, 7, 14, 21 ve 28. günlerde alınan örnekler 3 ayrı paralel şekilde analizlenmek üzere 3 ayrı krozeze alınmıştır. 105 °C' de sabit ağırlığa gelene kadar bekletilen örneklerde ağırlık kaybına göre kuru madde miktarı hesaplanmıştır (Kaçar, 1990).

Kuru madde miktarı 100' den çıkartılarak nem miktarı hesaplanmıştır (Okalebo ve ark. 1993; Diaz ve ark. 2007; Khalil ve ark. 2011).

### **Organik madde**

Reaktörlerden 0, 2, 7, 14, 21 ve 28. günlerde alınan örneklerin organik madde içeriği 550 °C' de 1 saat kül fırınında yakılarak ölçülmüştür (APHA, AWWA and WEF, 1998).

### **Organik karbon**

Organik madde miktarı 1,83' e bölünerek organik karbon içeriği hesaplanmıştır (Barrington ve ark., 2002).

### **Toplam azot**

Toplam azot içeriğinin belirlenmesi için kjedahl yöntemiyle yakma yapılmış ve toplam azot konsantrasyonu su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremmer ve Mulvaney, 1982).

### **C/N oranı**

Belirlenen organik karbon miktarının % azot miktarına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

### **pH ve elektriksel iletkenlik**

1:10 saf su ekstraktında, iletkenlik ölçer cihazı ile elektriksel iletkenliği, pH metre ile de pH' ı belirlenmiştir (McLean 1982, Rhoades 1982).

#### **4.BULGULAR ve TARTIŞMA**

Yapılan deneysel çalışmalarda 28 gün süreyle, reaktörlere yerleştirilen malzemelerden 0. gün, 2. gün, 7. gün, 14. gün, 21. gün ve 28. gün alınan örneklerde ve ham materyallerde incelemeler yapılmış ve sıcaklık, kuru madde ve nem, organik madde, pH, EC, TKN ve C/N oranındaki değişimler gözlenmiştir.

##### **4.1.Ham Materyallerin ve Kompost Karışımlarının Karakterizasyonu**

Boya çamuru, gıda endüstrisi arıtma çamuru ve endüstriyel arıtma çamuru farklı her reaktör için ayrı zamanlarda temin edilmiştir. Boya çamurlarının kompostlanmasında kullanılan katkı maddeleri % 80,0 ile % 91,6 aralığında organik madde içeriğine sahiptir. Organik madde içeriği, aşı maddesi olarak kullanılan gıda endüstrisi arıtma çamurunda % 65,38 iken endüstriyel arıtma çamurunda % 25,71 ile % 40,70 aralığında değişmektedir. Ana materyal olan boya çamurunun organik madde içeriği ise % 65,87 ile % 72,70 aralığındadır. Boya çamuru ve arıtma çamurları yüksek nem içeriğine ve düşük C/N oranına sahip oldukları için bu oranları düzenlemek amacıyla katkı maddeleri kullanılmıştır. Boya çamurlarının organik karbon içeriği % 36,0 ile % 39,72 aralığında olup, katkı maddelerinin organik karbon içeriği % 31,6 ile % 47 aralığındadır. Ham materyallerin temin edildiği her dönemde yeniden karakterizasyonlarına bakılmıştır. Çizelge 4.1'de ham materyal olarak kullanılan malzemelerin karakterizasyonları belirtilmiştir.



**Çizelge 4.1.** Ham materyallerin karakterizasyonu

Parametreler	Boya Çamuru (09.11.2015)	Boya Çamuru (08.03.2016)	Boya Çamuru (19.04.2016)	Boya Çamuru (09.06.2016)
Nem, %	53,26	56,21	61,19	52,93
OM, %	72,70	65,87	67,68	72,62
OC, %	39,72	36,00	37,00	39,68
TKN, %	1,01	2,81	3,70	3,42
C/N	39,32	12,81	10	11,6
pH	5,99	10,5	9,4	9,4
EC	0,96	9,59	0,96	0,96

Parametreler	Endüstriyel Arıtma Çamuru (08.03.2016)	Endüstriyel Arıtma Çamuru (19.04.2016)	Endüstriyel Arıtma Çamuru (09.06.2016)	Gıda Endüstrisi Arıtma Çamuru (09.11.2015)
Nem, %	50,71	54,7	39,7	88,3
OM, %	40,70	37,85	45,3	65,38
OC, %	22,30	20,70	14,05	35,72
TKN, %	1,39	0,85	1,25	5,73
C/N	16,04	24,35	11,24	6,23
pH	12,7	12,7	12,7	6,42
EC	2,4	2,4	2,4	2,43

Parametreler	Ayçiçeği Sapı	Fıstık Kabuğu	Mısır Koçanı
Nem, %	10,3	21,50	12,17
OM, %	91,6	85,80	82,93
OC, %	50,1	49,9	45,3
TKN, %	0,48	0,54	0,50
C/N	104,37	92,40	90,6
pH	6,7	5,6	5,16
EC	0,2	3,52	3,08

9 Kasım 2015 tarihinde temin edilen boya çamurunu nem oranı % 53,26 olup B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörler için kullanılmıştır. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinde aşı maddesi olarak kullanılan gıda endüstrisi arıtma çamuru 9 Kasım 2015 tarihinde temin edilmiş olup nem oranı % 88,3'tür. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinde kullanılan düzenleyici katkı maddelerinin nem oranı % 10-25 arasında değişmekte olup oldukça düşüktür. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinin nem oranları düzenleyici katkı maddeleri kullanılarak Kompost Tebliği ve literatürde belirtilen başlangıç değerlerine getirilmiştir. Başlangıçtaki nem oranının % 30-40 aralığında olması istenmektedir (Erdin 2005). Belirlenen reçetelerde hazırlanan karışımların sırasıyla nem oranları % 60,26, % 56,52 ve % 63,99 olarak ölçülmüştür. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinde hazırlanan karışımların organik madde içeriği, sırasıyla % 75,77, % 79,38 ve % 75,85 olarak ölçülmüştür.

Karışımların organik karbon içeriği ise B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörleri için sırasıyla % 42,51, % 43,13 ve % 42,32 olarak ölçülmüş olup literatürde belirtilen başlangıç değerlerine getirilmiştir.

8 Mart 2016 tarihinde temin edilen boya çamurunu nem oranı % 56,21 olup B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörler için kullanılmıştır. B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörlerinde aşı maddesi olarak kullanılan endüstriyel arıtma çamuru 8 Mart 2016 tarihinde temin edilmiş olup nem oranı % 50,71'dir. B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktöründe gözenek maddesi olarak kullanılan ayçiçeği sapının nem oranı %10,3 olarak belirlenmiştir. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinin belirlenen reçetelerde hazırlanması sonucunda sırasıyla nem oranlar % 47,45, % 47,65 ve % 49,07 olarak ölçülmüştür.

B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörlerinde kullanılan boya çamurunun organik madde içeriği (OM) % 65,87 olarak belirlenmiştir olup B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörlerinde kullanılan endüstriyel arıtma çamurunun % 40,70, ayçiçeği sapının 91,6'dır. Karışımların organik madde içeriği ise B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörleri için sırasıyla % 74,95, % 60,57 ve % 71,64 olarak ölçülmüştür.

Boya çamurunun organik karbon içeriği % 36 olarak belirlenmiş olup B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörlerinde kullanılan endüstriyel arıtma çamurunun % 22,30, ayçiçeği sapının %

50,39'dur. Karışımların organik karbon içeriği ise B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> reaktörleri için sırasıyla % 40,72, % 32,75 ve % 39,14 olarak ölçülmüştür.

19 Nisan 2016 tarihinde temin edilen boya çamurunu nem oranı % 61,19 olup B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörler için kullanılmıştır. B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörlerinde aşı maddesi olarak kullanılan endüstriyel arıtma çamuru 19 Nisan 2015 tarihinde temin edilmiş olup nem oranı % 54,7'tür. B<sub>7</sub> reaktöründe gözenek maddesi olarak kullanılan ayçiçeği sapının nem oranı % 10,3, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktöründe kullanılan mısır koçanının nem oranı % 12,12 olarak belirlenmiştir. B<sub>8</sub> reaktöründe gözenek maddesi olarak delik plastik parçalar kullanılmıştır. B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörlerinin belirlenen reçetelerde hazırlanması sonucunda sırasıyla nem oranlar % 53,57, % 57,71, % 48, % 52,13 ve % 47,03 olarak ölçülmüştür.

B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörlerinde kullanılan boya çamurunun organik madde içeriği (OM) % 67,68 olarak belirlenmiştir olup endüstriyel arıtma çamurunun % 37,85, ayçiçeği sapının % 91,6 ve mısır koçanının % 82,93'tür. Karışımların organik madde içeriği ise B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörleri için sırasıyla % 59,65, % 56,59, % 72,37, % 69,12 ve % 75,57 olarak ölçülmüştür.

Boya çamurunun organik karbon içeriği % 37 olarak belirlenmiştir olup endüstriyel arıtma çamurunun % 20,7, ayçiçeği sapının % 50,39 ve mısır koçanının % 45,32'dir. Karışımların organik karbon içeriği ise B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörleri için sırasıyla % 32,59, % 30,92, % 37,86, % 37,77 ve % 41,29 olarak ölçülmüştür.

9 Haziran 2016 tarihinde temin edilen boya çamurunu nem oranı % 63,4 olup B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörler için kullanılmıştır. B<sub>12</sub> ve B<sub>13</sub> reaktörlerinde aşı maddesi olarak kullanılan endüstriyel arıtma çamuru 9 Haziran 2016 tarihinde temin edilmiş olup nem oranı % 39,7'dir. B<sub>12</sub> reaktöründe gözenek maddesi olarak kullanılan ayçiçeği sapının nem oranı % 10,3, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde kullanılan mısır koçanının nem oranı % 12,12 olarak belirlenmiştir. B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinin belirlenen reçetelerde hazırlanması sonucunda sırasıyla nem oranlar % 38,65, % 45,41 ve % 45,59 olarak ölçülmüştür.

B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde kullanılan boya çamurunun organik madde içeriği (OM) % 72,62 olarak belirlenmiştir olup endüstriyel arıtma çamurunun % 45,3, ayçiçeği sapının % 91,6 ve mısır koçanının % 82,93'tür. Karışımların organik madde içeriği ise B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri için sırasıyla % 80,08, % 72,62 ve % 82,27 olarak ölçülmüştür.

Boya çamurunun organik karbon içeriği % 39,68 olarak belirlenmiştir olup endüstriyel arıtma çamurunun % 14,05, ayçiçeği sapının % 50,39 ve mısır koçanının % 45,32'dir. Karışımların organik karbon içeriği ise B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri için sırasıyla % 43,75, % 39,68 ve % 44,95 olarak ölçülmüştür. Aerobik kompost reaktörlerine yerleştirilen boya çamuru, gıda endüstrisi arıtma çamuru, endüstriyel arıtma çamuru, mısır koçanı, ayçiçeği sapı, fıstık kabuğu ile hazırlanan kompost karışımlarının karakterizasyonu Çizelge 4.2' de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Kompost karışımlarının karakterizasyonu

	<b>0.Gün Toplam</b>	<b>28.Gün Toplam</b>	<b>En Yüksek</b>	<b>0.Gün % Nem</b>	<b>0.Gün C/N</b>
	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Sıcaklık</b>		
<b>B<sub>1</sub></b>	10623	7765,66	50,1 °C (4. Gün)	60,26	11,63
<b>B<sub>2</sub></b>	15892,14	12830	47,5 °C (5. Gün)	56,52	10,57
<b>B<sub>3</sub></b>	13609,49	9746	49,3 (3. Gün)	63,2	14,06
<b>B<sub>4</sub></b>	9476	7948	46,5 (5. Gün)	48,4	16,31
<b>B<sub>5</sub></b>	8210	6456	51,7 (11. Gün)	47,65	15,37
<b>B<sub>6</sub></b>	8022	6480	51,4 (8. Gün)	49,07	15,53
<b>B<sub>7</sub></b>	10220	8660	38,3	53,57	15,37
<b>B<sub>8</sub></b>	14108	13274	28,1	57,71	14,65
<b>B<sub>9</sub></b>	12164	98,62	50,4 (4. Gün)	48	14,12
<b>B<sub>10</sub></b>	12083	9342,04	51,1 (3. Gün)	52,13	19,36
<b>B<sub>11</sub></b>	8096	6372,92	59,8 (8. Gün)	47,8	18,5
<b>B<sub>12</sub></b>	6100	4444,87	44,8 (9. Gün)	36,65	12,87
<b>B<sub>13</sub></b>	12184	9191,2	56,9 (2. Gün)	45,41	11,53
<b>B<sub>14</sub></b>	9324	7051,91	56,3 (5. Gün)	45,59	12

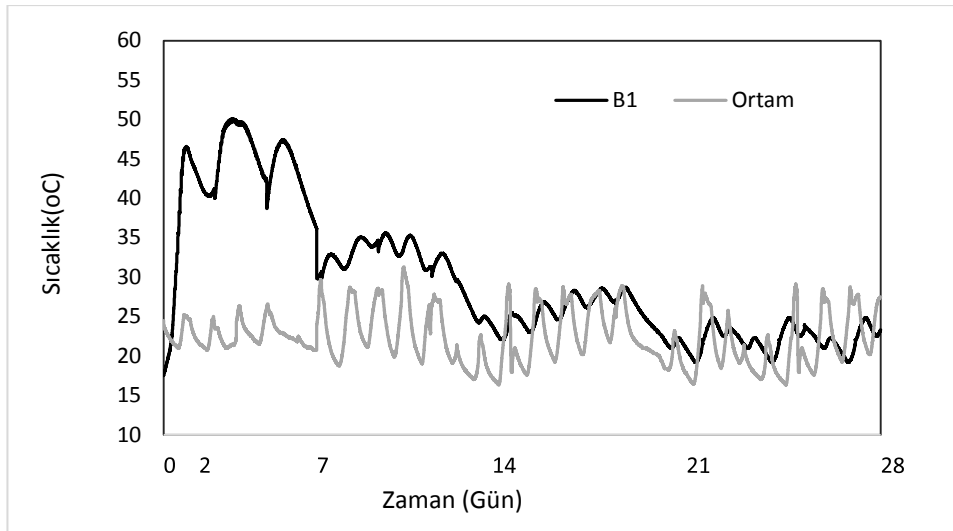
## 4.2.Kompostlama Karışımlarında Meydana Gelen Değişiklikler

### 4.2.1.Sıcaklık

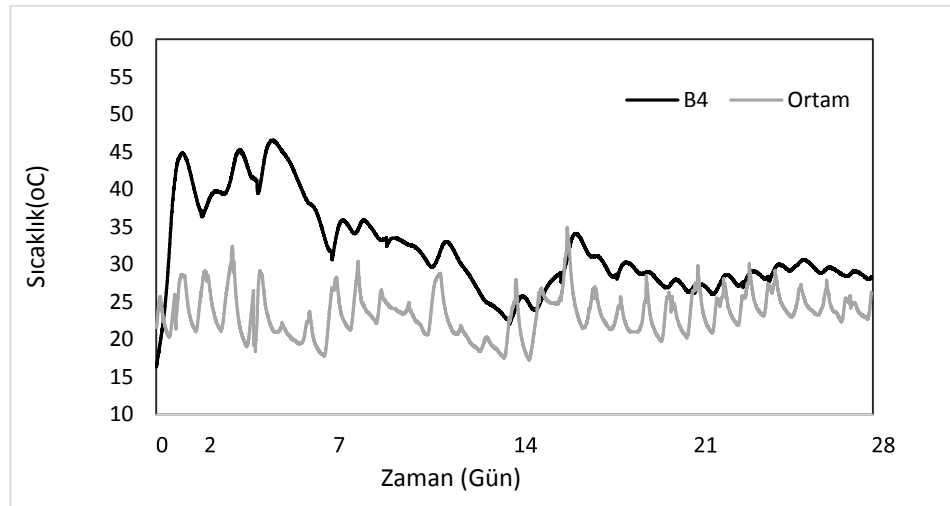
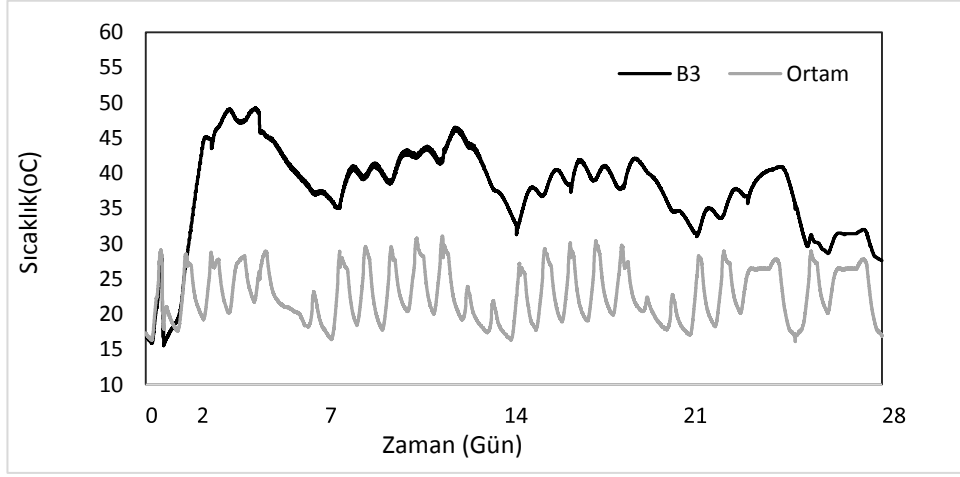
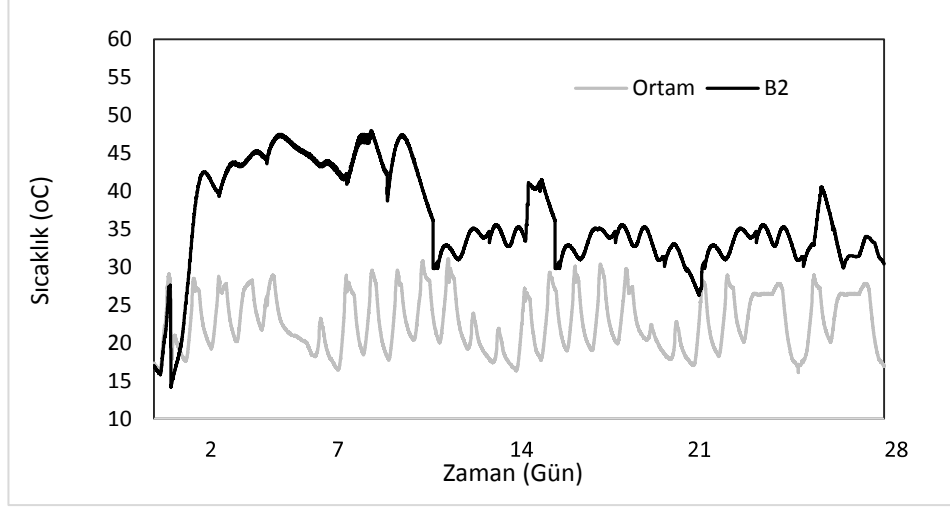
Her reaktör için sıcaklık değişimleri dakikada bir veri alınacak şekilde reaktörlere yerleştirilen probalar ile izlenmiştir. Sıcaklık verileri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

Kompostlama esnasında mikrobiyal bozunma ile fazla miktarda enerji, ısı şeklinde açığa çıkar ve kompostlama maddesinin kendi kendine parçalama özelliği ısı birikimine yol açarak sıcaklığın yükselmesine neden olur.

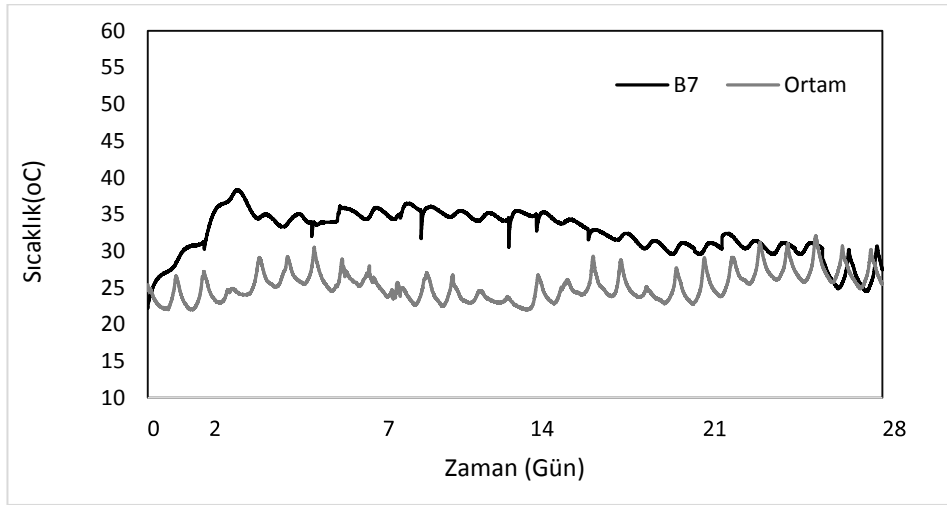
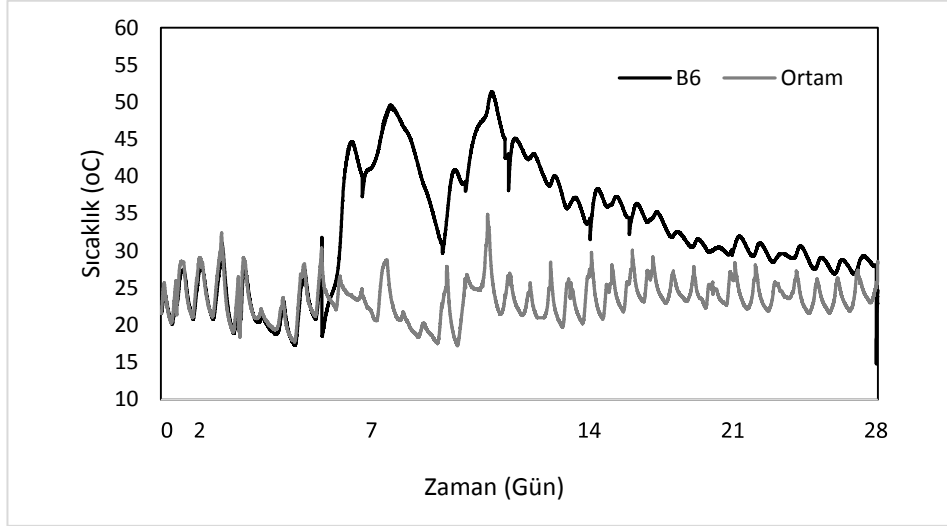
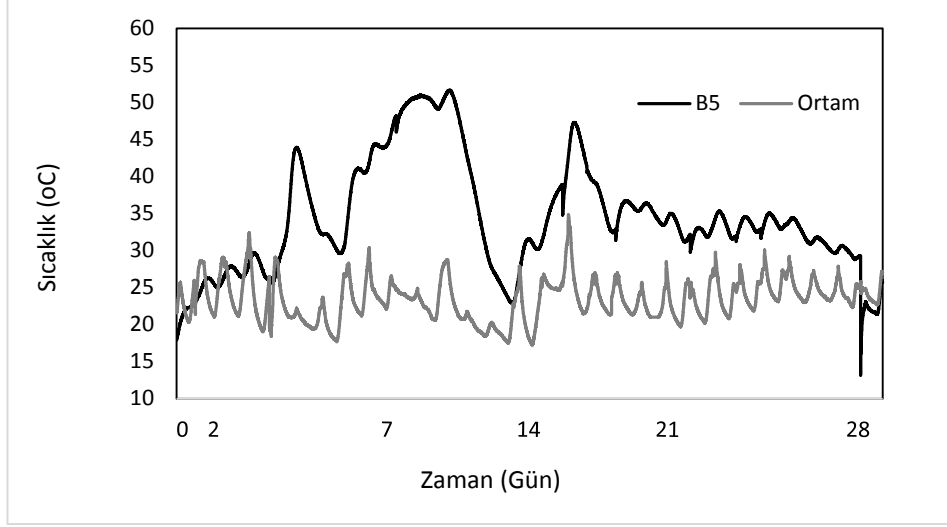
28 gün boyunca B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerindeki sıcaklık değişimi izlenmiş ve sırasıyla Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar

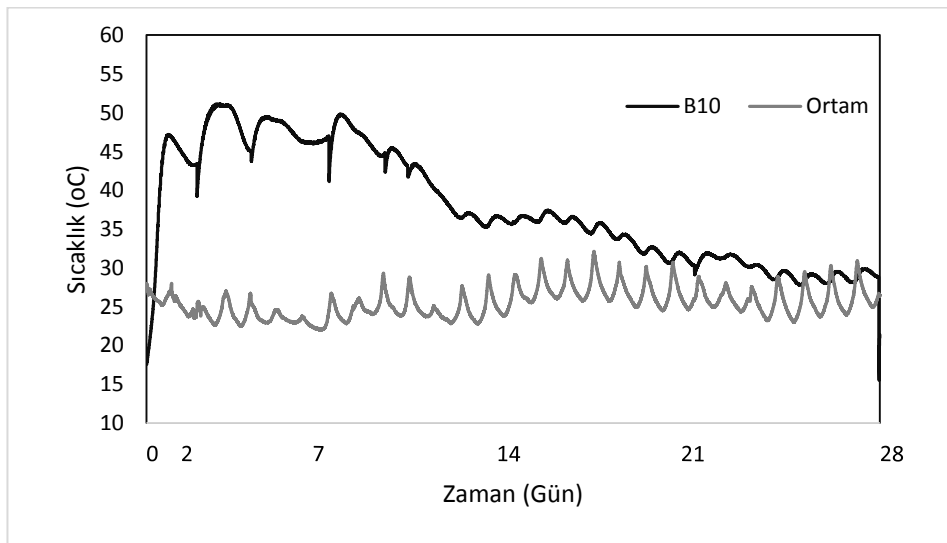
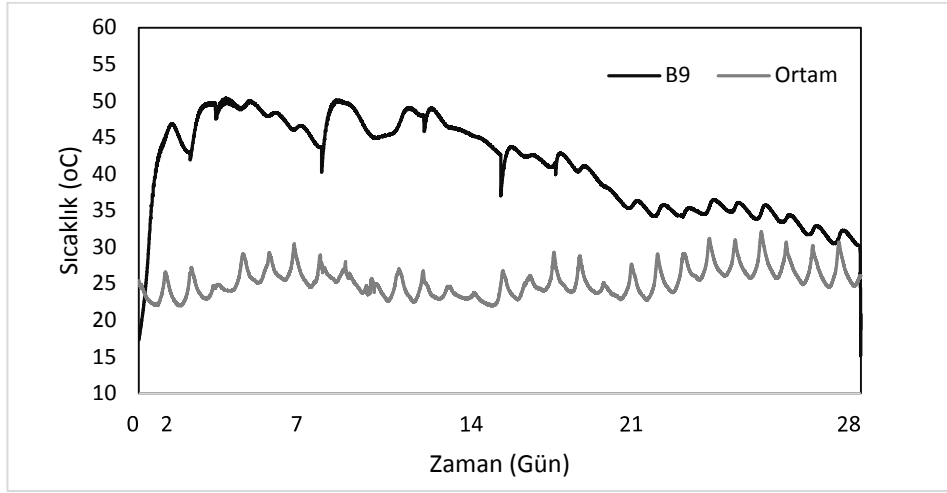
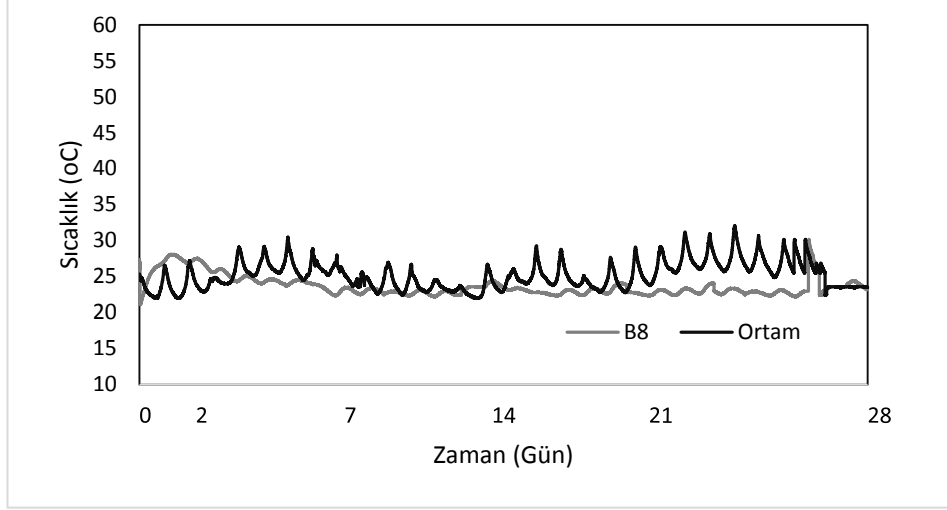


**Şekil 4.1.** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar (devam)

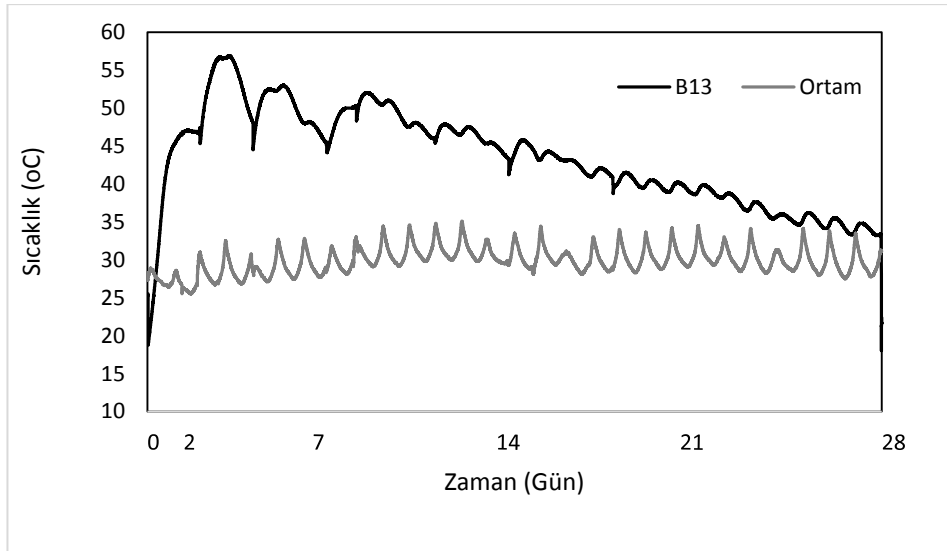
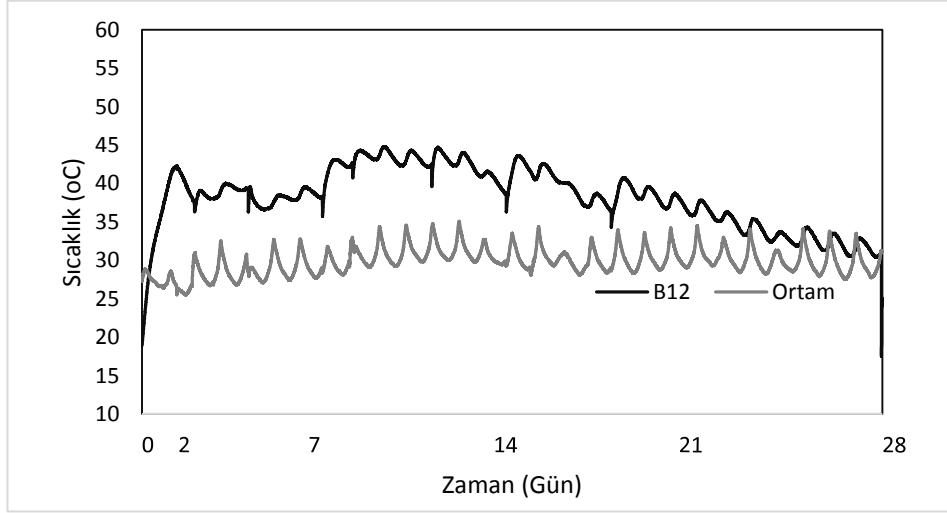
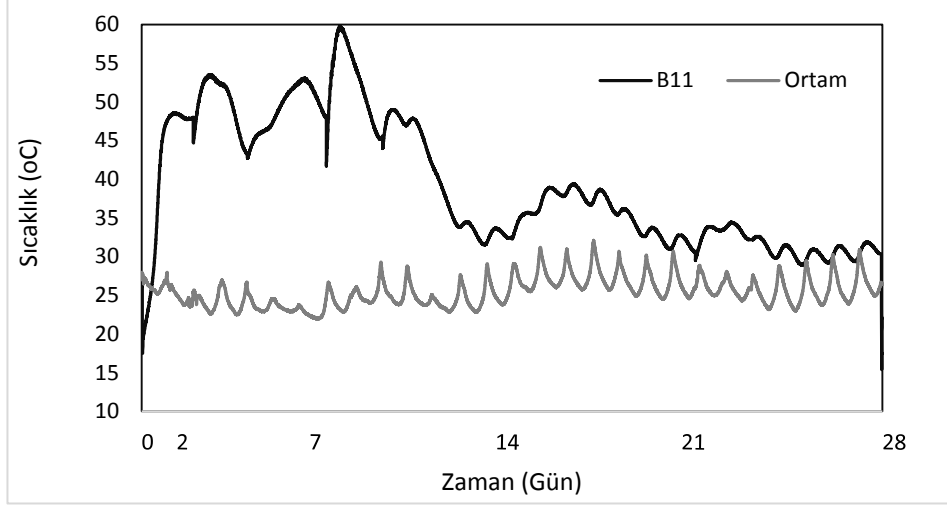


Şekil 4.1. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar (devam)

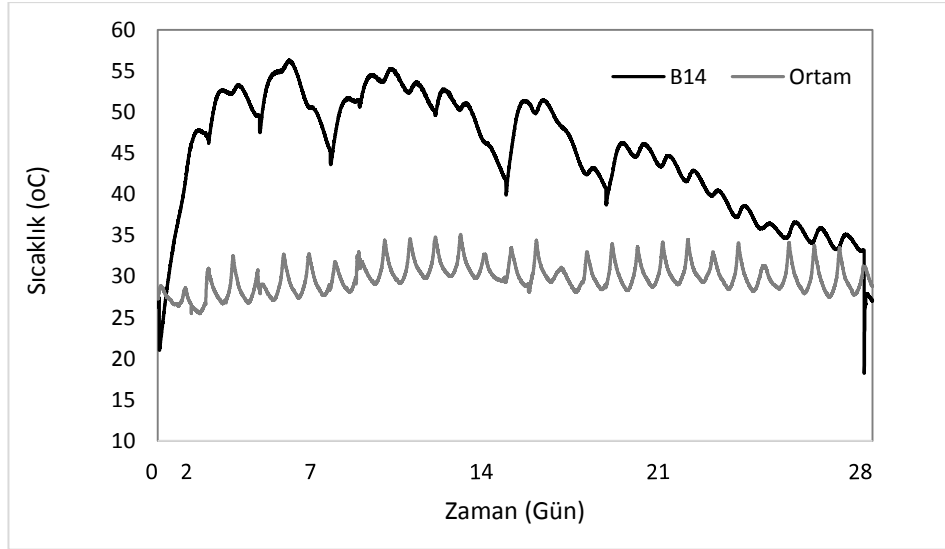




Şekil 4.1. Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar (devam)



**Şekil 4.1.** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar (devam)



**Şekil 4.1.** Kompost reaktörlerindeki sıcaklıklar (devam)

Reaktörlerdeki mikrobiyal aktivite sonucu sıcaklıkta hızlı bir artış gerçekleşmiş ve ilk iki gün sıcaklık B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub> ve B<sub>8</sub> reaktörleri dışındaki bütün reaktörlerde 40 °C' nin üzerine çıkmıştır. Reaktörlerde iki günde bir karıştırma yapılmış ve sıcaklıkta kısa süreli düşüşler gözlenmiştir. Sıcaklıktaki düşüş reaktörün karıştırılması esnasında reaktör sıcaklığının belli oranda kaybedilmesinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklık artışının nedeni ise karıştırma sonucunda katı partiküllerin parçalanarak mikrobiyal faaliyetlerin gerçekleşebileceği yüzey alanının artması, kütlelerin tamamının iyi bir şekilde havalandırılması bakımından homojen hale gelmesidir. Prosesin sonlarına doğru kolay ayrışabilir organik maddeler azaldığından sıcaklık düşmeye başlayarak ortam sıcaklığına ulaşmaktadır (Robin ve ark. 2002). Önemli derecede patojen kontrolü için atıklar reaktörde en az 5 gün 40 °C' de kalmalıdır ve bu süre içinde sıcaklık 4 saat boyunca 55 °C' yi aşmalıdır (USEPA, 1993).

B<sub>7</sub> ve B<sub>8</sub> reaktörleri dışında bütün reaktörler 40 °C' yi aşmış olup, B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri dışında hiçbir reaktör 55<sup>0</sup> C' yi aşamamıştır. B<sub>7</sub> reaktöründe % 50 boya çamuru, % 40 endüstriyel arıtma çamuru ve % 10 ayçiçeği sapı kullanılmış olup karışımda yeterli şekilde mikrobiyal faaliyet olmamıştır. Bu durumun sebebi kullanılan düzenleyici katkı maddesinin yetersiz kalması nedeniyle ortamda nem oranının mikroorganizmalar için uygun şartlara getirilememiş olmasıdır. B<sub>8</sub> reaktörlerinde ise %

50 boya çamuru ve % 50 endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır. Bu reaktöre karışım içerisindeki hava geçişini sağlamak ve poroziteyi arttırmak amacıyla delikli bir yapıya sahip olan plastikler eklenmiştir. Plastikler karışım içerisindeki hava geçişini sağlayamamış ve nem oranı uygun seviyelere getirilememiş olduğundan mikrobiyal faaliyet gözlenememiştir. Nem oranı uygun bir şekilde sağlanamadığı için B<sub>7</sub> ve B<sub>8</sub> reaktörlerinde sıcaklık 40 °C'ye ulaşamamıştır.

B<sub>1</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık dördüncü günde görülmüş olup 50,1 °C'ye ulaşmıştır. B<sub>1</sub> reaktörü 5 gün 11 saat boyunca 40 °C'nin üzerinde kalmış olup 55 °C'yi aşamamıştır. B<sub>2</sub> reaktörü beşinci gün en yüksek sıcaklığı olan 47,5<sup>0</sup> C'ye ulaşmıştır. B<sub>2</sub> reaktörü 8 gün 6 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. B<sub>3</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık üçüncü günde görülmüş olup 49,3 °C'ye ulaşmıştır. B<sub>3</sub> reaktörü 8 gün 6 saat boyunca 40 °C'nin üzerinde kalmış olup 55 °C'yi aşamamıştır. B<sub>4</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık beşinci günde görülmüş olup 46,5 °C'ye ulaşmıştır. B<sub>4</sub> reaktöründe 4 gün 15 saat boyunca 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. B<sub>5</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık on birinci gün 51,7 °C'ye ulaşmıştır. B<sub>5</sub> reaktöründe sıcaklık 6 gün 22 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. Fakat 55 °C'yi aşamamıştır. B<sub>6</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık sekizinci gün 51,4 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>6</sub> reaktöründe sıcaklık 4 gün 22 saat boyunca 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. B<sub>7</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık 38,3 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>7</sub> reaktöründe sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıkamamıştır. B<sub>8</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık 28,1 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>8</sub> reaktöründe sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıkamamıştır. B<sub>9</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık dördüncü gün 50,4 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>9</sub> reaktöründe sıcaklık 12 gün 20 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. Fakat 55 °C'yi aşamamıştır. B<sub>10</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık üçüncü gün 51,1 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>10</sub> reaktöründe sıcaklık 8 gün 1 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. B<sub>11</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık sekizinci gün 59,8 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>11</sub> reaktöründe sıcaklık 10 gün 14 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. 19 saat 15 dakika boyunca 55 °C'yi aşmıştır. B<sub>12</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık dokuzuncu gün 44,9 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>12</sub> reaktöründe sıcaklık 9 gün 11 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. B<sub>13</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık ikinci gün 56,9 °C olarak ölçülmüştür. B<sub>13</sub> reaktöründe sıcaklık 15 gün 6 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. 22 saat 40 dakika boyunca 55 °C'yi aşmıştır. B<sub>14</sub> reaktöründe en yüksek sıcaklık beşinci gün 56,3 °C

olarak ölçülmüştür. B<sub>14</sub> reaktöründe sıcaklık 20 gün 22 saat 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. 23 saat 40 dakika boyunca 55 °C'yi aşmıştır.

Lin (2008) tarafından havalandırılmalı üstü açık kompost reaktörü kullanılarak gıda atıkları ile yapılan kompost çalışmasında sıcaklığının 1.gün hızlı bir şekilde 65 °C'ye ve 2. gün 71 °C'ye yükselmiş olduğu gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık 14. gün elde edilmiştir (76 °C). Daha sonra, sıcaklık 60. Güne geldiğinde 35 °C dereceye düşmüştür. Gerçekleştirdiğimiz kompostlama çalışmalarında da sıcaklıklar önce belirli güne kadar artmış olup sonrasında düşerek ortam sıcaklığına yaklaşmıştır.

Grafiklerde ve sıcaklık sürelerinde görüldüğü üzere 40 °C'nin üzerine çıkabilen reaktörlerde aktif mezofilik faz ortalama 2 gün kadar sürmüştür. Mezofilik fazın sonunda termofilik faz başlamış olup 40 °C üzerine çıkabilen reaktörler için bu faz karışımın içeriğine ve oranına göre en az 4 gün en fazla 20 gün sürmüştür. On dört reaktörün sıcaklık değişimleri incelendiğinde 40 °C üzerinde 20 gün 22 saat ile en uzun süre kalan reaktör, aşu maddesi kullanılmadan hazırlanan ve % 70 boya çamuru ile % 30 mısır koçanı içeriğine sahip olan B<sub>14</sub> reaktörü olarak belirlenmiştir. B<sub>7</sub> ve B<sub>8</sub> reaktörleri 40 °C üzerine 28 gün boyunca çıkamamıştır. Sıcaklık durumları göz önüne alındığında karbon organik karbon kaynağı olan katkı maddelerinin kompost sıcaklığına etki ettikleri söylenebilir (Çataltaş 2013).

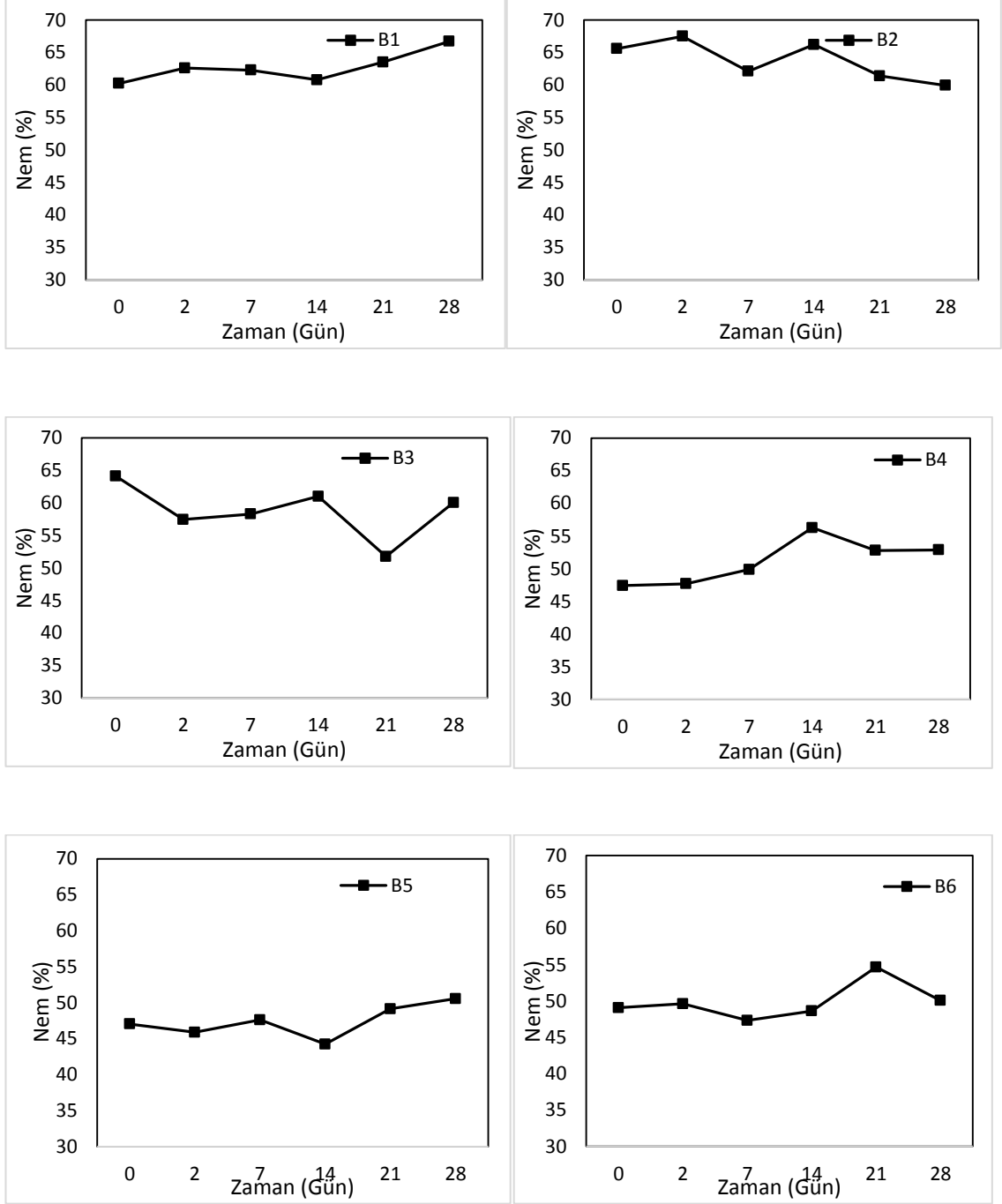
Patojenlerin kompost karışımı içerisindeki kontrolünün sağlanması için EPA kriterleri göz önüne alındığında B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri 55 °C'yi en az 4 saat aşmış olup 40 °C'de en az 5 gün kalmıştır. Fakat Kompost Tebliği'nde belirtilen kalite parametreleri dikkate alındığında hiçbir reaktör kesintisiz 55 °C'de 2 hafta, 60 °C'de 1 hafta, 65 °C'de 5 gün ve 70 °C'de 1 saat kalamamıştır. Sonuçlar incelendiğinde B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinin EPA Kriterlerine göre gerekli şartları sağladığı fakat Kompost Tebliği'ne göre gerekli şartların sağlanamadığı belirlenmiştir. Ayrıca 28 gün boyunca gözlenen en yüksek sıcaklık 59,8 °C ile % 60 boya çamuru, % 10 endüstriyel arıtma çamur ve % 30 mısır koçanı içeriğine sahip olan B<sub>11</sub> reaktöründe görülmüştür. Fakat en uzun süre 55 °C'nin üzerinde kalan reaktör, 56,3 °C sıcaklığına ulaşan ve % 70 boya çamuru ve % 30 mısır koçanı içeriğine sahip olan B<sub>14</sub> reaktörü olmuştur. B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde

katkı maddesi olarak mısır koçanı kullanılmıştır. Mısır koçanının daha kolay parçalanabilir olması ve içeriğindeki karbon miktarının mikroorganizmalar için yararlı olması nedeniyle karışımlarda mikrobiyal parçalanma hızlı görülmüştür. Bu nedenle B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde sıcaklık en yüksek değerlere ulaşmıştır.

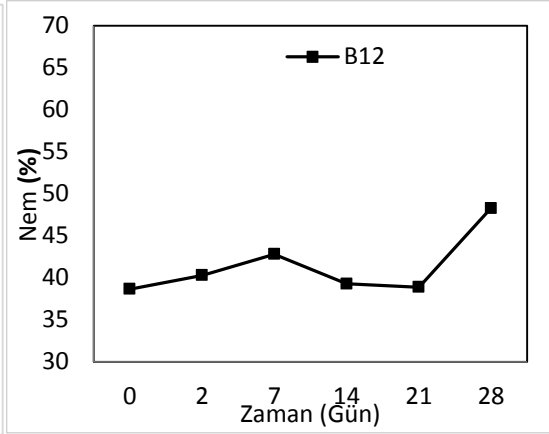
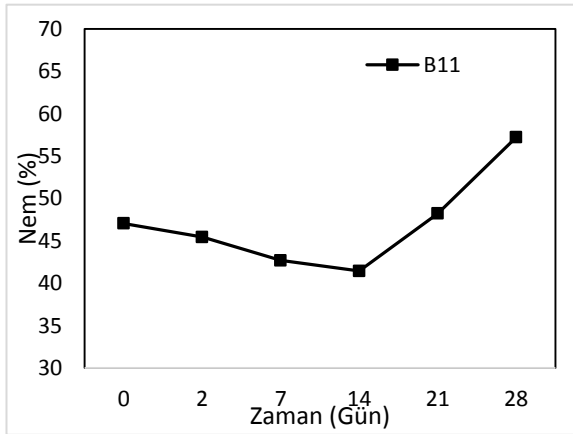
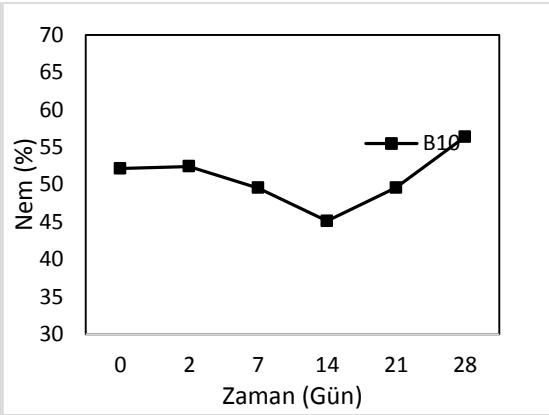
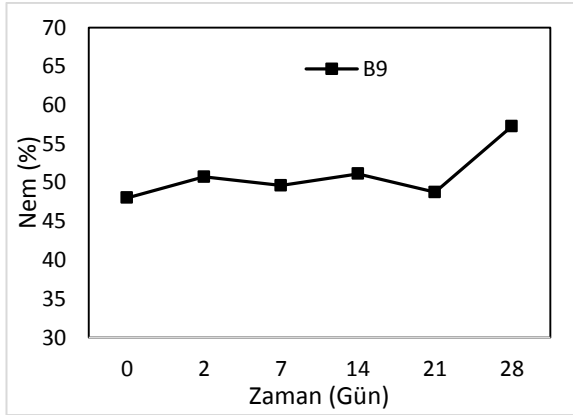
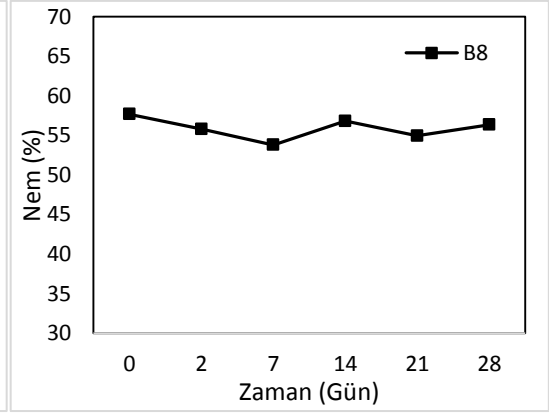
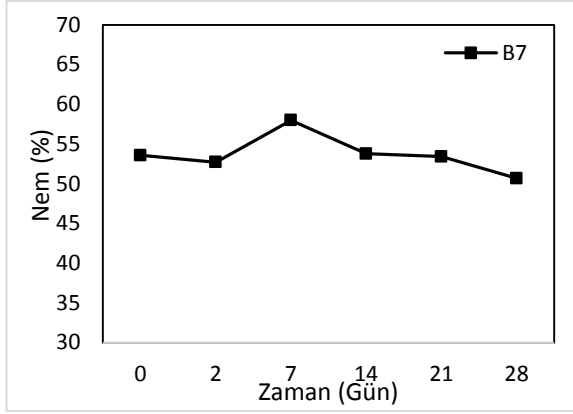
En yüksek sıcaklıklara ulaşan B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde aşı maddesi olarak endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır. Gıda endüstrisi arıtma çamuru ile endüstriyel arıtma çamurunun aşı olarak kullanılması için karşılaştırma yapıldığında endüstriyel arıtma çamurunun da olumsuz bir etki yaratmadığı ve aşı olarak kullanılabilmesi gözlemlenmiştir. Boya çamuru atığı ile endüstriyel arıtma çamurunun da bertarafının gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir. Doğru reçeteler hazırlanarak uygun katkı maddeleri kullanılması durumunda boya çamuru ve endüstriyel arıtma çamurunun kompostlama yöntemi ile bertaraf edilebileceği görülmüştür.

#### **4.2.2.Nem**

Kompostlama işleminde mikroorganizmalar metabolik işlemleri gerçekleştirebilmeleri için neme ihtiyaç duyarlar. Nem içeriği yüksek materyaller kullanılarak hazırlanan kompost karışımlarındaki nem değerleri literatür bilgilerine göre uygun şartlara getirilmiştir (Richard ve ark 2002). Çalışma sürecinde kompost reaktörlerinden alınan numunelerle nem analizleri yapılmış ve tüm reaktörler için nem değişimleri Şekil 4.2' de verilmiştir. Nem değerlerinin ilk günlerde düşük olmasının nedeni sıcaklığın yüksek olması nedeniyle buharlaşma gerçekleşmiş olmasıdır. Kompostlama süresinin sonlarına doğru ise sıcaklığın düşmesinden ve kompostlama işleminin yapıldığı kompost reaktöründe gerçekleşen yoğunlaşmadan dolayı nem değerinde artış gözlenmiştir. Reaktörün karıştırılması esnasında kütlemin alt kısımlarında kısmen bir kuruma, üst kısımlarında ise kapakta yoğunlaşan sular nedeniyle oluşan bir nemlenme görülmüştür.

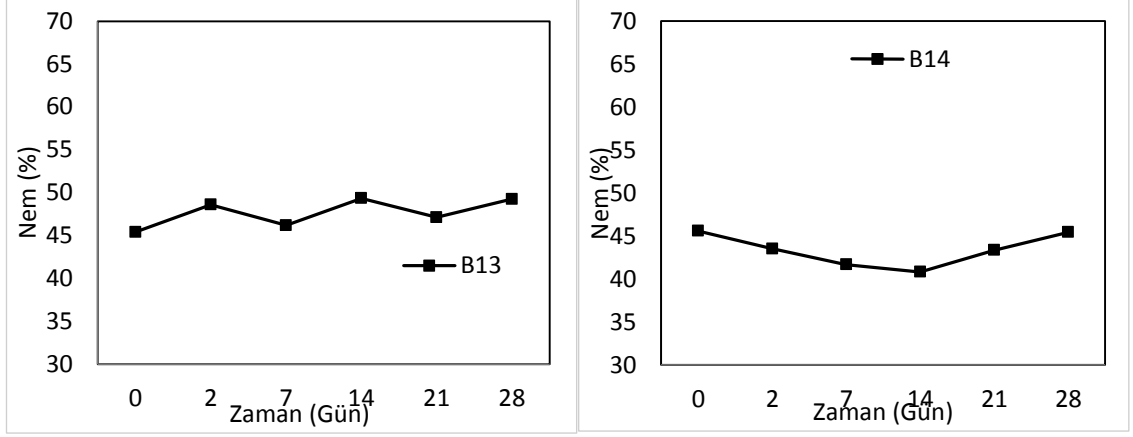


Şekil 4.2. Kompost reaktörlerinde nem miktarındaki değişim



Şekil 4.2. Kompost reaktörlerinde nem miktarındaki değişim (devam)





**Şekil 4.2.** Kompost reaktörlerinde nem miktarındaki değişim (devam)

Nem oranı tüm reaktörlerde % 40-70 aralığında değişim göstermiştir. Hamoda ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmalarda kapalı reaktörlerde gerçekleştirilen kompostlama çalışmasında, optimum mikrobiyal aktivitenin % 60 nem içeriğinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda sıcaklık artışıyla birlikte karışımlardaki nem oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Reaktörler kapalı bir hazne olduğundan sıcaklık artışıyla birlikte karışımlarda yoğuşma meydana gelmiş olup su buharı reaktörlerin kapak kısımlarında toplanmıştır. Sıcaklığın ortam sıcaklığına yaklaşması ile reaktör kapaklarında toplanan su buharı karışımın içine süzülerek nem değerinde artışa sebep olmuştur.

En yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinin nemi 28 gün içinde sıcaklığın arttığı günlerde düşüş göstermiş olup son günlere doğru sıcaklığın düşmesiyle yeniden artmaya başlamıştır. 28 gün sonunda bu üç reaktördeki nem oranı % 40-70 arasında olduğu görülmüştür. Bilgili (2013)'ün gerçekleştirdiği çalışmalar doğrultusunda kompost son ürünün içerisinde ki nem oranının % 60'dan fazla olması durumunda araziye uygulanmasının zor olacağı belirtilmiştir. Bu üç reaktörde de düzenleyici katkı maddesi olarak sırasıyla % 30, % 15 ve % 30 oranında mısır koçanı kullanılmıştır. Bu sonuç doğrultusunda mısır koçanının kompostun başlaması için gerekli nem oranını uygun bir şekilde sağladığı görülmüştür. Fakat nem oranı son günde de aynı seviyelerde seyretmiş olup toprağa uygulanabilmesi için uygun bulunmamıştır.

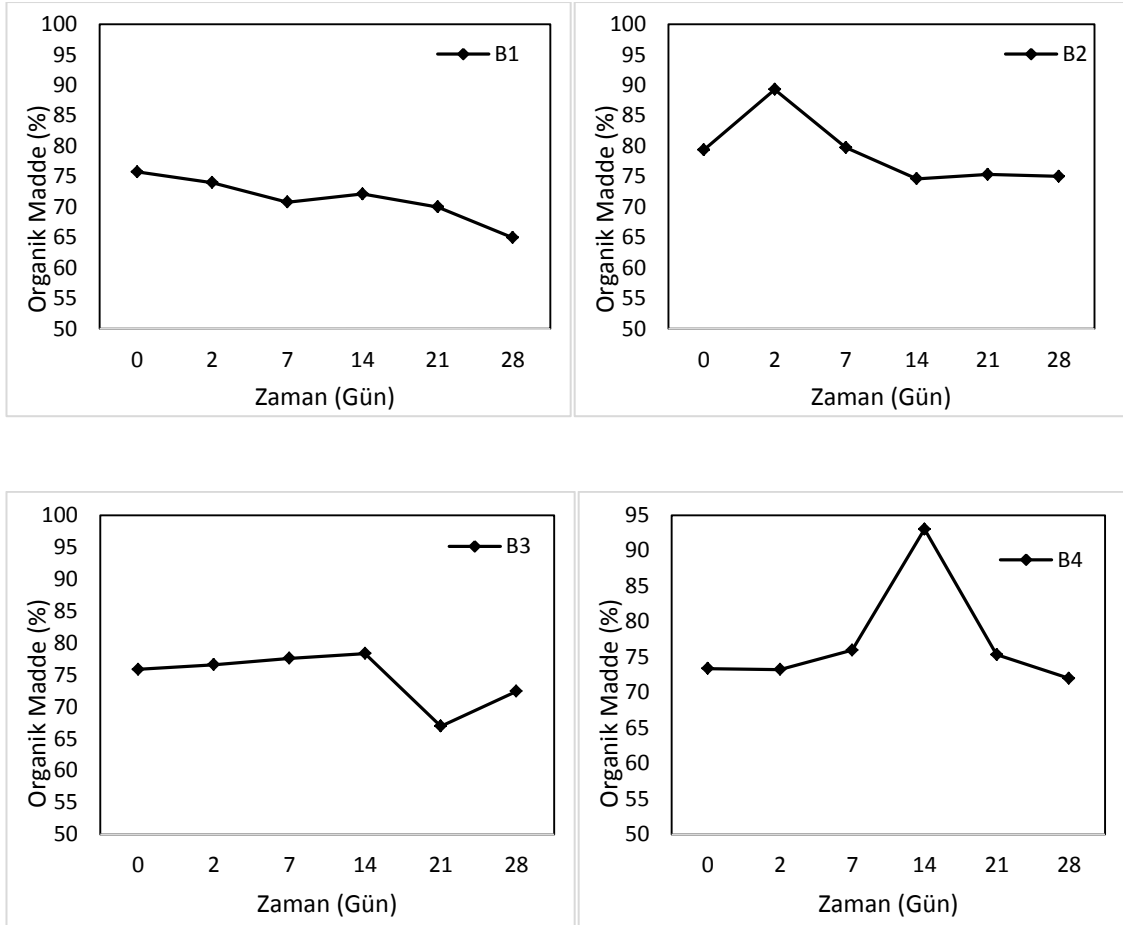
Reaktörlerin geneline bakıldığında kompost son ürünün nem oranlarının Kompost Tebliği'nde belirtilen % 30'dan az olması gerektiği şartını karşılamadığı görülmüştür. Tebliğde belirtilen değerlere ulaşabilmek için kompost ürününün bir süre olgunlaşması için beklemesi gerekmektedir.

#### **4.2.3.Organik madde**

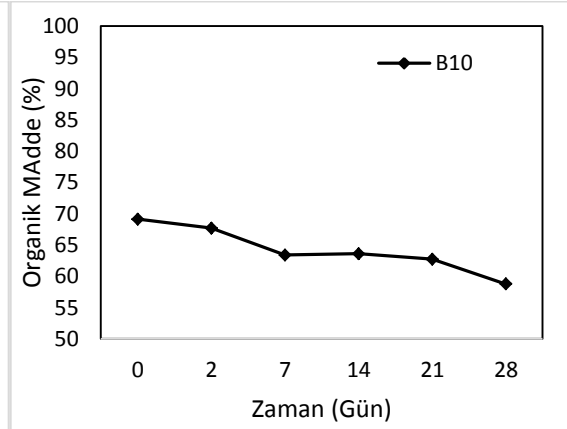
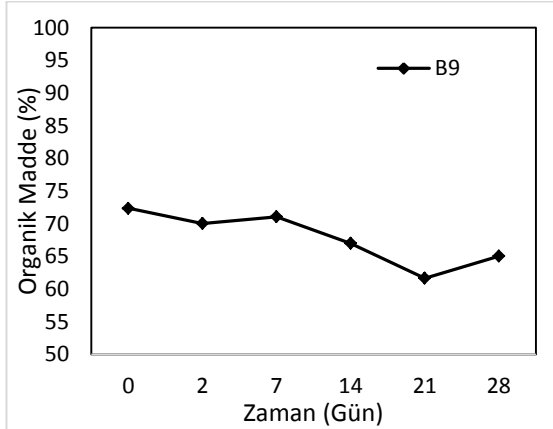
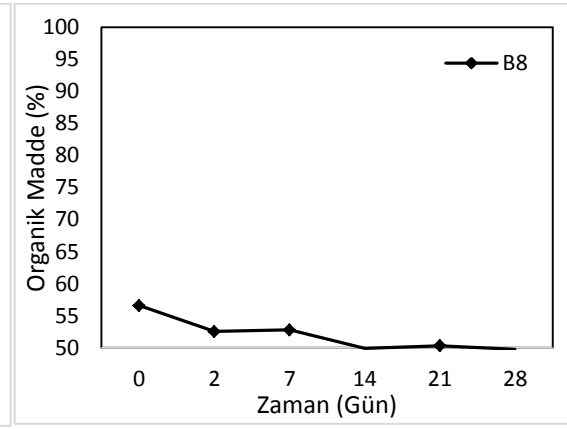
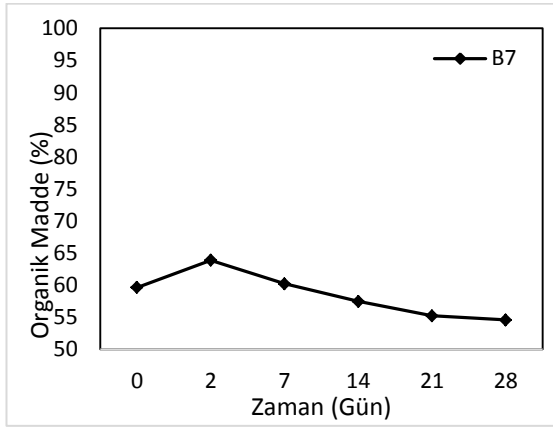
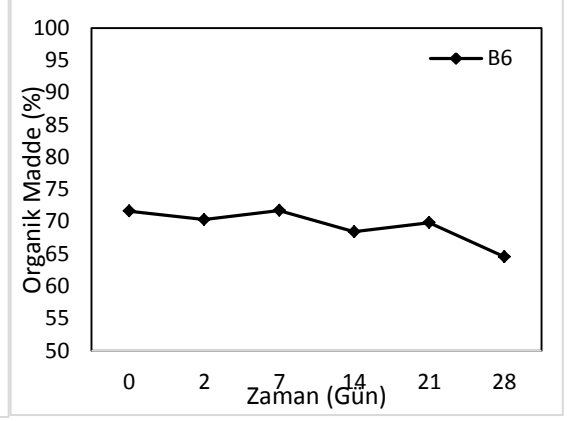
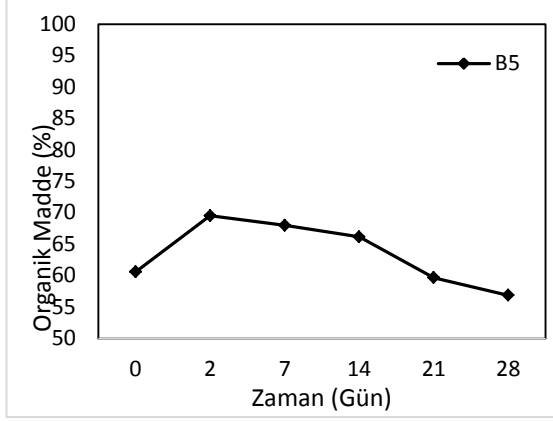
Organik madde bozunması (degradasyon), direkt olarak mikrobiyal respirasyon ile ilgili olup organik madde kayıplarını oluşturur (Paredes ve ark, 2002). Biyobozunur organik madde kayıpları, kompost prosesi boyunca % 30 ile % 60 arasında gerçekleşmektedir (Diaz ve ark, 2007). Şekil 4.3' de ki organik madde değişimi grafiği incelendiğinde tüm reaktörlerde organik madde içeriğinin azaldığı görülmektedir. Reaktörde gerçekleşen kuru madde kayıpları esas alınarak organik madde kayıpları hesaplandığında B<sub>1</sub> reaktöründe % 21, B<sub>2</sub> reaktöründe % 19,46, B<sub>3</sub> reaktöründe % 8,32, B<sub>4</sub> reaktöründe % 12,6, B<sub>5</sub> reaktöründe % 20,4, B<sub>6</sub> reaktöründe % 14,32, B<sub>7</sub> reaktöründe % 16,5, B<sub>8</sub> reaktöründe % 5,34, B<sub>9</sub> reaktöründe % 25,97, B<sub>10</sub> reaktöründe % 18,47, B<sub>11</sub> reaktöründe % 18,76, B<sub>12</sub> reaktöründe % 26,62, B<sub>13</sub> reaktöründe % 18,92 ve B<sub>14</sub> reaktöründe % 17,52 bulunmuştur.

Reaktörlerdeki organik madde kayıpları değerlendirildiğinde özellikle B<sub>1</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> reaktöründe yeterli oranda organik madde parçalanmasının olduğu söylenebilir. Bu reaktörlerde boya çamurunun kompostlanması amacıyla aşı maddesi ile birlikte düzenleyici katkı maddesi olarak sırasıyla % 20 ayçiçeği sapı, % 20 mısır koçanı ve yine % 30 ayçiçeği sapı kullanılmıştır. Üç reaktörün de 40 °C'nin üzerinde 5 günden daha fazla süreyle kaldığı görülmüştür. Bu sebeple mikrobiyal aktivite hızlı gerçekleşmiş ve organik madde parçalanması da yüksek oranda gözlemlenmiştir. Bu reaktörleri izleyen B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde de diğerleri kadar olmasa da uygun seviyelerde organik madde kaybı görülmüştür. Düzenleyici katkı maddesi olarak sırasıyla % 20 fıstık kabuğu, % 15 mısır koçanı, % 30 mısır koçanı, % 15 mısır koçanı ve % 30 mısır koçanı kullanılmış olan reaktörlerde sıcaklık değerleri 5 günden daha fazla süreyle 40 °C'nin üzerinde kalmıştır. Diğer reaktörde ise organik madde kayıpları beklenenden daha az oranda gerçekleşmiştir.

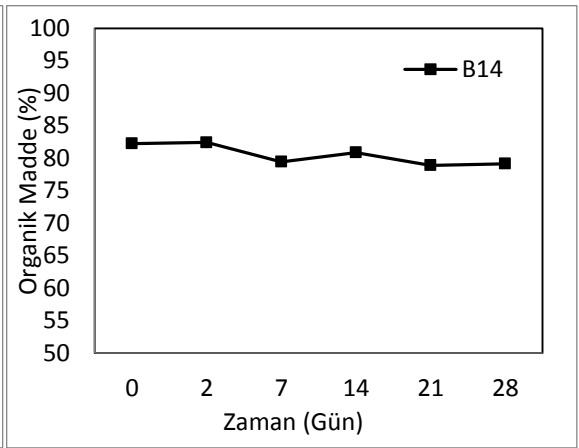
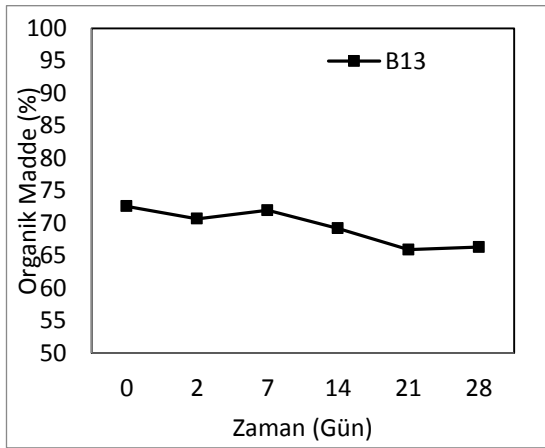
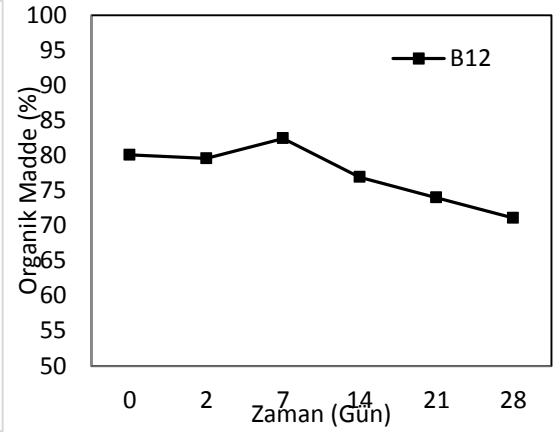
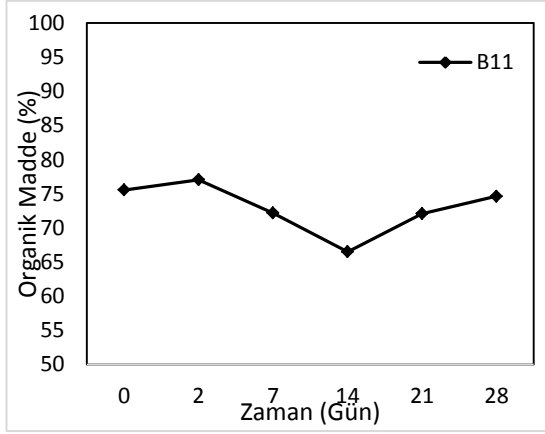
Organik madde kaybı kompost prosesi sonunda % 30 ile % 60 arasında olmalıdır (Uçaroğlu ve Gümrah 2016). Kompost karışımının kütlesinde katı madde ve organik madde kayıpları kompost prosesinin başarısını belirlemede önemli bir durumdur (Çataltaş 2013). Fakat bu çalışmada on dört reaktörde yapılan denemelerin hiç birinde organik madde kaybı istenilen sonuca ulaşamamıştır. Çünkü çalışmada ham materyal olarak kullanılan boya çamuru yüksek karbon içeriğine sahip olmakla beraber zor parçalanabilir karbon içermektedir. Organik madde parçalanmasını arttırmak için kompostlama süresi uzatılabilir yada farklı kompostlama reçeteleri uygulanabilir. Ayrıca parçalanmayı arttıracak ko-substrat ilavesi yapılabilir.



Şekil 4.3. Kompostlama reaktörlerinde organik madde değişimi



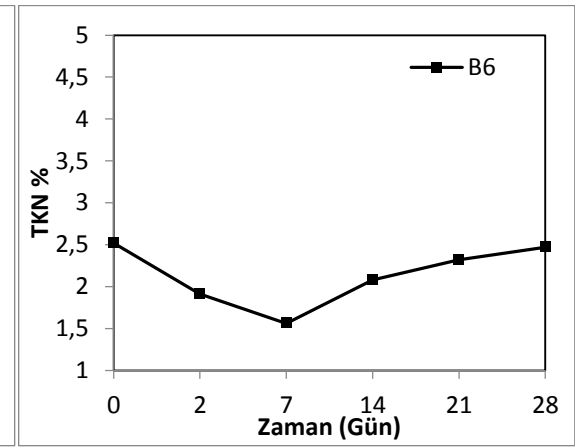
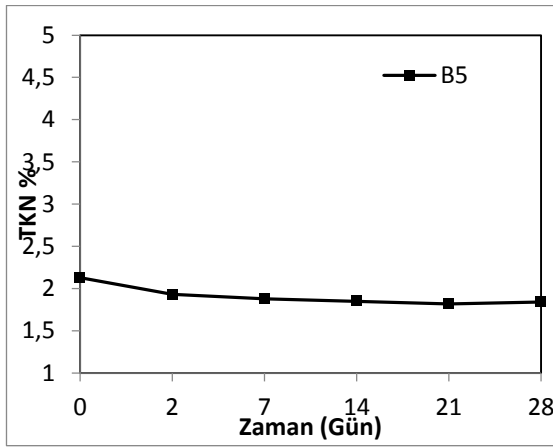
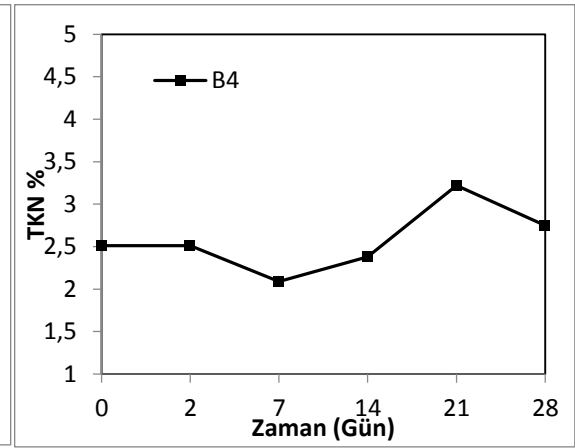
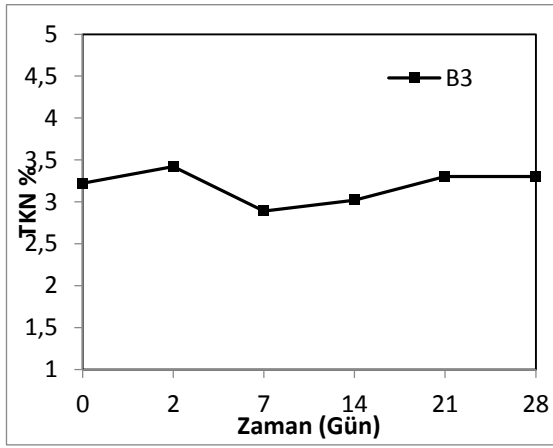
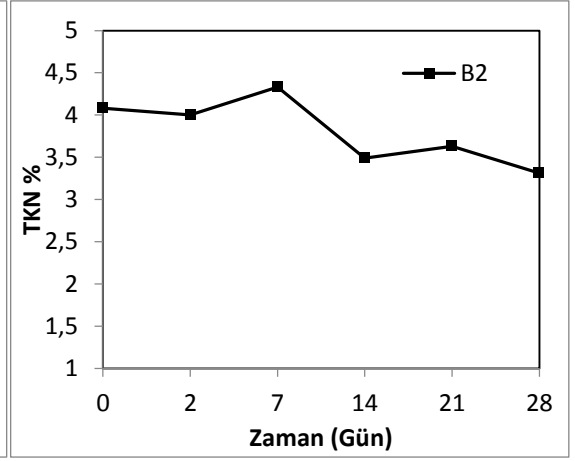
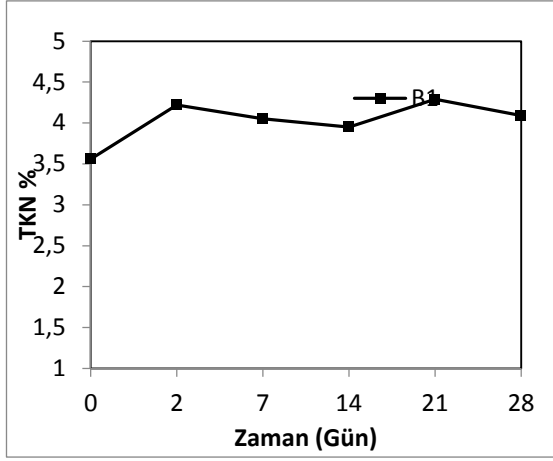
Şekil 4.3. Kompostlama reaktörlerinde organik madde değişimi (devam)



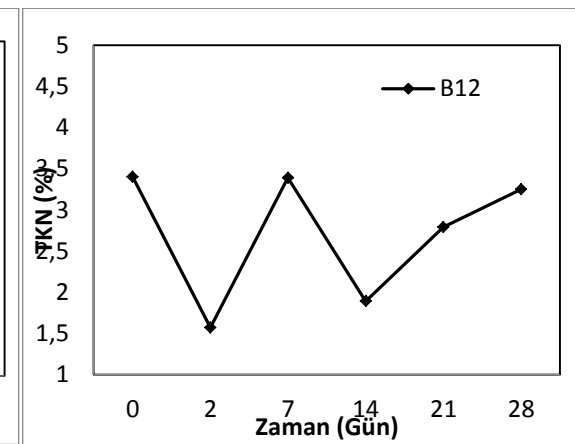
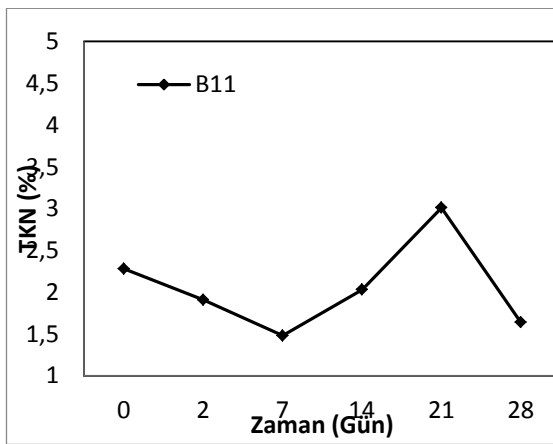
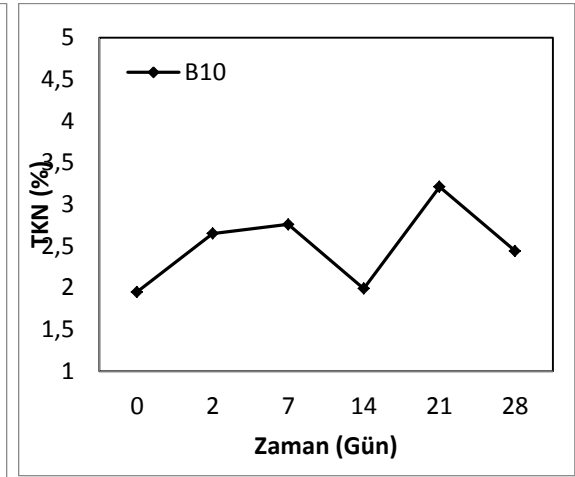
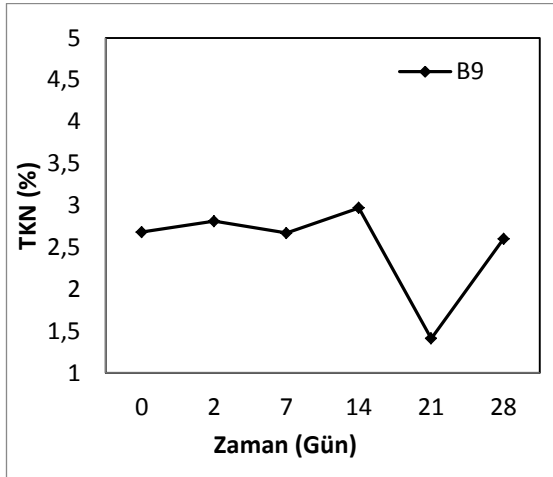
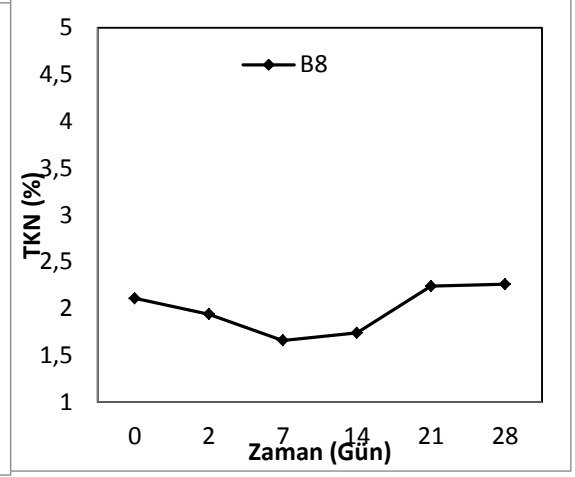
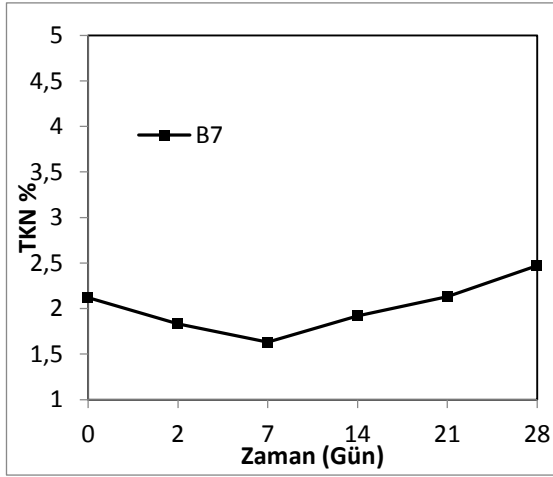
Şekil 4.3. Kompostlama reaktörlerinde organik madde değişimi (devam)

#### 4.2.4. Toplam azot (TKN)

Kompostlama süresince TKN değerleri şekil 4.4' te gösterilmiştir. B<sub>1</sub> reaktöründe % 3,56 civarından 28 gün sonunda % 4,09 seviyelerine çıkarak artış göstermiştir. B<sub>2</sub> reaktöründe ise TKN 4,08 civarından 28 gün sonunda % 3,31 seviyelerinde azalma gözlemlenmiştir. B<sub>3</sub> reaktöründe % 3,01 civarından 28 gün sonunda % 3,35 seviyelerine çıkarak artış yaşanmıştır. B<sub>4</sub> reaktöründe % 2,51 civarından 28 gün sonunda % 2,75 seviyelerine çıkarak artış gözlemlenmiştir. B<sub>5</sub> reaktöründe % 2,13 civarından 28 gün sonunda % 1,84 seviyelerine çıkarak azalma yaşanmıştır. B<sub>6</sub> reaktöründe % 2,52 civarından 28 gün sonunda % 2,47 seviyelerine çıkarak az oranda artış olmuştur. B<sub>7</sub> reaktöründe % 2,12 civarından 28 gün sonunda % 2,47 seviyelerine artmıştır. B<sub>8</sub> reaktöründe % 2,11 civarından 28 gün sonunda % 2,26 seviyelerine çıkarak az miktarda artış görülmüştür. B<sub>9</sub> reaktöründe % 2,68 civarından 28 gün sonunda % 2,60 seviyelerinde azalma görülmüştür. B<sub>10</sub> reaktöründe % 1,95 civarından 28 gün sonunda % 2,44 seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. B<sub>11</sub> reaktöründe % 2,28 civarından 28 gün sonunda % 1,64 seviyelerine inerek gözle görülür oranda azalma yaşanmıştır. B<sub>12</sub> reaktöründe % 3,40 civarından 28 gün sonunda % 3,25 seviyelerine çıkarak azalma olmuştur. B<sub>13</sub> reaktöründe % 3,44 civarından 28 gün sonunda % 3,46 seviyelerine çıkarak yaklaşık aynı oranlarda kalmıştır. B<sub>14</sub> reaktöründe % 3,30 civarından 28 gün sonunda % 3,79 seviyelerine çıkarak artış yaşanmıştır. Sıcaklığın 40 °C'nin üzerinde 5 günden daha fazla süreyle kaldığı ve organik madde kayıplarının fazla olduğu B<sub>1</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde kuru madde kaybından dolayı azot oranlarında yüzdesel olarak artış görülmektedir. Kompost karışımlarındaki TKN artışının nedeni ayrışma sırasında ortamı CO<sub>2</sub> şeklinde terk eden karbon miktarıdır. Mikroorganizmaların sebep olduğu bu ayrışma ile reaktördeki kuru madde miktarı azalmaktadır ve bu azalma ile azot yüzdesinde artış olmaktadır. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi bazı reaktörlerde de TKN oranında hızlı bir artış olmuştur. Bu artış oranı ayrışmayla doğru orantılıdır. TKN miktarınının hızla arttığı günlerde reaktörlerde mikroorganizma aktivitelerinin de hızlı olduğu söylenebilir. TKN de azalma gözlemlenen reaktörlerde ise mikrobiyal aktivite yetersiz kalmıştır.

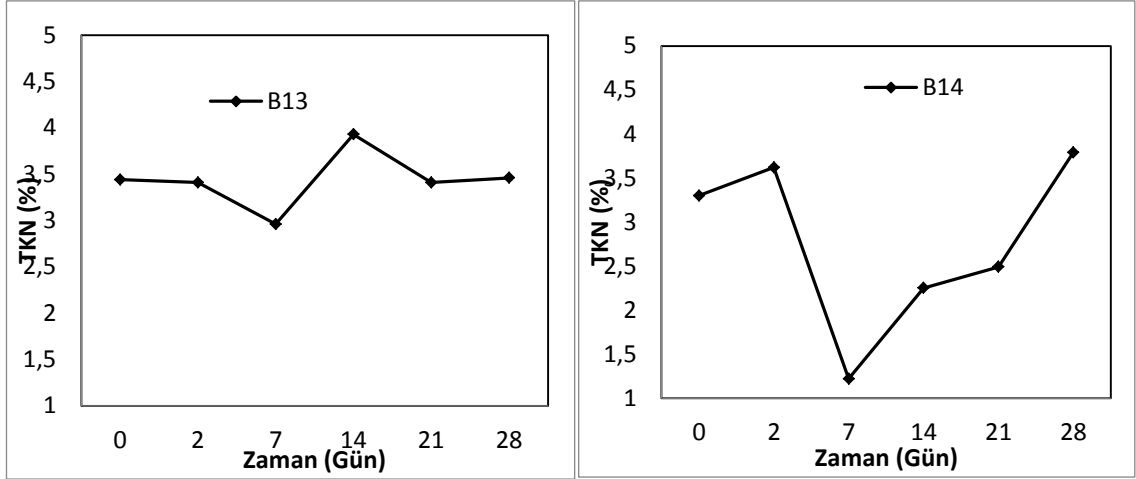


Şekil 4.4. Kompostlama reaktörlerin TKN değişimleri



Şekil 4.4. Kompostlama reaktörlerin TKN değişimleri (devam)





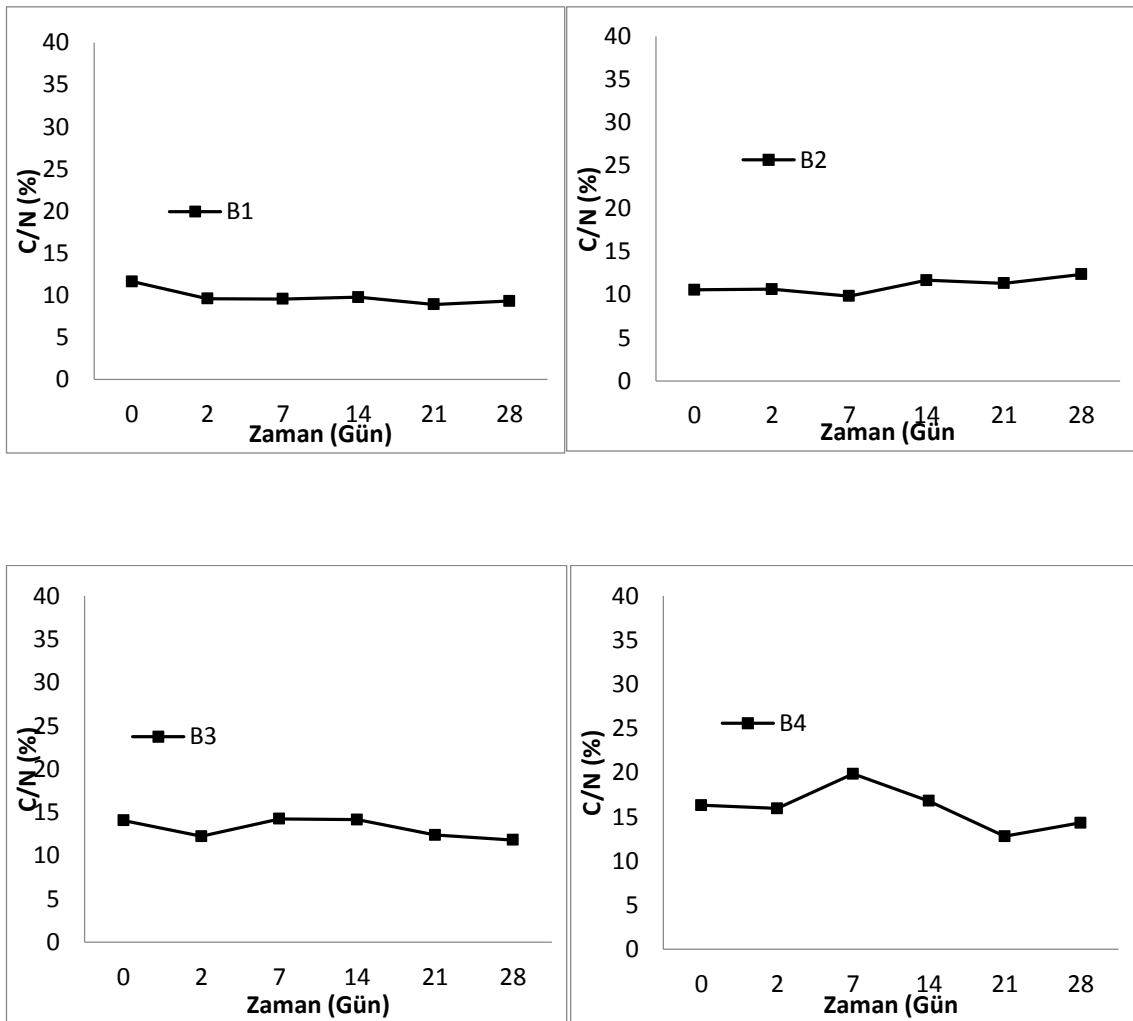
Şekil 4.4. Kompostlama reaktörlerinin TKN değişimleri (devam)

#### 4.2.5.C/N değişimleri

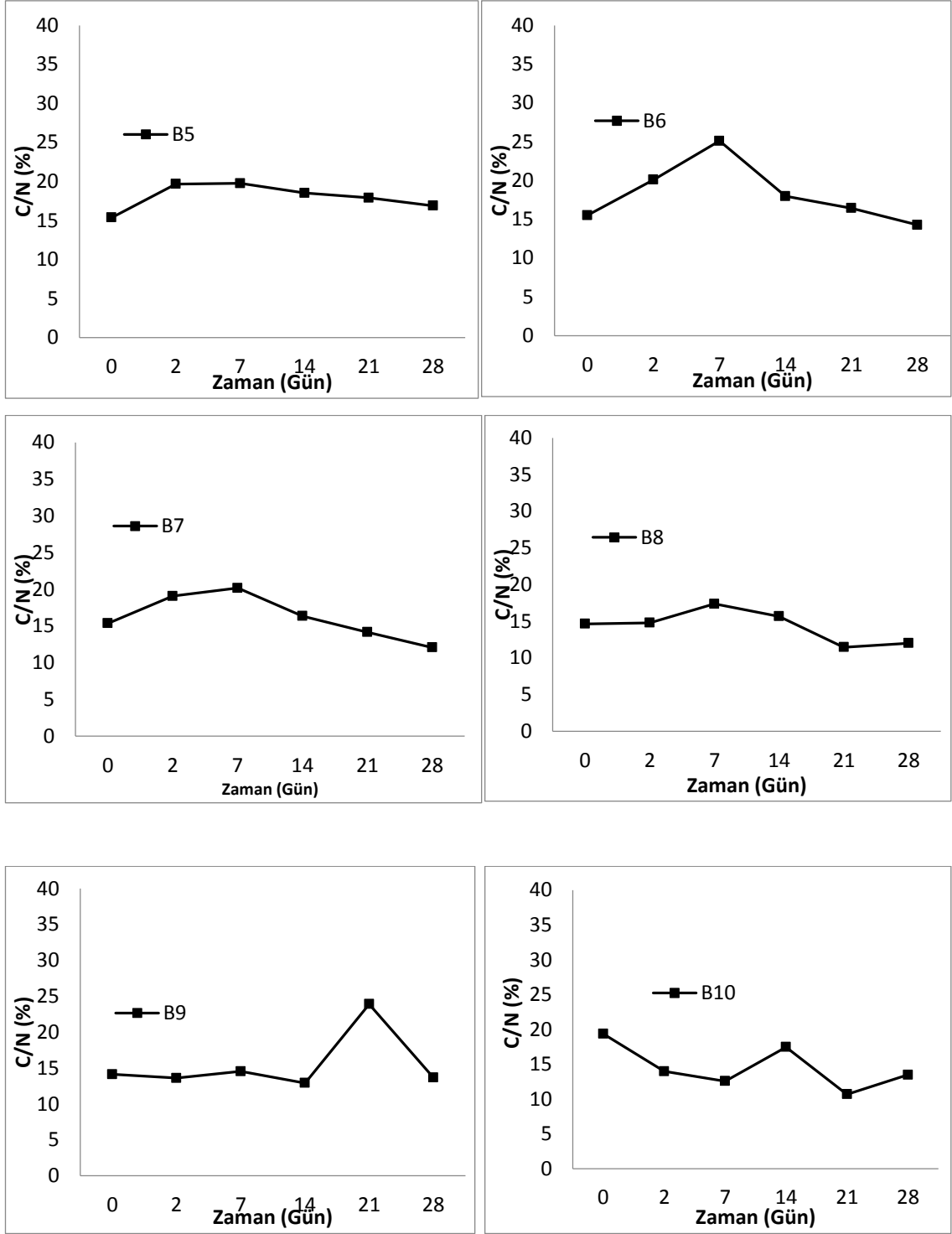
Organik maddelerin mikrobiyal bozunmaları için en önemli elementler karbon (C) ve azot (N)' tur. Mikrobiyal bozunma esnasında mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanır. Azot ise hücre büyümesi ve fonksiyonu için gerekli olan protein, nükleik asit, aminoasit ve enzimlerin temel bileşenidir (Bayer, 2008). Kompostlamada kaliteli bir ürün eldesi için önemli faktörlerden biri organik atığın C/N oranıdır. Organik maddenin C/N oranı fazla olduğunda fazla karbon karbondioksit formunda uzaklaşırken, C/N oranı düşük olduğunda fazla azot amonyak şeklinde uzaklaşarak koku problemine sebep olur. Ayrıca bir havalandırmaya ihtiyaç duyulur. Dışarıdan ekstra karbon kaynağı verilerek C/N oranı yükseltilir ve bu problem ortadan kaldırılabılır (Çoban ve ark, 2009). Uygun bir kompostta olması gereken C/N oranı Kompost Tebliği'nde 10-30 aralığında belirtilmektedir.

Reaktörlere ayrı ayrı yerleştirilen kompost karışımlarında C/N oranları B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde sırasıyla 11,63, 10,57, 14,06, 16,31, 15,37, 15,53, 15,37, 14,65, 14,12, 19,36, 18,11, 12,87, 11,53 ve 13,62 olarak ölçülmüştür. 28 gün sonunda C/N oranları sırasıyla 9,31, 12,38, 11,81, 14,30, 13, 14,28, 12,07, 14,3, 13,66, 13,46, 12,51, 12,10, 10,54 ve 11,45 değerlerine gelerek değişiklik göstermiştir. Kompostlama süresi boyunca C/N oranlarında B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde düşüş gözlemlenmiştir. B<sub>2</sub> ve B<sub>5</sub> reaktörlerinde

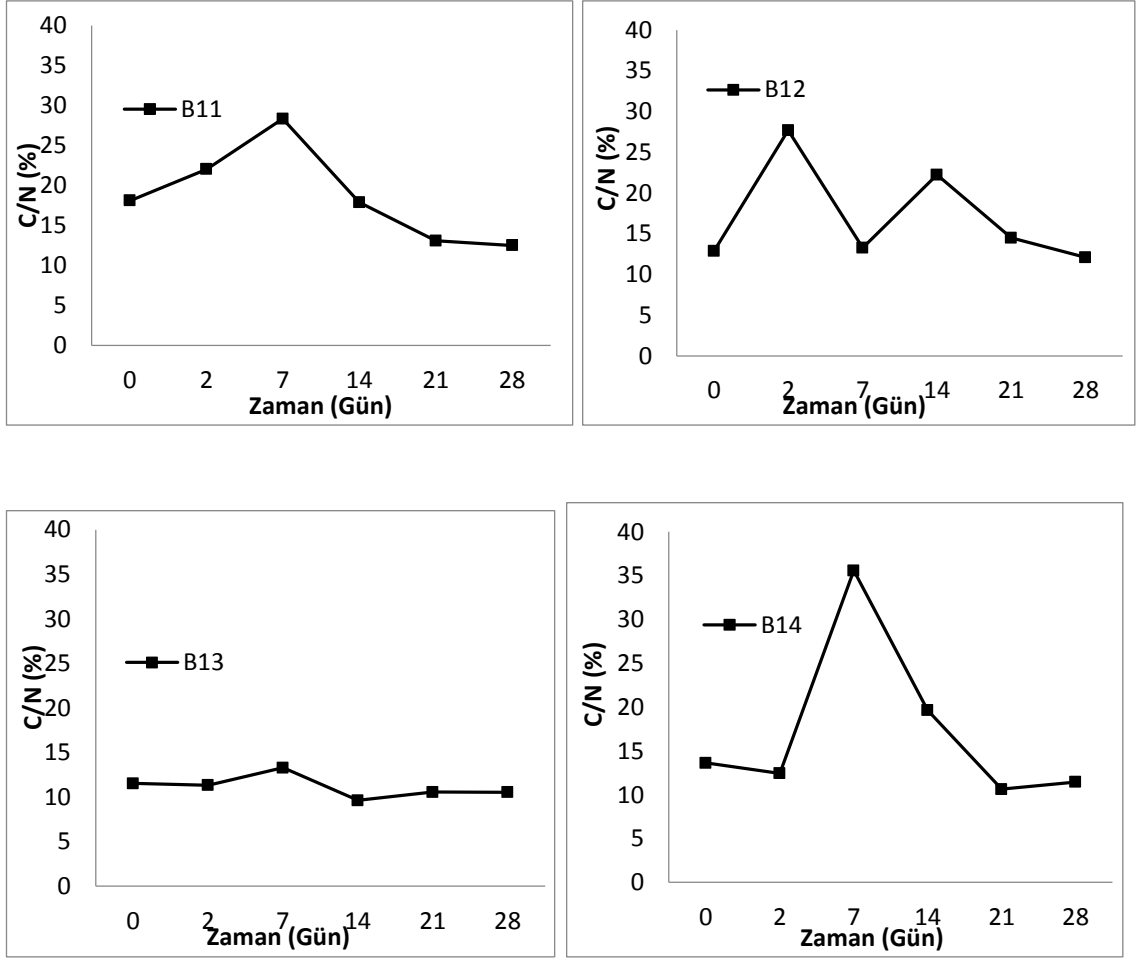
az miktarda da olsa artış yaşanmıştır. Literatürde yapılan araştırmalarda olgun bir kompost için C/N oranının 20 veya 20' den az olması gerektiği belirtilmiştir (Yu ve ark., 2008). Yapılan analizler sonucunda belirlenen değerlerin B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri için literatür değerlerini karşıladığı gözlenmiştir. Kompost Tebliği'nde C/N oranının 10-30 aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. Tüm reaktörler incelendiğinde artış ya da azalış yaşanan bütün reaktörlerde C/N oranının Kompost Tebliği'nde belirtilen değere uygun olduğu belirlenmiştir. Kompostlama sürecinde ölçülen C/N oranlarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.5' da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kompost karışımlarının C/N oranındaki değişiklikler



Şekil 4.5. Kompost karışımlarının C/N oranındaki değişiklikler (devam)



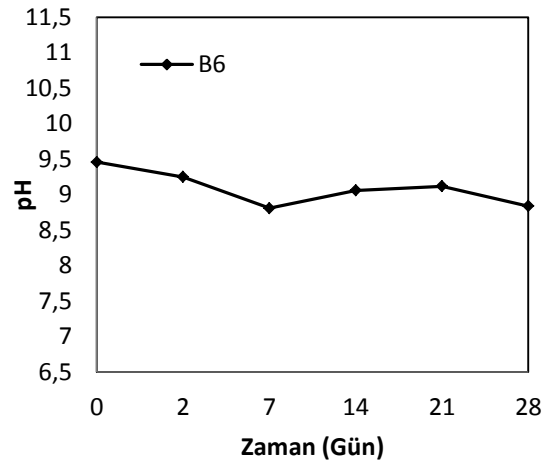
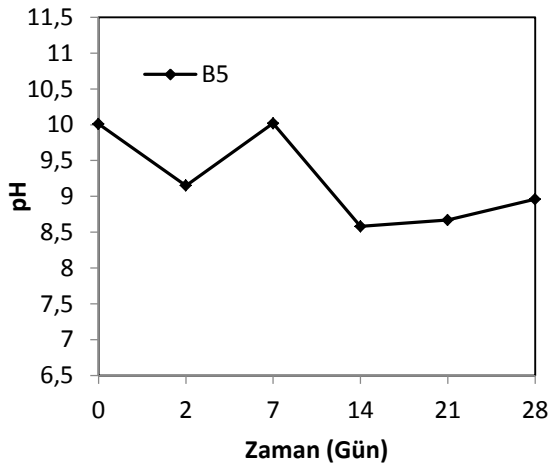
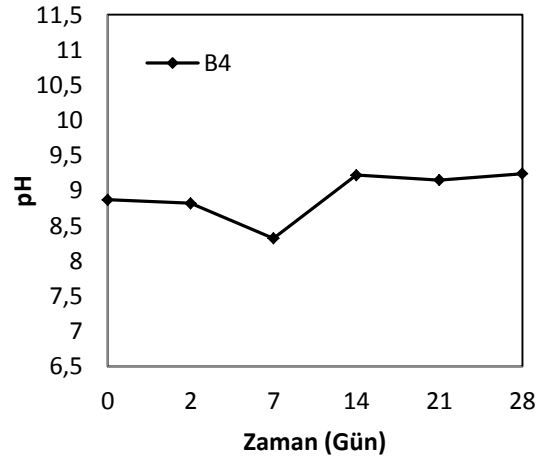
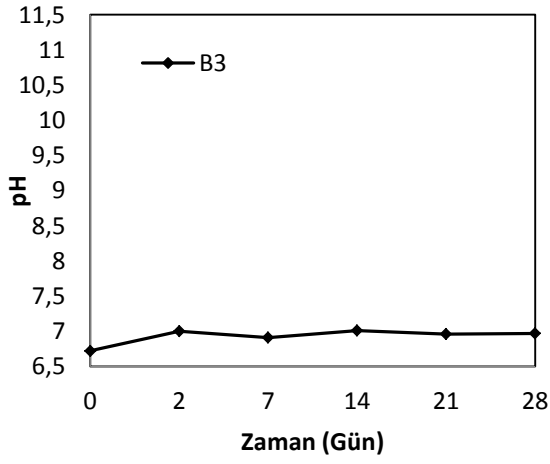
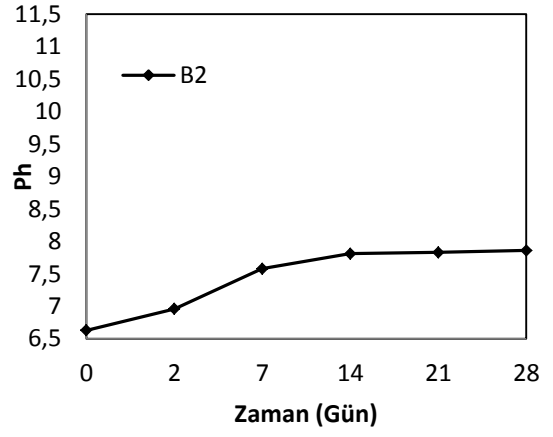
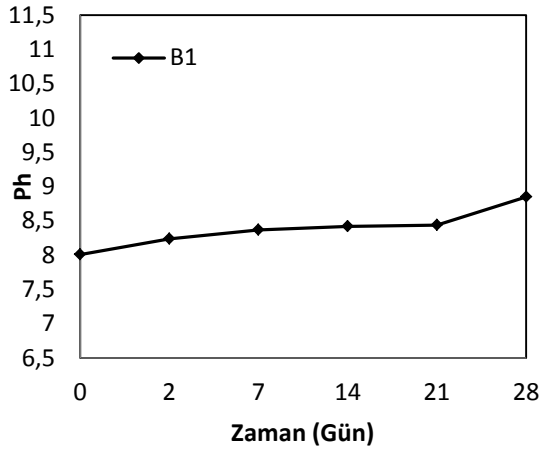
Şekil 4.5. Kompost karışımlarının C/N oranındaki değişiklikler (devam)

#### 4.2.6.pH

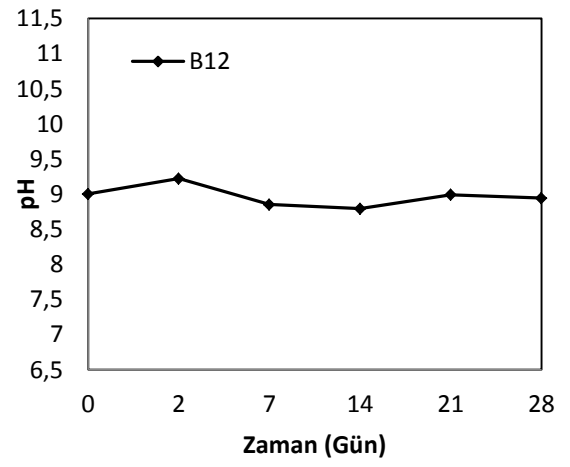
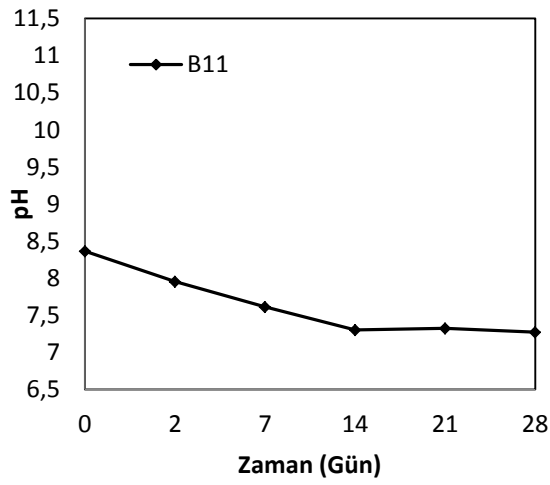
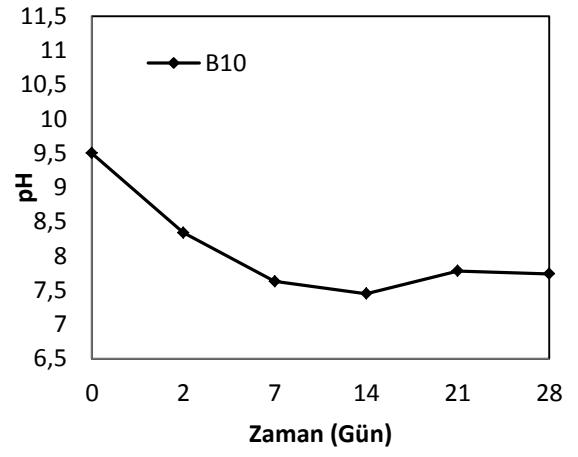
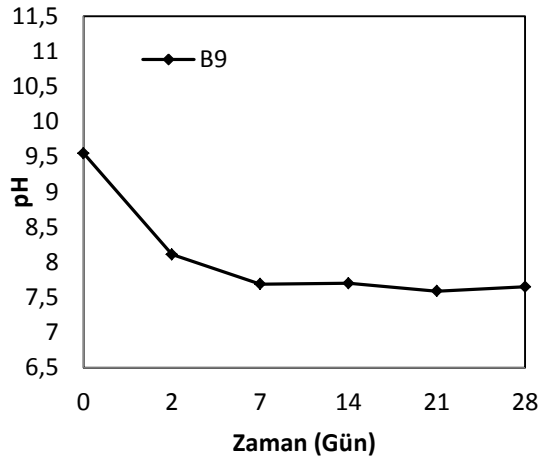
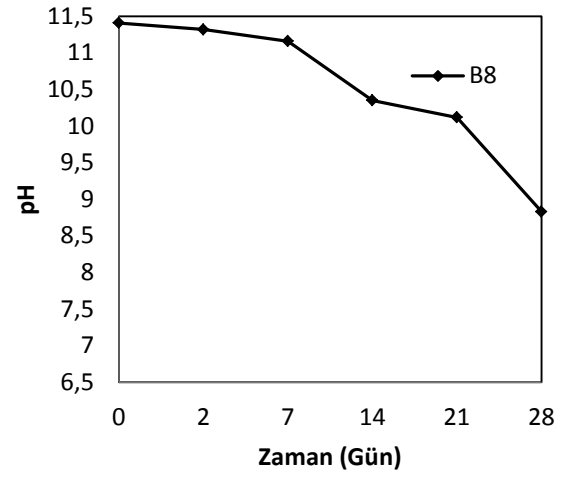
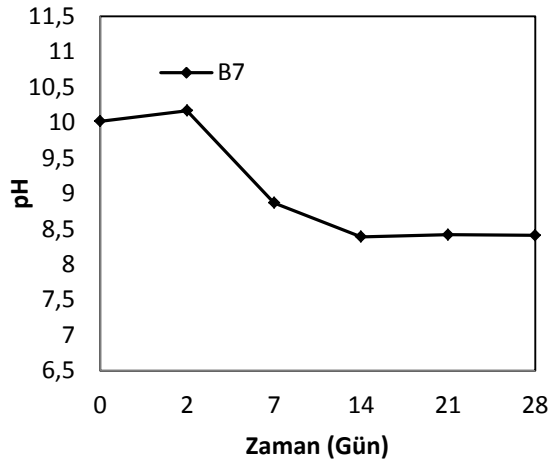
Kompost mekanizması içerisinde yer alan mikroorganizmaların çalışma prensipleri ele alındığında 5,5 ile 8,5 arasındaki pH değerleri idealdir. pH değerlerinin bu aralığın dışında olması durumunda mikrobiyal aktivite sınırlanır. Yani fazlasıyla yavaşlayarak durabilir. Bu çalışmadaki pH değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.6’ da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm reaktörlerde pH değerleri 6,5-10,5 aralığında değişmiştir. B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde pH değerleri mikrobiyal aktivite için olması gereken aralıkta kalmıştır. B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub> ve B<sub>13</sub> reaktörlerinde ise pH değeri 8,5 değerinin üzerine çıkmıştır.

B<sub>1</sub> reaktöründeki kompost karışımının 0. Gün pH değeri 8,01 iken 28. Günün sonuna kadar artış göstererek 8,85 değerine ulaşmıştır. B<sub>2</sub> reaktöründeki kompost karışımının 0. Gün pH değeri 6,63 iken 28. Günün sonuna kadar artış göstererek 7,86 değerine ulaşmıştır. B<sub>3</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 6,72 iken artış göstererek sabit değerlere gelmiş ve 28. Günün sonunda 6,97 değerine ulaşmıştır. B<sub>4</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 8,87 olarak ölçülmüş olup 7. Günden sonra artış göstererek 28. Gün 9,24 değerine ulaşmıştır. B<sub>5</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 10,01 iken düşüş göstererek 28. Günün sonunda 8,96 değerine ulaşmıştır. B<sub>6</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 9,46 olup 28. Günün sonunda 8,84 değerine düşmüştür. B<sub>7</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 10,02 iken 7. Günde düşüğe geçmiş ve 28. Günün sonunda 8,41 değerine ulaşmıştır. B<sub>8</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 11,41 iken ciddi bir düşüş yaşanarak 28. Günün sonunda 8,83 değerine düşmüştür. B<sub>9</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 9,55 iken 28. Günün sonunda 7,65 değerine düşmüştür. B<sub>10</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 9,50 iken düşmeler yaşanmış olup 28. Günün sonunda 7,74 değerine düşmüştür. B<sub>11</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 8,36 iken 28. Günün sonunda 7,27 değerine düşmüştür. B<sub>12</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 9 iken düşüş göstererek 28. Günün sonunda 8,94 değerine ulaşmıştır. B<sub>13</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 9,52 iken yüksek oranda azalarak 7,75 değerine düşmüştür. B<sub>14</sub> reaktöründe 0. Gün pH değeri 7,07 iken artış göstererek 28. Günün sonunda 7,43 değerine ulaşmıştır.

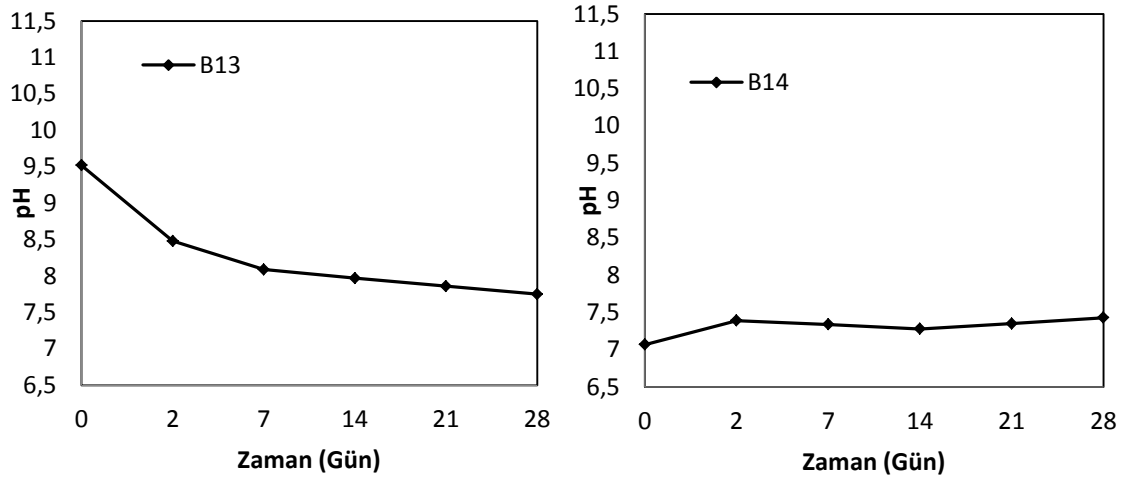
Yapılan çalışmada 0. Gün en yüksek pH değeri hiç katkı maddesi kullanılmayıp %50 boya çamuru ve % 50 endüstriyel arıtma çamuru kullanılan B<sub>8</sub> reaktöründe 11,41 olarak görülmüştür. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub> reaktörleri dışındaki bütün kompost karışımlarında proses sonundaki pH değeri başlangıç değerinin altında ölçülmüştür. Bu durum kompostlama prosesinin tamponlama kapasitesi ile ilgilidir (Rynk 1992, Ekinci ve ark. 2004). Çalışmalar boyunca yapılan analizler neticesinde B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerindeki son gün pH değerlerinin literatürde istenen şartları sağladığı belirlenmiştir. B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerindeki pH değerlerinin Kompost Tebliği'nde belirtilen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Kompost reaktörlerindeki pH değişimi



Şekil 4.6. Kompost reaktörlerindeki pH değişimi (devam)



**Şekil 4.6.** Kompost reaktörlerindeki pH değişimi (devam)

pH'daki artış amonifikasyon esnasında amonyağın üretiminden kaynaklanabilmektedir (Bishop ve Godfrey 1983). pH'daki düşüş ise nitrifikasyon bakterilerinin gerçekleştirdiği mikrobiyal aktivite sonucu olarak amonyak azotunun uzaklaşması ile açıklanabilmektedir (Eklind ve Kirchmann 2000).

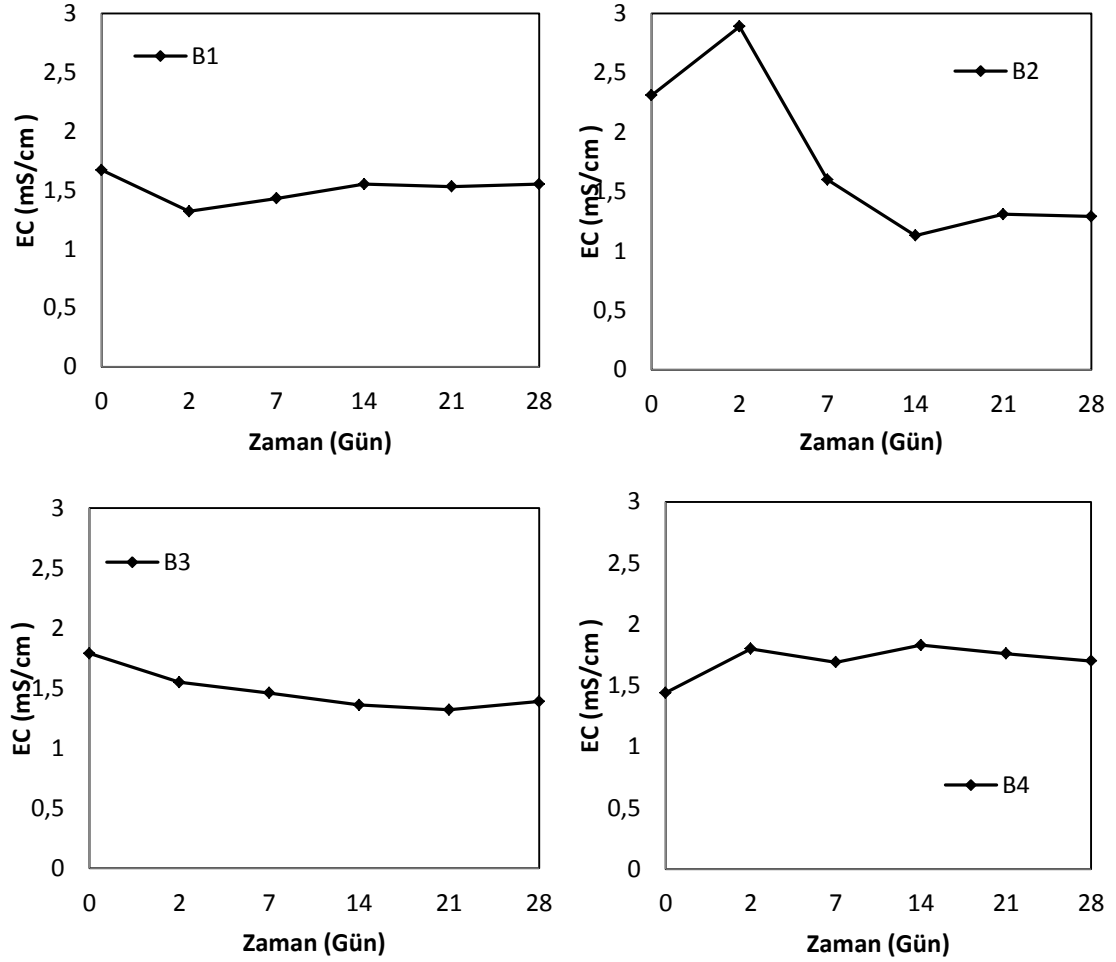
#### 4.2.7. Elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik kompostta bulunan çözünmüş tuz konsantrasyonunu göstermektedir. Uygulanan işlemler sonucunda oluşacak kompost materyalinin özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılacağı düşünülürse, EC parametresinin oldukça önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Bitkilerin büyümesi, gelişmesi, bünyesindeki tuz konsantrasyonunun 2,3- 5 mS/cm aralığında olması istenmektedir.

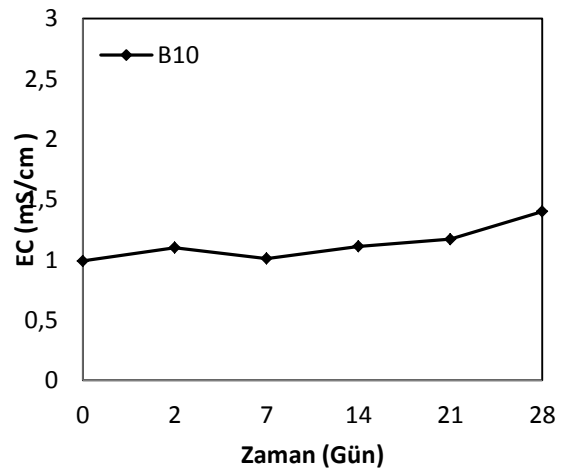
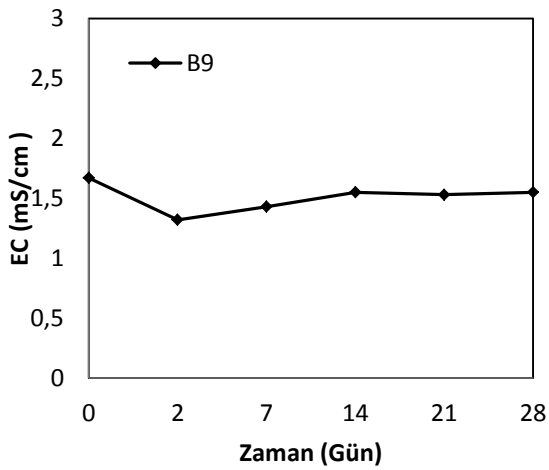
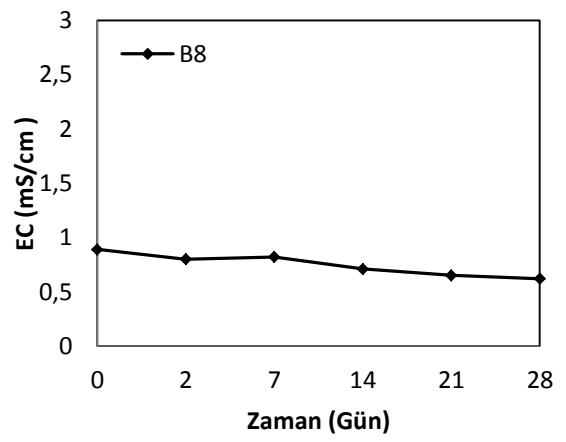
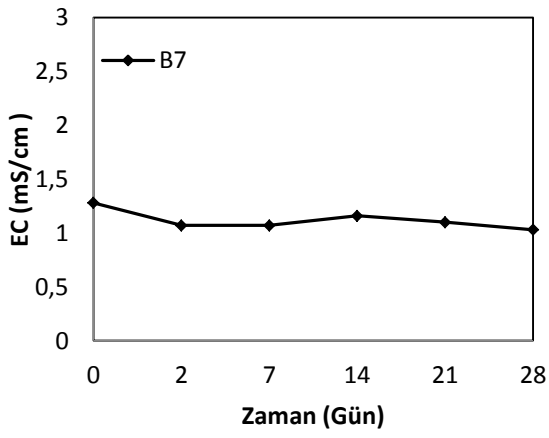
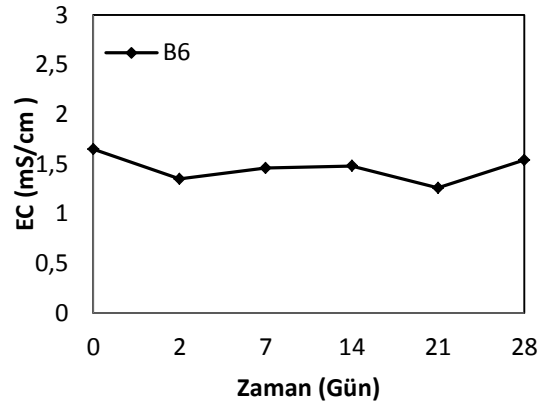
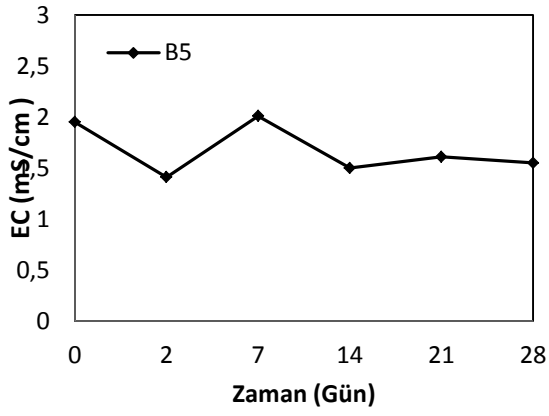
Reaktörlerinin elektriksel iletkenliğinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.7' de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde B<sub>1</sub> reaktöründe elektriksel iletkenliğin 0. Gün 1,67 mS/cm, B<sub>2</sub> reaktöründe 2,31 mS/cm, B<sub>3</sub> reaktöründe 1,79 mS/cm, B<sub>4</sub> reaktöründe 1,44 mS/cm, B<sub>5</sub> reaktöründe 1,95 mS/cm, B<sub>6</sub> reaktöründe 1,65 mS/cm, B<sub>7</sub> reaktöründe 1,28 mS/cm, B<sub>8</sub> reaktöründe 0,89 mS/cm, B<sub>9</sub> reaktöründe 1,67 mS/cm, B<sub>10</sub> reaktöründe 0,99 mS/cm, B<sub>11</sub> reaktöründe 1,25 mS/cm, B<sub>12</sub> reaktöründe 2,19 mS/cm, B<sub>13</sub> reaktöründe 0,69 mS/cm ve B<sub>14</sub> reaktöründe 1,32 mS/cm, olduğu gözlemlenmiştir.



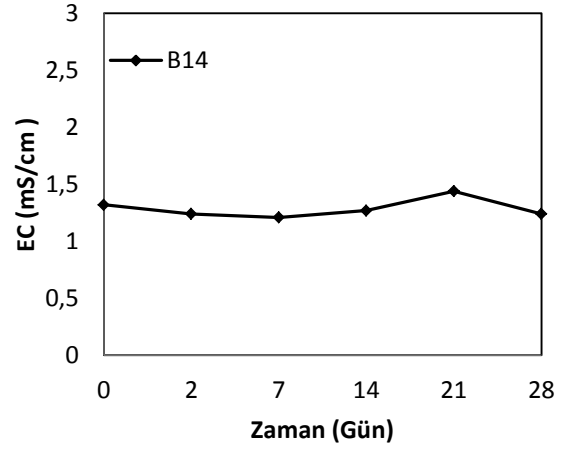
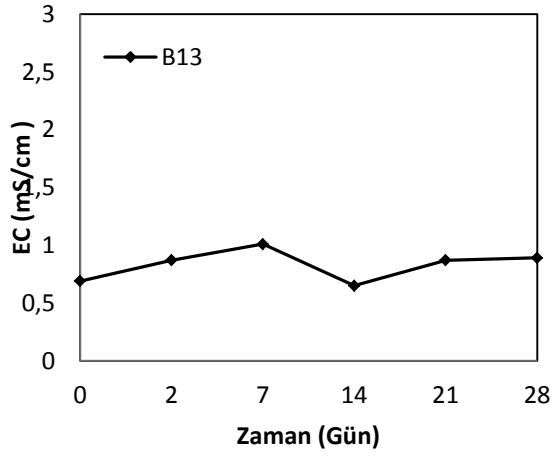
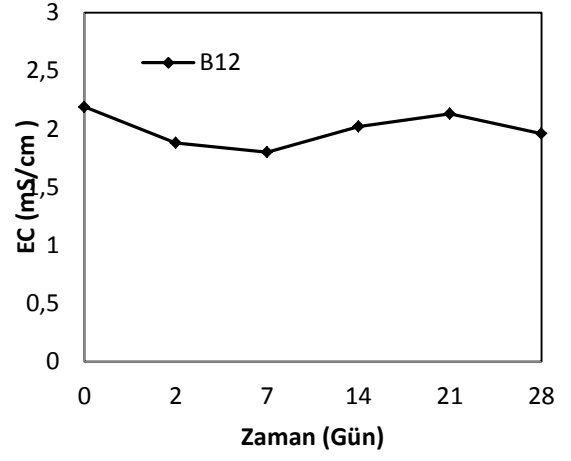
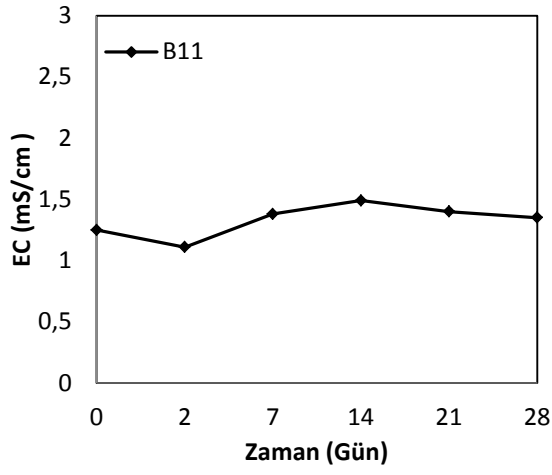
28 günlük periyot sonunda B<sub>1</sub> 2,04 mS/cm, B<sub>2</sub> 1,29 mS/cm, B<sub>3</sub> 1,39 mS/cm, B<sub>4</sub> 1,7 mS/cm, B<sub>5</sub> 1,55 mS/cm, B<sub>6</sub> 1,54 mS/cm, B<sub>7</sub> 1,03 mS/cm, B<sub>8</sub> 0,62 mS/cm, B<sub>9</sub> 1,55 mS/cm, B<sub>10</sub> 1,4 mS/cm, B<sub>11</sub> 1,35 mS/cm, B<sub>12</sub> 1,96 mS/cm, B<sub>13</sub> 0,89 mS/cm, B<sub>14</sub> 1,24 mS/cm olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerleri literatürde belirtilen değerlere uygun bulunmamıştır.



Şekil 4.7. Kompost reaktörlerinde elektriksel iletkenlik değişimi



Şekil 4.7. Kompost reaktörlerinde elektriksel iletkenlik değişimi (devam)



Şekil 4.7. Kompost reaktörlerinde elektriksel iletkenlik değişimi (devam)

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada boya çamurlarının farklı aşu ve düzenleyici katkı maddeleri kullanılarak kompostlanabilirliği incelenmiştir. Aşu maddesi olarak B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> reaktörlerinde gıda endüstrisi arıtma çamuru kullanılmış olup B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> reaktörlerinde endüstriyel arıtma çamuru kullanılmıştır. B<sub>4</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde ise aşu kullanılmamıştır. Otomotiv endüstrisi boya çamuru, düzenleyici katkı maddesi olan ayçiçeği sapı, mısır koçanı ve fıstık kabuğu ile karıştırılarak kompostlama işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaç doğrultusunda boya çamuru ondört farklı reaktörde kompostlanmış ve fiziksel kimyasal değişimlerini incelemek amacıyla alınan örnekler üzerinde belirli analizler yapılmıştır. Yapılan çalışmada aşğıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Boya çamurunun iki farklı aşu maddesi ve üç farklı düzenleyici katkı maddeleri karıştırılarak yapılan on dört reaktörden on iki tanesi 40 °C'yi aşu termofilik faza geçmiş ve bu on iki çalışmadan 3 tanesi 55 °C'nin üstüne çıkmıştır. 55 °C'nin üstüne çıkan B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörleri, önemli oranda patojen giderimi ve dezenfeksiyonun sağlanabilmesi için literatürde belirtilen süre ve sıcaklık koşullarını sağlamıştır. Termofilik faz esnasında 55 °C'nin üzerinde en uzun kalabilen reaktör % 70 boya çamuru ve % 30 mısır koçanı ile hazırlanan B<sub>14</sub> reaktörü olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinin EPA Kriterlerine göre gerekli şartları sağladığı fakat Kompost Tebliği'ne göre gerekli şartların sağlanamadığı belirlenmiştir. Kompost Tebliği'nde belirtilen kalite parametreleri dikkate alındığında hiçbir reaktör kesintisiz 55 °C'de 2 hafta, 60 °C'de 1 hafta, 65 °C'de 5 gün ve 70 °C'de 1 saat kalamamıştır. Ancak B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde uygulanan reçete daha büyük bir kompost prosesinde, yeterli substrat olması durumunda Kompost Tebliği'ndeki sıcaklık limit değerlerini karşılayabilecektir. Ayrıca 28 gün boyunca gözlenen en yüksek sıcaklık 59,8 °C ile % 60 boya çamuru, % 10 endüstriyel arıtma çamur ve % 30 mısır koçanı içeriğine sahip olan B<sub>11</sub> reaktöründe görülmüştür. Fakat en uzun süre 55 °C'nin üzerinde kalan reaktör, 56,3 °C sıcaklığına ulaşan ve % 70 boya çamuru ve % 30 mısır koçanı içeriğine sahip olan B<sub>14</sub> reaktörü olmuştur.

- Boya çamurundaki yüksek nem içeriğinden dolayı başlangıç kompost nem değerlerini ayarlamak için karışıma düzenleyici katkı malzemeleri ilave edilmiştir. Kompostlama prosesi boyunca nem içeriği bazı reaktörlerde artış gösterirken bazılarının azalmıştır. Genelde aynı seviyelerde kalan nem içeriği 28 günlük aktif kompost fazında kompost prosesinin yürümesi için gerekli nem oranlarında kalmıştır. Kompost Tebliği'nde son ürün olan kompostun toprağa uygulanabilmesi için nem içeriğinin % 30' un altında olması gerekmektedir. Bu durum sonucunda reaktörlerden 28 gün sonunda çıkartılan kompost karışımlarının olgunlaştırma işleminden sonra Kompost Tebliği'nde istenen nem değerlerine düşmesi mümkün olabilecektir.
- Reaktörde gerçekleşen kuru madde kayıpları esas alınarak organik madde kayıpları hesaplandığında B<sub>1</sub> reaktöründe % 29,79, B<sub>2</sub> reaktöründe % 19,46, B<sub>3</sub> reaktöründe % 8,32, B<sub>4</sub> reaktöründe % 13,80, B<sub>5</sub> reaktöründe % 10,81, B<sub>6</sub> reaktöründe % 14,32, B<sub>7</sub> reaktöründe % 3,33, B<sub>8</sub> reaktöründe % 5,34, B<sub>9</sub> reaktöründe % 25,97, B<sub>10</sub> reaktöründe % 18,47, B<sub>11</sub> reaktöründe % 18,76, B<sub>12</sub> reaktöründe % 26,62, B<sub>13</sub> reaktöründe % 18,92 ve B<sub>14</sub> reaktöründe % 17,52 bulunmuştur. Literatür bilgilerine göre organik madde kaybı kompost prosesi sonunda % 30 ile % 60 arasında olmalıdır. Reaktörlerdeki organik madde kayıpları değerlendirildiğinde özellikle B<sub>1</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> reaktöründe yeterli oranda organik madde parçalanmasının olduğu söylenebilir. Diğer on bir reaktörde yeterli miktarda organik madde olmamasının nedeni kolay parçalanabilir organik maddenin ortamda yeterli olmamasından kaynaklı olabilir.
- Boya çamuru yüksek karbon içermekle beraber zor parçalanabilir yapıdadır. 28 gün boyunca yapılan aktif kompost sürecinde C/N oranında değişimler gözlemlenmiştir. Kompostlama süresi boyunca C/N oranlarında B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinde düşüş gözlemlenmiştir. B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>11</sub> reaktörlerinde artış yaşanmıştır. Kompost Tebliği'ne göre olgunlaşmış kompostta C/N oranının 10-30 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerinin C/N oranlarının belirtilen aralıkta olduğu görülmüştür.
- Kompost karışımlarında 28 gün boyunca yapılan analizler neticesinde B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, B<sub>13</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerindeki son gün pH değerlerinin literatürde

istenen şartları sağladığı belirlenmiştir. B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>14</sub> reaktörlerindeki pH değerlerinin Kompost Tebliği'nde belirtilen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada otomotiv endüstrisi boya çamurlarının kompostlama prosesi ile yönetilebileceği kanaatine varılmıştır. Kompostlama prosesi ile bu atıkların stabilizasyonu sağlanarak hacminin azaltılabileceği ve böylece bertaraf edilmesi gereken atık miktarının yaklaşık yarı yarıya azaltılabileceği tespit edilmiştir. Kompostlama prosesi sonucunda elde edilen kompost ürününün toprakta gübre olarak kullanılabilirliği mümkündür. Ancak bu çalışmada kullanılan tehlikeli atık olarak tanımlanan boya çamurlarının kompostlanması sonucunda elde edilen kompost ürününde yönetmeliklerde belirtilen tüm yasal parametrelerin kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Deneme yapılan on dört ayrı reaktörde farklı sonuçlara ulaşılmış olup boya çamurlarının kompostlanmasında daha başarılı sonuçlara ulaşabilmek için farklı oranlarda karışımlar hazırlanarak çalışmaların devam etmesi gerektiğine karar verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Adhikari, B.K., Barrington, S., Martinez, J., King, S. 2008.** Characterization of Food Waste and Bulking Agents for Composting. *Waste Management*, 28: 795-804.
- Anonim 1999. Avrupa Birliği Direktifi, <https://recturkey.files.wordpress.com>.
- Anonim 2003.** Özdal Kompost Tesisi, <http://www.ozdalkompost.com/>- (10.06.2017).
- Anonim, 2010a.** Boya Nedir?. <https://www.dek-mar.com.tr/tr/m/makaleler/boya-nedir.html>-(Erişim Tarihi:18.09.2019).
- Anonim 2010b.** Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. 03.08.2010, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim 2012.** Biosun Kompost Tesisi. <http://biosunkatititik.com/>- (10.06.2017).
- Anonim 2015a.** Atık Yönetimi Yönetmeliği. 02.04.2015, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim 2015b.** Evsel Atıklar ve Kompost Geri Kazanımı. <https://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/kompost-geri-kazanimi>- (12.05.2016).
- Anonim 2015c.** Kompost Tesisleri. <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-11563/kompost-tesisleri.html>- (12.05.2016).
- Anonim 2015d.** Mega Mantar ve Kompost. <http://www.megatesnim.com/>- (10.06.2017).
- Anonim 2015e.** Kompost Tebliği. 05.03.2015, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim 2016.** Denizli Kompost Tesisi, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=40356> -(10.06.2017).
- Anonim 2017a,** Ekosol Kompost Tesisi. <https://www.ekosol.net/>- (10.06.2017).
- Anonim 2017b,** Argesol Tarım. <http://argesol.com/>- (10.06.2017).
- APHA, AWWA, WPCF 1998.** Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. Copyright by American Public Health Association, 20th edition, Baltimore, USA, 1269pp.
- Arıkan, O.A. 2003.** Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havalı ve Havasız kompostlaştırılması. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barrington S., Choinière D., Trigui M., Knight W. 2002.** Effect carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology*, 83, 189-194
- Bayer, Y. 2008.** Ayrı toplamanın kompostlanma üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Bilgili, A.V., Yıldız, O., Bilgili, A. 2011.** Kompost ve Biyogaz Tesisi Fizibilite Raporu. Karacadağ Kalkınma Ajansı- Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Bishop P.L., Godfrey C., 1983.** Nitrogen transformations during sludge composting. *Biocycle*, 24, 34-39.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. 1982.** Nitrogen-total, Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties ed: A.L. Page, SSSA Book Series No 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI., 595-622.
- Camcıoğlu, Ş. 2010.** Su Bazlı Boya Üretim Tesislerinin Atıksularının Arıtılmasında Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli (Gmv) Algoritma İle Ph Kontrolü. *Y. Lisans Tezi*, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Choy, S.Y., Wang, K., Qi, W., Wang, B., Chen, C.L., Wang, J.Y. 2015.** Co-composting of horticultural waste with fruit peels, food waste, and soybean residues. *Environmental Technology*, 36(11): 1448-1456.
- Çataltaş, A. 2013.** Hayvansal Atıkların Kompostlanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Anabilim Dalı, Bursa
- Çoban, A., Yiğit, S., Demir, G. 2009.** Kompostlaştırma Prosesinde Yöntem Seçiminin Kompost Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. Türkiye’de Katı Atık Sempozyumu, 15-17 Haziran, 2009, YTÜ, İstanbul.
- Diaz, L.F., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. Stentiford, E. 2007.** Compost Science and Technology. *Elsevier Publishers*, 51 (8):1478-7482.
- Ekinci, K., Keener H.M., Michel F.C., Elwell D.L. 2004.** Modeling composting rate as a Gaussian function of temperature and initial moisture content. *Compost Science and Utilization*.
- Eklind Y., Kirchmann H., 2000.** Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology*, 74, 125-133.
- Epstein, E. 1997.** The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Inc., Basel, 19, 20, 483p.
- Erdin, E. 1980.** Çöp ve Katı Atıklar Kurs Notları. E.Ü., İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü s. 13-13.
- Erdin, E. 1992** Biyoçöp ve Kompost Nedir / Nerede Kullanılır?. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 2(5): 9-13 s.
- Erdin, E. 2005.** Atıkların Kompostlanması. Dokuz Eylül Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Ders Notları, s. 8-35.
- Figliuzzi, B., Jeulin, D., Lemaitre, A., Fricout, G., Piezanowski, J.J., Manneville, P. 2012.** Numerical Simulation of Thin Paint Film Flow. *Journal of Mathematics in Industry*, 2(1): 1-20.
- Halistürk, İ. Topcu, B. Yoldaş, S. 2006.** Atıkların Arıtılmasında Mikroorganizmaların Kullanılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği 2006.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. ve Newham, J. 1998.** Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Kinetics, Resources. *Conservation and Recycling*. 23(4): 209-223.
- Haug, R.T. 1993.** The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, USA, 752p.
- Kaçar, B. 1990.** Gübre Analizleri. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, ISBN 975-7717-00-2.
- Kaçar, B., 1994.** Gübre Bilgisi. A. Ü. Ziraat Fak. Yayınları No: 198, Ders Kitabı S. 397 Ankara.
- Khalil A.I., Hassouna M.S., El-Ashqar H.M.A, Fawzi M. 2011.** Changes In Physical, Chemical And Microbial Parameters During The Composting Of Municipal Sewage Sludge. *World J. Microbiol Biotechnol.*, (27): 2359–2369
- Kocabaş, E. 2009.** Su Bazlı Boya Üretimi Atıksularının Fiziko- Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı. *Y.Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kutzner, H.J. 2000.** Microbiology of composting. *Biotechnology*, (11): 35–100.
- Lin C. 2008.** A Negative-Pressure Aeration System for Composting Foof Wastes. *Bioresource Technology*, 99: 7651-7656.



- Mc Lean, E.O. 1982.** Soil pH and Lime Requirement” in Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties, ed: A.L. Page, ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA, 2, (1982): 199-223.
- Okalebo, J.R., Gathua, K.W., Woomer, P.L. 1993.** Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual, TSBF programe, Soil Science Society of East Africa technical publication no. 1, UNESCO, Rosta, Kenya.
- Özkaya, B., Demir, A. 2012.** Kompost Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri. Bölüm 1, YTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Öztürk, M., Bildik, B., 2005.** Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 151-153 s.
- Öztürk, M. 2017.** Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 207.
- Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A. 2002.** Bio-degradation of Olive Mill Wastewater Sludge bu its Co-Composting With Agriculturalwastes. *Bioresource Technology*, 85: 1-8.
- Richard, T.L., Hamelers, H., Veeken, A., Silva, T. 2002.** Moisture Relationships in Composting Processes. *Compost Sci*, 10(4): 286-302.
- Robin P., Hacala S., Paillat J.M., 2002.** Heat partition during composting process of cattle manure, Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, France.
- Russell, A., Richard, T.L., Cambardella, C.A. 2003.** Compost Mineralization in Soil as a Function of Composting Process Conditions. *European Journal of Soil Biology*, 39(3): 117-127.
- Rynk, R. 1992.** On farm composting handbook. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, USA.
- Stofella P.J.,Kahn B.A, 2001** “Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems”, CRC Pres LLC.
- Salihoğlu, G., Akcan G. 2016.** Otomotiv Endüstrisinin Boya Çamurunda Ultrasonik Dezentegrasyonun Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2): 219-225.
- St. Louis D.M., 1996.** Process for producing building materials from paint sludge, *United States Patent*, N05:573-587.
- Sundberg, C., Yu, D., Franke- Whittle, I., Kauppi, S., Smars, S., Insam, H., Romantschuk, M. and Jonsson, H. 2013.** Effects of pH and microbial composition on odour in food waste composting, *Waste Management*, 33: 204-211.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. 1993.** Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGraw Hill, Inc., USA, 188 s.
- Thompson, S.A., Ndegwa, P.M. 1999.** Efects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 75 (2000), 7-12.
- Tian, Y., Chen, L., Gao, L., Jr. Michel, F.C., Wan, C., Li, Y., Dick, W.A. 2012.** Composting os waste paint sludge containing melamine resin as affected by nutrients and gypsum addition and microbial inoculation. *Environmental Pollution*, 162: 129-137.
- Tian, Y., Chen, L., Wu, M., Gao, L., Jr. Michel, F.C., Dick, W.A. 2012.** Windrow composting of Waste Paint Sludge Containing Melamine Resins. *Compost Science & Utilization*, 23: 199-206.

- Tian, Y., Chen, L., Gao, L., Jr. Michel, F.C., Keener, H.M., Klingman, M., Dick, W.A. 2012.** Composting of waste paint sludge containing melamine resin and the compost's effect on vegetable growth and soil water quality. *Journal of Hazardous Materials*, 243: 28-36.
- Toroman, Y.Ö. 2017.** Çeşitli Boyalarda Yardımcı Pigment, Katkı ve Dolgu Amaçlı Kullanılan Mineral Maddeler: GCC/PCC ve Talk. <http://www.turkchem.net/pigment-katki-dolgu-amacli-kullanilan-mineral-maddeler-gccpcc-talk.html> (Erişim tarihi: 18.09.2019).
- Tosun, İ. 2003.** Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaşabilirliği. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uçaroğlu, S., Gümrah, B.G. 2016.** Gıda Endüstrisi Proses Atıklarının Kompostlanmasında Farklı Katkı Maddeleri ve Aşırı Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 403-413.
- Uçaroğlu, S., Gümrah, B.G., Salihoglu, N.K., Salihoglu, G. 2016.** Water-Based Paint Sludge from Automotive Industries: Management via Composting. ASIA-PACIFIC Conference on Biotechnology for Waste Conversion, 2016, Hong Kong, Çin.
- Uçaroğlu, S., Özdemir, E. 2018.** Su Bazlı Boya Çamurlarının Dezentegrasyonu ve Kompostlanma. *Çevre ve Bilim Teknoloji Teknik Dergi*, 3(1): 15-30.
- Uygun, S. 2012.** Ülkemizde Kompost Üretimi Yapan Bazı Tesislerdeki Mekanizasyon Uygulamalarının Değerlendirilmesi, *Y. Lisans Tezi*, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara.
- USEPA, 1993.** Standards for the use and disposal of sewage, 40 CFR Parts 257, 403, and 503 (FRO-4203-3), final rule, Fed. Register, 58, 9248, US Government Printing Office, Washington, DC. February 19.
- Varank, G. 2006.** Aerobik Olarak Stabilize Edilmiş Katı Atıklar ile Kompost Ürününün Karşılaştırılması. *Y. Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. 2009.** Kompost Teknolojileri ve İstanbul'daki Uygulamaları. Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, 18-19 Haziran, 2009, İstanbul.
- Yılmaz, Ö., Yetiş, Ü., Karanfil T. 2016.** Sektörel Atık Kılavuzlar Otomotiv Sektörü. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı- TÜBİTAK 107G126 nolu Proje Raporu.
- Yu, H., Huang, G.H. 2008.** Effect of Sodium Acetate as a pH Control Amendment on the Composting of Food Waste, *Bioresource Technology*, 100: 2005-2011.
- Yüksel, A. 2006.** İki Farklı Yetiştirme Ortamında Değişik Kompost Uygulamalarının Üçgül ve Soğan Bitkilerinin Gelişimi, Besin Elementleri Alımı ve Mikoriza İnfeksiyonu Üzerine Etkileri, *Y. Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Ana Bilim Dalı, Adana.
- Zanetti, M.C., Ruffino, B., Vercelli, A., Dalmazzo, D., Santagata, E. 2017.** Reuse of Paint Sludge in Road Pavements: Technological and Environmental Issues. International Conference on Environmental Science and Technology, 31 August- 2 September, 2017, Rhodes, Greece.
- Zhang, L., Sun, X. 2016.** Influence of Bulking Agents on Physical, Chemical and Microbiological Properties During The Two-Stage Composting of Green Waste, *Waste Management*, 48: 115-126.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Behice Gamze GÜMRAH  
Doğum Yeri ve Tarihi : Şile 24.03.1992  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Şile İ.M.K.B. 50. Yıl Lisesi  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2015  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Entegre Enerji San ve Tic. A.Ş., Tuzla Deri OSB  
Geri Dönüşüm A.Ş.

İletişim (e-posta) : bgamzegumrah@gmail.com

Yayınları :

**Uçaroğlu, S., Gümrah, B.G. 2015.** Gıda Endüstrisi Proses Atıklarının Kompostlanmasında Aşının Etkisi, 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 15-17 Ekim, 2015, Bursa, Türkiye.

**Uçaroğlu, S., Gümrah, B.G. 2016.** Gıda Endüstrisi Proses Atıklarının Kompostlanmasında Farklı Katkı Maddeleri ve Aşı Kullanımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 403-413.

**Uçaroğlu, S., Gümrah, B.G., Salihoğlu, N.K., Salihoğlu, G. 2016.** Water-Based Paint Sludge from Automotive Industries: Management via Composting, ASIA-PACIFIC Conference on Biotechnology for Waste Conversion, 2016, Hong Kong, Çin.

**Uçaroğlu, S., Gümrah B.G. 2016.** Gıda Endüstrisi Proses Atıklarının Kompostlanabilirliği, 1. Uluslar arası Şehir, Çevre ve Sağlık Kongresi, Northern Cyprus.

**Uçaroğlu, S., Özdemir E., Gümrah B.G., Salihoğlu, N.K., Salihoğlu, G. 2017.** Compostability of Water-Based Paint Sludge Originated From Automotive Industry, 2. International Conference on Civil and Environmental Engineering ICOCEE – CAPPADOCIA, 2017, Nevşehir, Türkiye.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Behice Gamze GÜMRAH
Tez Adı	Farklı Tipte Katkı Maddeleri ile Boya Çamurlarının Kompostlanabilirliği
Enstitü	Fen Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışman(lar)ı	Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih :24.10.2019

İmza : 