

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**FARKLI ORGANİK ATIKLARIN
KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA BİYOKÜTLE SANTRALİ
UÇUCU KÜLLERİNİN KULLANIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Hale DOĞAN

Danışman

Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.194.21.024 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans Yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐

Hayır ☒

19 /12 / 2022
Hale DOĞAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: FARKLI ORGANİK ATIKLARIN
KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA BİYOKÜTLE UÇUCU KÜLLERİNİN
KULLANIMI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 23/06/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 18

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

19 /12 / 2022
Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

ÖZET

FARKLI ORGANİK ATIKLARIN KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA BİYOKÜTLE SANTRALİ UÇUCU KÜLLERİNİN KULLANIMI

Hale DOĞAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ocak/2023

Danışman: Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Son zamanlarda nüfus artışı birlikte tüketim alışkanlıklarının değişmesi sonucu büyük miktarlarda ve çeşitli özelliklerde atıklar meydana gelmektedir. İnsan sağlığını ve diğer canlıların hayatını tehlikeye atmamak, havayı, suyu ve toprağı kirletmemek, hammadde ve enerji potansiyelini kullanmak için katı atıkların doğru yönetimi büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada, ülkemizde sayısı hızla artan ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilen biyokütle santrallerinin katı atıklarından uçucu küllerin bertarafı konusunda alternatif geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Uçucu küller içeriğı nedeniyle önemli çevresel ve ekonomik problemlere neden olmaktadır. Artan santrallerden oluşan uçucu kül miktarı da buna paralel olarak artış göstermektedir. Kompostlaştırma çevre dostu bir bertaraf ve geri kazanım yöntemi olarak son yıllarda yaygın olarak dünyada ve ülkemizde kullanılmaktadır. Kompostlanabilir pek çok atık olmasına rağmen, atıkların özellikleri nedeniyle çoğı zaman katkı maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, farklı organik atıkların kompostlaştırılmasında biyokütle santrali uçucu küllerinin katkı maddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. %5 ve %10 oranlarında biyokütle uçucu külü kullanılmış ve katkısız yürütülen prosesler ile kompost kalitesi ve olgunluğu açısından etkinliği araştırılmıştır. Etkili biyokütle uçucu külü oranı %5 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, biyokütle santrali uçucu küllerinin kompostlaştırma prosesinde azot ve karbon kayıplarını azalttığı ve elde edilen kompostun kalitesini artırdığı görölmüştür.

Anahtar Sözcükler: Arıtma çamuru, Biyokütle santrali, Kentsel katı atık, Kompostlaştırma, Uçucu kül.

ABSTRACT

USE OF BIOMASS PLANT FLY ASH IN COMPOSTING DIFFERENT ORGANIC WASTE

Hale DOĞAN
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering
Master, January/2023
Supervisor: Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN

Recently, as a result of the change in consumption habits with the increase in population, large amounts of wastes with various characteristics are generated. The sustainable solid waste management has a great importance in order to protect human health and environment, and to use the raw material and energy potential.

In the study, it is aimed to develop an alternative for the disposal of fly ash from the solid wastes of biomass power plants, which are rapidly increasing in number in our country and are among the renewable energy sources. Due to the fly ash content, it causes significant environmental and economic problems. The amount of fly ash formed by increasing power plants also increases in parallel. Composting has been widely used in the world and in our country in recent years as an environmentally friendly disposal and recycling method. Although there are many compostable wastes, additives are often needed due to the characteristics of the wastes.

In this study, the usability of biomass plant fly ash as an additive in the composting of different organic wastes was investigated. 5% and 10% biomass fly ash was used and compared to control process without additive in terms of compost quality and maturity. The effective biomass fly ash rate was determined as 5%. As a result, it was observed that the fly ash of the biomass power plant reduces nitrogen and carbon losses in the composting process and increases the quality of the final compost.

Keywords: Wastewater treatment sludge, biomass plant, Municipal solid waste, Composting, Fly as

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, farklı organik atıkların kompostlaştırılmasında biyokütle santrali uçucu küllerinin kullanımı incelenmiştir.

Çalışma, Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans öğrencilerimizden Hale DOĞAN'ın tez konusu olup Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde PYO.MUH.1904.19.027 nolu ve “Biyokütle Santrali Uçucu Küllerinin Farklı Organik Atıkların Kompostlaştırılmasında Kullanımı” isimli Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Çalışmalarında yardımını eksik etmeyen, her zaman destekçim olan sayın hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN' a saygı ve teşekkürlerimi en içten dileklerle sunarım.

Katkılarıyla bana yön veren, fikirlerinden faydalandığım Arş. Gör. Bilge Aydın, Arş. Gör. İsa IŞIK, Arş. Gör. Sevda AKKAYA'ya arkadaşlarım Hatice ÇAVDARCI, İpek UZDİL ve AVDAN ENERJİ' ye emeği geçenlere sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Tez çalışmamın her kısmında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, beni büyüten ve okutan canım aileme sonsuz minnetimi sunuyorum.

Hale DOĞAN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KURUMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Biyokütlenin Tanımı	4
2.2. Biyokütle Enerjisi	4
2.3. Biyokütle Enerji Kaynakları	5
2.4. Biyokütlenin Sürdürülebilir Gelişimi.....	6
2.4.1. Sera gazı emisyonu	6
2.4.2. Arazi kullanımı	7
2.4.3. Biyoçeşitlilik.....	7
2.4.4. Su kalitesi ve miktarı	8
2.4.5. Toprak kalitesi ve miktarı	8
2.4.6. Hava kirliliği	8
2.5. Biyokütlenin Diğer Yenilenebilir Enerjilerden Farkı	9
2.6. Biyokütle Enerjisi Avantajları.....	10
2.7. Biyokütle Enerjisi Dezavantaj ve Riskler	11
2.8. Dünya’da Biyokütle Enerjisi Kullanımı ve Mevcut Durumu	12
2.9. Türkiye’nin Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Mevcut Durumu	14
2.10. Katı Biyoyakıtların Enerji Kaynağı Olarak Kullanılabilirliği.....	15
2.11. Biyokütle Enerji Santrali ve Tesise Kabul Edilecek Atıklar.....	17
2.11.1.Elektrostatik Filtre.....	19
2.12. Kompostun Tanımı	19
2.13. Kompost Oluşturma İşlemine Etki Eden Parametreler	21
2.13.1. Oksijen ve havalandırma	21
2.13.2. Mikroorganizmalar	21
2.13.3. Karbon (C), azot (N) ve C/N oranı	22
2.13.4. PH.....	22
2.13.5. Nem İçeriği.....	23
2.13.6. Partikül büyüklüğü.....	23
2.13.7. Sıcaklık	24
2.13.8. Süre	24
2.14. Kompostun Kullanım Alanları	24
2.15. Kompostlaştırma Yöntemleri	26
2.15.1. Pasif kompostlaştırma.....	27
2.15.2. Karıştırmalı yığın kompostlaştırma	28
2.15.3. Havalandırmalı Statik Yığın Kompostlaştırma.....	30
2.15.4. Kapalı reaktör sistemler.....	31
2.16. Kompost Kalite Kriterleri.....	31
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Materyallerin Temini ve Özellikleri	34
3.1.1. Biyokütle Tesisi Uçucu Külünün Temini ve Özellikleri.....	34
3.1.2. Kentsel Katı Atıkların Temini ve Özellikleri.....	35
3.1.3. Arıtma Çamurlarının Temini	35
3.2. Pilot Kompostlaştırma Reaktörleri.....	36

3.3. Kompostlaştırma Denemeleri	37
3.4. Analizler.....	38
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. SıcaklıkDeğişimine Etkisi.....	39
4.2. PH Değişimine Etkisi.....	40
4.3. Nem İçeriği Değişimine Etkisi.....	42
4.4. İletkenlik Değişimine Etkisi.....	44
4.5. Toplam Azot Değişimine Etkisi.....	45
4.6. Toplam Karbon (TOC) Değişimine Etkisi.....	47
4.7. C/N Oranı Değişimine Etkisi	48
4.8. Nitrat Azotu (NO ₃ ⁻ - N) Değişimine Etkisi.....	49
4.9. Amonyum Azotu (NH ₄ ⁺ - N) Değişimine Etkisi.....	50
4.10.Amonyum azotunun nitrat azotuna oranının değişimi	52
5.SONUÇ	54
KAYNAKLAR.....	56
EKLER	59
ÖZ GEÇMİŞ.....	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Biyokütle dönüşüm süreçleri	6
Şekil 2.2. Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim.....	16
Şekil 2.3. Biyokütle enerji santrali iş akım şeması	17
Şekil 2.4.ESP ünitesi genel görünümü ve kesiti	19
Şekil 2.5. Kompost oluşumu	20
Şekil 2.6. Pasif yığın	27
Şekil 2.7. Karıştırmalı yığın sistemi.....	28
Şekil 2.8. Pasif havalandırılmalı yığın	30
Şekil 3.1. Pilot kompostlaştırma reaktörü şematik çizimi.....	37
Şekil 4.1. Kompostlaştırma prosesi sürecinde sıcaklığın zamanla değişimi.....	40
Şekil 4.2. Kompostlaştırma prosesi süresince pH'nın zamanla değişimi	41
Şekil 4.3. Kompostlaştırma prosesi süresince nem içeriğinin zamanla değişimi.....	43
Şekil 4.4. Kompostlaştırma prosesi süresince iletkenliğin zamanla değişimi.....	45
Şekil 4.5. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam azotun zamanla değişimi	46
Şekil 4.6. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam karbonun zamanla değişimi.....	47
Şekil 4.7. Kompostlaştırma prosesi süresince C/N oranının zamanla değişimi.....	49
Şekil 4.8. Kompostlaştırma prosesi süresi boyunca nitrat azotunun zamanla değişimi.....	50
Şekil 4.9. Kompostlaştırma prosesi süresince amonyum azotunun zamanla değişimi.....	51
Şekil 4.10. Amonyum azotunun nitrat azotuna oranının değişimi.....	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Biyokütle kaynakları ve çevrim teknikleri, uygulama alanları.....	5
Tablo 2.2. Tesise kabul edilecek atıklar ve kodları.....	18
Tablo 2.3. Bazı kompost bileşenlerinin C/N oranları	22
Tablo 2.4. Hızlı kompostlaştırma için önerilen koşullar.....	24
Tablo 2.5. Kompost kalite kriterleri.....	32
Tablo 2.6. Kompostta ağır metal sınır değerleri	33
Tablo 3.1. Biyokütle tesisi külünün özellikleri	34
Tablo 3.2. Biyokütle tesisi uçucu külü analiz sonuçları.....	35
Tablo 3.3. Arıtma çamurlarının özellikleri	36
Tablo 3.5. Kompost denemelerinde kullanılan materyal oranları	37

1.GİRİŞ

Son zamanlarda artan biyokütle enerji santralleri enerji ihtiyacı ile önem kazanmıştır. Biyokütle tesislerinin, sayısının artması tesiste oluşan uçucu kül miktarının da artmasına neden olmuştur. Bu sebeple uçucu küllerin çevre sorunlarına neden olmadan bertarafı büyük önem arz etmektedir.

ESP (Elektrostatik filtre) altı külünün biyokütle tesislerinde yanma sonucu yüksek miktarda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Çevreye doğrudan zarar verebileceği gibi, dolaylı olarak da toplama ve depolama sorunlarını da içermektedir.

Artan nüfus ile atık miktarı da beraberinde artış göstermektedir. Kentsel atıkların toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi sorunu yanında katı atık miktarının artması ile katı atık yönetimi konusunda çözüm alternatifleri zorunlu olmuştur. Organik atıklarında işlenmesi şart olmuştur (Topal, 2013).

Biyogaz enerji tesislerinde biyogazdan enerji üretmek için bir tankta uygun koşullar sağlanarak karışımı yapılan arıtma çamuru, sızıntı suyu, kan vb. atıkların belirli işlemlerden geçmesinden sonra dekantör çıkışı çamuru ve seperatör çıkışı çamuru biyogaz tesislerinde atık olarak sorun teşkil edebilecek çıktılardır. Taşıma depolama sorunu ile karşılaşılacağından değerlendirilmesi gerekmektedir. Gübre olarak toprağa faydalı olan küllerin kullanılabilir hale getirilerek yine elverişli olan atıklarla kompostlaştırılarak toprakta kullanılması çevre sorunlarını çözmenin yanında gübrenin değerini artırır (Anonim, 2013).

Obernberger ve ark. (1997) çalışmalarında birçok biyokütle yakma tesislerinde farklı çeşit biyokütlerle yakma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ağaç kabuğu, ağaç talaşı, tahıl ve saman ile yaptıkları denemelerde en az ikişer günlük olacak şekilde gözlem yapmışlar ve farklı farklı numune örnekleri toplamışlardır. Analizlerinin sonucunda özellikle Cd ve Zn'nin azaldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca araştırmalarının sonucunda saman ve tahıl küllerinin odunsu biyokütlerle oranla ciddi ölçüde daha düşük ağır metal ihtiva ettiği sonucunu çıkarmışlardır. Aynı durum S, Na ve K içinde geçerlidir.

Bueno ve ark. (2008), Komposttaki azot korunumu üzerine gerekli olan kompost parametrelerinin optimasyonu üzerinde araştırma yapmışlardır. Çalışmada,

kompostlamanın çevresel etken olarak sayılacak parametrelerin (Partikül boyut dağılımı, havalandırma, nem ve zaman) kompostun, Kjeldahl-N organik madde, azot kayıpları ve C/N oranı üzerindeki etkileri araştırarak ve kompostlamada en iyi ortamları belirlemek sebebiyle merkezi bir bileşik deneysel tasarım ile çalışmıştır. Kompostlama sürecini daha doğru düzeyde ifade eden ikincil bir model olan birbirinden bağımsız 4 süreç değişkeninden oluşan polynomial model kurulmuştur (Tahmin edilen değerler arasındaki fark deneysel değerler ve kimyasal denklem kullanılarak oluşturulmuş ve hiçbir zaman bir öncekinin %10'unu geçmemiştir) Araştırma sonuçlarına göre, azot kaybının kompostlama süresinin uzun olmaması, düşük tanecik boyutu, orta ve düşük havalandırma ve nem sonucunda düştüğü gözlemlenmiştir.

Sommer (2000), çalışmasında, büyük baş hayvan gübrelerinin ahırdan toplandıktan sonra depolanması esnasında oluşan karbon ve azot emisyonları ile bitki besin maddesi sızıntısını gözlemiştir. Çalışmada Ekim 1998'den Mart 1999'a kadar 2 ay 12 gün boyunca kompost oluşumunda, NH_3 , N_2O ve CH_4 emisyonları ve bitki besin maddelerinde süzülme ölçerek takibini sürdürmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, gözenekli 18 branda kullanarak kompostun örtülmesi ya da kompostun sıkıştırılması, emisyon kayıplarında azalma olduğunu, azot kaybının büyük bölümünün NH_3 buharlaşması ile değiştiğini, sızıntı sonucu me oluşan kayıpların toplam azot kayıplarının yaklaşık olarak beşte birini oluşturduğunu ve denitrifikasyon sebebiyle az miktarda azot kaybının olduğunu göstermiştir. Bununla beraber yine çalışma sonuçlarına istinaden sızıntı sonucu kaybedilen potasyum oranının, başlangıca göre %8-16'sı arasında olduğu ve potasyumdaki sızıntı kaybı kompostun sıkıştırılması işlemi ile azaldığı belirlenmiştir.

Tiquia ve Tam (2000), azot değişimi ve azot kayıplarını kompostlama boyunca izlemek için, tavuk gübrelerini kompostlama üzerine çalışmışlar ve kompostlama süresi boyunca tavuk gübrelerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini gözlemlemişlerdir. Gerçek kayıpları belirlemek amacıyla kompostlaştırma esnasındaki azot ve organik maddenin kütle dengeleri ve kümülatif kayıplarını takip etmişlerdir. Kompostlamanın ilk 35 günü boyunca tavuk gübresinin amonyum azotu konsantrasyonu önemli miktarda azalmıştır. Ancak kompostlaştırma esnasındaki NH_4^+ - N'deki hızlı azalmanın, $(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)$ - N konsantrasyonundaki hızlı artışla uyuşmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum kompostlama boyunca azot kaybındaki

temel sebebi yüksek pH değerleri (>7), hava sıcaklıkları olabileceğini dūřündürmüřtür. Kompostlama zamanı ile doğru orantılı olarak organik madde ve toplam organik karbon kütlesi azalmıştır. Aynı zamanda başlangıçta kullanılan tavuk gübresinde kompostlama sonucunda önemli bir kütle kaybı meydana gelmiştir.

Dias ve ark. (2009), çalışmalarında tavuk gübresinin organik madde ve azot korunumunu, okaliptüs biyokütlesinin yavaş pirolizi ile elde edilmiş biochar, ağaç talaşı ve kahve kabuğu ile ayrı ayrı karıştırıp kompostlaştırarak araştırmışlardır. Kompostlamanın sonunda biochar ile hazırlanan kompost numunesinin ilk içeriğinin %70'i oranında organik madde bozulmasına uğradığını ve biochar eklenmesi ile azot kaybının azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte azot kaybının azaltılmasındaki en iyi sonuçların ağaç talaşı ile elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı; biyokütle santrali atığı olan uçucu külün, kentsel katı atıkların, biyogaz tesisinde seperatör çıkışı çamuru ile dekantör çıkışı çamurunun kompostlaştırılması incelenmiştir. Bu amaçla biyokütle külü, kentsel atık, dekantör çıkışı çamuru, seperatör çıkışı çamuru ile 2 farklı oranda karıştırılmış ve sadece kentsel atık, dekantör çıkışı çamuru, seperatör çıkışı çamuru kompostlaştırıldığı sistemlerle kompost kalite kriterleri ile kıyaslanmıştır. Kompostlaştırma süreci boyunca sistemlerin hepsine aynı koşullar uygulanmıştır ve birlikte kompostlaştırmanında etkisi göz önünde bulundurulmuştur.

2. KURUMSAL TEMELLER

2.1. Biyokütle Tanımı

Biyokütle, organik atıklar ve bitkisel yağ atıkları, tarım yapılan bölgelerde çıkan hasat artıkları da olmak üzere, orman ve tarım ürünlerinden işlenen bu ürünler sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden de ortaya çıkan kaynakları ifade etmektedir (Resmî Gazete, 2013).

Biyokütle, bir tür ya da bu türlerin çeşitlerinden oluşan bir toplumda yaşayan organizmaların belirlenen bir zamanda elde ettikleri toplam kütlenin miktarı olarak da tanımlanmaktadır. Ormanlık alanlardaki ağaçlar ve ağaçların kökü, dal odunu ve gövde, odunsu olmayan bu ağaçların kabuğu ile oluşan bütüne verilen ad orman biyokütlesidir. Ormanın belirlenen zamandaki kapasitesine de biyokütle denir (Alemdağ, 1980).

2.2. Biyokütle Enerjisi

Dünyanın sanayileşme ve çoğalan nüfusu ile gün geçtikçe artan enerji gereksinimi sonucunda çevreyi koruyarak, kirletmeden sürdürülebilir düşünce yapısıyla biyokütle enerjisinden yararlanmak önem arz etmektedir. Bitki yetiştirmek güneş olduğu sürece tükenmez enerji kaynağı olacaktır biyokütle. Her alanda yetiştirilmesi sosyo-ekonomik gelişim açısından, kırsal alanlarda özellikle yardımcı olur. Bu yüzden biyokütle enerjisi önemli enerji kaynağı görülmektedir (Yılmaz, 2012).

Biyokütle kullanılarak açığa çıkan enerjiye biyokütle enerjisi adı verilir. Biyokütle enerjisi klasik ve modern olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Klasik biyokütle enerjisi, konvansiyonel ormanlardan temin edilen yakacak odun olarak kullanılan bitki ya da hayvan atıklarından oluşmaktadır. Modern biyokütle enerjisi ise; orman-ağaç endüstrisi artıkları, enerji ormancılığı, tarımda kesim sonrası oluşan bitkisel atıklar ve kentsel atıklardan oluşmaktadır.

2.3. Biyokütle Enerji Kaynakları

Doğaları dolayısıyla biyokütle enerji kaynakları çeşitleri çok fazladır. Deniz veya karada mevcut hayvansal ve bitkisel biyokütle kaynakları aşağıda sıralanmıştır (Karaosmanoğlu, 2006).

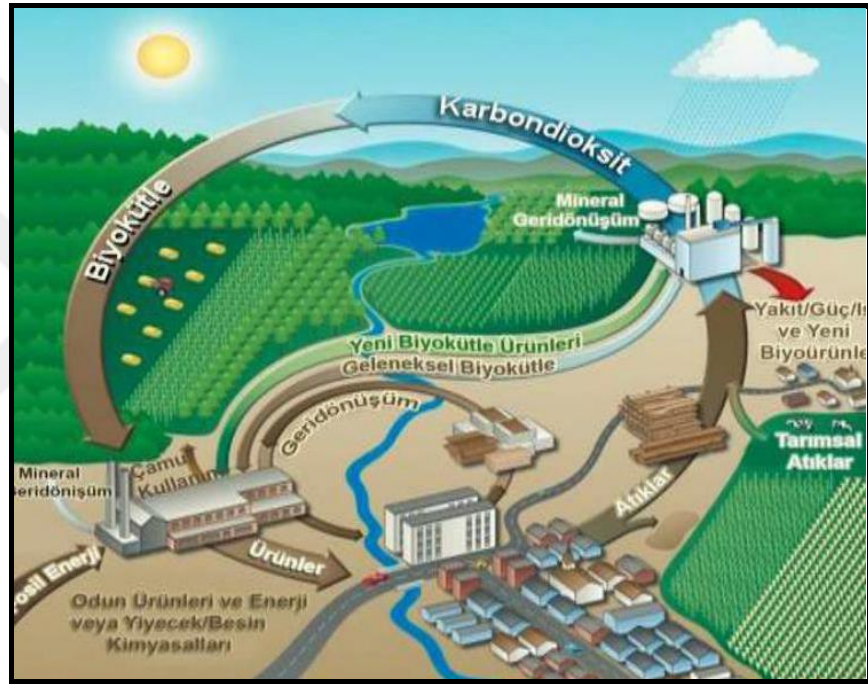
- Odun (ağaç artıkları, enerji ormanları),
- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, aspir, kolza, pamuk, soya, vb.),
- Hayvansal artıklar
- Karbonhidrat bitkileri (pancar, patates, buğday, mısır vb.)
- Şehirsel ve endüstriyel atıklar

Enerji haricinde biyokütleden, mobilya, yalıtım maddesi yapımı, mobilya gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Biyoetanol, biyogaz, biyodizel gibi yakıtların haricinde, yine biyokütle kullanılarak elde edilen, gübre, metan, hidrojen, odun briketleri gibi daha pek çok yakıt türleri sayılabilir. Elde edilen bu yakıtlar biyokimyasal ve termokimyasal olarak adlandırılan yeni teknikler ile geliştirilmiş ve yıllar geçtikçe verimlilikleri arttırılmıştır. Bu teknolojiler önümüzdeki yıllarda gelişmeleri yanında, sadece biyokütle kaynaklı çalışan büyük termik santrallerinin yapımı planlar arasındadır. İsveç, Finlandiya gibi ülkeler bölgesel biyokütle santralleri tercih ederek elektrik üretimi yapmakta (Anonim, 2011b).

Tablo 2.1. Biyokütle Kaynakları ve Çevrim Teknikleri Bu Teknikler ile Elde Edilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları (Anonim, 2011a).

Biyokütle	Yakıtlar	Çevrim Yöntemi	Uygulama Alanları
Hayvansal Atıklar	Metan	Fermantasyon, havasız çürütme	Ulaşım araçları, ısınma
Orman Atıkları	Biyogaz	Havasız Çürütme	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım Atıkları	Etanol	Piroliz	Isınma, ulaşım araçları
Çöpler (Organik) Enerji bitkileri Algler	Metanol Hidrojen	Biyofotoliz Doğrudan Yakma Hidroliz	Uçaklar Isınma Sentetik yağ Roketleri
Hayvansal ve Bitkisel Yağlar	Motorin	Esterleşme reaksiyonu	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık
Enerji ormanları	Motorin	Biyofotoliz	Ürün kurutma

60'lı yıllarda “Yeşil Devrim” adı verilen biyokökenli endüstriyel ürün teknolojileri etkisini göstermeye başlamıştır. Biyokökenli madde içeriği, inorganik maddeler ve su hariç biyokökenli ürün için %90 veya üzeri miktarında olmalıdır. Biyokökenli endüstriyel ürünler; Biyokimyasallar, Biyoyakıtlar ve Biyomalzemeler olarak sınıflandırılmakta. 21. Yüzyıl “Biyoteknoloji Yüzyılı” adında farklı çevrelerce tanımlanmaktadır ve biyorafine uygulamaları kapsamlı biyoürünler bağlantılı olarak biyoyakıtların gün geçtikçe artan oranlarda hayatımızda yer alacağı öngörülmektedir (Karaosmanoğlu, 2006).



Şekil 2.1. Biyokütle Dönüşüm Süreçleri (İTÜ, 2005)

2.4. Biyokütlenin Sürdürülebilir Gelişimi

2.4.1. Sera gazı emisyonu

Temeli fosil olan sistemlerin aksine, biyokütlede büyüme ve çürüme doğal döngü parçası olduğu için biyoenerji üretimi, kullanımı genellikle “karbon nötr” olarak kabul edilmekte. Değerlendirmelere göre biyoenerji üretimi fosil yakıtlara nazaran çok daha düşük emisyonlara (yaklaşık %80 – 85) sebep olduğu görülmüştür. Bu durum sürdürülebilir yöntemlerle biyoenerji hammaddelerinin

üretilmemesi durumunda geçerli olmamaktadır.

Düşük sera gazı emisyonuna sahip biyokütle hammaddelerinin tercih edilmesi ile yönetim işleme aşamalarında çok daha verimlilik iyileştirilmesine gidilmesi, değerler zincirinde optimum şekilde sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır (Erdoğan, 2016).

2.4.2. Arazi kullanımı

Arazi kullanımında dikkat edilmesi ve yönetiminde titizlik gerektiren biyoenerji üretimi birtakım riskler de barındırmaktadır. Kullanılan arazideki değişiklikler, örneğin, enerji üretimi için gerekli alanı yaratmak adına orman alanlarını kesip yok etmek gibi, biyoenerji kullanımında fayda paydasını azaltırken bazı olumsuzluklara da sebep olabilmektedir. Buna benzer risklerin oluşmaması ve biyoçeşitliliğin riske atılmaması adına biyoenerji üretiminin yanı sıra çevreyi koruma adına uygulamalar kullanılmaktadır. Örneğin, arazi kullanılmak için kazılıyorsa, diğer yandan çevre bölgelere ağaçlandırma çalışmaları yapılmalıdır.

Bununla beraber, biyoenerji üretiminde arazi kullanımı, verimli olarak kullanılmayan ve terk edilmiş arazileri tekrar kullanıma çevirerek üretimde ve verimlilikte artırımı sağlama konusunda önemli potansiyele sahiptir. Ayrıca kaynak verimliliğinin artırımında hasat kalıntılarının biyoenerji üretimi hammaddesi olarak kullanılması, kaynak verimliliğinde artırımın yanı sıra, toprak kullanılırken olumsuz etki yaratmadan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır (PWC, 2021).

2.4.3. Biyoçeşitlilik

Biyoçeşitliliğin etkilerine yönelik risk, yüksek oranda arazi bazlı biyokütle kaynaklarının üretimine bağlıdır. Arazi kapsamında biyoenerji üretiminin potansiyel etkilerinden birine bakarsak, arazi kullanımında değinildiği gibi, biyoçeşitlilik açısından zengin olan arazilerin dönüştürülmesidir. Biyoenerji üretimi yapılırken gerekli önlemlerin alınması, üretim amaçlı kullanılan arazilerde biyoçeşitliliğin azalması veya artmasına neden olma açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Odun kömürü üretebilmek için oduna alternatif biyokütlenin kullanılması, bağlantılı olarak karbon stoklarında korumaya katkıda bulunurken ormanlara zarar gelme konularındaki kaygıda azalmaktadır. Sonuç olarak biyokütle kullanımının etkilerinin birbirleriyle ilişkili olduğu görülür.

Sürdürülebilir biyokütlenin kullanımı sonucu, biyolojik çeşitlilik, su ve hava kirliliği, sera gazı emisyonunun azaltılması ve toprak kullanımı gibi konularda olumlu etkileri vardır.

2.4.4. Su kalitesi ve miktarı

Arazi bazlı kullanılan biyokütle kaynaklarının üretim alanı ve çevresinde olan su kaynaklarının azalması, tükenmesi ya da kirlenmesi riski bulunmaktadır. Diğer yünden, biyoenerji üretiminde atık su kullanımı ve biyoyakıt olarak yosun kullanımı, kirlenmiş ya da besin içeriği zengin su akışlarında temizleme özelliği gösterme gibi pek çok faydası bulunmaktadır. Sürdürülebilir kapsamında kullanılan biyokütle hammaddeleri, bozulmuş arazilerde rehabilitasyonuna katkıda bulunabilir ve bunun sonucu havzaların korunması ile sonuçlanır.

2.4.5. Toprak kalitesi ve miktarı

Birincil kalıntıların ya da tarımsal ürünlerin biyoenerji üretiminde kullanılması toprak kalitesinde düşme ve besin maddelerinde tükenme risklerini beraberinde getirmektedir. Başka taraftan, atıklar işlenirken toprak kalitesinde olumlu etki yaratması ve gübre olarak kullanılmasıdır. Sürdürülebilir uygulamalar hayata geçirilerek, uygun görülen biyokütle hammaddeleri kullanılması, bozuk arazilerin rehabilitasyonuna katkıda bulunur ve toprak kalitesinde iyileşme ile sonuçlanabilmektedir. Biyoenerji üretiminde, çevresel etkilerdeki risklerin ve potansiyel faydaların yönetim sistemi, işletme bölgesi, hammadde, kullanılan teknoloji gibi etkenler sonucu farklılık gösterdiği söylenebilmektedir (PWC, 2021).

2.4.6. Hava kirliliği

Biyokütle hammaddelerinde kontrolsüz yöntemler kullanılarak yakma gerçekleştirilmesi, karbon emisyonlarında yükselmelere yol açarak hava kirliliği

sonucu sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Ancak, modern sistemlerin kullanılması ve kontrollü yöntemler ile yönetilmesi sonucu hava kalitesi standartlarını karşılayabilmektedir (PWC, 2021).

2.5. Biyokütlenin Diğer Yenilenebilir Enerjilerden Farkı

Biyokütle santralleri kapasitesi ve verimi yüksek tesislerdir, kesikli değil sürekli enerji sağlarlar. Biyokütle enerjisi üretiminde diğer enerji kaynaklarına karşılık önemli avantajları vardır:

- Peyzaj değerı oluşturur
- Sera gazı emisyonlarını azaltıcı, iklim değişikliğini yavaşlatıcı etki göstermesi
- Sürekli olarak iş olanağı sağlaması
- Devlete ekonomik avantaj sağlar
- Toprağı koruma, besin ve su üretimini güvence altına alır.

Dış faktörlere (zaman, mevsim, hava durumu gibi) bağlı değişen elektrik enerjisi talebi günlük bazda dalgalanmaktadır. ‘Base- load’ (sürekli yük, temel yük) 24 saatlik süre boyunca en az (minimum) elektrik talebi miktarını ifade eder.

Sabit güç kaynağı gerektirip açılıp kapanmayan cihazlar (bazı makinalar, IT, güvenlik sistemleri, alarm vs.) talebin altına düşmediği düzey veya her zaman gereklilik arz eden temel enerji miktarını belirlemektedir. ‘Peak-load’ (tepe yük) kısa süre yüksek talebi ifade etmekte, tahmin edilebilirliği daha az ve peak elektrik çok daha pahalıdır. Base-load santrallerinin kapatılmadan tutarlı bir şekilde ve sürekli çalıştırılması gerekir. Yakıt maliyetleri üretilen kW başına düşük olma eğilimindedir. Base-load çalışan santrallerin arasında biyokütle santralleri yer alır. Bir artış olduğuunda Peak-load santraller başlatılıp talep azaldığuında ise durdurulmaktadır (Saraçoğu, 2017).

2.6. Biyokütle Enerjisi Avantajları

Biyolojik kökenli olan kaynaklar, insanlığın ilk zamanlarından bugüne kadar enerji üretimi sebebiyle kullanılıp yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir. Enerji amaçlı kullanılan biyolojik kaynaklar arasında en önemlisi orman ekosistemi alanında yer alan odunsu materyallerdir. Sanayi odunu, direk, tomruk vb. ağaç gövdelerinden elde edilmiş ürünlerden geriye kalan ağacın gövde parçaları ile dal, kabuk, kök ve yaprakların enerji eldesinde kullanımı, günümüzde fazlasıyla önem kazanmıştır (Türe, 2001). Biyokütle enerjisinin avantajları aşağıda verilmektedir (MEB, 2012):

- Alternatif enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olan biyokütle enerjisi güneş ve rüzgâr gibi kesikli değil, sürekli enerji sağlayabilen bir kaynak olma özelliğine sahiptir.
- Biyokütle enerjisi kolay depolanabilir bundan dolayı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran avantaj sağlar.
- Biyokütle yakıtlarının güncel kullanma yerlerinden birisi de fosil yakıtlarla %2-25 gibi farklı oranlarda karışık yakılmalarıdır.
- Biyokütle yakıtlar fosil yakıtlar ile karışık yakıldıklarında hava kirliliği üzerindeki baskıyı azaltırlar (MEB, 2012).

Yükselen yaşam standartları, kentleşme gibi etkenler enerji tüketimini arttırmakta olup, enerji kaynaklarının fazlasıyla tükenmesine yol açmıştır. Enerji tüketim miktarı dünyada son 100 yılda yaklaşık 17 kat artmıştır. Bütün bu sebeplerin sonucu olarak, biyokütle çalışmalarına dünyada enerji açığı karşılanması için büyük hız verilmektedir. Biyokütlenin çevresel ve ekonomik açıdan olumlu özellikleri ve bu büyük potansiyel göz önüne alındığında, biyoenerjiye giderek artan ilgi görülmekte. Biyokütlenin önemli enerji kaynağı konumunda olma sebebi enerji kaynakları arasında dünyada en büyük dördüncü kaynak olmasıdır. Bu sebeple biyoenerji birçok gelişmiş ülke nezdinde enerjide geleceğin temel kaynağı görülmektedir.

Büyük potansiyele sahip olduğundan, farklı ekonomik ve sosyal faydaları sebebiyle geleceğin önemli yenilenebilir enerji kaynağından birisi olduğu düşünülmekte. Biyokütle doğrudan elektrik ve ısınma amacıyla kullanılabilenlikte, likit yakıt, gaz ve katıya çevrilebilme imkanına sahiptir.

Orman artıkları tarım ve endüstri biyokütle olarak kullanılabilmekte, artı olarak şeker kamışı ve ağaç gibi enerji üretebilen bitkiler sadece enerjiye dönüştürülerek kullanım amaçlı üretilmektedir (Perlack et al, 1995).

Emisyon azaltılmasında sektörel önlem ve politikaların geliştirilmesi sebebiyle Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nda enerji ormanları gibi yenilenebilir kaynaklarla ilgili Ar-Ge'nin arttırılması, potansiyellerininde değerlendirilmesi, birincil enerji, elektrik üretimindeki paylarının arttırılması amaçlı sayısal hedefler belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Ayrıca, orman ekosistemi, su havzaları alanlarında çok amaçlı ve sürdürülebilir olan orman ekosistemi planlama yönetimi için endüstriyel plantasyonlar esaslı, hızlı büyüme özelliğine sahip ağaç türleriyle yapılacak özel ağaçlandırma ve modern enerji ormancılığını teşvik ederek, biyokütle esaslı, çalışması yapılan modern enerji ormanı tesislerinde planlanan enerji santralleri de dikkate alınarak uygulamalara başlanması, orman köy kooperatifleri ve özel sektörlerin dikkatini çekip özendirerek düzenlemeler yapılması gerektiği özellikle vurgulanmıştır (Saraçoğlu, 2010)

2.7. Biyokütle Enerjisi Dezavantaj ve Riskler

Biyokütle sektöründe karşılaşılan önemli sorun, uzun vade ve tutarlı politikalarındaki eksiklikler, gelecek yıllarda çıkacak yönetmelikler ve tahmin edilemeyen teşviklerin yarattığı belirsizliktir.

Verimlilik: Biyoenerji, verimliliği az olmakla birlikte, birkaç biyoyakıtların verimliliklerinin artırımı için fosil yakıtlarla desteklemek gerekmektedir.

Tam Temizlik: Biyokütlenin karbonu nötr olsa da belirli atıkların kullanımında, çevreyi kirleten zarar veren metan gazı oluşabilmekte.

Arazi kullanımı ve biyoçeşitlilik: Enerji üretmek için alan oluşturmak adına ormanların kesilmesi, orman alanları için olumsuz olmak üzere biyoçeşitliliğin azaltılması riski ile de karşı karşıya kalınır. Titizlikle yönetip dikkat edilmesi gereken bu risk ve tehlikelerin oluşmaması için sürdürülebilir yöntemlerle biyoenerji üretiminin yapılması gerekmektedir. Halihazırda biyokütle hammaddesi olarak Türkiye'de oluşmuş orman artıkları ve yangın

ıkımış bölgeler kullanılmakta ve bunun sonucu olarak arazi kullanımı açısından risk azalmaktadır.

İşletme deneyimi eksikliği: Biyokütle santrallerini işletiminde yönetim ve personellerin sektör bilgi eksikliği, yetersizlikleri üretimde kayıplara neden olabilmektedir.

Atıkların ayrıştırılması: Bütün atıklar direk biyokütle olarak kullanılmamaktadır. Bu sebeple, atıkların ayrıştırılması atığın verimli kullanılabilmesi için şarttır.

ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt) Kullanımı: Elektrik retimi ile sınırlı olan ATY kullanımını destekleyen uygulamalar, teşvikler elektrik üretimi dışındakiler için yeterli olmamaktadır. Globalde, fosil yakıt kullanan fabrikalarda belirlenen oranda yenilenebilir yakıt zorunluluğu getirilmektedir, benzer uygulamalar Türkiye’de de geliştirilirse biyokütlenin gelişimi açısından ve yenilenebilir enerji için nemtaşmaktadır.

Teşvikler: YEKDEM’E ek olarak teşvik mekanizmaları ve yerel üretimi koruyabilmek, geliştirmek için yerli mal kullanım açısından sınırlı olup, enerji dışındaki teşvikler yetersizdir. Çevresel konuları da dahil edip farklı destek uygulamalarının ön plana çıkıp desteklenmesi gerekmektedir (PWC, 2021).

2.8. Dünya’da Biyokütle Enerjisi Kullanımı ve Mevcut Durumu

Enerji, ağımızda önemli stratejik değer haline gelmektedir. Enerji ihtiyacı ve fosil yakıt değerleri de arttıķa temiz ve kullanılabilir enerji kaynakları alanında gün getikķe sayıları artan ciddi çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta. Artan petrol fiyatları, uzun dönemden beri bölgeler arası devam eden elektrik ve doğalgaz fiyatlarındaki farklılıklar ve birçok ülkede artış gösteren enerji maliyetleri, enerji ve ekonominin bütünündeki ilişkiye doğru dikkatler çevrilmektedir (IEA, 2013).

2035 yılına kadar %70’in üzerinde artan küresel elektrik talebi Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) yeni politikalar senaryosuna göre Çin, Hindistan ve OECD dışı ülkeler bu artışın çoğunluğunu oluştırmaktadır. OECD dışı ülkelerde özellikle kömür küresel elektrik üretiminde büyük etki olmaya devam etmektedir. Ancak payı azalmış ve toplam bileşim içinde beşte ikiden üçte bire düştüğü grlmştr. OECD

ülkelerinde enerji üretiminde kömür tercihi azalmaktadır ve kaynağı doğalgaz ve yenilenebilir enerji olan elektrik üretimi 2035 yılına kadar, 2035 yılında 2010 yılına kıyasla üç kat artacağı ve üretim bileşimindeki pay oranı %20'den %31'e yükselecektir. OECD ülkelerinde yenilenebilir enerjide kaynakların artması sırasıyla rüzgâr (%47), biyoenerji (%16), fotovoltaik güneş (%15) ve hidro enerji (%11) kaynaklarıdır. OECD dışı ülkelerde ise hidro enerji artışın %42'sini oluştururken; rüzgâr, (%25), biyoenerji (%16), fotovoltaik güneş ise (%10)'de bu artıştaki oranlardır (IEA, 2012).

2030 yılından itibaren, dünyada en çok petrol tüketen Çin'in ABD'nin önüne geçip, tüketimin ise Orta Doğu ülkelerinde, AB'ni geride bırakacağı tahmini söz konusudur. 2020 yılından sonra Hindistan'ın talebin en hızlı arttığı ülke haline gelmesi petrol talebindeki değişimi açısından dikkat çekecektir. Diğer yünden, fiyatların yüksek oluşu alternatiflerin kullanılabildiği olanlarda petrol değil de doğal gaz ve biyoyakıt kullanımı için tercih sebebi olacaktır (IEA, 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Dünya 'da kurulu güç kapasitesi 2012 yılı sonu itibariyle 480 GW'a ulaşmıştır. 480 GW'ı 210 GW'ı Avrupa Birliği ülkelerinde iken, 370 GW'ı diğer dünya ülkeleri tarafından paylaşılmıştır. 2012 yılından itibaren Dünya'da Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güç kapasitesi Çin (90 GW), ülkeler arası lider konumda, sırasıyla ABD (86 GW), Almanya (71 GW), İspanya (31 GW), İtalya (29 GW) ve Hindistan (24 GW) şeklindedir.

Hala dünyamızda sanayileşmiş ülkeler başta olmak suretiyle büyük oranda enerji ihtiyaçlarını kökeni fosil olan yakıtlardan sağlamaktadır. Bu durumda;

- Dünyanın belli bölgelerinde bu yakıtlar toplanmıştır ve ülkeleri himayesi altına alan egemen güçlerenerjide de kontrolü sağlamaktadırlar.
- Fosil yakıtın kullanım artışı aynı oranda olduğu sürece yapılan araştırmalar göre 2030 yılında bu rezervlerin ciddi miktarda azalacağı görülmüştür. Fosil yakıtta olan rezervler sınırlıdır.
- Yanma sonucunda fosil yakıtlarda yüksek karbondioksit ve karbonmonoksit salınımı olmaktadır.

Bu bileşikler atmosferi kirletmesinin yanında sera etkisi yaparak küresel ısınmaya yol açar, Hızlı çölleşme ve buzulların erimeye başlaması bilinen gerçektir. Son yıllara bakıldığında yenilenebilir enerji, özellikle biyokütle olan yatırım alanında

ve enerji kaynağı değişimine gidilmesi yönündeki istek kapsamındadır. Dünya’ da bu sebeple çeşitli atılımlar söz konusu olmaktadır. Gelecek yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasında geleneksel biyokütlenin modern tesislerde biyoenerji dönüşümünden elde edilen biyoyakıt ürünlerinin önemli yere sahip olacağı öngörülmektedir.

İçten yanmalı motorlar kadar biyoetanolün de motor yakıtı olarak tarihçesi eskidir. N.A. Otto 1897’de alkolü motor çalışmalarında kullanmış, Henry Ford yaptığı tasarım çalışmalarında alkollerinde yanmasını göz önünde bulundurmuştur. II. Dünya Savaşı yıllarından itibaren konuya ilişkin yapılan bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır. Biyoetanol dünyada üretimi en fazla olan biyoyakıttır. Üretimi yapılan her 6 birim sıvı biyoyakıtın 5 birimi biyoetanoldür. Dünyada 2010 yılında 101.4 milyar litre biyoetanol üretilirken, biyodizelden 21 milyar litre üretilmiştir. 2011 yılında biyodizel üretimi 22.1 milyar olarak kayda geçmiştir. Biyoetanolün en fazla üretimi yapılan ülkeleri sıralarsak; ABD (51 milyar lt), Brezilya (27 milyar lt), Çin, Avrupa ülkeleri en fazla biyodizel üretimi yapan ülkelerdir. Biyodizel pazarının büyüklüğü dünyada 82.7 milyar dolardır. Biyodizel üretiminde 38 ülkeye destek verilirken biyoetanol üretiminde 52 ülkeye destek sağlanmaktadır (DEK, 2012).

Brezilya’nın biyoetanol üretimi kapsamında liderliğini Arjantin, Kanada ve Almanya sırasıyla takip etmekte. Avrupa Birliği ülkeleri biyodizel kurulu güç kapasitesi alanına liderliğini korurken İtalya ve Almanya bu ülkeler arasından kurulu güç kapasitesi açısından başı çekmektedir.

2.9. Türkiye’nin Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Mevcut Durumu

Türkiye’nin stratejik coğrafi konumuna bakılırsa, Hazar denizi ve Orta Doğu’daki doğal gaz ve petrol üreticisi olanlar ile Avrupa’da tüketim pazarı arasında enerji köprüsü olmasındaki etkindir. Önemli yerli enerjideki eksiklere rağmen, Avrupa pazarına Hazar petrollerinin sevkini sağlayan Cebelitarık Boğazı, Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) doğalgaz boru hattı; Rusya topraklarını geçmeden Hazar petrollerini taşıyan birinci uluslararası boru hattı; Ceyhan limanına sahip Kuzey Irak petrollerinin ihracının yapıldığı konumu Türkiye’yi önemli büyük enerji transfer ülkesi durumuna getirmektedir. Türkiye büyüyen ekonomisiyle kendi bölgesinde ciddi anlamda enerji tüketir duruma gelmiştir.

Türkiye’de bu enerji talebindeki artış bugüne değin tahmin edilememiş ve üretimde planlama yapılamamıştır. Üretimde talebin karşılanamadığı enerji türleri ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Petrol ve doğalgaz dışarıdan ithal edilen en büyük paya sahiptir. Doğalgaz çevrim santrallerinde maliyeti yüksek enerji üretilmekte ve tüketiciler tarafından yüksek maliyete denk gelmektedir. Enerji tüketimi diğer gelişmiş ülkelere göre Türkiye’de daha yüksek fiyattadır (Maç, 2006).

Türkiye’de 2012 yılı itibarıyla elektrik santrallerinin toplam kapasitesine bakıldığında 239.496,8 milyon kWh olduğu görülür. Türkiye’de tarımsal artık olarak; tahıl tozu, buğday sapı, fındık kabuğu gibi biyokütle enerji kaynaklarını sıralamak mümkün, Yıllık yaklaşık $2,6 \times 10^7$ ton buğday sapı bahçe, tarlalarda yakılmakta veya toprağa tekrar geri dönmesi amacıyla sürülmektedir. Buğday sapının yüksek ısı değeri, değeri yüksek kömürün (yüksek ısı değeri 28Mj/kg) yarısı kadar olduğu bilinmektedir. Buna karşılık buğdayın ısı değeri $1,3 \times 10^7$ ton kömüre eş değer olduğu söylenebilmektedir (Balat, 2005).

Toplam kara parçasına bakıldığında %26’sını Türkiye’deki orman arazisi oluşturmaktadır. Odun hacmi %75’in üstünde 1965-1995 yılları arasında arttığı görülmekte. 5 milyon hektar Türkiye’nin enerji ormancılığı alanında arazisi vardır. Verimli orman olan yakacak odun yapılan 2.6 Mha’lık kısım bulunur. (Balat, 2005). Türkiye, tarımsal potansiyeli zengin olduğundan gelişen ülke kategorisindedir. %70 oranı ile işlenmiş toprakta buğday, ikinci olarak arpa ve üçüncü sırada mısır oluşturmakta. Keten, haşhaş, pamuk, susam tohumu vb. uzun zamandır bu endüstriyel ürünler yetiştirilmektedir.

2.10. Katı Biyoyakıtların Enerji Kaynağı Olarak Kullanılabilirliği

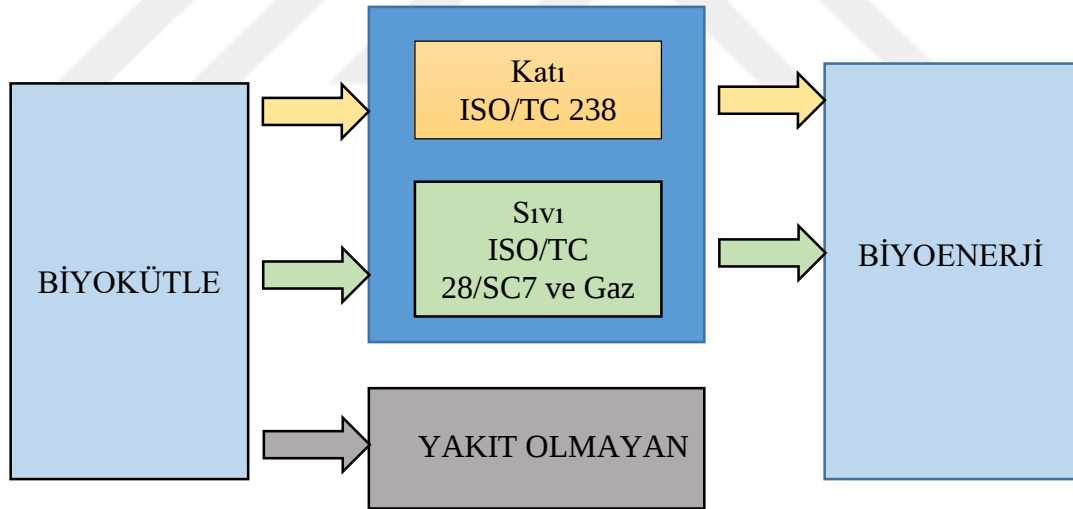
ISO/TC (International Organization for Standardization/Technical Committee) tarafından katı, sıvı ve gaz şeklinde biyokütleden biyoenerji üretimi ayrılmıştır. Biyoyakıtlarda; katı olanlar ISO/TC 238 ile, sıvı olanlar ISO/TC 28/SC7’de tanımlanmıştır. Ülkemizde katı olan biyoyakıtların yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 standartları kapsamında değerlendirilmektedir.

Kereste talaşları, ahşap papel endüstri atıkları ve servis ömrünü tamamlamış olan ahşap elektrik direkleri bir de mobilyalar olmak üzere yakıt olarak enerji sektöründe veya ilgili fabrikalarda kullanılmaktadır. İşlem görmüş tutkallı

materyaller, emprenyeli materyaller, ya da işlem görmemiş olması yani lignoselülozik materyallerin boyut sınıflandırılmasında katı yakıt şeklinde kullanımı açısından önemli bir etkindir. Dekorasyon, mobilya ve değişik yapı malzemeleri olarak MDF (Medium Density Fiberboard) ve yonga levha gibi odun yapılarının kullanımı artmaktadır. 5.771,100 m³ üretim ile 28 yonga levha hattı yapan Türkiye 2012 yılında ahşap panel üreticisi alanında Avrupa'nın en büyüğüdür (Yıldırım, 2013).

Enerji kaynaklı kullanılan biyokütlelerin yapısı yanma özelliklerine buna bağlı olarak ısısında, kütlesinde ve gaz oranlarında değişikliklere sebep olmaktadır (Kozinski ve Saade, 1998).

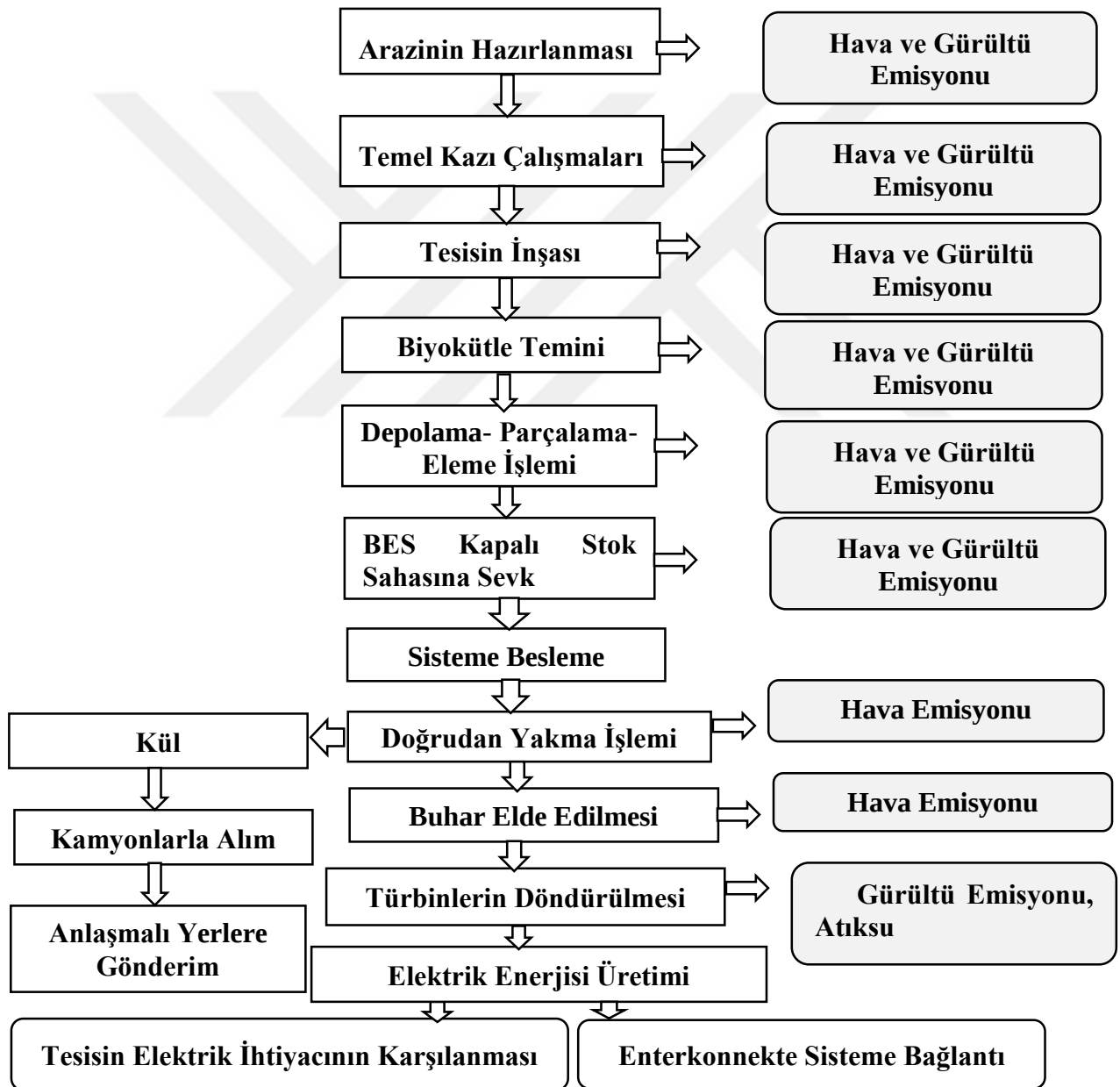
Enerji kaynağı olarak yakımı gerçekleşen maddelerde içerik, boyut, partikül salınım ve yanma esnasında açığa çıkan enerji çıkan gazların çeşitlerini etkilemektedir (Kozinski and Saade, 1998; Reina vd., 1998; Yorulmaz ve Atımtay, 2009).



Şekil 2.2. Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim (ISO/TC 238)

2.11. Biyokütle Enerji Santrali Akım Şeması ve Tesise Kabul Edilecek Atıklar

Yakıt olarak biyokütle kullanan santraller, yakma prosesine sahip diğer enerji santrallerine oranla daha düşük sıcaklıklarda çalıştıklarından dolayı, ortaya çıkardıkları emisyonun miktar ve içeriği daha azdır. Bu santrallerde yakıt olarak kullanılan biyokütle çok çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Orman endüstrisi atıkları, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan bitki kalıntıları, bahçe atıkları ve enerji bitkileri yakıt olarak en çok kullanılan biyokütle kaynaklarıdır.



Şekil 2.3. Biyokütle Enerji Santrali İş Akış Şeması

Tablo 2.2. Tesise Kabul Edilecek Atıklar ve Kodları

Atık Kodu	Atık Cinsi
02	Tarım, Bahçivanlık, Su Ürünleri, Ormancılık, Avcılık ve Balıkçılık, Gıda Hazırlama ve İşlemeden Kaynaklanan Atıklar
02 01	Tarım, Bahçivanlık, Su ürünleri Üretimi, Ormancılık, Avcılık ve Balıkçılıktan Kaynaklanan Atıklar
02 01 03	Bitki dokusu atıkları (1) (8)
02 01 07	Ormancılık atıkları (1) (8)
03	Ahşap İşleme ve Kağıt, Karton, Kağıt Hamuru, Panel (Sunta) ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar
03 01	Ağaç işlemeden ve Sunta ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları (1) (8)
03 01 05	03 01 04 dışında yonga, talaş, ahşap, kıymık, kaplamalar ve kontrplak (1) (8)
03 03	Kağıt hamuru, Kağıt, Kağıt Karton Üretim ve İşlenmesinden Kaynaklanan Atıklar
03 03 01	Ağaç kabuğu ve odun atıkları (1) (8)
20	Ayrı Toplanmış Fraksiyonlar Dahil Belediye Atıkları (Evlerden Kaynaklanan ve Benzer Ticari, Endüstriyel Ve Kurumsal Atıklar)
20 01	Ayrı Toplanan Fraksiyonlar (15 01 Hariç)
20 01 38	20 01 37 dışında ki ahşap (1) (8)

(1) Bu atıkların TS EN ISO 17225 standart serisine uygun olduğunu TÜRKAK tarafından akredite uygunluk değerlendirme kuruluşlarınca belgelenecek Bakanlığa sunulması halinde, bu Yönetmeliğin 2'nci maddesinin ikinci fıkrasının (ğ) bendine göre atık olarak değerlendirilemez, biyokütle olarak değerlendirilir. Biyokütle yakacak olan tesisler için hava emisyonu konulu Çevre İzni alınır.

(8) 10/05/2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 3'üncü maddesinin dokuzuncu fıkrasında tanımlanan atıklardır. Bu atıkların yönetiminde bu Yönetmelikle getirilen yükümlülüklerle uyulur.

2.11.1. Elektrostatik Filtre (ESP)

Elektrostatik filtre, en basit tanımı ile endüstri kazanlarında yanma sonrası oluşan sıcak gaz içerisindeki tozun tutulmasını sağlayan ekipmanlardır. Çalışma prensibi genel anlamda, baca gazı içerisindeki katı ve sıvı taneciklerin elektrik kuvveti etkisiyle tutularak akış içerisinde ayrılması prensibine dayanır.

Elektrostatik filtreler, fiber yoğunluğunu artırmadan parçacık tutma kapasitesini yükselten sistemlerdir. Aktif elektrostatik filtrelerin parçacık tutma kapasitesi oldukça yüksek olup, plakalar arasında oluşturulan yüksek gerilim alanından faydalanarak aralarından geçen havada bulunan yüklü parçacıkların elektrostatik çekim kuvveti ile plakalar tarafından yakalanması/tutulması prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 2.4. ESP Ünitesi Genel Görünümü

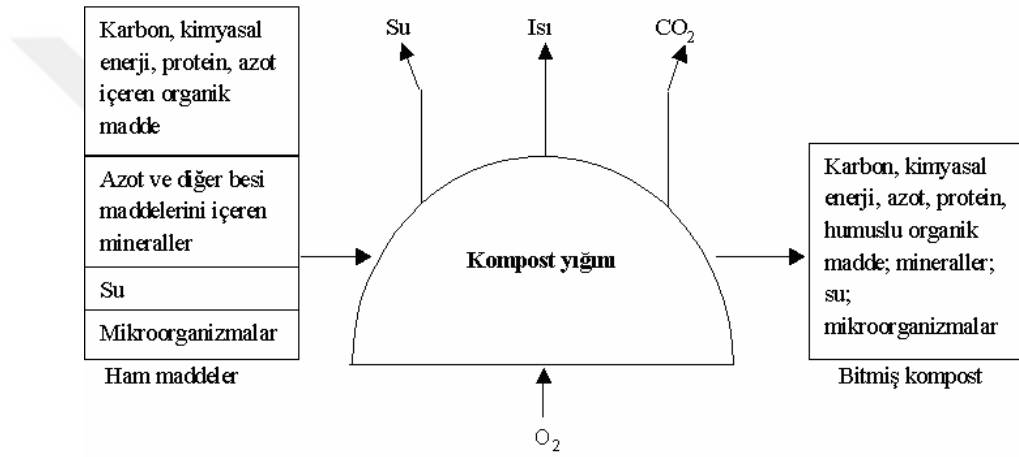
2.12. Kompost Tanımı

Organik atıkların biyokimyasal olarak aerobik koşullar altında parçalanarak humusa benzer bir materyal haline dönüştürülmesine kompostlaştırma, proses sonucunda oluşan toprak iyileştirme özelliği ürüne de kompost adı verilmektedir.

Kompost oluşturma aşamasında, işlem aşamalarının doğru yönetimi sonucu en az miktarda koku oluşumu olmaktadır. Bu durumda hayvan ve insan sağlığı açısından daha uygun çalışma ortamı oluşturmaktadır.

Elde edildiği hammaddeden daha farklı yapıya sahip olan kompostta koku oluşumu olmaz, işlenmesi ve depoda biriktirilmesi daha kolay ve uzundur (Avcıoğlu vd., 2011).

Kompostlaştırma prosesinde mikroorganizmalar organik bileşikleri ayrıştırması sonucunda karbondioksit (CO_2), ısı ve su buharı (H_2O) üretimi olmaktadır. Biyokimyasal tepkime gerçekleşmesi için kompost üretiminde mikroorganizmalar O_2 'yi kullanır ve ısı enerjisi elde edilir. Üretilen bu ısı enerjisi ile çevredeki su buharlaşır ve ortamdan uzaklaşmış olur. Kuruma bu buharlaşma ile yavaştan başlamış olur.



Şekil 2.5. Kompost oluşumu (Rynk, 1992)

Aerobik bozunma ortamın oksijeni azaldıkça yavaşlar ve bu şekilde devam eder oksijen sağlanmadığında işlemin durduğu görülmektedir.

Havalandırmanın sürekliliği sağlandığında ortama oksijen verilmiş olur. Havalandırma pasif hava değişimi (doğal olarak ısı yayılımı ve difüzyon) ya da basınçlı havalandırma (fan/üfleyici) tarafından yapılmakta. Döndürme ile iyi bir havalandırma sağlanabilir. Döndürme işlemi sonucunda yığında gözenek boşlukları onarılır ve yığının içinde hava kolay bir şekilde hareket etmektedir.

Oksijen olmadan kompost oluşturulduğunda oksijensiz ortamda organik maddelerin mikroorganizmalar ile ayrışımı gerçekleşir. Bu proses iki kademe sonucu metan oluşumu ve asit oluşumu şeklinde gerçekleşir (Öztürk, 2003).

Kompost oluşumunda süreç fiziksel, biyolojik ve kimyasal şeklinde

ilerlediğinden etki eden birçok faktör bulunur. Kompost sürecinin yürütülmesinde bu faktörlerden özellikle; havalandırma, kinetik parametreler, sıcaklık, nem kontrolü, başlangıç nemi, yığın yüksekliği, büyük önem arz eder (Haug, 1993; Rynk, 1992).

2.13. Kompost Oluşturma İşlemine Etki Eden Parametreler

2.13.1. Oksijen ve havalandırma

Oksijen kullanımı oksijen kullanılarak yapılan kompostlaştırma da fazladır. Organik maddelerin kolay çözülebilir kısımları kompostlaştırma işleminin ilk günlerinde hızlı metabolize olur. Bu sebeple, ilk zamanlarda ısı, havaya olan ihtiyaç ve oksijen üretimi en fazladır, işlemin ilerleyen zamanlarında ise azalmaktadır. Sınırlı olan hava ve oksijen kaynağı sonucunda kompostlaştırma işleminin gerçekleşmesi yavaşlar. Kompost oluşumunda gözenek boşluklarındaki oksijen miktarı en az %5 olması istenir.

Ortamda yetersiz oksijen sonucunda anaerobik ortam oluşur. Oksijensiz işlem oksijenli işlemde daha yavaştır ve verimi azdır. Anaerobik işlem ile karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), hidrojen sülfür (H₂S), organik asitler ve ara ürünlerin oluşumu görülür. Bu bileşiklerden çoğu ağır koku yayar bu sebeple miktarları kontrollü bir şekilde ayarlanmalıdır.

Aerobik kompostlaştırmada yeterli oksijen varlığında mikrobiyal aktivite gerçekleşir. Kompost kütleğinde 3 şekilde havalandırma yapılabilir. Bunlar; fiziksel karıştırma, mekanik havalandırma ve konvektif hava akımıdır. Oksijen statik sistemde üfleyici ya da konvektif hava akımı ile sağlanırken yığın şeklindeki sistemlerde her iki yöntemde kullanılır (Tosun, 2003).

2.13.2. Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma geniş bir mikroorganizma tarafından organik atıkların tüketilmesi işlemidir. Bu işlemi gerçekleştiren bazı mikroorganizmalar; bakteri, fungi ve aktinomisetlerdir. Kompostlaştırma işleminde protozoalara ve algelere rastlamakta olağandır. Bu mikroorganizmaların yaşam alanları kompostlaştırma boyunca değişiklik göstermektedir.

2.13.3. Karbon (C), azot (N) ve C/N oranı

Karbon ve azot mikrobiyal parçalanma olması için gerekli birçok elementlerden en önemlileridir. Hücre kütlesinin %50'si karbondur. Hücrenin gelişmesi ve reaksiyonunda nükleik asidin, proteinin, aminoasidin ve enzimlerin temel yapı taşı ise azottur. Kompostlaştırma prosesinde bu elementlerin oranı dikkate alınmaktadır. Bazı organik atıklara ait C/N oranı değerleri Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3. Bazı kompost bileşenlerinin C/N oranları (Topkaya 2004)

Maddeler	C/N
Azot içeriği yüksek maddeler	
Kesilmiş çim	15-25: 1
Sebze atıkları	15-20: 1
Hayvan dışkısı	5-24: 1
Kahve telvesi	20: 1
Karbon içeriği yüksek maddeler	
Karışık kâğıt	150-200: 1
Yaprak	30-80: 1
Gazete kâğıdı veya karbon	560: 1
Saman	40-100: 1
Ağaç kabuğu	100-130: 1

Kompostlaştırma için çoğunlukla ideal C/N oranı 30:1 olarak bilinmektedir. Sebebi düşük az oranlarda ortamda gereksinimden daha çok bulunan azot, amonyak gazı olarak rahatsız edici kokuya neden olarak ortamdan uzaklaşmasıdır. Bu C/N oranı yüksek olur ise mikrobiyal yaşam alanının büyümesi için yeteri kadar azot bulunmayacağından oransal olarak soğuk kalan

kompostun parçalanması da azalarak devam eder. Genellikle yeşil ve nemli maddelerin azotu yüksek, kahverengi kuru olanların karbon değeri yüksektir. İlerleyen kompostlaştırma işleminde C/N oranı 30/1 'den son üründe 10-15/1 değerine kadar azaldığı görülür. Sebebi ise mikroorganizmalar tarafından parçalanmış organik bileşenlerin reaksiyonu esnasında kullanılan karbonun 2/3'ü kadarı karbondioksit olarak atmosfere verilmesidir. Geriye 1/3 oranında karbon kalır ve azot ile kullanılarak yeni hücre yapısında kullanılır ki hücrelerin ölmesi ile bunlarda serbest bırakılırlar (Topkaya 2004).

2.13.4. pH

Kompost mikroorganizmaları için 5.5-8.5 arasındaki pH değerleri uygundur. Organik maddeyi bakteri ve mantarlar parçalar ve bu esnada organik asitler salgılanır. Kompostlaştırma işleminin ilk aşamalarında salgılanan bu asitler birikerek ortamın pH değerini düşürür. Sonucunda mantarlar çoğalır ve lignin, selülozun parçalanmasını sağlar. Genellikle bu organik asitler kompostlaştırma işleminde parçalanırlar. Sistem anaerobik ise asit çoğalması olur ve pH değeri 4.5'e kadar düşer ve mikrobiyal aktivite ciddi oranda sınırlanır. Bu sebeple kompost yapılırken karıştırma, Ph'ın uygun olan değerlere dönmesi amacıyla yeterlidir (Topkaya 2004).

2.13.5. Nem İçeriği

%50-60 arası kompostlaştırma için uygun nem oranıdır. Partiküllerin yüzeyinde bulunan ince sıvı film tabaka içinde parçalanma hızlı bir şekilde gerçekleşir. Mikrobiyal reaksiyonu düşük nem oranları (<%30) engeller iken, fazla nem (<%65) ise ayrışımı yavaşlatarak koku oluşumuna ve sızıntı suyuna besin maddesi karışmasına neden olur. Azot içeriği yüksek maddeler ise kurudur. Bu farklı özelliklere sahip maddeler yeterli karışımı sonucunda kolay parçalanmış kompost elde edilir (Topkaya 2004).

2.13.6. Partikül Boyutu

Organik maddelerin yüzey kısmında mikroorganizmalar tarafından oluşan aktivite, partikül boyutunun küçültülmesi ve yüzey alanında artış olur.

Mikrobiyal aktiviteyi etkiler ve parçalanma hızı artar. Diğer taraftan yoğun ve küçülen partiküller yığın içinde hava sirkülasyonunda engel yaratır bu da mikroorganizmaların aktivitesinde kullanacağı O₂'nin ve aktivasyonlarında azalmaya neden olur. Karbon ve azot kullanımını partikülün boyutu etkiler. Örneğin hacimleri fazla olan büyük ağaç parçaları yığın içerisinde havalanmayı kolaylaştırır. Ancak, birim kütlede verdikleri karbon miktarları talaştan daha azdır (Bayer 2008).

2.13.7. Sıcaklık

Organik maddelerin parçalanmasında yan ürün olarak kompost ısıısı açığa çıkmaktadır. Isı üretiminin bağlı olduğu etkenler; Nem içeriği, yığının büyüklüğü, C/N oranı ve havalandırmadır. Kompost sıcaklığını dış ortamın sıcaklığı da etkiler. Planlaması iyi yapılmış bir kompost sisteminde 3-5 gün içerisinde 60-70°C sıcaklığa ulaşılır. Faydalı mikroorganizmaların yüksek sıcaklıktan dolayı ölmemesi için işletme dönemin de kompostun sıcaklığı 65 °C'nin altında olması önemlidir. Çok ısınan yığın havalandırma ve karıştırma yapılarak sıcaklığı düşürülür (Topkaya 2004).

Tablo 2.4. Hızlı kompostlaştırma için önerilen koşullar

Parametre	Makul aralık	Tavsiye aralık
Nem içeriği	%40-65	%50-60
Ph	5.5-9.0	6.5-8.0
Oksijen konsantrasyonu	>%5	>%5
Karbon azot oranı (C/N)	20:1-40:1	25:1-30:1
Sıcaklık	43-65	54-60
Partikül boyutu (cm çap)	0.32-1.27	Değişir

Termofilik fazında (40-60 °C) kompostlamanın maksimum parçalanması gerçekleşir. Sistemin büyüklüğüne bağlı olan bu aşama, kompost bileşimine de bağlı olarak birkaç hafta ya da ay sürebilmektedir. Soğumaya başlayan yığında karıştırma yapılması genelde yeni sıcaklık yükselmesine neden olur. Karışım yaptıktan sonra alınan oksijen geriye kalan organik maddelerin parçalanmasını sağlar. Termofilik faz sonrasında tekrar düşen kompost sıcaklığı artık karıştırma yapılsa da artmamaktadır. Bu aşamadan sonra mezofilik bakteriler parçalanma işlemini sürdürür ve olgunlaşma fazına geçilmiş olur (Topkaya 2004).

2.13.8. Süre

Sıcaklık, havalandırma sıcaklığı, nem, kullanılan madde gibi değişkenler kompostta dönüşen hammaddeyi dönüştürme süresinin uzunluğunu etkiler. Sürekli olarak havalandırma, C/N oranı ve uygun nem içeriği ile mümkün olan en kısa kompostlaştırma süresi sağlanır. Nemin yetersizliği, düşük sıcaklık, C/N oranı, havalandırmanın yetersiz gelmesi, büyük partiküller süreyi yavaşlatır. Kompostun kullanım amacına bağlı olarak gerekli süre değişir. Bir maddenin çürümesi uygun şartlar altında birkaç haftada gerçekleşmekte. Yalnız sürenin 60 günden fazla sürmesi daha iyidir (Bayer 2008).

2.14. Kompostun Kullanım Alanları

Başlıca kompostun kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır. Buna göre;

- Çiçekçilikte, tarlada, fidanlıklarda, bahçelerde, meyvecilikte ve seracılıkta,
- Parkları, peyzaj çalışmaları, oyun sahaları, golf alanları, mezarlıklar, yolun kenarları
- Son örtü amaçlı düzenli depolamada
- Filtre malzemesi olarak koku yok etmede
- Erozyon kontrolü
- Orman alanlarının yanmış kısımlarında iyileştirmede kullanılmaktadır (Varank, 2006).

Kompostun yararları;

- Toprakların daha kolay işlenmesini sağlar
- Patojen bakterilerin atıktan giderilmesi
- Gübre kullanımını azaltarak ekonomik açıdan tasarruf sağlar ve çevre kirliliğini azaltmış olur
- Bu kompost bahçecilikte, tarımda, toprak iyileştirmede, peyzaj çalışmalarında kullanılır.
- Yok edilecek atık miktarlarını düzenli depo sahalarında azaltılması
- Zeminde boşluk hacmini artırır, havalandırmayı kolaylaştırır ve su tutma kabiliyetinde artış görülür,
- Organik katı atıklar biyolojik tepkime sonucunda en uygun son ürünlere dönüşür
- Besin maddeleri daha verimli kullanılır (Avcıoğlu, 2011).

Kompostun sakıncaları;

- Ekipmana ihtiyaç vardır
- Emek ve yönetim gereklidir
- Olgunlaşma alanı bitmiş kompost depoları ve ham madde alanına ihtiyaç duyulduğundan büyük alan ihtiyacı doğar
- Son üründe genelde koku oluşumu gözlemlenmese de bazen kompostlaştırılan maddeler çok fazla keskin koku oluşturabilir
- Kompostta sıcaklık etkeni önemli olduğundan soğuk havada sıcaklık düştüğünden kompostlaştırma işlemi yavaşlar
- Kompostlaştırma azot kaybına neden olduğundan, kompostlaştırma ile elde edilmiş gübrede azot içeriği taze gübrenin yarısından daha az olmaktadır
- Kompostta karışık organik yapıda olan besin maddeleri bitkilere uygulamadan önce ayrıştırma gerekmektedir (Öztürk ve Bildik, 2005).

2.15. Kompostlaştırma Yöntemleri

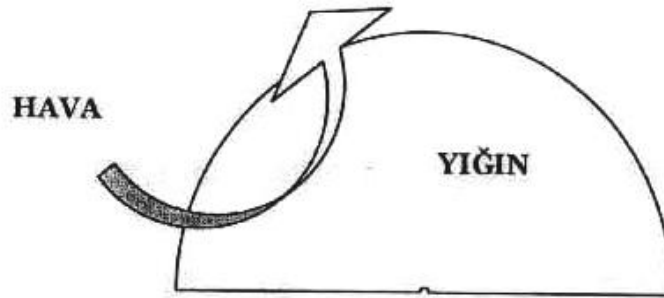
Kompostun kullanılacağı alan ve atıkların özelliklerine göre dünyada ve ülkemizde kompostlaştırma işlemleri farklılık göstermektedir.

Bu yöntem ve teknolojilere bakarsak;

- 1) Pasif kompostlaştırma
- 2) Karıştırmalı yığın kompostlaştırma
- 3) Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma
 - Pasif havalandırmalı kompostlaştırma
 - Zorlamalı havalandırmalı kompostlaştırma
- 4) Kapalı reaktör kompostlaştırma (MİMKO, 2006).

2.15.1. Pasif kompostlaştırma

Bu kompostlaştırma yönteminde, yığınlar döndürme işlem sıklığı çok azdır. Havalandırma işlemi, pasif bir şekilde yığınların iç bölgesine doğru olmaktadır. Yığınlar küçük ve yükseklikleri az olduğundan bu yöntemde havalandırma pasif şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 2.6.) Bu kompostlaştırma yönteminde havalandırma ekipmanlarına çok ihtiyaç duyulmaz ve az emek gerektirir. Hayvan atıkları, ağaç yaprakları, hızar talaşları ve çeşitli kabuklar gibi organik maddelerin kompostlaştırma işleminde pratiktir.



Şekil 2.6. Pasif Yığın (NEH, 2000).

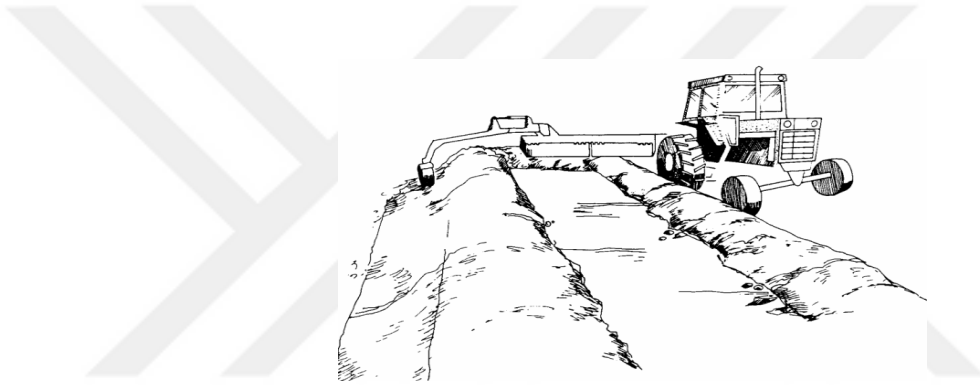
Pasif kompostlaştırma yöntemi için karıştırmalı yığın kompostlaştırma yöntemi denebilir. Yalnız döndürme işlemi daha az yapılır. Yaygın olarak çöp kompostlaştırılmasında tercih edilir. Az havalandırma yapıldığından yavaş ve koku problemi fazla diyebiliriz (Öztürk ve Bildik 2005).

Ülkemizde küçük ölçekli tarımsal işletmeler bu kompostlaştırma

yöntemini yaygın olarak kullanır. Atıkları döndürürken böyle işletmelerde traktör kepçeleri ve ön yükleyiciler döndürme işlemini yapar. Ön yükleyici, bu yığın halindeki maddeleri kaldırıp tekrar dökerek karıştırmayı yapar. Bunun sonucunda maddeler karışmış ve karışım havasında da iyileştirme yapılmış olur. Döndürülen bu yığınlar birbirine yakın çiftler halinde oluşturulur hacimleri azaldıkça birbirleriyle birleştirilirler.

2.15.2. Karıştırmalı yığın kompostlaştırma

Karıştırmalı yığın kompostlaştırma düzenli zaman dilimlerinde ham madde karışımının döndürülerek yığınlar halinde oluşturulur. (Şekil 2.7.)



Şekil 2.7. Karıştırmalı yığın sistemi (NEH, 2000)

Düzenli aralıklarla karıştırılan yığınlar 0.9 m (gübre gibi yoğun olanlar) için yüksekliği ile 3.6 m (yaprak gibi kabarık maddeler için) aralığında, 3-6m genişliğinde değişir (Öztürk ve Bildik 2005).

Su geçirmez zemin tercih edilir ve özel makinalar ile yığınların karıştırılması gerçekleşir. Karıştırma işlemi yapılırken kullanılan makinaların tipi sıralı yığın boyutları, aralarındaki uzaklık ve şekillerine göre belirlenir. Makinaların görevine bakılırsa;

- Büyük boyutlu maddeleri parçalamak
- Yığında porozitenin artmasını sağlamak
- Homojen karışım yapar
- Ufalama işlemini yapar

Karıştırma işlemini karıştırmalı yığın kompostlaştırma yönteminde; yaygın olarak traktöre bağlamalı karıştırıcılar (Şekil 2.7.) ile kendi yürür tip karıştırıcılar tercih edilmektedir. Traktöre bağlı olan bu karıştırıcılar traktörün yan tarafında işlem yaparlar. Yığınlar arasında geçen traktör yığın sıralarını döndürür. Mil üzerindeki paletler makinanın işleyici parçasını oluşturur. Materyal bu paletler yardımıyla karıştırılır. Kendi yürür tip kompost karıştırıcılar sıralı yığınlar arasında mesafeyi daha az bırakırlar ve bu yığınları daha hızlı döndürürler. Doğal ve pasif hava akımı ile bu yığınlar havalandırılır. Hava değişimindeki miktar sıralı olan yığınların porozitesine bağlıdır. Bu sebeple havalandırılan sıralı yığında efektif miktar, bu yığın kütlelerinin porozitesine bağlıdır. Az miktarda kabarık yapraklardan oluşturulmuş yığın, nemli ve yoğun gübreden oluşturulmuş sıralı yığından daha büyük olma ihtimali vardır. Çok büyük olan yığında, döndürülme koşulu ile merkeze yakın kısımlarda kokuya sebep olan oksijen olmayan (anaerobik) kısımlar meydana gelebilir.

Döndürme işlemi ile karıştırma, yığın sıralarında porozitenin iyileşmesini sağlar ve yığının içinde kalan su buharı, ısı ve oluşan gazların atmosfere yayılmasına sebep olmaktadır. Döndürmede en önemli kısım sıralı yığının geçirgenliğinin artırılmasıdır.

Sıralı yığın kompostlaştırmada döndürme işlemini programlamak önemlidir. Döndürmede sıklık; malzemenin porozitesine, nem içeriğine, bozunma miktarına ve istenilen kompostlaştırma süresine bağlıdır. Sıralı yığın olgunlaştıkça azalma olduğundan kompostlaştırma işleminin başlarında bozunma daha fazladır ve döndürme sıklığını etkiler. Kolay çözülebilir ya da yüksek azotlu karışım işlemin başlarından her gün döndürülmesi gerekmektedir.

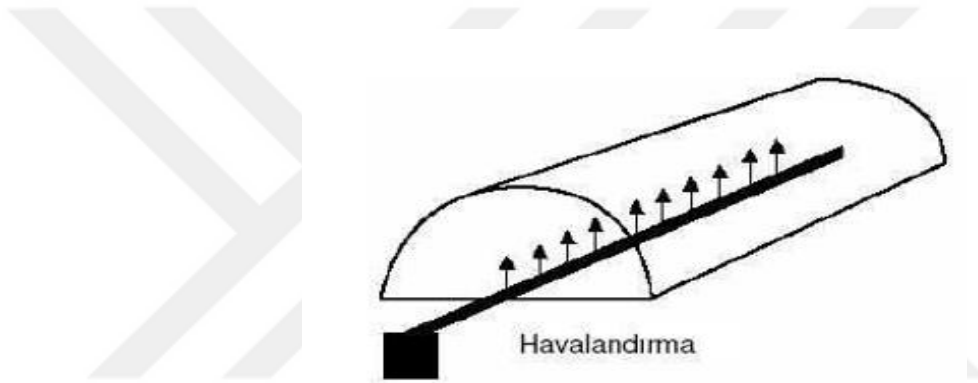
Bu yığınların, kokusu ve sıcaklığına göre döndürmenin ne zaman yapılacağına karar verilir. Sıcaklık ve kokunun az olması, oksijene daha fazla ihtiyaç olduğunu anlamına gelir. Yığınların ortalama sıcaklığı, istenilen seviyenin (50 °C) altına düşerse sıralı yığının döndürülmeye ihtiyacı vardır. Ayriyeten 4 veya 5 gün geçtikten sonra sıcaklıktaki ani düşüş gözlemlenirse yığın döndürülmelidir (Stofella ve Kâh, 2001).

2.15.3. Havalandırılmalı Statik Yığın Kompostlaştırma

Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırma, pasif havalandırılmalı ve zorlamalı havalandırılmalı olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

Pasif havalandırılmalı kompostlaştırma; Bu yöntemde yığın sıraları içinde gömülmüş delikli borular vardır ve kompost yığının bu şekilde hava verilir (Şekil 2.8.) Boruların ucu açıktır. Sıralı yığının dışında yükselen sıcak gaz baca etkisiyle borulara sonrasında sıralı yığına doğru hareket eder.

Sıralı yığınların yükseklikleri 0.9-12m olmalıdır. Karışım turba yosunu, saman veya bitmiş komposttan oluşan taban üzerine nemin Emilimi ve yığını yalıtım amaçlı tercih edilmelidir (MİMKO, 2006).



Şekil 2.8. Pasif havalandırılmalı yığın (Stofella ve Kahn 2001)

Ham maddeler sıralı yığınlar oluşturulduktan sonra döndürülmediğinden öncesinde iyice karıştırılması gerekmektedir. Karışımın sıkışması yığın sıralarını oluştururken engellenmelidir. Turba ya da komposttan örtülmüş taban üzerine havalandırma boruları yerleştirilir. Tabandaki malzemeler kompostlaştırma tamamlandığında borular çıkartılarak kompost ile karıştırılır.

Et, koyun çiftlikleri ve süthaneden temin edilen gübrelerin kompostlaştırılmasında bu yöntem kullanılır. Düzenleyici olarak turba yosununun çamur benzeri maddelerle kullanılması yöntemin performansını etkilemektedir. %50 nem içeriğine sahip turba yosunu karışımda hacimce %40-50 civarındadır. Karışıma bu oran iyi bir yapı ve porozite vermektedir (Öztürk ve Bildik 2005).

Zorlamalı havalandırmalı kompostlaştırma; Bu yöntem Amerika’da 1970’li senelerde atık su arıtma tesislerinin çıktısı olan arıtma çamurlarının kompostlaştırılması amacıyla geliştirilmiştir. Basınçlı havalandırmada iyileştirme, zamandan tasarruf ve arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında ortaya çıkan kokunun azaltılmasını sağlamaktadır (Stofella ve Kahn, 2001).

Bu yöntemle delikli borular kompost yığınının altına belirli aralıklarla yerleştirilmektedir. Bir ucu kapalı olan boruların diğer kısmı hava hattına bağlanmış bu hava ile yığının içerisindeki sıcaklık ve oksijen miktarı olması gereken aralıkta kalması sağlanır. 55-65 °C arasında olması istenir. 1-2 ay arasında bu yöntem ile kompostlaştırma işlemi bitmiş olur. Olgunlaşma dönemi için 2 ay daha beklenmesi gerekir.

2.15.4. Kapalı reaktör sistemler

Bu sistemlerde kompostlaştırma konteyner ya da kapalı bir kutu içerisinde gerçekleşir. Kapalı reaktör sistemlerde hava miktarı, sıcaklığı, oksijen konsantrasyonu çevre koşullarının kontrolü sağlanarak proses zamanı ve kokuların en aza indirgenmesi için tasarlanmıştır.

Bu sistemlerde yatay dikdörtgen tanklar, dairesel düşey tanklar reaktör olarak kullanılabilir. Kapalı reaktörler, piston akımlı ve karıştırmalı yatak olarak ikiye ayrılır. Piston akımlı sistemlerde kompostlaştırılacak kütlenin birbirleriyle bağlantısı proses esnasında hep aynıdır ve sistem önce içeri sonra dışarı şeklinde çalışır. Son senelerde az işçi masrafı, sistemde ve kokuda kontrolün sağlanması, geniş araziye ihtiyaç duyulmaması gibi etkenlerden kompostlaştırma sistemi kullanımında artış gözlemlenmektedir (Bayer 2008).

2.16. Kompost Kalite Kriterleri

Ülkemizde 05.03.2015 tarih ve 29286 sayılı Resmî Gazetede “Kompost Tebliği” nde kalite kriterleri ve kompostun toprakta kullanımı ile ilgili yasal mevzuat verilmiştir. Bu tebliği de verilen kriterler toprakta kompostun kullanımı için değerlerin sağlanması gerekir. Tebliğde kompost kalite kriterleri nem içeriği, pH, C/N oranı, organik madde, yabancı madde oranı, tuz içeriği, iz element, hijyen ve kararlılık parametreleri yer alır. Tablo 2.5’te gösterilmektedir. Geri

dönüştürülemeyen plastik vb. gibi maddeler kompostta istenilen boyutu 10 mm'yi geçmemesidir. %90 civarında kompost olacak ürünler 10 mm'lik elekten geçirilmelidir. Hijyen açısından ve patojen kontrolü için süresiz olarak 55 °C 14 gün, 60 °C 7 gün, 65 °C 60dk, işleminden geçmiş olması gerekmektedir.

Tablo 2.5. Kompost Kalite Kriterleri

Parametre	Birim	Değer
pH	-	5.5-8.5
Nem İçeriği	%	<30
C/N Oranı	-	10-30
Organik Madde (KM)	%	>35
Tuz Miktarı	dS/cm	<10
Yabancı madde içeriği (KM)	%	<2
Yabani ot miktarı	Adet/L	<5

Tarımda kullanılabilmesi için kompost 29.03.2014 tarih ve 28956 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan “Tarımda Kullanılan Organik, Enzim İçerikli, İthalatı, Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, Mikrobiyal, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik” hükümleri uygulanmaktadır. Bu kompostların piyasada kullanılabilmesi için belirli özellikleri sağlaması gerekmekte. Dewar Testi, CO₂ Oluşum ve Solunum, O₂ İhtiyacı (OUR Testi), Solvita Testi gibi testler ile bu özellikler belirlenebilmektedir. Kompostta ağır metallerin sınır değerleri Tablo 2.6’da sunulmaktadır.

Tablo 2.6. Kompostta ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	Değer (ppm) (mg/kg kuru madde)
Arsenik (As)	20
Kadmiyum (Cd)	3
Krom (Cr)	350
Bakır (Cu)	450
Cıva (Hg)	5
Nikel (Ni)	120
Çinko (Zn)	1100
Kalay (Sn)	10
Kurşun (Pb)	150

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyallerin Temini ve Özellikleri

3.1.1. Biyokütle Tesisi Uçucu Külünün Temini ve Özellikleri

Çalışmada, Samsun ili Çarşamba İlçesinde yer alan Oltan ve Köleoğlu Biyokütle Enerji Santrali'nden temin edilen ESP altı kül kullanılmıştır. Alınan külün içeriği 600 kg mısır, 1800 kg kavak cipsi karışımının yanması sonucu çıkan küldür. Atık kül numuneleri 10 L'lik plastik bidonlarla alınmış ve 4 saati aşmayacak sürede kompostlaştırılmak üzere hazırlanmıştır. Kullanılan uçucu kül atığının özellikleri 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Biyokütle tesisi uçucu külü analiz sonuçları

Parametre	Birim	Sonuç
pH	-	5.14
E. İletkenlik	mS/cm	2.47
Nem İçeriği	%	6.13
Toplam Azot	%	0.11
Toplam Organik Karbon	%	6.29
C/N	%	57.18
Arsenik	mg/L	0.0096
Baryum	mg/L	0.3560
Kadmiyum	mg/L	<0.0002
Toplam Krom	mg/L	0.1900
Bakır	mg/L	0.0029
Cıva	mg/L	<0.001
Molibden	mg/L	0.0544
Nikel	mg/L	0.0363

Tablo 3.1. Biyokütle tesisi uçucu külü analiz sonuçları (Devamı)

Kurşun	mg/L	0.0020
Antimon	mg/L	<0.002
Selenyum	mg/L	0.0418
Çinko	mg/L	0.0314
Klorür	mg/L	940
Florür	mg/L	2.28
Sülfat	mg/L	1596

3.1.2. Kentsel Katı Atıkların Temini ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan kentsel katı atık örnekleri, Samsun Canik ilçesi mahalle pazarından temin edilmiştir. Sistemlere kentsel katı atıklar yerleştirilirken ayrı tür ve miktarlarda kullanımına önem verilmiştir. Atık örnekleri alındıktan sonra 4 saati aşmayacak süre zarfında kompostlaştırılmak üzere hazırlanmıştır. Kullanılan kentsel atıkların özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kentsel katı atıkların özellikleri

Parametre	Birim	Değer
pH	-	6.89
E. İletkenlik	mS/cm	2.04
Nem içeriği	%	71.54
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	mg/g	174.11
Nitrat Azotu (NO ₃ -N)	mg/g	21.11
Toplam Azot	%	2.84
Toplam Organik Karbon	%	61.51
C/N	-	21.66

3.1.3. Arıtma Çamurlarının Temini ve Özellikleri

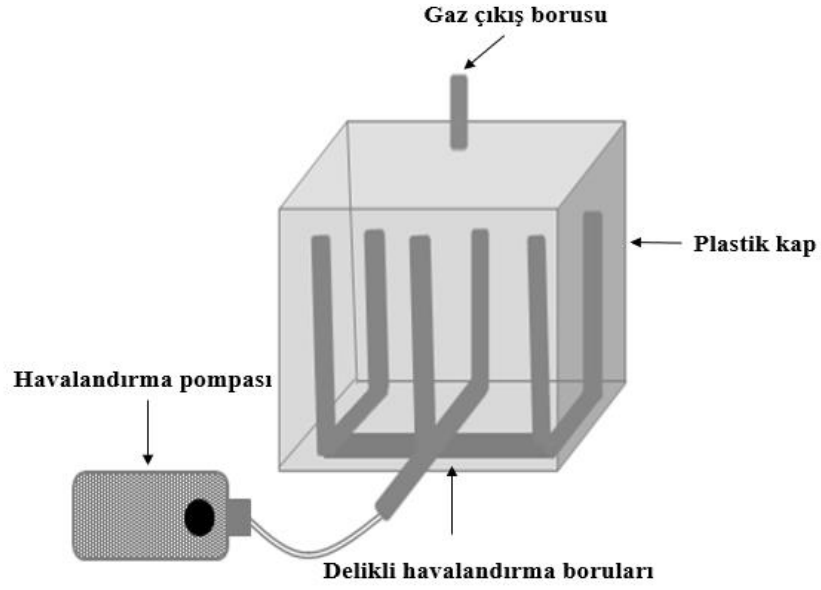
Arıtma çamurları, Samsun Avdan Biyogaz Enerji Santrali'nden temin edilmiştir. Samsun ili Doğu İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden üretilen arıtma çamurları Samsun ili Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda yer alan Avdan Biyogaz Enerji Santrali'nde enerji üretiminde kullanılmaktadır. Arıtma çamuru olarak separatör çıkışı ve dekantör çıkışı olmak üzere iki farklı çamur kullanılmıştır. Arıtma çamurlarının özellikleri Tablo 3.3'te verilmektedir.

Tablo 3.3. Arıtma çamurlarının özellikleri

Parametre	Birim	Değer	
		Dekantör Çıkışı Arıtma Çamuru	Separatör Çıkışı Arıtma Çamuru
pH	-	5.86	6.22
E.İletkenlik	mS/cm	2.74	2.48
Nem İçeriği	%	65.12	60.61
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	mg/g	387.84	262.13
Nitrat Azotu (NO ₃ -N)	mg/g	57.87	44.13
Toplam Azot	%	2.14	1.89
Toplam Organik Karbon	%	37.14	34.24
C/N	-	17.36	18.12

3.2. Pilot Kompostlaştırma Reaktörleri

Pilot kompostlaştırma sistemleri kapalı reaktör şeklindedir. Pilot reaktör, kompost oluşumunun kolay izlenmesi amacıyla şeffaf plastikten üretilmiştir. Reaktörün hacmi 30 L ve ölçüleri 40 cm x 30 cm x 25 cm (en x boy x yükseklik) boyutundadır. Tabandan 5 cm yükseklikte, 2 cm çaplı PVC borudan yatayda ve düşeyde havalandırma teçhizatı kurulmuştur. Akvaryum pompasına bağlantısı olan ana boru hariç diğer borularda 3 mm çapında çaprazlama delikler oluşturulmuştur. Akvaryum pompası 10 L/dk kapasiteyle çalıştırılmıştır. Sıcaklık ölçümü ve gaz çıkışı kapak kısmında birer baca oluşturulmuştur. Pilot kompostlaştırma reaktörünün şematik görünümü şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Pilot kompostlaştırma reaktörü şematik çizimi

3.3. Kompostlaştırma Denemeleri

Çalışmada 9 farklı materyal oranı ile kompostlaştırma denemeleri yapılmış olup materyal oranları ve ayrıntıları Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4. Kompost denemelerinde kullanılan materyal oranları

Set No	Karışım Oranı
Set 1	%95 Dekantör çıkışı çamuru + %5 Biyokütle külü
Set 2	%90 Dekantör çıkışı çamuru + %10 Biyokütle külü
Set 3	%100 Dekantör çıkışı çamuru
Set 4	%90 Kentsel katı atık+ %10 Biyokütle külü
Set 5	%95 Kentsel Katı Atık + %5 Biyokütle külü
Set 6	%100 Kentsel katı atık
Set 7	%90 Seperator çıkışı çamuru + %10 Biyokütle külü
Set 8	%95 Seperator çıkışı çamuru + %5 Biyokütle külü
Set 9	%100 Seperator çıkışı çamuru

3.4. Analizler

Hazırlanan kompost örneklerinde, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, toplam organik karbon (TC), toplam azot (TN), amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) analizleri yapılmıştır. Analizlerde kompost için standart yöntemler kullanılmıştır (FCQAO, 1994).

Analizler haftada bir olmak üzere 15 hafta süresince gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm iki kez tekrarlamalı olarak yapılmış ve ortalamaları kullanılmıştır.



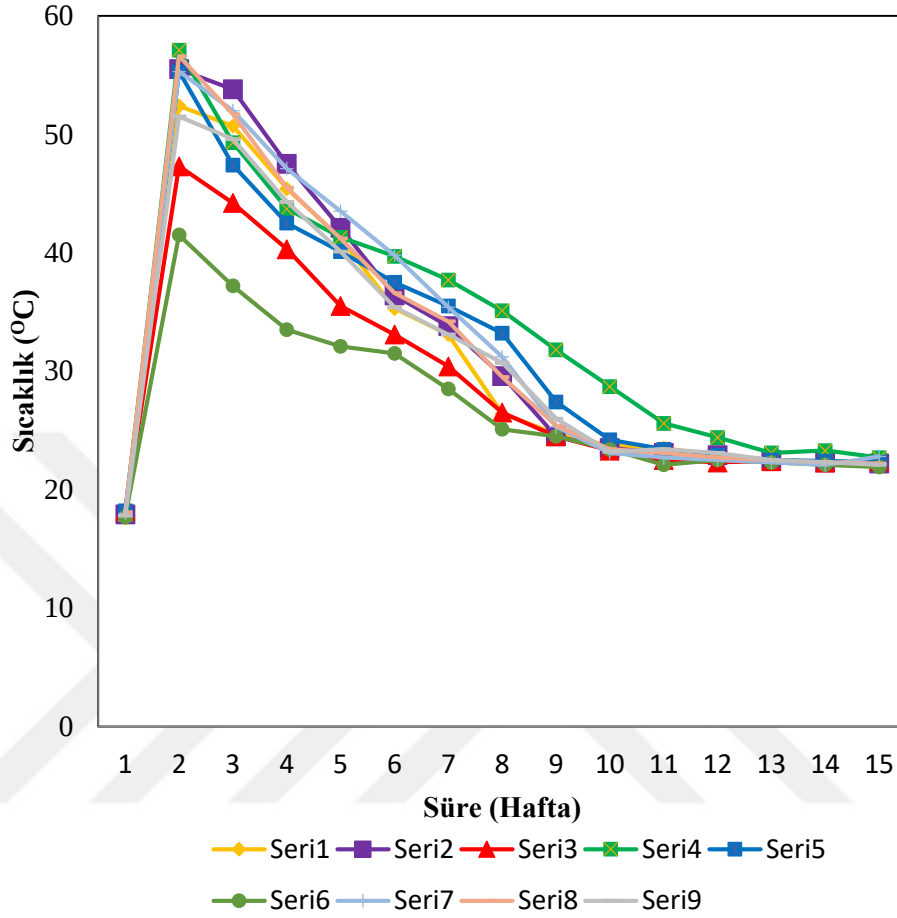
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyokütle santrali uçucu külünün farklı organik atıkların kompostlaştırılmasında etkilerini incelemek üzere, kentsel katı atık, biyogaz tesisi dekantör çıkışı çamuru ve seperatör çıkışı çamuruna farklı oranlarda uçucu kül ilave edilmiş ve proses süresince sıcaklık, pH, nem içeriği, elektriksel iletkenlik, toplam organik karbon (TOC), toplam azot (TN), amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimleri incelenmiştir. Analiz sonuçları, sadece organik atıklarla biyokütle uçucu külü ilave edilmeden yürütülen sistemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, proses sonu parametrelerin değerlerinde elde edilen ürünlerin kalitesi ve mevzuata uygunluğu tartışılmıştır.

4.1. Sıcaklık Değişimine Etkisi

Organik maddeler mikroorganizmalar tarafından kompostlaştırma prosesi süresince aerobik olarak parçalanmakta ve karbondioksit ve su oluşmaktadır. Mikrobiyal bozunma gerçekleşirken kompostlama sırasında yüksek miktarda enerji, ısı şeklinde açığa çıkmaktadır. Meydana gelen ısı, kompostta bulunması istenmeyen hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderimini sağlamaktadır. Şekil 4.1’de sıcaklığın kompostlaştırma prosesleri süresince değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.1’den de görüleceği üzere tüm sistemlerde sıcaklık ilk iki hafta artış göstermiştir. Sıcaklık artışı her bir sistemde farklı oranda gerçekleşmiştir. Katkısız olarak yürütülen kontrol gruplarında maksimum sıcaklık değerleri kentsel katı atıklar için 41.5 °C, dekantör çıkışı arıtma çamuru için 47.3 °C, seperatör çıkışı arıtma çamurları için ise 51.5 °C olarak gözlenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde patojen mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için sıcaklığın 55 °C’nin üzerine çıkması istenmektedir. Kontrol gruplarının hiçbirisinde istenilen sıcaklık seviyelerine ulaşamamıştır. Aynı zamanda, kontrol gruplarında termofilik sıcaklıkların gözlemlendiği süreler de oldukça kısa olmuştur. Bununla birlikte, biyokütle külünün ilave edildiği tüm sistemlerde kontrol gruplarına oranla sıcaklıklar artmıştır. Dekantör çıkışı arıtma çamuruna %5 biyokütle külü ilaveli sistem dışında tüm sistemlerde 55 °C’nin

üzerine çıkmıştır. 9. Haftadan sonra tüm sistemlerde sıcaklık önemli bir değişiklik göstermemiştir.

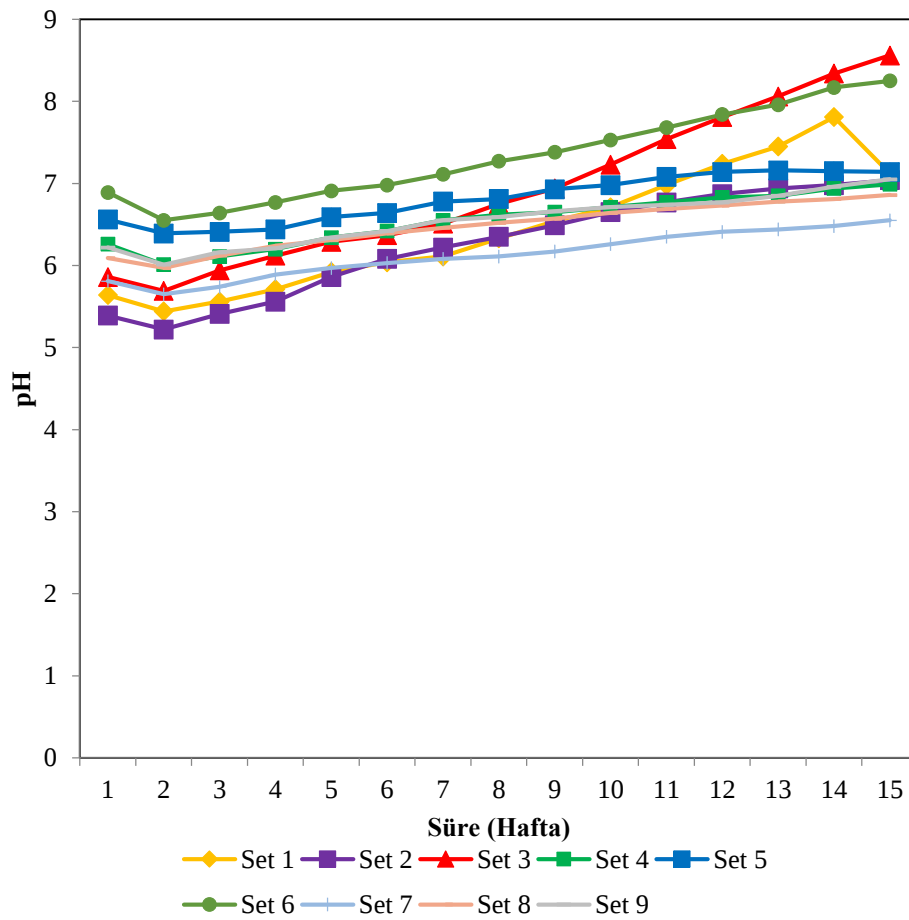


Şekil 4.1. Kompostlaştırma prosesi süresince sıcaklığın zamanla değişimi

4.2. pH Değişimine Etkisi

pH komposlaştırma prosesinde mikrobiyal aktiviteyi ve kompostun olgunluğunu etkileyen önemli bir parametredir. Komposlaştırma prosesleri süresince pH'da meydana gelen değişimler Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Başlangıç pH değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 5.39-5.86, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 5.81-6.22, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 6.26-6.89 arasında değişim göstermiştir. Biyokütle külünün atıklardan daha düşük pH değerine sahip olması nedeniyle, biyokütle külü ilavesi ile pH değerlerinde azalmalar

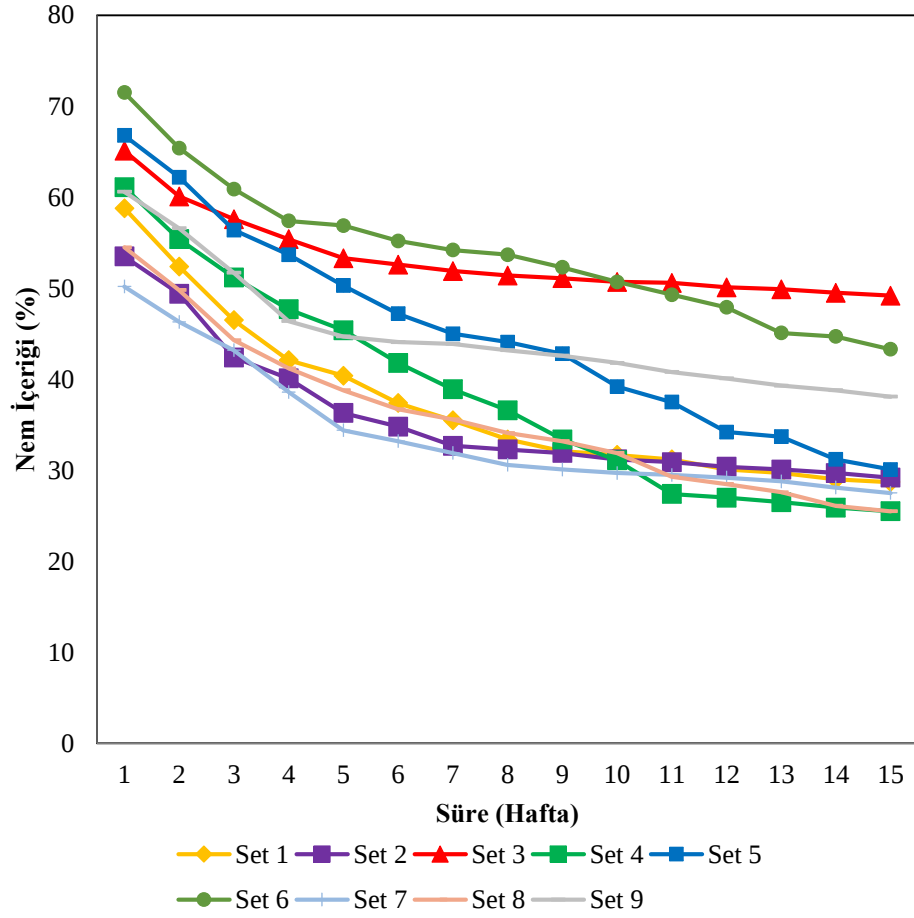
görülmüştür. pH değerleri sıcaklığın maksimuma ulaştığı ikinci haftada tüm sistemlerde düşmüştür. Bunun nedeni organik asitlerin parçalanması sonucu çeşitli organik asitlerin oluşmasıdır (Wei et al., 2016). İkinci haftadan sonra tüm sistemlerde pH değerleri proses süresince artış göstermiştir. Nihai kompost için optimum pH değeri 6.5-7.2 arasındadır (Singh et al., 2012). Kompostlaştırma proseslerinin sonunda dekantör çıkışı arıtma çamuru ve kentsel katı atık ile yürütülen kontrol gruplarında pH değerleri optimum aralıkta bulunmadı. Bununla birlikte, diğer tüm sistemlerde pH değerleri optimum aralıkta yer aldı.



Şekil 4.2. Kompostlaştırma prosesi süresince Ph'ın zamanla değişimi

4.3. Nem İçeriğine Etkisi

Nem içeriği komposlaştırma prosesi için kritik bir parametredir. Mikroorganizmalar, metabolik faaliyetlerini surdrmeleri için neme ihtiyaç duyarlar. Nem içeriği, %15'in altına düştüğünde prostedeki biyolojik aktivitenin tamamen durduğu bilinmektedir. Nem içeriği, %60'ın üzerine çıktığında ise partiküller arası boşluklar tamamen su ile dolmakta ve oksijen transferi zorlaşmaktadır. Kompostlaştırmada nem içeriğinin prosesin başlangıcında %50-60 arasında olması istenmektedir. Kompostlaştırma prosesi başlangıcında dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarını ve kentsel katı atıkları içeren tüm kontrol gruplarında nem içeriği değerleri optimum aralığın üzerinde bulunmuştur. Sistemlere biyokütle külü ilave edildiğinde nem içeriği değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Dekantör ıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ile %5 ve %10 oranında biyokütle külü ilaveli tüm sistemlerde proses başlangıcında nem içeriği değerleri optimum aralıkta yer almıştır. Bununla birlikte, kentsel katı atıklar ile %5 ve %10 oranında biyokütle külü ilaveli sistemlerde başlangıç nem içeriği değerleri, kontrol grubuna oranla daha düşük olsa da optimum aralığın üzerinde bulunmuştur.



Şekil 4.3. Kompostlaştırma prosesi süresince nem içeriğinin zamanla değişimi

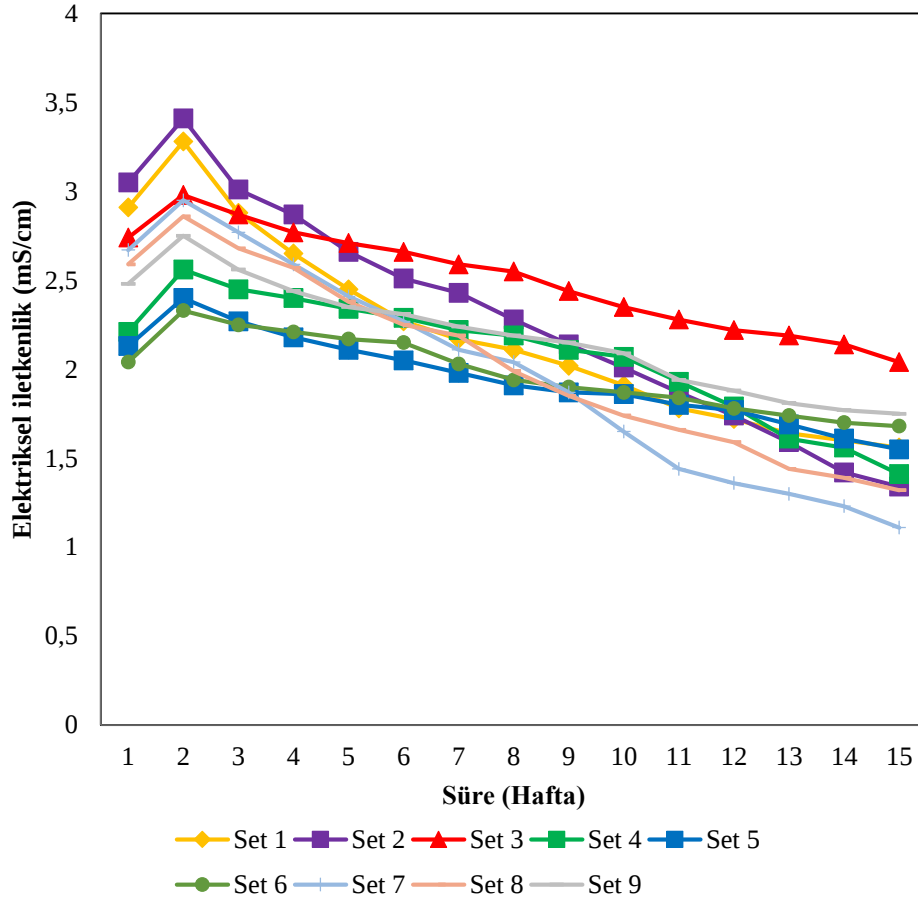
Nem içeriği değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma göstermiştir. Proses sonunda dekantör çıkışı ve separatör çıkışı ve kentsel katı atık içeren kontrol gruplarında elde edilen nihai kompostların nem içeriği değerleri sırasıyla %49.19, %38.11 ve %43.34 olarak bulunmuştur. Biyokütle külü ilaveli diğer tüm sistemlerde nihai kompostların nem içeriği değerleri %30'un altında gözlenmiştir. Buna göre en yüksek nem kayıpları, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarında %5 biyokütle külü ilavesi ile sırasıyla %51.16 ve %53.18 olarak gözlenirken; kentsel katı atıklarda %10 biyokütle külü ilavesi ile %58.27 olarak gözlenmiştir.

4.4. Elektriksel İletkenlik Değişimine Etkisi

Elektriksel iletkenlik, bitki gelişimini sınırlayan ve toksik etkiye neden olan önemli bir parametredir. Elektriksel iletkenlik değeri, aynı zamanda kompostta tuzluluk göstergesidir. Kompostlaştırma prosesi süresince elektriksel iletkenlik değerlerinin değişimi Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

Kompostlaştırma proseslerinin başlangıcında elektriksel iletkenlik değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde 2.74-3.05 mS/cm, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde 2.48-2.67 mS/cm, kentsel katı atıkları içeren kompostlaştırma sistemlerinde ise 2.04-2.21 mS/cm arasında değişim göstermiştir.

Biyokütle külünün atıklardan daha yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip olması nedeniyle, biyokütle külü ilavesi ile elektriksel iletkenlik değerlerinde artışlar görülmüştür. Elektriksel iletkenlik değeri termofilik sıcaklıkların gözlendiği ikinci haftada maksimum değerine ulaşmış, sonrasında derece azalmıştır. Kompostlaştırma proseslerinde nihai kompost için elektriksel iletkenlik değerinin 4 mS/cm'den daha düşük olması istenmektedir (Dhanker et al., 2021). Proses sonunda gerek kontrol gruplarından, gerekse %5 ve %10 biyokütle külü ilaveli sistemlerden elde edilen nihai kompostların elektriksel iletkenlik değerleri 4 mS/cm'nin altında gözlendiği görülmüştür.



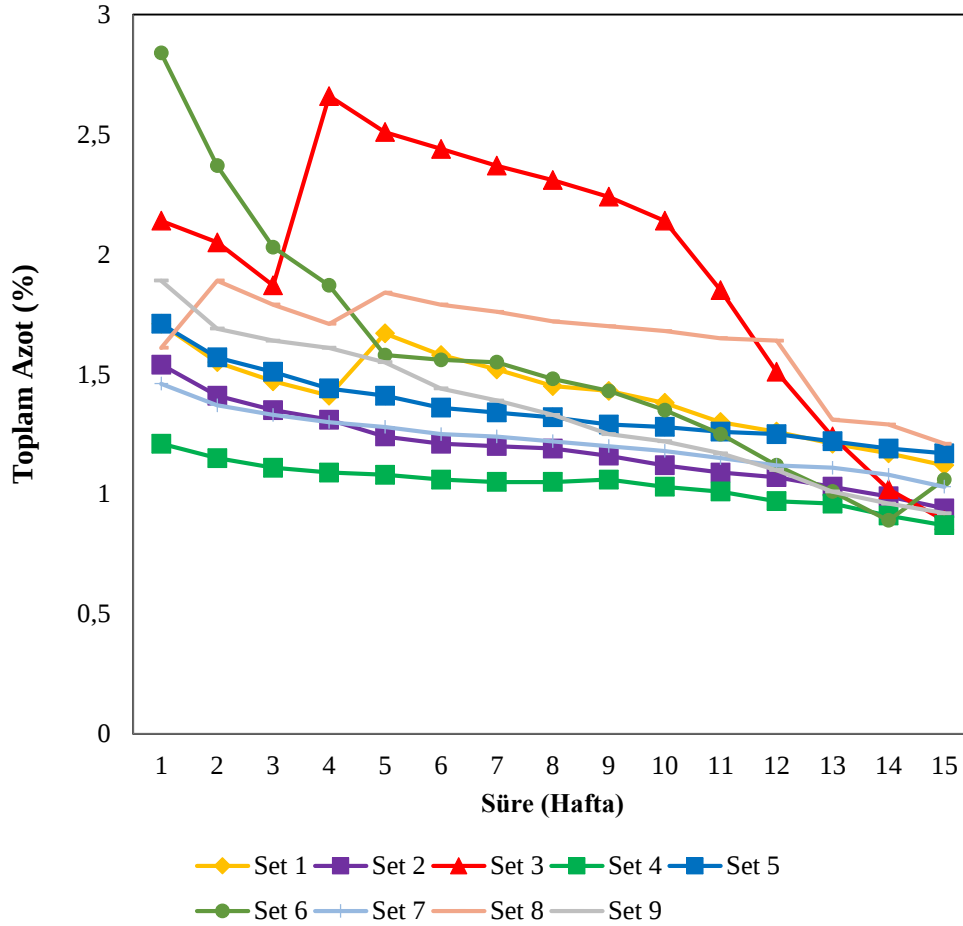
Şekil 4.4. Kompostlaştırma prosesi süresince iletkenliğin zamanla değişimi

4.5. Toplam Azot Değişimine Etkisi

Azot, kompostlaştırma prosesinde mikroorganizmalar için zorunlu bir besin maddesidir. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam azot değerlerinin değişimi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Başlangıç toplam azot değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %1.54-2.14, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %1.46-1.89, kentsel katı atıkları içeren kompostlaştırma sistemlerinde ise %1.21-2.84 arasında değişim göstermiştir. Biyokütle külünün düşük toplam azot içeriği nedeniyle, sistemlerde biyokütle külü ilavesi arttıkça toplam azot içeriği değerleri azalmıştır.

Toplam azot içeriği değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma göstermiştir. Proses sonunda, toplam azot değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %0.89-0.94, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %0.92-1.21, kentsel katı atıkları

içeren komposlaştırma sistemlerinde ise %0.87-1.17 arasında değişmiştir. En yüksek azot kayıpları dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ve kentsel katı atıklarla katkısız olarak yürütülen kontrol gruplarında sırasıyla %58.41, %51.32 ve %62.68 olarak belirlenmiştir. Azot kayıpları biyokütle külü ilaveli tüm sistemlerde azalma göstermiştir. En düşük azot kayıpları dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarına %5 biyokütle külü ilave edilen sistemlerde sırasıyla %34.50 ve %24.84 olarak; kentsel katı atıklar da ise %10 biyokütle külü ilave edilen sistemde %28.10 olarak gözlenmiştir. Komposlaştırma proseslerinde azot kaybı koku problemi oluşturması ve nihai kompostun besin değerini düşürmesi nedeniyle istenmemektedir.

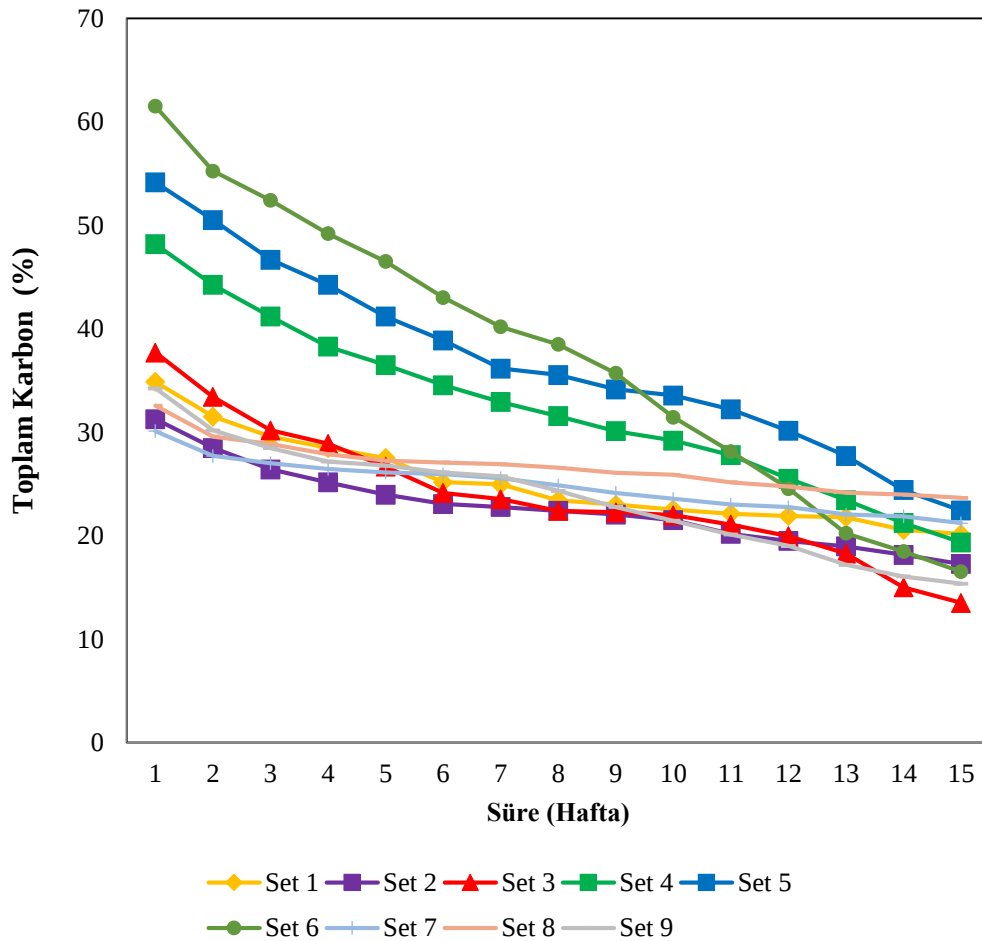


Şekil 4.5. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam azotun zamanla değişimi

4.6. Toplam Karbon (TOC) Değişimine Etkisi

Mikroorganizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılan karbon kompostlaştırma prosesinde önemli bir parametredir. Kompostlaştırma sürecinde mikroorganizmalar metabolik faaliyetlerini gerçekleştirirken CO₂ açığa çıkarmaktadır. Proses başlangıcında daha kolay parçalanabilen karbon kaynakları öncelik olarak tüketildiğinden CO₂ oluşumu prosesin ilk aşamalarında daha fazla oranda gerçekleşmektedir.

Proses süresince toplam karbon değerlerinin değişimi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Başlangıç toplam karbon değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %31.27-37.14, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %30.11-34.24, kentsel katı atıkları içeren kompostlaştırma sistemlerinde ise %48.18-61.51 arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4.6. Kompostlaştırma prosesi süresince toplam karbonun zamanla değişimi

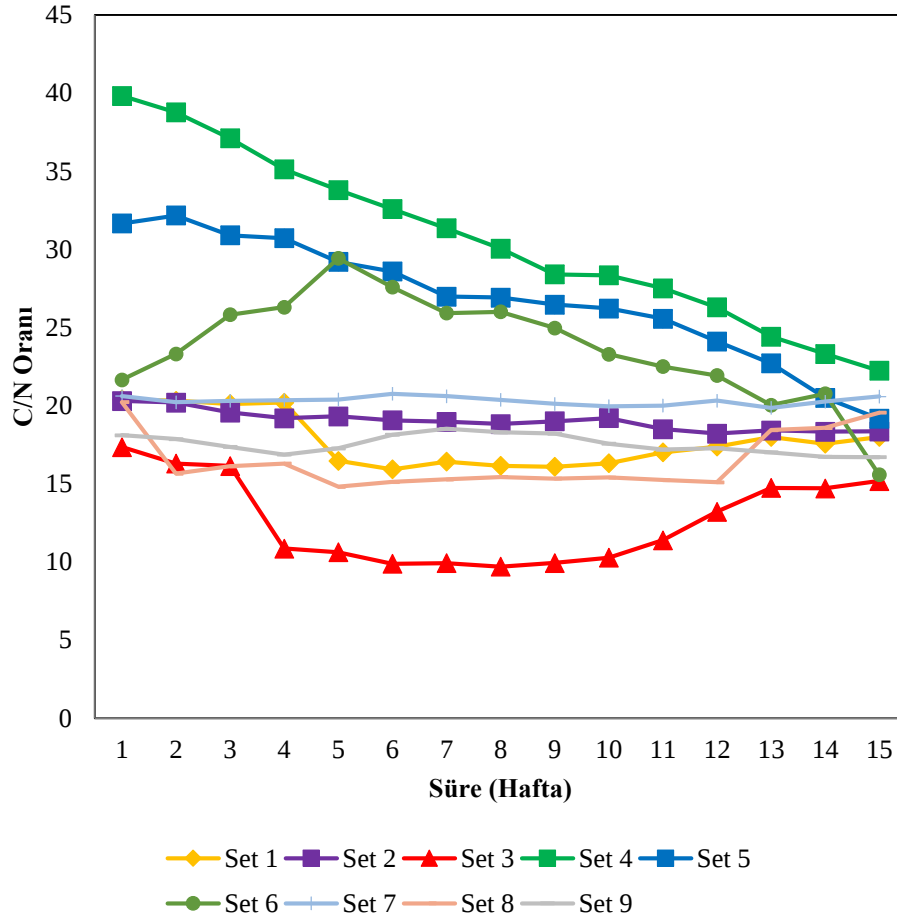
Toplam karbon içeriği değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma göstermiştir. Proses sonunda, toplam karbon değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %15.01-20.56, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren kompostlaştırma sistemlerinde %16.06-23.97, kentsel katı atıkları içeren kompostlaştırma sistemlerinde ise %16.52-22.43 arasında değişmiştir. En yüksek karbon kayıpları dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ve kentsel katı atıklarla katkısız olarak yürütülen kontrol gruplarında sırasıyla %63.62, %55.11 ve %73.14 olarak belirlenmiştir. Karbon kayıpları biyokütle külü ilaveli tüm sistemlerde azalma göstermiştir. En düşük karbon kayıpları dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ve kentsel katı atıklara %5 biyokütle külü ilave edilen sistemlerde sırasıyla %42.19, %27.33 ve %58.57 olarak gözlenmiştir.

4.7. C/N Oranı Değişimine Etkisi

C/N oranı kompostun olgunluğunun belirlenmesinde önemli bir parametredir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında C/N oranının 20-35 aralığında olması istenmektedir. Yüksek C/N oranında kullanılabilir azot tükeneceğinden mikrobiyal faaliyetlerde yavaşlama olmakta ve kompostlaştırma işleminin süresi uzamaktadır. Düşük C/N oranında ise, amonyak gazı açığa çıkmakta, bu ise azot kaybına ve koku problemine yol açmaktadır. Kompostlaştırmada prosesin başlangıcında C/N oranının 20-35 arasında olması istenmektedir.

Proses süresince toplam karbon değerlerinin değişimi Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Kompostlaştırma prosesi başlangıcında dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarını ve kentsel katı atıkları içeren tüm kontrol gruplarında C/N değerleri optimum aralığın üzerinde bulunmuştur. Sistemlere biyokütle külü ilave edildiğinde C/N oranı değerlerinde artış gözlenmiştir. Dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ile kentsel katı atıkların %5 ve %10 oranında biyokütle külü ilaveli tüm sistemlerinde proses başlangıcında C/N oranı değerleri optimum aralıkta yer almıştır. C/N oranı değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma göstermiştir. Kompostlaştırma proseslerinde nihai kompostun olgun kabul edilebilmesi için C/N oranının 20’den düşük olması istenmektedir. Proses sonunda dekantör çıkışı ve separatör çıkışı ve kentsel katı atık içeren kontrol gruplarında elde edilen nihai kompostların C/N oranı değerleri sırasıyla 15.18, 16.71

ve 15.58 olarak bulunmuştur. %10 biyokütle külü ilaveli dekantör çıkışı arıtma çamuru ve %10 biyokütle külü ilaveli kentsel katı atık içeren sistemlerde C/N oranı değerleri 20'nin üzerinde bulunmuştur.



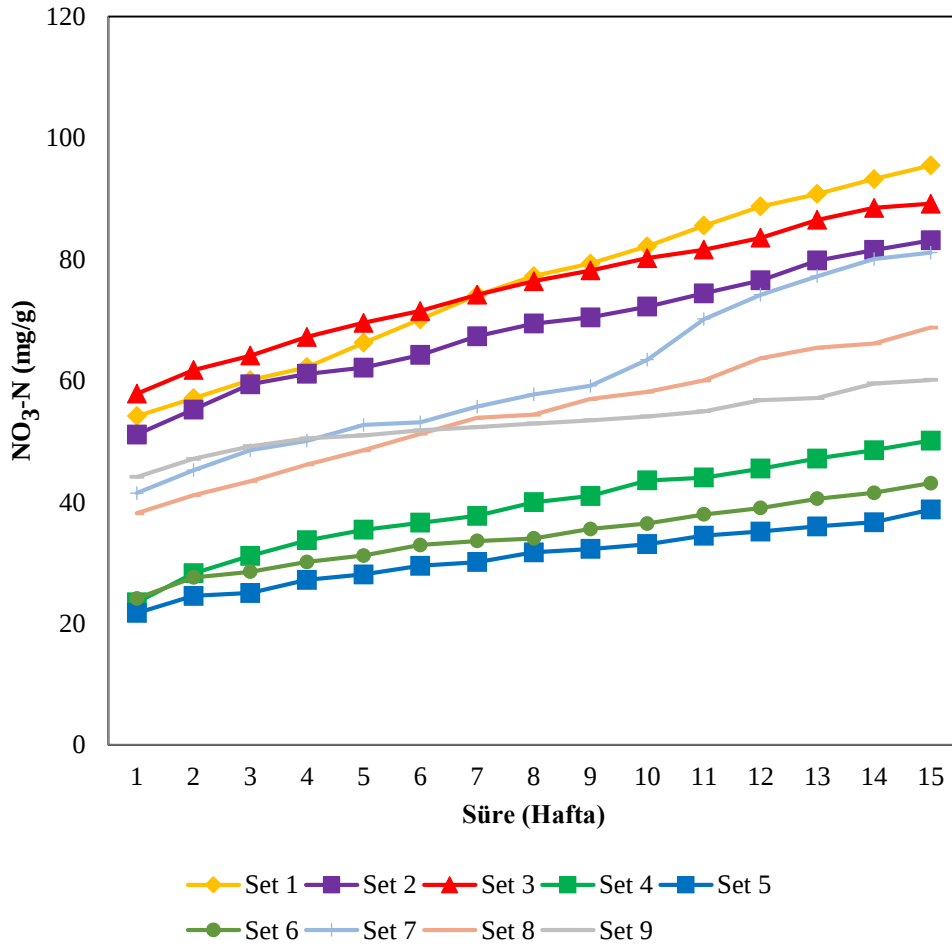
Şekil 4.7. Kompostlaştırma prosesi süresi boyunca C/N oranının zamanla değişimi

4.8. Nitrat Azotu ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) Değişimine Etkisi

Kompostlaştırma prosesi süresince nitrat azotu ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) değerlerinin değişimi Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Başlangıç nitrat azotu ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 51.12-57.87 mg/g, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 38.16-44.13 mg/g, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 21.72-24.11 mg/g arasında değişim göstermiştir.

Nitrat azotu ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma

göstermiştir. Proses sonunda, toplam azot değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 83.13-95.48 mg/g, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 60.12-81.11 mg/g, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 38.76-50.14 mg/g arasında değişmiştir. En yüksek nitrat azotu (NO_3^- -N) değerleri, her üç atık için de %5 biyokütle uçucu külü içeren sistemlerden elde edilmiştir. Proses sonunda nitrat azotu (NO_3^- -N) değerleri dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ve kentsel katı atıklarla katkısız olarak yürütülen kontrol gruplarında sırasıyla 89.17, 60.12 ve 43.12 mg/g olarak belirlenmiştir.



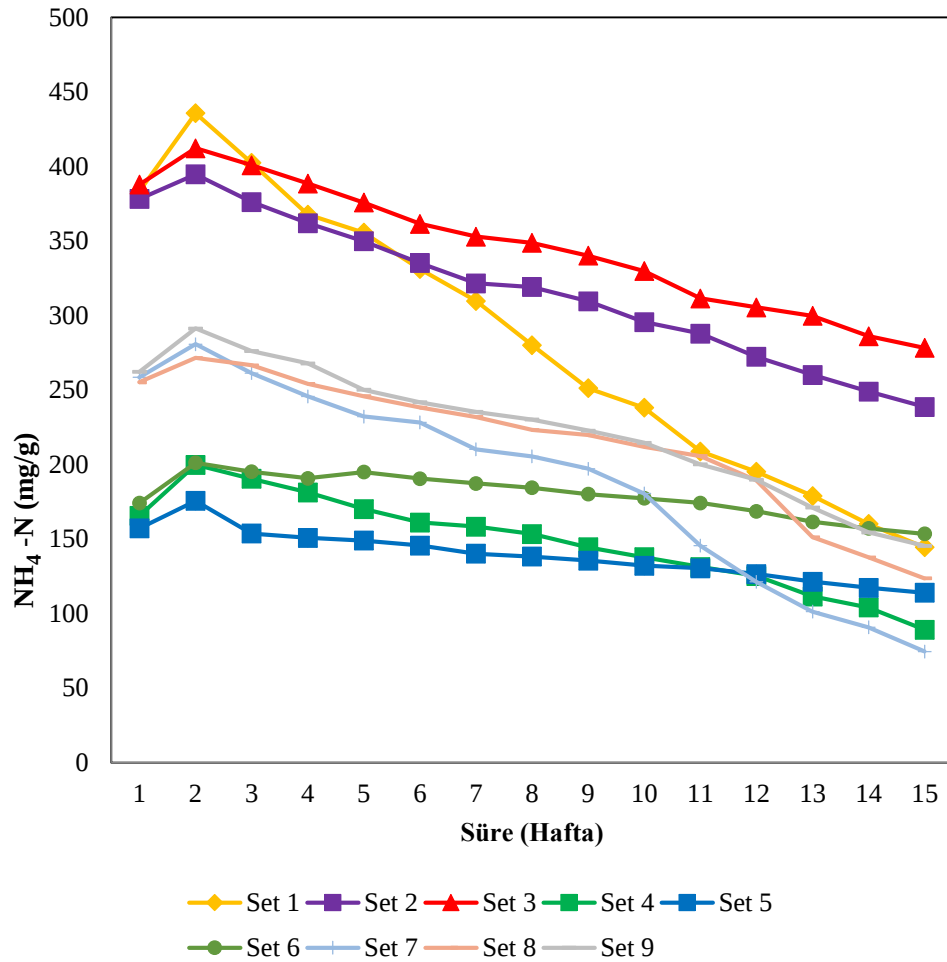
Şekil 4.8. Kompostlaştırma prosesi süresi boyunca nitrat azotunun zamanla değişimi

4.9. Amonyum Azotu (NH_4^+ -N) Değişimine Etkisi

Kompostlaştırma prosesi süresince amonyum azotu (NH_4^+ -N) değerlerinin değişimi Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında

amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 378.12-387.84 mg/g, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 255.16-262.13 mg/g, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 157.12-174.11 mg/g arasında değişim göstermiştir.

Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri proses süresince tüm sistemlerde termofilik aşama süresince ilk iki hafta artış göstermiştir. Tüm proseslerde, termofilik aşama sonunda amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri azalmıştır. Proses sonunda amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 144.43-278.21 mg/g, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 74.54-145.39 mg/g, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 89.12-153.51 mg/g arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4.9. Kompostlaştırma prosesi süresi boyunca amonyum azotunun zamanla değişimi

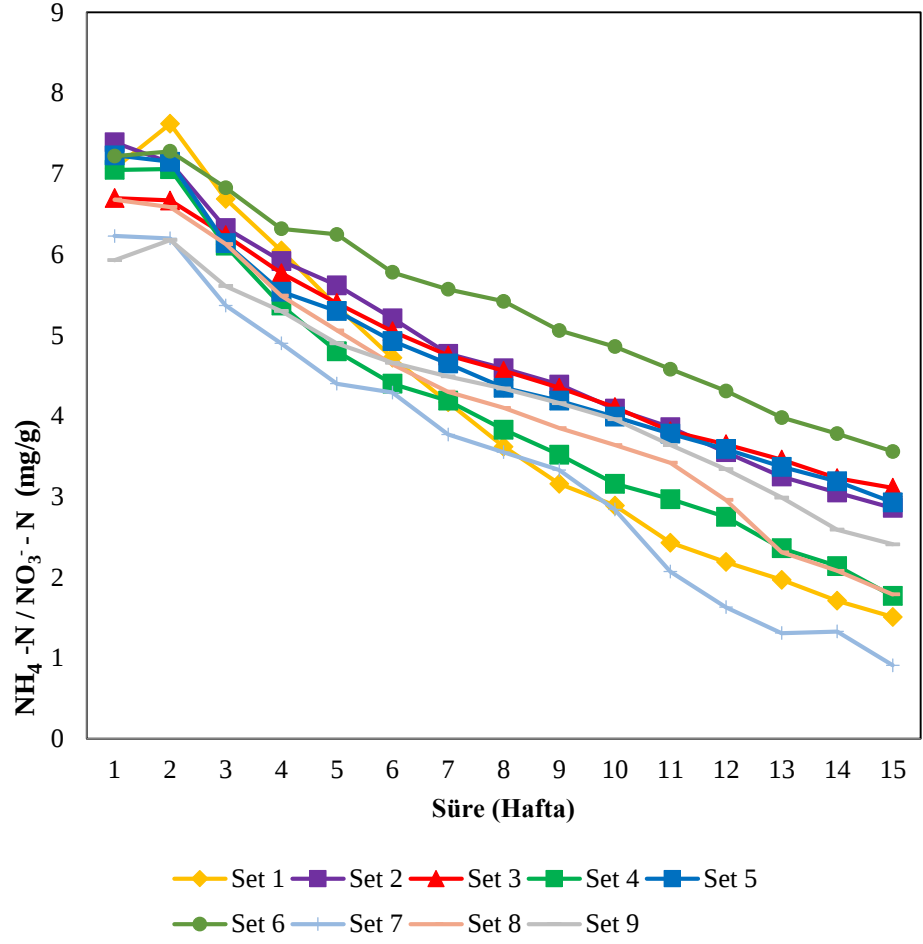
Proses sonunda, en yüksek amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde ve kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde biyokütle külü içermeyen kontrol sistemlerinde; en düşük amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri ise %5 biyokütle uçucu külü içeren sistemlerde gözlemlendi.

4.10. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ / $\text{NO}_3^-\text{-N}$ Oranı Değişimine Etkisi

Nitrifikasyon indeksi olarak bilinen $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı, kompostun olgunluğunu belirlemek için kullanılır. Kompostlaştırma prosesi süresince $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ değerlerinin değişimi Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 6.71-7.40, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 5.94-6.69, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 7.05-7.23 arasında değişim göstermiştir.

$\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerleri proses süresince tüm sistemlerde azalma göstermiştir. Proses sonunda, $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerleri dekantör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 1.51-3.12, separatör çıkışı arıtma çamurlarını içeren komposlaştırma sistemlerinde 0.92-2.42, kentsel katı atıkları içeren komposlaştırma sistemlerinde ise 1.78-3.56 arasında değişmiştir. En yüksek $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranları, en yüksek $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve en düşük $\text{NO}_3^-\text{-N}$ miktarlarına sahip olan biyokütle uçucu külü ilave edilmeyen kontrol sistemlerinde kaydedilmiştir.

Kompostlaştırma prosesleri sonucunda tüm atıklarda da en düşük $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerlerine %5 biyokütle uçucu külü ilavesi ile ulaşılmıştır. 3’ün üzerindeki $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerleri, kompostun olgunlaşmamış olduğunu gösterir. $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerleri 0.16 olması çok olgun kompost olarak kabul edilmekte ve nitrifikasyonun tamamlandığını göstermektedir (Bernal vd., 1998).



Şekil 4.10. Kompostlaştırma prosesi süresi boyunca amonyum azotunun nitrat azotuna oranının zamanla değişimi

5. SONUÇ

Bu çalışmada biyokütle santrali uçucu küllerinin farklı organik atıkların kompostlaştırılmasında etkisi incelenmiştir. Dekantör, seperatör çıkışı çamurlarına ve kentsel katı atıklara %5, %10 biyokütle külü eklenmiş ve aynı organik atıkların katkısız yürütüldüğü kompost sistemleri ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeden kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve seperatör çıkışı arıtma çamurları ile yürütülen kompostlaştırma proseslerinde başlangıç nem içeriği değerlerinin yüksek olması, termofilik sıcaklıklara ulaşmayı engellemiştir. Biyokütle santrali uçucu külünün düşük nem içeriğine sahip olması, kompostlaştırma proseslerinde nem içeriğini dengelemiş ve termofilik sıcaklıklara ulaşılmasını sağlamıştır.
- Kompostlaştırma prosesleri sonucunda nihai ürünlerin pH değerleri, biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeden katkısız olarak yürütülen kentsel katı atık ve dekantör çıkışı arıtma çamurlarında optimum aralığın üzerinde bulunmuştur. Sistemlere biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmesi proses sonunda elde edilen kompostların pH değerlerinin optimum aralıkta yer almasını sağlamıştır.
- Kentsel katı atıkların, dekantör çıkışı ve seperatör çıkışı arıtma çamurlarının yüksek nem içeriğine sahip olması, kompostlaştırma prosesi sonunda da nem içeriği değerlerinin %30'dan daha büyük olmasına yol açmıştır. Sistemlere biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmesiyle proses sonunda nihai ürünlerin nem içeriği değerleri %30'un altına inebilmiştir.
- Kentsel katı atıklara, dekantör çıkışı ve seperatör çıkışı arıtma çamurlarına biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmesiyle elektriksel iletkenlik değerleri azalmıştır. Bununla birlikte biyokütle santrali uçucu külü ilave edilen ve ilave edilmeden katkısız olarak yürütülen tüm sistemlerde, kompostlaştırma prosesi sonunda elde edilen nihai kompostların elektriksel iletkenlik değerleri optimum aralıkta yer almıştır.
- Biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeden katkısız olarak kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve seperatör çıkışı arıtma çamurları ile yürütülen

kompostlaştırma proseslerinde en yüksek azot kayıpları gerçekleşmiştir. En düşük azot kayıpları ise, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ile yürütülen kompostlaştırma proseslerinde %5 biyokütle santrali uçucu külü ilavesi ile, kentsel katı atıklar ile yürütülen kompostlaştırma proseslerinde ise %10 biyokütle santrali uçucu külü ilavesi ile gerçekleşmiştir.

- Kompostlaştırma prosesleri sonunda elde edilen kompostlarda en yüksek toplam organik karbon kayıpları kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarına biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeyen kontrol sistemlerinde gözlenmiştir. Bununla birlikte, her üç atık için de en düşük toplam organik karbon kayıpları %5 biyokütle uçucu külü içeren sistemlerden elde edilmiştir.
- Biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeden katkısız olarak kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurları ile yürütülen kompostlaştırma proseslerinden elde edilen kompostların amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri, biyokütle santrali uçucu külü ilave edilerek yürütülen kompostlaştırma proseslerinden elde edilen kompostların amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerlerinden yüksek bulunmuştur.
- Kompostlaştırma prosesleri sonunda elde edilen kompostlarda en yüksek nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerleri kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarına biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmeyen kontrol sistemlerinde gözlenmiştir. Bununla birlikte, her üç atık için de en yüksek nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerleri %5 biyokütle uçucu külü içeren sistemlerden elde edilmiştir.
- Kompostun olgunluğunu gösteren $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ oranı değerlerine göre en düşük değerler, kentsel katı atık, dekantör çıkışı ve separatör çıkışı arıtma çamurlarına %5 biyokütle santrali uçucu külü ilavesiyle gerçekleştirilen sistemlerden elde edilmiştir.
- Sonuç olarak, kentsel katı atıklara, dekantör ve separatör çıkışı arıtma çamurlarına biyokütle santrali uçucu külü ilave edilmesinin kompostun kalitesini geliştirdiği gözlenmiştir. Her üç atık için de etkili biyokütle santrali uçucu külü oranı %5 olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alemdağ, İ. S., 1980 Manual of Data Collection and Processing for the Development of Forest Biomass Relationships, Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Information Report PI-X4, 38p.
- Anonim 2011c. "Youth for Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları", BiyokütleEnerjisi, <http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf>(E.T: 01.04.2014).
- Anonim, 2013. Hatay İl Çevre Durum Raporu. TC Hatay Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Antakya, Hatay.
- Atkinson, (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. Atmospheric Environment, 34, 2063– 2101.
- Avcıoğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z. ve Koçtürk, D. 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar. Nobel yayınları, 493 s., Ankara.
- Avcioglu, A., Turker, U., Atasoy, Z. and Kocturk, D., (2011). Renewable Energies of Agricultural Origin, Biofuels, Nobel, Ankara.
- Balat, (2005). "Use Of Biomass Sources For Energy In Turkey And A View To Biomass Potential", Biomass and Bioenergy, Sayı: 29(2005,) s. 32-41
- Bayer, (2008). The effect of source separated on composting. M.Sc. Thesis, Yıldız Technical University Institute of Science, Istanbul.
- Boztepe E. Ve Karca A. (2009). "Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar", Türkiye 11, Enerji Kongresi ve Sergisi, 21-23 Ekim 2009, İzmir.
- Bioenergy, 2011-In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK-TMK), (Aralık 2012). "Enerji Raporu 2012" <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjirapor2012.pdf>, (E.T: 03.03.2014).
- Dhanker, R., Chaudhary, S., Goyal, S., Garg, V.K., 2021. Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. Environ. Technol. Innov. 23, 101642. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101642>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). "Mavi Kitap 2013", Enerji ve Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2013. Pdf (E.T: 02.02.2014).
- Erdim, (2003). İleri biyolojik atık su arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında farklı katkı maddelerinin etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Erdoğan, (2016). Arz Güvenliği Bakışı ile Türkiye’de Enerji Politikaları. Ankara: Orion Kitabevi.
- Gündüz G, Saraçoğlu N, Aydemir D (2016). Characterization and elemental analysis of wood pellets obtained from low-valued types of wood. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 38(15), 2211-2216.
- Haug, (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, Boca Raton.

- Karaosmanoğlu, (2006) “Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları”, ENKÜS 2006-İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiri Kitabı, Sayfa: 110-146, 22-23 Haziran 2006, İstanbul.
- Karaosmanoğlu, (2006). “Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları”, ENKÜS 2006-İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiri Kitabı, Sayfa: 110-146, 22-23 Haziran 2006, İstanbul
- Kozinski JA, Zheng G (1998). Patterns of Metals and PACs During Heating of Biologically Treated Deinking Byproducts. Combustion Science and Technology, 138(1-6): 363-380.
- Koziński J A, Saade R (1998). Effect of biomass burning on the formation of soot particles and heavy hydrocarbons. An experimental study. Fuel, 77(4), 225-237.
- Li W, Wang J, Gong H (2009). Catalytic combustion of VOCs on non-noble metal catalysts. Catalytic Today, 148, 81-87.
- MİMKO, 2006’a Mimko Mühendislik İmalat Müşavirlik Koordinasyon ve Ticaret A.Ş. (2006). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Katı Atık Ana Planı Projesi 1. Ara Rapor.
- NEH, (2000). Composting, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Fort Worth, Texas, USA.
- Öztürk, M. ve Bildik, B. 2005. Hayvan çiftliklerinde kompost üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, 160 s., Ankara.
- Perlack, R.D., Wright, L.L, Huston, M.A. ve Schramm, W.E (1995). “Biomass Fuel From Woody Crops For Electric Power Generation”. ORNL-6871, L. Martin Energy Systems, Inc., September 21 1995., Oak Ridge, Tennessee
- PWC, (2021). Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış
- Rynk, R. (1992). On-farm composting Handbook. Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services (NRAES), Ithaca NY, USA.
- Saraçoğlu, 2010. Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı. Efil Yayınevi, 300 S., Ankara.
- Saraçoğlu, (2017), Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Üretiminin Dünya’da ve Türkiye’deki Durumu, Fiscaeconomia, 1 (3), s: 126-155.
- Singh, S., Singh, B., Mishra, B.K., Pandey, A.K., Nain, L., 2012. Microbes in Agrowaste Management for Sustainable Agriculture, in: Satyanarayana, T., Johri, B.N., Prakash, A. (Ed.), Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 127–151. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2214-9_8
- Tiquia, S.M. and Tam, N.F.Y. (2000). Fate of nitrogen During composting of chicken litter, Environmental Pollutian, 110, 535-541.
- Topal, E.I.A. and Topal, M. (2013). A review on compost standards. 2(2), 85-108.
- Topkaya, 2004. Kompost. Ders notu (basılmamış). Akdeniz Üniversitesi, 17 s., Antalya.
- Tosun, 2003. Gül işleme posasının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. İstanbul.
- Türe, (2001). “Biyokütle Enerjisi”, Temiz Enerji Vakfı, Sayfa: 1-5. Ankara
- Varank (2006). Comparison o aerobically stabilized solid wastes with compost product. M.Sc. Thesis, Yıldız Technical University Institute of Science, Istanbul.

- Yamanlar S., Biyokütle ve Dönüşüm Teknolojisi Ders Notları, İTÜ, 2005.
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (2013), Resmî Gazete, 28782, 1 Ekim 2013.
- Yıldırım HT, Dayaniklioglu S, Candan Z (2013). Raw material procurement policies of Turkish wood panel industry. Proceeding of 56th Society of Wood Science Technology International Convention.
- Yılmaz, (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- Wei, Y., Zhao, Y., Wang, H., Lu, Q., Cao, Z., Cui, H., Zhu, L., Wei, Z., 2016. An optimized regulating method for composting phosphorus fractions transformation based on biochar addition and phosphate-solubilizing bacteria inoculation. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.038>



EKLER

pH TAYİN YÖNTEMİ

Temel Prensip

pH değeri, orijinal kompost materyali ve 0.01 M CaCl_2 solüsyonun 1:10 (ağırlık-hacim,) oranında karıştırılması ile elektrometrik olarak tayin edilir.

Materyaller

- Hassas terazi
- Uygun cam malzemeler (beher, erlenmayer gibi)
- pH-metre
- Mekanik çalkalayıcı
- pH-metre için uygun pH tamponları

Reaktifler

0.01 M CaCl_2 solüsyonu: 1,47 g $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1 litre saf suda çözülür.

Prosedür

Orijinal kompost numunesi <10 mm boyutuna kadar parçalanır. 0.01 M, 200 ml CaCl_2 solüsyonuna 20 g kompost numunesi eklenir. Süspansiyon mekanik çalkalayıcıda 1 saat karıştırılır. Kompost parçacıklarının çökmesi için bir süre beklenir ve üstte kalan kısımda pH-metre yardımı ile pH ölçümü yapılır.

NEM İÇERİĞİ TAYİN YÖNTEMİ

Temel Prensip

Su içeriği, orijinal kompost materyalinin 105°C’de kurutulması ile oluşan ağırlık kaybından belirlenir. Kurutulduktan sonra geri kalan kısım, kuru madde miktarını vermektedir. Su içeriği ve kuru madde miktarı (yüzde) olarak ifade edilir ve her ikisinin toplamı %100’dür.

Materyaller

- Hassas terazi

- Etüv
- Uygun kurutma kabı (büyük cam, porselen veya alüminyum kaplar)

Prosedür

Yaklaşık 1000 g kompost numunesi darası alınmış uygun bir kap içerisine alınır ve tartılır. 105°C’de 24 saat sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur. Oda sıcaklığına geldiğinde tekrar tartılır ve kabın darası çıkarıldıktan sonra aşağıdaki formülden su içeriği hesaplanır.

$$\text{Su içeriği (\%)} = (A/B) / A \times 100$$

A: numunenin kurutulmadan önceki ağırlığı

B: numunenin kurutulduktan sonraki ağırlığı

ELEKTRİKSEL İLETKENLİK TAYİN YÖNTEMİ

Temel Prensi

İletkenlik, orijinal kompost materyalinin 1:10 (ağırlık/hacim) oranında saf su ile ekstrakte edilmesi sonucu tayin edilir.

Materyaller

- Hassas terazi
- PE karıştırma şişesi (min. 250ml)
- Vakum pompası
- Filtre kâğıdı
- İletkenlik-ölçer
- Mekanik çalkalayıcı

Prosedür

Orijinal kompost numunesi <10 mm boyutuna kadar parçalanır. 20 g kompost numunesi PE şişesi alınır ve 200 ml saf su ilave edilir. Süspansiyon mekanik çalkalayıcıda 2 saat karıştırılır. Filtreden geçirilir ve iletkenlik-ölçer ile iletkenliği okunur.

TOPLAM AZOT TAYİN YÖNTEMİ

Temel Prensiip

Toplam organik azot içeriği, kuru kompost materyalinin Kjeldahl işlemine tabi tutulması ile belirlenir. Organik azot uygun katalizör ve tuzlar varlığında konsantre sülfürik asit ile amonyak formuna dönüştürölür. Alkalizasyon, distilasyon ve uygun asitte amonyağın toplanmasından sonra, amonyak içeriği titrimetrik olarak tayin edilir.

Materyaller

- Hassas terazi
- Kjeldahl aparatı
- Büret
- Uygun cam malzemeler (beher, erlenmayer gibi)

Reaktifler

Konsantre Sülfürik Asit ($\rho=1.84$ g/ml)

Kjeldahl Tabletleri

Karışık İndikatör Solüsyonu: 200 mg methyl-red indikatörü, 100 ml %95'lik etil veya izopropil alkolde çözölür. 100 mg methylene blue 50 ml %95'lik etil veya izopropil alkolde çözölür. Solüsyonlar karıştırılır (Bu solüsyon aylık olarak hazırlanır).

Borik Asit Solüsyonu: 20 g H_3BO_3 bir miktar saf suda çözölür; 10 ml karışık indikatör eklenir ve saf su ile 1 litreye seyreltilir.

0.02 N Standart Sülfürik Asit Solüsyonu: 0.5 ml konsantre H_2SO_4 , 1 litreye seyreltilir (Bu solüsyonun 1 ml'si 280 μ g N içerir).

Sodyum Hidroksit-Sodyum Tiyosülfat Solüsyonu: 500 g NaOH ve 25 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ saf suda çözölür ve 1 litreye tamamlanır.

Prosedür

Orijinal kompost numunesi, 105 °C'de kurutulur ve <0.25 mm boyutuna parçalanır. Analizde kullanılacak numune miktarı azot içeriğine göre belirlenir. Azot içeriğine göre kullanılacak numune miktarları Tablo Ek.1'de gösterilmiştir. Genel olarak, %1-2 azot içeren kuru kompost materyali için 250 mg numune ağırlığı kullanılır.

Tablo Ek.1. Kuru kompost materyalinde tahmin edilen toplam azot içeriğine göre kullanılacak uygun numune miktarları

Azot İçeriği (%)	Numune Ağırlığı (mg)
1-2	200–250
3-4	100–150
5-10	50-100

Numune tartılarak, Kjeldahl balonuna konulur. 15 ml konsantre sülfürik asit ve 1 adet Kjeldahl tableti ilave edilir. Numune, berrak ve açık sarı bir renk alana kadar, yaklaşık 60-90 dakika, 360 °C’de ısıtılır. Numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulur ve yaklaşık 20 ml amonyaksız saf su dikkatlice karıştırılır. Numune distilasyon balonuna yerleştirilir ve 10 ml sodyum hidroksit-sodyum tiyosülfat reaktif karıştırılmadan eklenir. Bir erlenmayer veya behere 50 ml borik asit solüsyonu konulur ve distilasyon ünitesine yerleştirilen numuneden oluşan distilat bunun içerisinde toplanır.

Kjeldahl distilasyon cihazında numunenin distilasyonuna başlamadan önce, cihazı temizlemek için, distilasyon balonuna bir miktar (~ 30-40 ml) saf su konulur, üzerine pH: 9-12 olacak şekilde NaOH eklenir ve distile edilir.

Distilasyon hızının 6-10 ml/dak. arasında olması gereklidir. Fazla olursa cihaz çok ısınır ve NH₃ buharı yeterince yoğunlaşmayıp, borik asit içinde tutulmadan gider. Distilasyon hızı, alete gelen soğutucu su ile ayarlanır. Distilasyon süresi de ayarlanmalıdır. Bunun için 200 ml içeriği bilinen numuneye 9 ml borat tamponu ilave edilir, pH: 9.5’e ayarlanır ve hacim 50’şer ml olarak dörde bölünür. 4, 6, 10 ve 15 dakika distilasyon yapılır. En iyi sonuç hangisinde bulunursa, o süre kullanılır.

Distilasyon sonucunda, borik asit içinde toplanan numune, 0.02 N H₂SO₄ solüsyonu ile mat eflatun renge dönüşüncüye kadar titre edilir. Aynı işlemler kör numune için de yapılır.

Titrasyon sonucunda toplam azot miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$TN (\%) = \frac{(A-B) \times F \times 100}{E}$$

Burada;

TKN: Toplam Kjeldahl azotu miktarı (%),

A: Titre edilen numune için kullanılan standart sülfürik asit miktarı (ml),

B: Titre edilen kör için kullanılan standart sülfürik asit miktarı (ml),

F: 0.02 N standart sülfürik asit solüsyonunun 1 ml'sinde bulunan NH₃-N miktarı (mg/ml),

E: Numune ağırlığı (mg)

TOPLAM KARBON İÇERİĞİ TAYİN YÖNTEMİ

Temel Prensipte

Toplam karbon içeriği, 105°C'de kurutulmuş örneğin 550°C'de 2 saat yakılması sonucu oluşan ağırlık kaybından hesaplanır. Toplam karbon içeriği (%) olarak ifade edilir.

Materyaller

- Hassas terazi
- Porselen krezeller
- Etüv
- Kül fırını

Prosedür

Yaklaşık 100 g orijinal kompost numunesi darası alınmış uygun bir kap içerisine alınır ve tartılır. 105°C'de 24 saat sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur. Oda sıcaklığına geldiğinde, yaklaşık 4 g alınır ve porselen krezeye konulur. 550°C'de 2 saat kül fırınında yakılır. Desikatörde soğutularak tartılır. Kül içeriği:

$$\text{Kül içeriği (\%)} = (A-B) / A \times 100$$

formülünden hesaplanır. Burada;

A: numunenin yakılmadan önceki ağırlığı,

B: numunenin yakıldıktan sonraki ağırlığı

Belirlenen kül içeriği değeri, aşağıdaki formülde yerine konularak toplam karbon içeriği hesaplanır.

$$\text{Toplam karbon içeriği (\%)} = (100 - \% \text{kül içeriği}) / 1.8$$

ÖZ GEÇMİŞ

Hale DOĞAN, Samsun Ayvacık Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi. Halen aynı bölümde yüksek lisansına devam etmektedir (04.08.2022).

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0000-0002-6442-3016

Yayınlar:

1. Doğan, H., Turan, N.G., 2021. Effects of Biomass Fly Ash In Municipal Solid Waste Composting, Journal of Scientific Reports-C, 2, 11-17.
2. Doğan, H., Aydın Temel, F., Çağçağ Yolcu, Ö., Turan, N.G., 2023. Modelling and optimization of sewage sludge composting using biomass ash via deep neural network and genetic algorithm, Bioresource Technology, 370, 128541.