



PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
AEROBIC STABILIZATION OF BIOSOLIDS BY THE USE OF AERATED
PILOT REACTOR SYSTEM

Şenol YILDIZ^{*1}, Ahmet DEMİR²

¹*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL*

²*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL*

Received/Geliş: 24.01.2011 Accepted/Kabul: 16.11.2011

ABSTRACT

Biological treatment sludge must be treated before final disposal since it tends to decay and rot and solid content in sludge is very low and contains pathogen microorganisms. To treat biological sludge, composting is being used an economical stabilization technique. During composting dewatered sludge is being mixed with one or more bulking agent material (wood chips etc.) to ensure the moisture control and supply enough C/N ratio and energy balance. All kind of biological treatment sludge could be processed by composting. In this study, the aerobic compost stabilization of biological treatment sludge alone as well as with corn-processing sludge (prekot) and organic household waste as additional carbon source is conducted. In addition, different bulking agents (wood chips, synthetic material) effects on composting have been revealed. Two parallel trials with a total of 12 reactors have been carried out and the composting process as a change in the basic parameters has been observed. Finally the analysis showing the product quality in the final compost product were presented in the study.

Keywords: Biological treatment sludge, composting, corn-processing sludge, organic household waste.

BİYOKATILARIN HAVALANDIRMALI PİLOT REAKTÖR SİSTEMİYLE AEROBİK STABİLİZASYONU

ÖZET

Biyolojik arıtma sistemlerinde oluşan çamurlar, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun katı madde oranının düşük olması ve patojen mikroorganizma ihtiva etmesinden dolayı nihai bertaraf öncesi mutlaka arıtılmaları gerekmektedir. Biyolojik çamurların arıtımı amacıyla kompostlaştırma ekonomik bir stabilizasyon tekniği olarak kullanılmaktadır. Kompostlaştırma esnasında susuzlaştırılmış çamur bir ya da daha fazla ilave materyalle (ağaç kabuğu, yonga vb.)hem nem muhtevasının kontrolü hem de sistemin C/N oranı ve enerji dengesini sağlamak için karıştırılır. Kompostlaştırma prosesiyle tüm biyolojik çamur tipleri işlenebilir. Bu çalışmada biyolojik arıtma çamurlarının tek başına, ayrıca ilave karbon kaynağı olarak prekot çamuru ve organik evsel atıklarla birlikte havalı ortamda kompostlaştırılarak stabilizasyonu araştırılmıştır. İlave olarak, farklı hacim arttırıcı maddelerin (yonga/sentetik malzeme) etkisi ortaya konmuştur. Denemeler toplam 12 adet reaktörde iki paralelli olarak yürütülmüş ve kompostlaştırma sürecinde temel parametrelerdeki değişimler izlenmiştir. Ayrıca nihai kompost ürünüde ürün kalitesini gösteren analizler, çalışma kapsamında sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Biyolojik arıtma çamuru, kompostlaştırma, prekot, organik evsel katı atık.

^{*} Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: syildiz@istac.com.tr, tel: (212) 230 60 41 / 1700
İSTAC A.Ş., İstanbul Çevre Yönetimi San.ve Tic.A.Ş., Şişli-İSTANBUL

1. GİRİŞ

Hızla gelişmekte olan teknoloji ile artan nüfus çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Canlıların vazgeçilmez hayat kaynağı olan içme sularının, insan ve endüstriyel kaynaklı atıksuların arıtılması sonucunda oluşan her türlü arıtma çamurunun biriktirilmesi, toplanması, taşınması ve bertarafı aslında büyük bir sorundur. Arıtma işlemi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağlı olarak % 3-25 oranında katı içermektedir. Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atıksu arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Arıtma çamurlarının bertarafında dünya genelinde tercih edilen ve uygulanan çeşitli teknolojiler mevcuttur.

Özellikle faydalı son ürün odaklı kompostlaştırma teknolojisi ile ilgili Liang ve diğ. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada; arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında sıcaklık, su muhtevası ve mikrobiyal aktivite arasındaki ilişkileri, 6 farklı sıcaklık (22, 29, 36, 43, 50 ve 57°C) ve 5 farklı su muhtevası (% 30, 40, 50, 60 ve 70) için tam kontrollü inkübasyon deneyleriyle incelemişlerdir. Mikrobiyal aktivite bilgisayar kontrollü respirometre ile O₂ tüketim hızı ölçülerek belirlenmiştir. Araştırmacılar, kompostlaştırmadaki mikrobiyal aktiviteye etki eden en önemli faktörün su muhtevası olduğunu, 1.0 mg/g/sa'ten daha yüksek bir biyolojik aktivite için minimum %50 su muhtevasının sağlanması gerektiğini belirlemişlerdir. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında sıcaklık da önemli bir faktör olmakla birlikte, su muhtevasına nazaran etkisi daha azdır [1].

Fourti ve diğ. (2008) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, kentsel katı atıklar (KKA) ile KKA ve arıtma çamuru karışımının kompostlaştırılmasında mikrobiyal parametreleri ve önemli mikrobiyal toplulukların (patojen ve patojen olmayan) değişimini incelenmiştir. Sonuçlar, W1 yığını (% 100 KKA) ile W2 yığnında (% 60 KKA ve % 40 arıtma çamuru karışımı) hidrojenaz aktivitesi ve Biyokütle C / Biyokütle N oranının termofilik faz (~100 gün boyunca, >45°C) süresince önemli derecede arttığını, dolayısıyla yüksek mikrobiyal aktivitenin olduğunu göstermiştir. Termofilik fazda, fekal indikatör bakteride 2 Ulog10 azalma elde edilmiş olup, Staphylococcus aureus ve Salmonella ise tamamen giderilmiştir [2].

Ponsa ve diğ. (2009), farklı hacimsel oranlardaki (1:2 (Yığın 1), 1:2.5 (Yığın 2) ve 1:3 (Yığın 3)) arıtma çamuru ve budama atıkları karışımlarının ~ 100 m³ lük tam ölçekli karıştırmalı yığınlarda (genişlik 4 m; yükseklik 1.5 m; uzunluk 30–40 m) proses performansına etkisini incelemişlerdir. Yığınlarda sıcaklık, oksijen gibi rutin parametrelerle organik madde, su muhtevası, C/N oranı kimyasal parametreleri ile proses sıcaklığında (Rİproses) ve 37°C'de solunum indisi (Rİ37) parametreleri ölçülmüştür. Yığınlarda farklı etkiler gözlenmiştir: Yığın 1'de hijyen için gerekli sıcaklıklar ile tipik kompostlaştırma prosesinde gözlenen Rİproses değerleri sağlanamamıştır; Yığın 2 ve 3 benzer davranış göstermiş olup, yüksek biyolojik aktiviteden dolayı uzun periyotlarda termofilik sıcaklıklara ve yükek Rİproses değerlerine ulaşılmıştır. Üç yığından elde edilen kompost kalitesi stabilite (Rİ37), Dewar ısınma testi ve olgunluk (bitki çimlenme indeksi) parametreleri açısından karşılaştırıldığında, Yığın 3 kompostunun en stabil olduğu belirlenmiştir. Araziye uygulama için gerekli hijyen ve belli bir stabiliteye ulaşmak açısından, arıtma çamuru kompostlaştırılmasında arıtma çamuru katkı malzemesi oranının oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır [3].

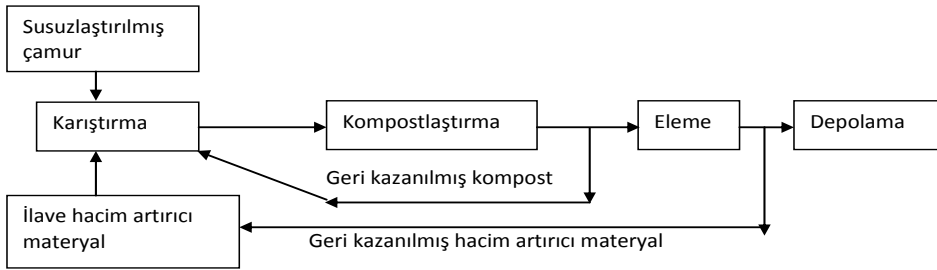
Bu çalışma kapsamında biyolojik arıtma çamurlarının tek başına, ayrıca ilave karbon kaynağı olarak vakum filtreye sarılmış prekot çamuru ve organik evsel atıklarla birlikte havalı ortamda kompostlaştırılarak stabilizasyonu pilot ölçekli araştırılmıştır. İlave olarak, farklı hacim artırıcı maddelerin (yonga/sentetik malzeme) etkisi ortaya konulmuştur.

2. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAF METOTLARI

Arıtma çamurlarının bertarafında en çok tercih edilen ve kullanılan bertaraf metodları aşağıda verilmiştir.

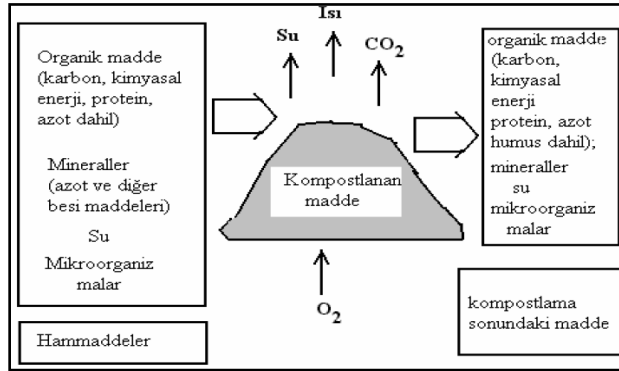
- Araziye verme
- Düzenli depolama
- Yakma
- Kurutma sonrası araziye verme, depolama veya yakma
- Aerobik çürütme
- Anaerobik çürütme
- Kompostlaştırma

Son yıllarda oldukça yaygın kullanım alanı bulan kompostlaştırma metodu; arıtma çamurlarının biyolojik olarak stabilize edilerek kirletici risklerinin kontrol altına alınmasını ve böylelikle ziraat veya sahip oldukları besleyici maddeler ve organik değer nedeni ile son ürün olarak değerlendirilmelerini amaçlar. Kompostlaştırma, organik maddenin oksijenli ortamda parçalanması demektir. Kompostlaştırma esnasında susuzlaştırılmış çamur bir yada daha fazla ilave materyalle (ağaç kabuğu, yonga vb.) hem nem muhtevasının kontrolü hem de sistemin C/N oranı ve enerji dengesi sağlamak için karıştırılır. Bu karışım daha sonrasında kompostlaştırma alanına sevk edilir. Yaygın olarak kullanılan 3 ana kompostlaştırma teknolojisi vardır. Bunlar Açık kompostlaştırma, açık havalandırmalı yığın kompostlaştırma ve reaktör sistemler. Kompostlaştırma prosesi tamamlandıktan sonra ürün istenilen aralıklarda elenerek başlangıçta karıştırılan ilave metaryaller tekrar kullanım için geri kazanılabilir. Eleme pek çok sistemde bir ara adımdır. Elemeden sonra kompost piyasaya sürülebilir. Şekil 1’de susuzlaştırılmış çamurun kompostlaştırma akım şeması görülmektedir.



Şekil 1. Kompostlaştırma Prosesi [4].

Kompostlaştırma esnasında mikroorganizmalar çamurun organik kısmını ve daha az miktarda ilave metaryalleri parçalarlar. Aerobik parçalanmanın son ürünü çoğunlukla su, CO₂, biyokütle(mikroorganizmalar) ve stabil komposttur. Parçalanma süresince açığa çıkan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür ve bunun sonucunda kompostun sıcaklığı 70-80°C çıkar. Bu sıcaklığın artışı patojenlerin azalımı için gereklidir [5]. Kompostlaştırma mekanizmasının genel yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Kompostlaştırma prosesi boyunca çamurun organik kısmının parçalanmasından %80-90 oranında bakteriler sorumludur. Biyolojik parçalanmada görev alan diğer mikroorganizmalar ise mantarlar ve aktinomisetlerdir. Bunlar daha sonra gelen kuruma ve iyi havalandırma şartlarının sağlanmasında lignin gibi biyolojik olarak parçalanması zor maddelerin bozuşmasında tercih edilirler.



Şekil 2. Kompostlaştırma Mekanizması [6].

Kimyasal olarak, kompostlaştırma prosesine girecek olan arıtma çamuru inorganik ve biyolojik olarak parçalanabilen organik kısımdan oluşur. Biyolojik olarak parçalanabilen organik kısım; lignin, hemiselüloz ve selüloz, şeker ve nişasta, yağlar ve parafin ve proteinlerdir. Organik sınıf içerisinde yer alan bileşiklerin mikrobiyal parçalanmaya karşı gösterdiği dayanım sırasıyla şeker, nişasta, protein, yağ, selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer moleküler bileşiklerdir [7].

Kompostlaştırma prosesinin geliştirilmesi ve kompostlaştırma süresince mikrobiyal bozunma sonucu oluşan koku gibi çevreye olan olumsuz etkinin minimize edilmesi bu sistemlerin etkin bir şekilde kontrol edilmesiyle mümkün olabilir. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında sıcaklık, nem muhtevası, C/N oranı, pH, oksijen muhtevası, biyolojik olarak parçalanabilen arıtma çamuru ve kullanılan ilave malzemeler, malzemelerin yapısı gibi pek çok parametre işletme koşullarında göz önünde bulundurulmalıdır.

3. PİLOT REAKTÖR KOMPOST ÇALIŞMALARI

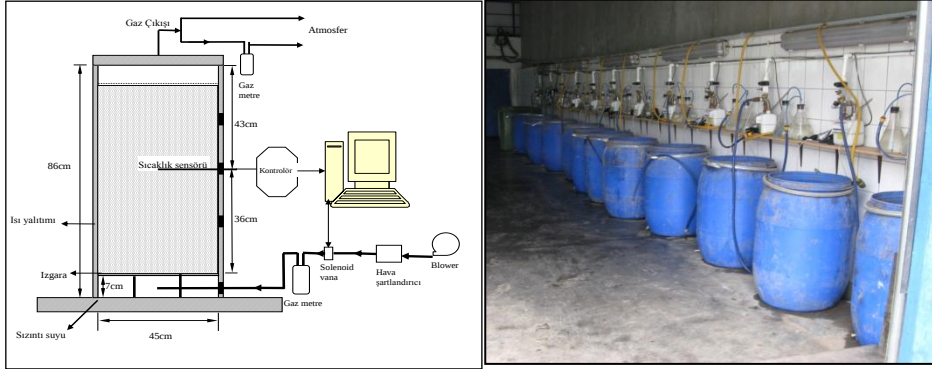
Biyolojik arıtma çamurlarının tek başına, ayrıca ilave karbon kaynağı olarak prekot çamuru ve organik evsel atıklarla birlikte havalı ortamda kompostlaştırılarak stabilizasyonu araştırılan bu çalışmada; ilave olarak, farklı hacim artırıcı maddelerin etkisi ortaya konmuştur. Pilot reaktörlerde kullanılan malzemelerin oranları Çizelge 1’ de özetlenmiştir. Katı atıkların heterojen olmasından dolayı her deneme iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Reaktörlerde Kullanılan Malzemeler ve Oranları.

Reaktör No	İçeriği	Hacimsel oran
1	Yonga/Biyolojik arıtma çamuru (YÇ)	2 / 1
2	Yonga/Biyolojik arıtma çamuru	2 / 1
3	Yonga/Biyolojik arıtma çamuru/prekot karışımı (YÇP)	2 / 0,5 / 0,5
4	Yonga/Biyolojik arıtma çamuru/prekot karışımı	2 / 0,5 / 0,5
5	Yonga /Biyolojik arıtma çamuru/ Organik evsel katı atık karışımı (YÇO)	2 / 0,5 / 0,5
6	Yonga /Biyolojik arıtma çamuru/ Organik evsel katı atık karışımı	2 / 0,5 / 0,5
7	Sentetik malzeme/Biyolojik arıtma çamuru (SÇ)	2 / 1
8	Sentetik malzeme /Biyolojik arıtma çamuru	2 / 1
9	Sentetik malzeme/Biyolojik arıtma çamuru/prekot karışımı (SÇP)	2 / 0,5 / 0,5
10	Sentetik malzeme/Biyolojik arıtma çamuru/prekot karışımı	2 / 0,5 / 0,5
11	Sentetik malzeme/Biyo.arıt.çam./ Organik evsel katı atık karışımı (SÇO)	2 / 0,5 / 0,5
12	Sentetik malzeme/Biyo.arıt.çamuru/Organik evsel katı atık karışımı	2 / 0,5 / 0,5

3.1. Kompost Reaktörleri

Kompostlaştırma çalışmaları, kesikli pilot reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Havalandırılmalı pilot kompostlaştırma sisteminin şematik gösterimi ve resmi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Pilot Reaktörün Şematik Gösterimi ve Gerçek Görünümü

Reaktörlere 0,5 bar lık hava, bir üfleyici (blower) vasıtasıyla debisi bir gazmetre ile ölçülerek sağlanmıştır. Hava debisi, kurulan otomasyon sistemi ile reaktöre giren hava boruları üzerindeki solenoid vanalar yardımıyla ayarlanmıştır. Sistem, sıcaklığın 65°C'yi aşması halinde sürekli havalandırma yapılarak sıcaklık 65°C'nin altına indirilecek şekilde otomatik olarak kontrol edilmiştir. Havanın atık yığınının içine homojen olarak dağılmasını sağlamak üzere reaktör tabanından 10 cm yükseklikte ızgaralar konulmuştur.

Atık kütlelerinin sıcaklığını korumak, çevreye ısı kaybını önlemek amacıyla reaktörün yan tarafları 3 cm lik, üst kısmı 5 cm lik, yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Reaktör, polietilen malzemeden imal edilmiş olup faydalı hacmi yaklaşık 120 litredir. Hava, reaktörün yan tarafında tabana yakın bir kısımda açılan bir giriş ile reaktör tabanına verilmekte, buradanda ızgaranın altından 12mm lik paslanmaz çelik bir boruyla tam ortadan eşit olarak reaktör içine dağılmaktadır. Hava çıkışı ise, reaktörün üstüne yerleştirilen plastik boruyla sağlanmaktadır.

3.2. Deneyisel Çalışma

Reaktör kompostlaştırmada kullanılan evsel atıksu biyolojik arıtma çamuru İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi santrifüj çıkışından; evsel organik atık, İBB Kemerburgaz Kompost ve Gerikazanım Tesisi 80mm elek altından; prekot çamuru ise, Cargill Orhangazi mısır işleme fabrikasından temin edilmiştir. Prekot çamuru, mısır işleme endüstrisinden çıkan ve organik içeriği oldukça yüksek olan bir biyokattır.

Prosesin izlenmesinde öncelikli olarak; sıcaklık, pH, iletkenlik (EC), su muhtevası, organik madde (OM), amonyak ve suda çözünen karbon (KOİ) ölçülmüştür. Katı numuneler üzerinden yürütülen deneyisel çalışmadaki parametreler "Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC)" tarafından belirtilen yöntemler doğrultusunda ölçülmüştür. Buna göre; su muhtevası numune alındığı gün doğrudan 75°C'lik etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutularak, OM miktarı ise kuru numunenin 550°C'de 2 saat yakılması ile belirlenmiştir. Katı numunenin 1:10 sulu çözeltisinde pH, bu çözeltinin santrifüj edilmesinden sonra üst fazında ise iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Suda çözünen karbon miktarı da (KOİ) 1:10 sulu çözelti haline getirilen yaş numunenin santrifüjden geçirilerek 0,45µm'lik filtre kağıdından süzülmesinden sonra yapılmıştır. Amonyak (NH₃-N) konsantrasyonu yine katı numunenin 1:10

sulu çözeltisinin santrifüj edilmesinden sonra üst fazının 0,45µm'lik filtre kağıdından süzülen kısmında bakılmıştır. Ağır metaller ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy), C ve N değerleri ise LECO CN cihazı ile ölçülmüştür. Deneysel çalışma periyodu süresince, ölçülen parametrelerin ölçme sıklığı Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel Çalışma/İzleme Programı

Parametre	Başlangıçta ve Üründe	Haftalık Olarak
pH(1/10 sulu çözelti)	√	√
İletkenlik (1/10 sulu çözelti)	√	√
Su muhtevası	√	√
Organik madde (kuru öğütülmüş numune)	√	
C/N oranı	√	
Amonyak (1/10 sulu çözelti)	√	√
KOI (1/10 sulu çözelti)	√	√
Ağır Metaller	√	
Yoğunluk	√	
Sıcaklık:	10 dakikada bir on-line	

3.3. Reaktörlerin Başlangıç Atık Karakterizasyonları

Reaktör karışımlarının başlangıç karakterizasyonu, iki tekerrürlü reaktörlerin her birinden alınan numunelerin analiz edilmesiyle yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Reaktörlerin Başlangıç Atık Karakterizasyonları

Parametre	Y/BÇ R1-R2	Y/BÇ/P R3-R4	Y/BÇ/OA R5-R6	SM/BÇ R7-R8	SM/BÇ/P R9-R10	SM/BÇ/O A R11-R12
pH	7,6	6,3	7,8	7,6	6,7	7,5
İletkenlik (µS/cm)	1670	1953	2165	1670	1984	2356
Su muhtevası (%)	75,5	69,2	72,8	75,5	73,1	72,8
Organik madde (%)	55	60,4	58,1	55	61,8	58,1
C (%)	30	33	30	30	34	30,5
N (%)	4,5	3,3	2,6	4,5	3,2	2,8
C/N	6,7	10	11,5	6,7	10,6	10,9
NH ₃ -N (mg/l)	170	146,5	94,1	170	136,4	142,5
KOI (mg/l)	1500	2500	1100	1500	2250	1900
Cd (mg/kg)	1,1	1,3	2,4	1,1	1,7	2,4
Cr (mg/kg)	145	115	155	145	130	155
Cu (mg/kg)	190	110	200	190	165	200
Ni (mg/kg)	60	55	70	60	60	70
Pb (mg/kg)	30	18,5	39	30	25,5	39
Zn (mg/kg)	510	345	550	510	450	550
Yoğunluk (kg/L)	0,58	0,55	0,51	0,47	0,39	0,34

(Y: Yonga; BÇ: Biyolojik çamur; P: Prekot; OA: Organik atık; SM: Sentetik malzeme; R:Reaktör)

Başlangıçta tavsiye edilen pH aralığı 5,5-9 olup reaktörlerde başlangıçta pH 6,3-7,6 aralığında değişmektedir. R3-R4 ile R9-R10 un pH değerleri prekotun etkisiyle diğer reaktörlere göre kısmen düşüktür.

Mikrobiyal parçalanma için gerekli nem oranı, başlangıçta %50-70 aralığında olması tavsiye edilmektedir. Reaktörlerdeki su muhtevaları %69-75 aralığında değişmekte olup bu değerler başlangıç için kısmen yüksektir. Reaktörlerde organik madde içeriği, başlangıçta %55-

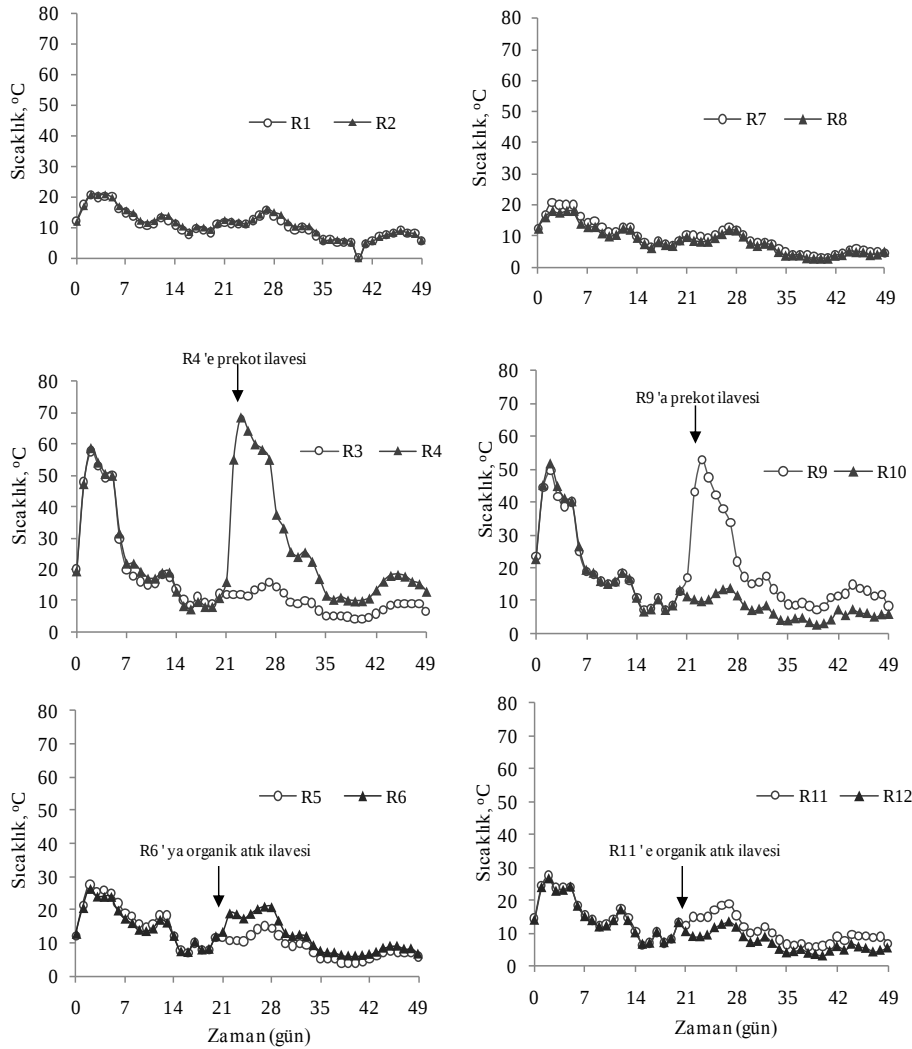
62, C/N oranları ise çamur reaktörü hariç 10-11,5 aralığında değişmektedir. Çamur reaktörünün C/N değeri ise 6,7 dir. Başlangıç C/N değeri analizlerinde hacim artırıcı malzemeler (yonga ve sentetik malzeme) numunelerden ayıklanmıştır. Dolayısıyla özellikle yonga karışımı reaktörlerde karışımın C/N değeri daha yüksek olmasına rağmen analiz değerleri düşük çıkmaktadır. Yoğunluk değerleri, reaktörlerin dolu ağırlığının faydalı hacmine oranından hesaplanmıştır.

3.4. Kompostlaştırma Sürecinde Temel Parametrelerin Değişimi

Sıcaklık: Reaktörlerden on-line olarak kayıt alınan sıcaklık değerleri her karışım için tekerrürlü reaktörler birlikte olacak şekilde toplu halde Şekil 4'te verilmiştir. Tekerrürlü reaktörler kendi içlerinde uyum göstermektedir.

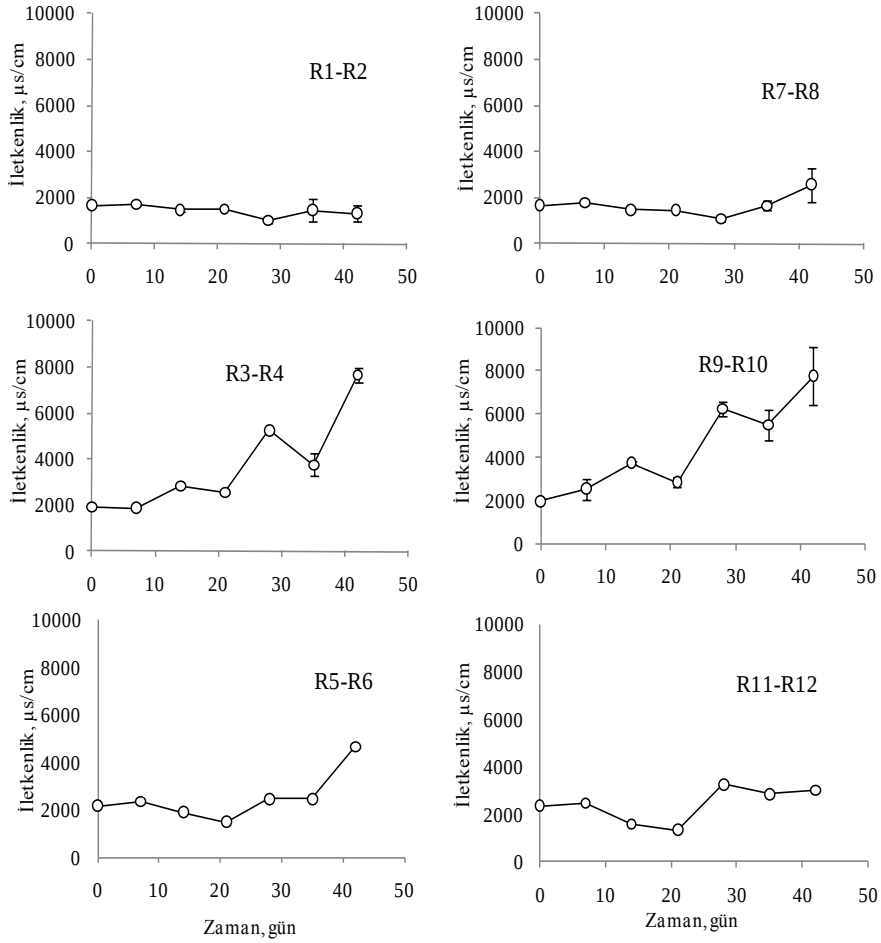
Sadece çamur ilave edilen yonga (R1 ve R2) ile sentetik malzeme katkılı (R7 ve R8) reaktörlerinde beklenen sıcaklık yükselmesi gözlenmemiştir. Organik evsel katı atık atık/çamur karışımı içeren yonga (R5 ve R6) ile sentetik malzeme katkılı (R11 ve R12) reaktörlerinde sadece çamur reaktörlerine nazaran az da olsa kısmi sıcaklık yükselmesi (~30°C) gerçekleşmiştir.

Prekot /çamur karışımı içeren yonga (R3 ve R4) ile sentetik malzeme katkılı (R9 ve R10) reaktörlerinde ise başlangıçta beklenen sıcaklık yükselmesi (~50-60 °C) gözlenmiştir. Prekot içeren reaktörlerde başlangıçta elde edilen yüksek sıcaklıklar, daha sonra azalarak ~10-20 °C seviyelerinde kalmıştır. Diğer sadece çamur ile çamur/organik evsel katı atık içeren reaktörlerde de benzer şekilde sıcaklıklar ~10-20°C değerlerinde seyrettiğinden, reaktörlerde mikroorganizmalar için gerekli kolay karbonun azaldığı kanaatine varılmıştır. Bu nedenle, çalışmanın 3. haftasında yonga katkılı prekot/çamur karışımı reaktörüne (R3) ve sentetik malzeme katkılı prekot/çamur karışımı reaktörüne (R9) tekrar bir miktar prekot ilavesi yapılmıştır. Benzer şekilde aynı tarihte yonga katkılı organik evsel katı atık/çamur karışımı reaktörüne (R6) ve sentetik malzeme katkılı organik evsel katı atık/çamur karışımı reaktörüne (R11) tekrar bir miktar organik evsel katı atık ilavesi yapılmıştır. Organik evsel katı atık ilavesi sonucunda sıcaklıklar ~10 °C seviyesinden, 20°C değerine yükselirken, prekot ilave edilen reaktörlerde sıcaklıklar ~60-70 °C seviyesine çıkmıştır.



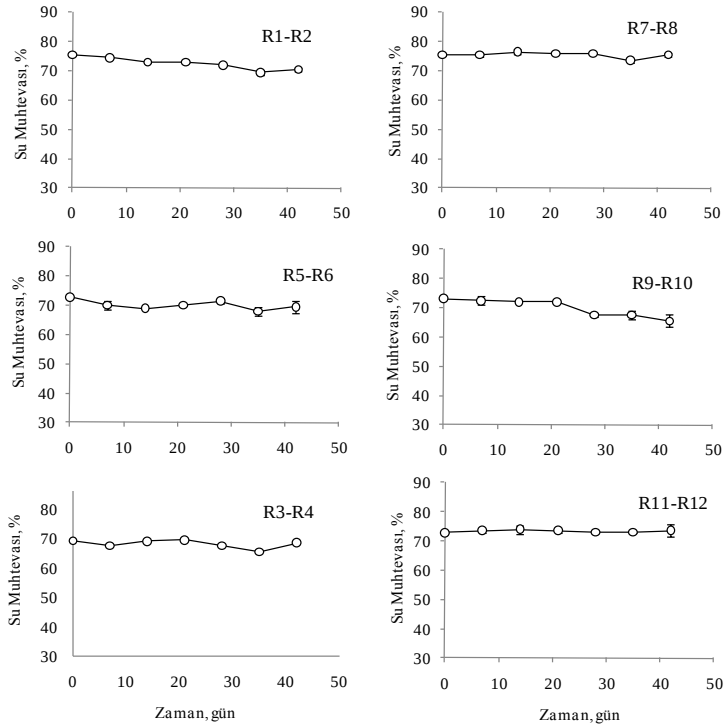
Şekil 4. Reaktörlerdeki Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Elektriksel İletkenlik: Elektriksel iletkenlik (Eİ), çözünmüş tuz konsantrasyonunun göstergesi olmasından dolayı önemli bir parametredir. İletkenlik, çözünmüş iyonların miktarı ve türü ile değişmektedir. İletkenlik, kompostun toprak iyileştiricisi olarak kullanılmasında, fitotoksisite potansiyelini değerlendirmek için özel önem taşımaktadır. Bütün reaktörlerde, iletkenlik zamanla artarak, çamur reaktörlerinde 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, organik evsel katı atık/çamur karışımı reaktörlerinde 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve prekot /çamur karışımı reaktörlerinde 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyelerine yükselmiştir (Şekil 5).



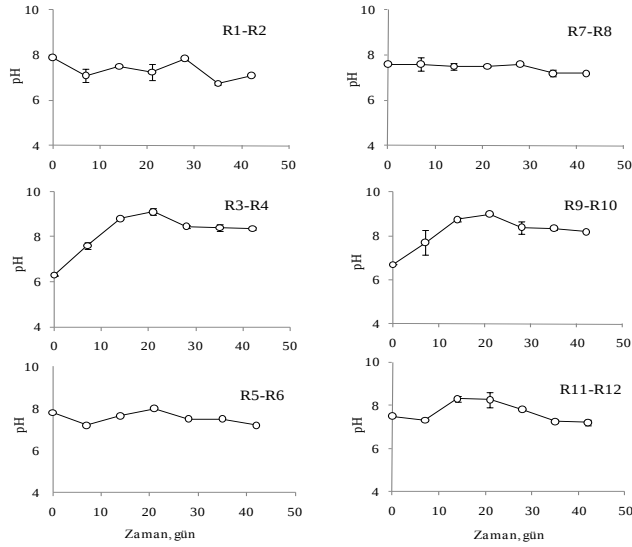
Şekil 5. Reaktörlerdeki Elektriksel İletkenliğin Zamanla Değişimi

Su Muhtevası: Pilot kompostlaştırma reaktörlerindeki su muhtevalarının zamanla değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Su muhtevası, kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal aktivitenin devamı açısından önemli bir parametredir. Kompostlaştırma için optimum su muhtevası %50-70 aralığında olup, su muhtevasının düşük olması mikrobiyal aktivitenin yavaşlamasına neden olurken, yüksek olması ise havanın etkin bir şekilde atık içerisinde dağılmasını engellemektedir. Su muhtevaları, tüm reaktörlerde %70 mertebelerinde gözlenmiştir.



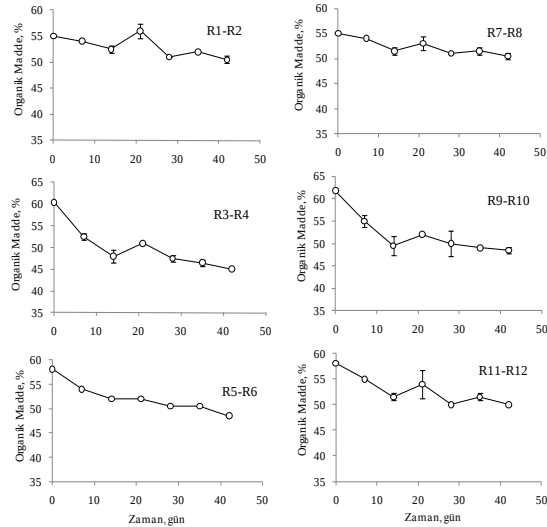
Şekil 6. Reaktörlerdeki Su Muhtevasının Zamanla Değişimi

pH: pH kontrolü, mikrobiyal ortamın ve kompostlaştırma sürecinin (atık stabilizasyonunun) değerlendirilmesinde önemli parametrelerdendir. pH profili, kompostlaştırma prosesinin gidişatı ve mikrobiyal faaliyet hakkında bilgi vermektedir. pH değerleri, sadece çamur içeren reaktörlerde nötr seviyelerde kalmış, prekot/çamur ve organik evsel katı atık/çamur reaktörlerinde bir miktar artarak yaklaşık pH 8 değerlerine yükselmiştir (Şekil 7).



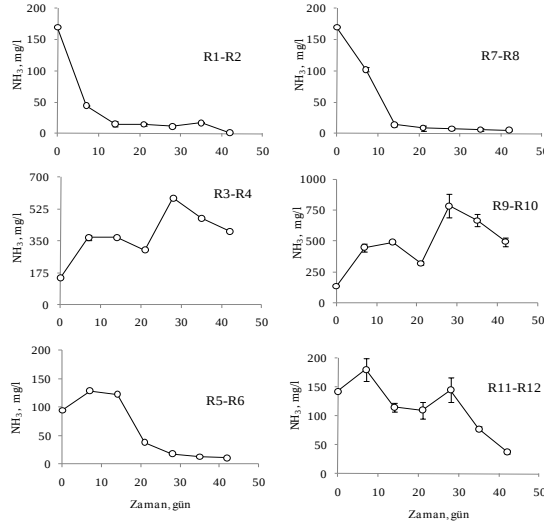
Şekil 7. Reaktörlerdeki pH'ın Zamanla Değişimi

Organik Madde: Organik madde miktarı, bütün reaktörlerde zamanla azalmıştır (Şekil 8). Biyolojik aktivite sonucu organik maddedeki azalma en fazla prekot ilaveli reaktörlerde, daha sonra organik atık ilaveli reaktörlerde ve en düşük olarak da katkısız çamur reaktörlerinde gerçekleşmiştir. Bu durum biyolojik çamurların kompostlaştırılmasında, mikrobiyal aktivite için sisteme kolay parçalanabilir karbon temininde, ilave karbon kaynağı olarak prekotun etkin olduğunu göstermektedir. Prekottan daha düşük olmakla beraber, organik atık da sisteme kolay parçalanabilir karbon temin etmiştir.



Şekil 8. Reaktörlerde Organik Maddenin Zamanla Değişimi.

Amonyak: Amonyak, kompostlaştırma sırasında atmosfere yayılan azotun en genel formu olup, protein, üre ve diğer azot içeren organik maddelerin ayrışması sonucu açığa çıkmaktadır. Tüm reaktörlerde amonyak öncelikle artmış, daha sonra zamanla azalmıştır (Şekil 9). En yüksek amonyak seviyeleri (~ 350-500 mg/l) prekot/çamur karışımı reaktörlerinde gözlenmiştir.



Şekil 9. Reaktörlerde Amonyakın Zamanla Değişimi

3.5. Reaktör Kompost Ürünü Özellikleri

İyi olgunlaşmış bir kompost ürünü, toprak görünümünde, koyu kahve veya siyah renkte olup istenmeyen kokuları barındırmaz. Kompostta istenmeyen kokuların olması ürünün hala ayrışma potansiyeli olduğu ve elde edilen ürünün stabilize olmadığına göstergesidir. Pilot reaktör çalışmalarında ilk üç hafta haricinde ciddi koku oluşumu tespit edilmemiştir. Elde edilen ürünler koyu kahverengindedir. Reaktörlerde gerçekleştirilen kompostlaştırma süreci sonunda reaktörlerdeki malzemeler 15mm'lik elekten elenerek kompost ürünü elde edilmiştir. Üründe yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4' te verilmiştir.

Ürünün pH değeri, toprağın pH değerine yakın ve 6.5-8.0 aralığında olmalıdır. Daha düşük değerler olgunlaşmanın tam gerçekleşmediğinin göstergesi olup toprağa ürünün uygulanması durumunda ayrışma devam edecek ve toprak yapısı bozulacaktır. pH'nın 8.5'den büyük olması durumunda ise amonyak kayıpları artmakta, koku oluşmakta ve bitki kökleri zarar görmektedir. Reaktörlerden elde edilen kompost ürününün pH sı bütün reaktörler için nötr seviyeye yakın olarak pH 6,32- 7,67 arasında değişmiş sadece R4 ürününde pH 8,02 ye yükselmiştir. Elde edilen ürünlerin, pH değerleri açısından toprağa uygulanmasında topraklarda bir problem oluşturmayaacağı söylenebilir. Elektriksel iletkenlik kompostun çözünebilir tuz içeriğini göstermektedir. İletkenlik değeri en yüksek reaktörler sırasıyla R9, R11, R10 ve R4 tür. R4, R9, ve R10 prekot katkılı, R11 ise organik evsel atık katkılıdır.

Çizelge 4. Ürün Numuneleri Analiz Sonuçları

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
pH	6,56	6,32	7,61	8,02	6,86	7,28	7,31	7,64	7,67	7,47	7,58	7,55
İletkenlik(μ S/cm)	2474	1953	2383	4250	2260	3340	2785	2930	5440	4490	4690	3230
Su muhtevası (%)	59	59	54	48	50	51	61	59	53	52	42	43
Organik mad. (%)	51,6	36,9	42,3	41,5	50,2	50,5	50,7	50,1	45,3	46,7	51,8	51,8
C/N	6,87	7,21	9,57	9,13	11,1	9,76	6,56	6,68	8,07	9,8	9,38	8,51
NH ₃ -N (mg/l)	6	9,5	400	455	8,5	7,6	11,5	13	630	520	40	38
KOI (mg/l)	790	800	1700	8500	1100	1150	550	500	8000	1500	1350	1400
Cd (mg/kg)	2,2	2,2	2,5	1,4	2,2	2,4	2,2	2,5	1,4	1,8	2,3	2,3
Cr (mg/kg)	192,8	191,0	197,3	134,3	177,1	151,3	185,5	203,4	126,9	167,6	142,0	174,8
Cu (mg/kg)	234,9	232,8	237,1	132,9	210,7	179,6	237,7	249,5	130,9	181,4	173,0	215,3
Pb (mg/kg)	39,4	39,0	39,2	21,4	37,8	42,2	34,0	50,3	18,6	27,4	41,4	37,2
Ni (mg/kg)	89,2	88,4	90,7	59,1	83,2	73,0	87,9	95,9	66,1	88,2	69,6	82,9
Hg (mg/kg)	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Zn (mg/kg)	698,2	691,9	700,0	417,8	714,7	535,6	674,8	773,2	418,1	555,8	531,8	619,1
Yoğunluk (kg/L)	0,608	0,549	0,378	0,431	0,459	0,498	0,654	0,698	0,348	0,312	0,517	0,542

(R:Reaktör)

Kompost ürününün birim hacim ağırlığının, taşıma ve kullanım kolaylığı ile toprağa faydasının belirlenmesi açısından su muhtevası önemlidir. Bu nedenle, ürün kullanımının kolaylığı için su muhtevası minimum %30, maksimum %50 olmalıdır. Çamur yonga karışımlı reaktörlerin (R1, R2, R7, R8) su muhtevaları % 60 civarındadır. Bu durumda, hacimsel olarak 2/1 olan yonga/çamur oranının, biyolojik ayrışma için yeterli gözenek sağlayamadığı söylenebilir.

Organik madde (OM) önemli toprak bileşenlerindendir. Su tutma kapasitesi, toprak yapısı ve besin maddesi alımında önemli rol oynamaktadır. Ürünün organik madde içeriğinin en fazla %40 olması tavsiye edilmektedir. Buna göre, R2, R3, R4 haricindeki tüm ürünlerin OM değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Prekotun eklendiği reaktörlerde, OM açısından organik atık katkılı reaktörlere göre daha düşük OM değerli yani daha stabil bir ürün elde edilmiştir. Üçüncü haftada R3 ve R9 a bir miktar daha prekot, R6 ve R11 e de bir miktar organik atık ilave edilmiştir. Bu reaktörlerden elde edilen ürünle, ekstra katkı malzemesi ilave edilmeyenler arasında yaklaşık aynı OM içeriğinin çıkmış olması ise ekstra prekot ve organik atık ilavesinin, OM giderimini etkilemediğini göstermektedir. Üründeki C/N değerlerinin toprak kalitesini bozmaması açısından 20'nin altında olması tavsiye edilmekte olup, çalışmada elde edilen ürün C/N oranlarının uygun seviyelerde olduğu görülmektedir.

Suda çözünen karbon miktarı (KOI) olgunluk seviyesini göstermesi açısından önemlidir. Üründeki suda çözünen karbon miktarı proses içinde ayrıştırılmayan hümik asitlerden kaynaklanmaktadır ve konsantrasyonu %1.7'den düşük olmalıdır. Reaktörlerde başlangıç KOI miktarına göre üründeki KOI değerleri daha yüksektir. Özellikle, üçüncü haftada ekstra prekot ve organik atık eklenen reaktörlerin ürünlerindeki KOI değerleri oldukça yüksektir. Bu durum, bütün reaktörlerde biyolojik stabilizasyonun tamamlanamadığını göstermektedir.

Reaktörlerden elde edilen nihai kompost ürünündeki ağır metal konsantrasyonları, başlangıç karışımlarının ağır metal konsantrasyonlarından yüksektir. Biyolojik parçalanmayla oluşan fermentasyon kaybı, kuru madde miktarındaki ağır metal konsantrasyonlarını artırmaktadır. Kompostlaştırma sonucunda ağır metal konsantrasyonlarındaki artış, bütün reaktörler dikkate alındığında paralellik göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Aritma çamurlarına ilave karbon kaynağı olarak prekot çamuru ve organik evsel atık ilave edilerek kompostlaştırma ile stabilizasyonunun araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Pilot reaktörlerde iki paralelli olarak yürütülen çalışmalarda elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olması iyi bir tekrarlanabilirlik olduğunu göstermiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan yonga ve sentetik malzemenin kompostlaştırma prosesine etkisi açısından belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bununla birlikte yonga katkılı reaktörlerde sentetik malzeme katkılı reaktörlere göre sıcaklık yükselmesi biraz daha fazla (yaklaşık 5 °C) gerçekleşmiştir. Çamur ilaveli reaktörlerde sıcaklık beklenen seviyelere (55-60 °C) çıkmamış olup, bu durum çamurda yeterli kolay parçalanabilir karbon olmadığını göstermiştir. Çamura organik evsel katı atık ilavesi ile çok az kolay parçalanabilir karbon sağlanmış ancak bu, sıcaklığın yükselmesi için yeterli olmamıştır. Prekot ilavesi sisteme organik evsel katı atığa nazaran daha fazla kolay parçalanabilir karbon sağlamış ve daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. Bununla birlikte, prekot karakterinden dolayı proses süresince iletkenlik değerleri artmış olup, bu durum kompost ürününün kullanımını kısıtlamaktadır. Reaktörlerde gerçekleştirilen kompostlaştırma sürecinde biyoayrışabilirliğin oldukça yavaş olduğu gözlenmiştir.

Reaktörlerde, genelde gözlenen sıcaklık yükselmemesi probleminin bir sebebi de, kullanılan reaktörlerin hacminin (~120L) yeterince büyük olmaması olabilir. Bu nedenle arıtma çamurlarının kompostlaştırma çalışmalarında daha büyük hacimlerin kullanılması önerilir.

Evsel atıksu biyolojik arıtma çamurlarının, prekot çamuru ile birlikte kompostlaştırılmasında prekotun etkisiyle başlangıç karışım pH sı düşmektedir. Karışımın başlangıç pH sınıfı 5,5-9 aralığında kalmasının temini amacıyla, prekot çamuru/biyolojik çamur oranının 1 den büyük olmaması önerilir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Liang C., Das K.C., McClendon R.W., "The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend" *Bioresource Technology* 86,131–137, 2003.
- [2] Fourti O., Jedidi N., Hassen A., "Behaviour of Main Microbiological Parameters and of Enteric Microorganisms During the Composting of Municipal Solid Wastes and Sewage Sludge in A Semi-Industrial Composting Plant", *American Journal of Environmental Sciences* 4 (8): 103-110, 2008.
- [3] Ponsa S., Pagans E., Sa´nchez A., "Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer", *Biosystems Engineering* 102, 433 –443, 2009.
- [4] Yıldız Ş., Demir A., "Biyokatıların Aerobik Stabilizasyonu", *Organik atıklardan kompost ve yenilenebilir enerji üretimi&kompostun kullanım alanları çalıştay*, ORAK 2010, *Bildiriler Kitabı*,63-74, 2010.
- [5] Krogmann U. "Kompostierung- Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung", *Hamburger Berichte* 7, *Economica Verlag, Bonn.* (In German), 1994.
- [6] Öztürk İ., Timur H., Koşkan U., "Atıksu Arıtımının Esasları" T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005.
- [7] Poincelot, R. P. "Composting of sewage sludge". *Journal of Fermentation Technology* 65,675-681,197.