



**KATI ATIKLARIN SİMÜLE BİYOREAKTÖRLERDE AYRIŞMASINI ETKİLEYEN
FAKTÖRLER: “KATI ATIKLARIN SIKIŞTIRILMASI VE PARÇALANMASI”**

**(FACTORS AFFECTING THE BIODEGRADATION EFFICIENCY OF SOLID
WASTES: “COMPACTION AND SHREDDING OF SOLID WASTES”)**

Osman Nuri AĞDAĞ*, Delya SPONZA*

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada anaerobik simüle biyoreaktörlerde katı atıkların sıkıştırılması ve parçalanmasının katı atık arıtımına ve sızıntı suyu özelliklerine etkileri üç adet biyoreaktörde incelenmiştir. Tüm reaktörler sızıntı suyu geri devirli çalıştırılmıştır. Reaktörlerden birine ham atık (kontrol reaktör), ikincisine 0.5-1cm boyutlarında parçalanmış atık (parçalı reaktör), üçüncüsüne ise sıkıştırılmış katı atık (sıkıştırılmış reaktör) yüklenmiştir. Tüm reaktörlerde sızıntı suyu geri devir oranı 300 ml/gün'dür. pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), uçucu yağ asidi (UYA), amonyum azotu (NH₄-N), toplam ve metan gazı üretimleri düzenli olarak izlenmiştir. 57 günlük inkübasyon süresi sonunda pH, KOİ, UYA, BOİ₅/KOİ oranları açısından parçalı reaktörün diğer reaktörlerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalı reaktörlerden elde edilen sızıntı sularında 57 günlük anaerobik inkübasyon sonucu gözlenen KOİ değerleri sırası ile 6400 mg/l, 7700 mg/l ve 2300 mg/l, UYA değerleri ise 2750 mg/l, 3000 mg/l ve 354 mg/l'dir. pH değerleri sırası ile 6.88, 6.76, 7.25 tir. 57 günlük inkübasyon süresi sonunda kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalı reaktördeki metan yüzdeleri, % 36, % 46 ve % 60'tır. BOİ₅/KOİ oranı 0.44 olan parçalı reaktör diğer iki reaktörden daha yüksek ayrışma hızına sahiptir. Yapılan deneyler parçalı reaktörlerin atık miktarı, organik madde azalması ile atık ayrışma zamanı açısından diğer iki reaktöre kıyasla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

In this study, the effects of shredding and waste compaction on the anaerobic treatment of domestic solid waste and leachate characteristics was investigated in three simulated landfill anaerobic bioreactors. All of the reactors were operated with leachate recirculation. One of them was loaded with raw waste (control reactor); the second reactor was loaded with shredded waste having a diameter of 0.5-1cm (shredded reactor); the third reactor was loaded with compacted waste (compacted reactor). The leachate recirculation rate was 300 ml/day in all of the reactors. pH, chemical oxygen demand (COD), volatile fatty acids (VFA), ammonium nitrogen (NH₄-N) concentrations; total and methane gas productions in the leachate samples were regularly monitored. After 57 days of anaerobic incubation, it was observed that the pH, COD, VFA concentrations, and BOD₅/COD ratio in the leachate of shredded reactor were better than the control and compacted reactor. The COD values were measured as 6400, 7700 and 2300 mg/l while the VFA concentrations were 2750, 3000 and 354 mg/l, respectively, in the leachate samples of the control, compacted and shredded reactor after 57 days of anaerobic incubation. The values of pH were 6.88, 6.76 and 7.25, respectively, after anaerobic incubation, respectively in the aforementioned reactors. It was observed that the waste shredding increased the methane percentage in the anaerobic simulated reactor. Methane percentage of the control, compaction and shredded reactors were 36 %, 46 % and 60 %, respectively, after 57 days of incubation. A BOI₅/COD ratio of 0.44 was achieved in the shredded reactor indicated the better MSW stabilization resulting in a high rate than that of compacted and control reactors. It was observed that waste shredding reduced the waste quantity, the organic content of the solid waste and the biodegradation time.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Kentsel katı atık, Simüle anaerobik biyoreaktör, Sızıntı suyu resirkülasyonu, Atık parçalanması ve sıkıştırılması
Municipal solid waste, Simulated anaerobic bioreactor, Leachate recirculation, Waste shredding, Waste compaction

* DEÜ, Müh. Fak., Çevre Müh. Böl., Kaynaklar Yerleşkesi, 35160 Buca, İZMİR

1. GİRİŞ

Kentsel, endüstriyel ve tarımsal katı atıklar toprak su ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Katı atığın parçalanması sonucu açığa çıkan gaz ürünler hava kirliliğine sebep olmakta, global ısınmaya katkı sağlamaktadır (Vieitez ve Ghosh, 1999). Katı atık bertaraf edilmesinde düzenli depolama tekniği en ekonomik yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Plaza vd., 1996). Katı atıklar araziye depolandıktan kısa bir süre sonra deponideki oksijen tükenmekte ve anaerobik şartlar oluşmaktadır (Chugh vd., 1998). Sonuçta deponiler, kontrolsüz bir anaerobik reaktör halini alabilmektedir. Anaerobik çürüme için mutlaka nem gereklidir ve nemin eksikliği katı atıkların çürümesinin gecikmesine sebep olur.

Biyoreaktör depolama alanları katı atıkların kontrollü bir şekilde anaerobik artımını sağlamaktadır. Biyoreaktör depolama alanlarını geleneksel deponilerden ayıran temel fark atık stabilizasyon süresinin kısa olmasıdır. Biyoreaktör depolama alanlarında yağmur suyunun atık içerisine girmesine müsaade edilmekte, sızıntı suyu geri devri uygulanmakta, çamur ve besi maddesi ilavesi yapılabilmektedir (Warith, 2002; Read vd., 2001). Buna ilaveten herhangi bir sorun olduğunda küçük olması sebebiyle atık hücrelerine müdahale daha kolay olmaktadır. Günümüzde klasik depolama alanlarının temel ilkesi oluşan sızıntı sularının depolama alanlarından alınarak harici arıtma ile uzaklaştırılmasına dayalıdır. Alan içerisinde mümkün olduğunca az sızıntı suyu tutulması nedeniyle klasik sistemlerde meydana gelen biyolojik ayrışma hızı oldukça yavaştır. Biyoreaktör depolama alanlarının klasik sistemlere göre en belirgin farklılığı, sızıntı suyu yönetimine sağlamış olduğu esnekliktir. Biyoreaktörlerde kontrollü olarak arıtma için gerekli olan nemli ortamlar sağlanmaktadır. Biyoreaktörlerde sızıntı suyu geri devri dışında çamur ilavesi, sıcaklık ve pH kontrolü ile atık stabilizasyonunu hızlandırıcı müdahaleler de yapılabilmektedir (Reinhart vd., 2002).

Yukarıda belirtilenler dışında biyoreaktör depolama alanlarında en iyi katı atık arıtma performansını belirleyebilmek için, sızıntı suyu geri devrinin yanı sıra atıkların sıkıştırılması ve parçalanması etkilerinin de araştırılması gerekmektedir.

Katı atık depolama alanlarındaki yaklaşım, katı atıkların ağır sıkıştırma ekipmanlarıyla sıkıştırılarak deponi alanının tüm boşluklarını katı atıkla doldurmak şeklindedir. Bu işlem bir yandan deponi alanından kazanç sağlarken öte yandan sıkıştırma donanımlarının sürekli çalışması sebebiyle deponinin işletme masraflarını artırmaktadır. Hidrolik iletkenlik özgül ağırlık ile ters orantılı olduğundan, deponi içerisindeki hava boşluklarının tamamen doldurulması nem taşınımını azaltmaktadır. Buna ilaveten taşıma kapasitesi atık yoğunluğu ile ters orantılı olduğundan, sıkıştırma arttırıldıkça nemin atık kütlesi içerisine nüfuz etmesi zorlaşır (Reinhart vd., 2002). Derin depolama alanları doyma kapasitesine ulaşmak için daha fazla suya ihtiyaç duymakta kütle içerisindeki katı atığın birbiriyle karışıp ayrışmaya başlaması zorlaştığından atık ayrışması için daha fazla zaman gerekmektedir. Derin depolama alanlarında sızıntı suyu oluşumu katı atık ile su teması uzun zaman aldığından yavaş olmakta, ancak yüksek konsantrasyonlarda kirlilik ihtiva etmektedir (Quasim ve Chiang, 1994).

Warith tarafından yapılan bir çalışmada; katı atık boyutu, sızıntı suyu geri devri ve besin maddesi dengesinin katı atık ayrışma oranına etkileri incelenmiştir (Warith, 2002). Bu çalışmaya göre katı atık parçalanması, parçalama yapılmayan katı atığa kıyasla atık ayrışmasını hızlandıran etkili bir metottur. Parçalanmış katı atıklardan oluşan sızıntı suyundaki pH seviyesi parçalanmamışa göre daha yüksektir. Parçalanmış katı atıklardan oluşan sızıntı suyundaki ortalama pH seviyesi 7.2'dir. Quasim ve Chiang başlangıçta parçalanmış katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının parçalanmamış katı atıklardan kaynaklanana göre önemli ölçüde yüksek kirlilik konsantrasyonlarına sahip olduğunu belirtmişlerdir (Quasim ve Chiang, 1994). Buna ilaveten doygunluk kapasitesine ulaşmaları da daha geç olur. Fakat, parçalanmış katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularındaki kirlilik

giderimi ve parçalanmış katı atık ayrışma oranı, parçalanmamışa göre oldukça yüksektir. Organik katı atıkların anaerobik ayrıştırılmasında en önemli basamak hidroliz safhasıdır. Hidroliz safhası biyolojik ayrışmanın hızını da belirlemektedir. Yüksek fiber içeriğine sahip olan katı atıklarda ayrışma çok geç olmakta, özellikle hidroliz safhası çok yavaş ilerlemektedir. Katı atıkların parçalanması yüzey alanını büyütmede ve hidroliz safhasının daha kolay geçilmesini sağlamaktadır (Palmowski ve Müller, 2000). Kim vd. tarafından yapılan bir çalışmada partikül boyutu ile sodyum iyonu konsantrasyonunun anaerobik termofilik besin atıklarının ayrışmasına etkileri araştırılmıştır (Kim vd., 2000). Çalışma sonuçları partikül boyutunun anaerobik besin atıklarının ayrışmasında en önemli faktör olduğunu göstermektedir.

Bu nedenle bu çalışmada; Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü yemekhanesinin mutfak atıklarından alınan organik içerikli evsel çöplerin sıkıştırılmasının ve parçalanmasının simüle anaerobik biyoreaktörlerde anaerobik ayrışmasına etkileri (reaktörde oluşan toplam ve metan gazları ile sızıntı suyunda KOİ, uçucu yağ asitleri (UYA) düzeyleri ve pH değişimi gibi) araştırılmıştır.

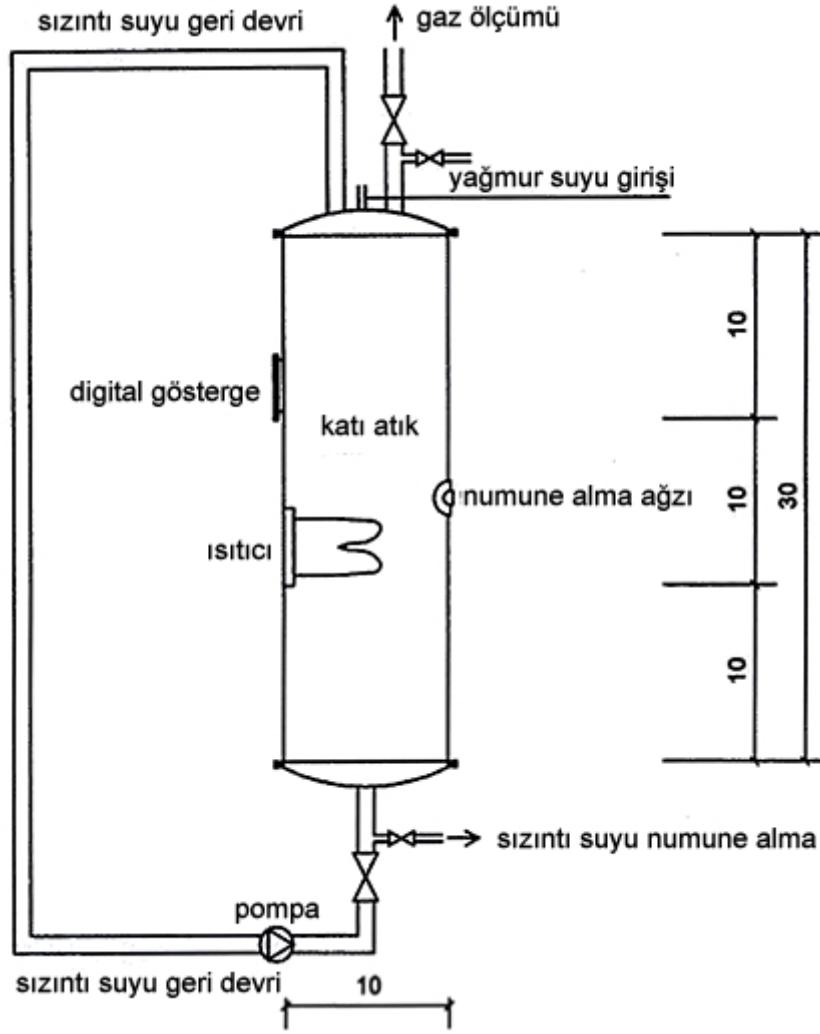
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Laboratuvar Ölçekli Simüle Anaerobik Biyoreaktör

Katı atıkları anaerobik arıtmak amacıyla üç adet laboratuvar ölçekli biyoreaktör kullanılmıştır. Reaktörler silindirik şekilde yüksekliği 30 cm, çapı 10 cm olup, 2.4 L hacminde paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Şekil 1'de laboratuvarda kullanılan anaerobik reaktörlerin şematik görünümü verilmektedir. Reaktörün alt kısmında sızıntı suyunu toplamak veya geri devrettirmek için bir çıkış ağzı bulunmakta, üst kısmında da geri devir için bir giriş ağzı yer almaktadır. Reaktörün üst kapağı atık yüklemesi için çıkarılıp takılabilmektedir. Reaktörün üstünde yağmur suyunu simüle edebilmek amacı ile su ilavesi için bir çıkış ağzı bulunmaktadır. Reaktörün üst kapak kısmında sızıntı suyunu homojen dağıtmak için delikli levhalar bulunmaktadır. Sızıntı suyu geri devri peristaltik bir pompa ile sağlanmıştır.

2.2. Biyoreaktörlerin Evsel Katı Atıklarla Yüklenmesi ve İşletme Koşulları

Bu çalışma kapsamında evsel katı atıkların sıkıştırılması ve parçalanmasının reaktör verim özelliklerine ve sızıntı suyu kalitesine etkileri çalışılmış, bir reaktör kontrol amaçlı kullanılmış, sadece sızıntı suyu geri devri yapılmıştır. İkinci reaktöre konulan atık kompaktörle sıkıştırılmış ve sızıntı suyu geri devri uygulanmıştır. Üçüncü reaktöre konulan atıklar parçalanmış (0,5-1cm), yine geri devir uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan reaktörlerin yüklenme durumları Çizelge 1'de verilmektedir. Tüm reaktörlerde sızıntı suyu geri devir hacmi 300 ml/gün'dür (Ağdağ ve Sponza, 2003). Reaktörler, Pakmaya Maya Fabrikası'ndan alınan 100 ml anaerobik çamurla karıştırılarak yüklenmiştir. Kullanılan evsel çöpler; yaklaşık % 95 organik atık, % 3 kağıt ve % 1 plastik içermektedir. Reaktörlere meteorolojik verilere göre günlük yağmuru simüle edecek hacimde su ilavesi yapılmıştır. Reaktörler ısıtıcıyla 37 °C ortam sıcaklığına kadar ısıtılıp mezofilik safhada çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Simüle Biyoreaktör

Çizelge 1. Reaktörlerin Yüklenmesi ve İşletilmesi

Parametre	Kontrol Reaktörü	Sıkıştırılmalı Reaktör	Parçalı Reaktör
Atık miktarı (gr)	1000	1400	1000
Resirkülasyon	Var	Var	Var
Resirkülasyon hacmi (ml/gün)	300	300	300
Su içeriği (%)	85	85	85
Organik madde (%)	91	91	91
C (%)	50.5	50.5	50.5
Partikül boyutu	Ham atık	Sıkıştırılmalı	Parçalanmış atık (0.5-1 cm)
Çalışma zamanı (gün)	57	57	57
Yoğunluk (kg/m ³)	416.7	583.3	416.7

2.3. Analitik Yöntemler

Su içeriği ve organik madde Standart Metotlara göre tayin edilmiştir (APPA-AWWA, 1992). KOİ ölçümleri kapalı reflux kolorimetrik yöntemi ile yapılmıştır (APPA-AWWA, 1992). Gaz üretimleri sıvı yer değiştirme yöntemi ile ölçülmüştür. Toplam gaz oluşan gazın doymuş NaCl ve % 2'lik H₂SO₄ içeren sıvıdan, metan gazı ise oluşan gazın % 3'lük NaOH içeren sıvıdan geçirilerek günde 1 saat süre ile izlenerek hesaplanmıştır (Beydilli vd., 1998; Razo-Flores vd., 1997). Metan yüzdesi Drager Pac-ex cihazı ile ölçülmüştür. Anaerobik simüle biyoreaktör çıkışında sızıntı suyu örneklerinde titrimetrik olarak uçucu yağ asitleri (UYA) test edilmiş ve bir bilgisayar programı ile hesaplanmıştır (Anderson ve Yang, 1992). pH ölçümleri WTW pH 330/SET pH-metre cihazı ile, amonyum azotu ölçümleri ise 14742 nolu amonyum spectroquant kiti kullanılarak SQ 300 Merck fotometresinde yapılmıştır. Sızıntı suyundaki biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI₅) WSW Oxi Top IS 12 cihazı kullanılarak, toplam organik karbon (TOC) ise DOHRMANN DC 190 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun anaerobik inert KOİ içeriği glikoz karşılaştırmalı yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Sızıntı suyunun anaerobik toksisitesi (ATA) 115 ml'lik şişelerde belirli yüzdelerde seyreltilerek (25-100 %) oluşan metan gazları kontrol ile kıyaslanarak belirlenmiştir (Owen vd., 1979; Donlon vd., 1995).

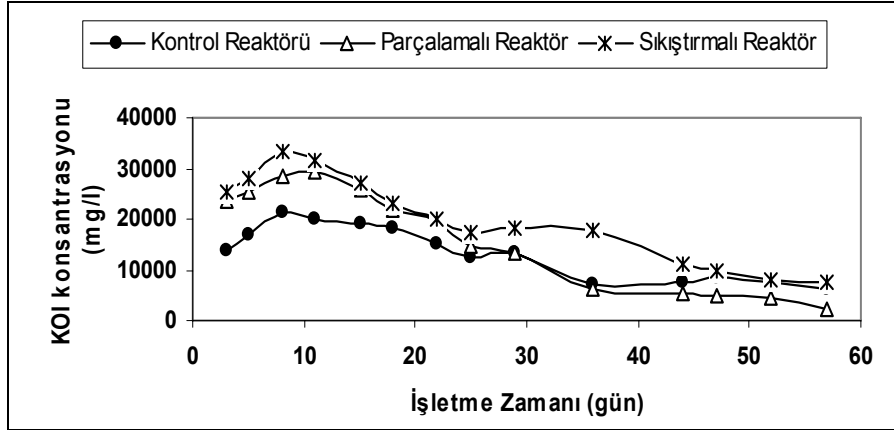
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sızıntı Suyunda KOİ Değişimleri

Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalamalı biyoreaktörlerde oluşan sızıntı suyunda 57 gün boyunca gözlenen KOİ değişimleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Sıkıştırılmalı, parçalamalı ve kontrol reaktörlerine ait sızıntı suyu örneklerinde başlangıç KOİ seviyeleri sırasıyla; 25520 mg/l, 23593 mg/l ve 13716 mg/l'dir. Ancak tüm reaktörlerde sızıntı suyunda KOİ değerleri 8. gün sonunda artış göstermiştir. İlk 8 günde kontrol reaktöründe 21505 mg/l, sıkıştırılmalı reaktörde 33470 mg/l ve parçalamalı reaktörde 28492 mg/l KOİ değerlerine ulaşılmıştır. 8. günden sonra ise her üç reaktörde de KOİ miktarlarında düşüş gözlenmiştir. Sızıntı sularının KOİ değerlerinde gözlenen bu azalmanın nedeni, anaerobik simüle biyoreaktörde metana dönüşerek arıtılmasıdır.

Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi sıkıştırılmalı ve parçalamalı reaktörlerde oluşan sızıntı suyundaki KOİ seviyesi 36. güne kadar kontrol reaktöründe oluşan sızıntı suyundaki KOİ seviyesine göre daha yüksektir. Reinhart vd. sıkıştırma artırıldığı zaman nem oluşumunun azaldığını, bunda atık parçalanmasını geciktirdiğini belirtmişlerdir (Reinhart vd., 2002). Buna benzer olarak Quasim ve Chiang'da sıkıştırmanın sızıntı suyu kalitesine olumsuz etki yaptığını söylemişlerdir (Quasim ve Chiang, 1994). 36.günden sonra en düşük kirlilik seviyesi 5233 mg/l ile parçalamalı reaktöre aittir. 57.günün sonunda en düşük KOİ seviyesi 2294 mg/l ile yine parçalamalı reaktöre aittir. Warith parçalamalı reaktördeki sızıntı suyu COD değerinin parçalanmamışa göre daha düşük olduğunu ve kat atıkların daha hızlı ayrıştığını belirtmiştir (Warith, 2002). 57 günlük işletim süresi sonunda kontrol ve sıkıştırılmalı reaktörlere ait sızıntı suyunda ölçülen KOİ seviyeleri 6405 mg/l, 7738 mg/l iken bu seviye parçalamalı reaktörde 2294 mg/l KOİ seviyesine ulaşılmıştır. Parçalamalı reaktör ile sıkıştırılmalı reaktörün başlangıç ve 57.günün sonundaki KOİ seviyeleri karşılaştırıldığında sıkıştırılmalı reaktörde daha yüksek KOİ konsantrasyonları elde edilmiştir. Sıkıştırılmalı reaktörde başlangıç KOİ değeri 25520 mg/l iken parçalamalı reaktörde başlangıç KOİ değeri 23593 mg/l'dir. Bunun sebebi, sıkıştırma ile biyoreaktörde depolanan atık miktarının parçalanmış ve kontrol reaktörüne göre daha fazla olmasıdır. Bu da stabilizasyonun daha geç başlaması ve kirlilik değerinin daha

yüksek olması anlamına gelir. Parçalanmış reaktörde daha düşük kirlilik seviyelerinin elde edilmesinin nedeni, nispeten daha küçük parçacıkların daha çabuk ayrışmaya başlamasıdır. Parçalanmış atıklara mikroorganizmaların nüfuzu daha kolay olmaktadır. Parçalanmış atıklar, parçalanmamış atıklara kıyasla daha yüksek kirlilik konsantrasyonlarına sahip olurlar ancak kirliliklerin giderim hızı, katı atıkların bozunma hızı, birim sızıntı suyu başına oluşan kümülatif kirlilik miktarları parçalanma yapılmamış atıklara göre daha yüksektir (Qasim ve Chiang, 1994). Parçalama reaktör sızıntı suyundaki bulunan KOİ değerleri Kim vd., tarafından yapılan çalışmadaki değerlerle uyum göstermektedir (Kim vd., 2000).

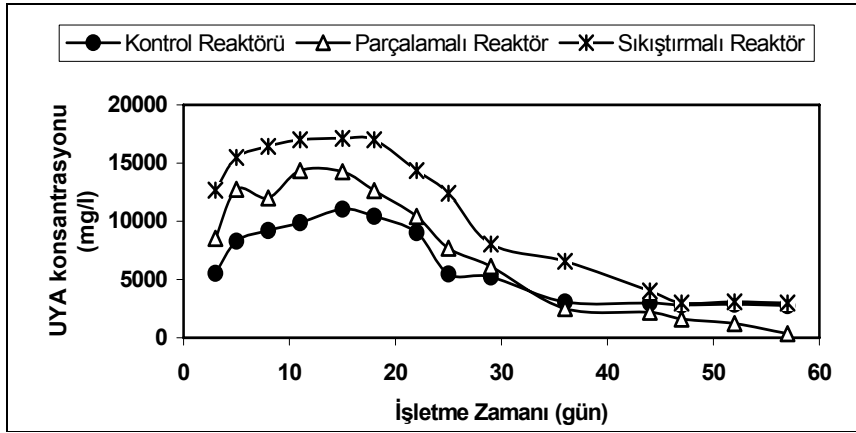


Şekil 2. Kontrol, Sıkıştırılmış ve Parçalama Reaktör Sızıntı Suyundaki KOİ Değişimleri

3.2. Sızıntı Suyunda UYA Değişimleri

Kontrol, sıkıştırılmış ve parçalama biyoreaktörlerde oluşan sızıntı suyundaki UYA konsantrasyonlarındaki değişimler Şekil 3'ten de görüleceği üzere KOİ değerleri ile benzerlik göstermektedir. Sıkıştırılmış, parçalama ve kontrol reaktörlerinin başlangıç uçucu yağ asidi seviyeleri sırasıyla; 12672 mg/l, 8542 mg/l ve 5542 mg/l'dir. Kontrol, sıkıştırılmış ve parçalama reaktörlerdeki uçucu yağ asidi konsantrasyonları 15. günde maksimum seviyelere ulaşmıştır. Sıkıştırılmış, parçalama ve kontrol reaktörlerinin 15. günde elde edilen uçucu yağ asidi seviyeleri sırasıyla; 17116 mg/l, 14260 mg/l ve 11052 mg/l'dir. İlk 15 günde uçucu yağ asidi seviyelerinde bu şekilde bir artış meydana gelmesinin nedeni biyoreaktörlerin anaerobik arıtım kademesinin hidrolizi takiben kısmi metanlaşma ve ağırlıklı olarak asitleşme safhasında bulunmasıdır. Asitleşme safhasında ortamda uçucu yağ asidi miktarı artmaktadır. 15. günden sonra kontrol, sıkıştırılmış ve parçalama reaktörlerde uçucu yağ asidi miktarları düşmeye başlamıştır. Bu düşüşün nedeni reaktörlerin metanlaşma fazına geçmesi şeklinde verilebilir. 36. günde parçalama reaktörde elde edilen uçucu yağ asidi konsantrasyonu kontrol reaktöründe oluşan uçucu yağ asidi konsantrasyonundan daha düşük seviyeye inmiştir yani stabilizasyon hızlanmıştır. 57 günlük işletim süresi sonunda sıkıştırılmış reaktörde 2979 mg/l, kontrol reaktöründe 2755 mg/l ve parçalama reaktörde 354 mg/l uçucu yağ asidi seviyesine ulaşılmıştır. Şekil 2'den de görüldüğü üzere sürecin başlangıcından 57 günlük işletim süresinin sonuna kadar sıkıştırılmış reaktörde kontrol ve parçalama reaktöre göre daha yüksek uçucu yağ asidi seviyesi gözlenmiştir. Bunun nedeni nem taşınımının daha düşük seviyede olması ve dolayısıyla ayrışmanın düşük seviyede olmasıdır (Reinhart, 2002). Sıkıştırma atık miktarını arttıracığından parçalanmayı geciktirmekte ve sızıntı suyunda yüksek kirlilik konsantrasyonları elde edilmektedir. Bunun sonucunda da sıkıştırılmış reaktörün stabilizasyonu için daha uzun işletim süreleri gereklidir sonucu çıkarılabilir. Parçalama reaktörde 57 günlük sürecin sonunda 354 mg/l uçucu yağ asidi seviyesi yani her

üç reaktör arasında en düşük seviyeye ulaşmasının nedeni parçacık boyutunun azalmasıyla ayrışmanın artmasıdır.



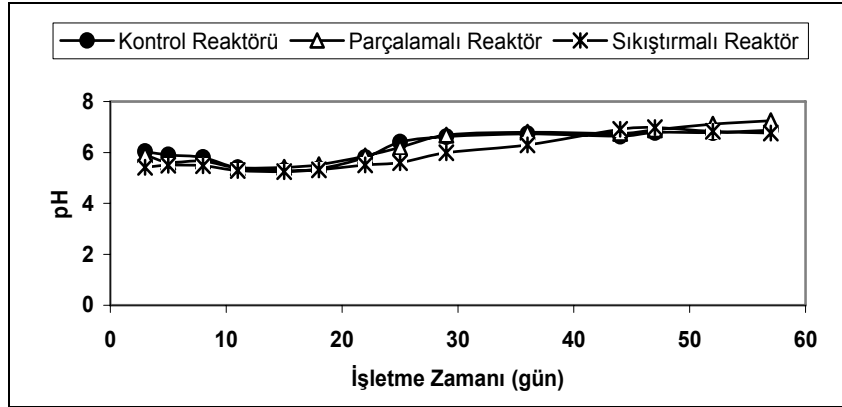
Şekil 3. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktör Sızıntı Suyundaki UYA Değişimleri

3.3. Sızıntı Suyunda pH Değişimleri

Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı biyoreaktörlerde oluşan sızıntı suyundaki pH değişimleri Şekil 4'te verilmektedir. Parçalımalı, kontrol ve sıkıştırılmalı reaktörlerinin başlangıç pH değerleri sırasıyla; 5.91, 6.04 ve 5.42'dir. Kontrol reaktöründe pH değeri ilk 15 gün düşüş göstermiş ve 15.günde 5.29 seviyesine ulaşmıştır. 15.günden itibaren pH değerinde artış gözlenmiştir. 57.günün sonunda kontrol reaktöründe pH 6.88'e ulaşılmıştır. Sıkıştırılmalı reaktörde de ilk 15 gün içinde pH değeri düşmüş ve 15. günde pH değeri 5.25'e düşmüştür. 15.günden sonra gözlenen artış sonucunda 57.günün sonunda pH değeri 6.76'a ulaşmıştır. Parçalımalı reaktörde de aynı şekilde ilk 15 gün içerisinde azalış gösteren pH seviyesi, 15.günde 5.42 seviyesine ulaşmıştır. 15.günden sonra gözlenen artış sonucunda 57.günün sonunda pH değeri 7.25'a ulaşmıştır. Her üç reaktörde de pH'nın ilk 15 gün içerisinde azalma göstermesinin nedeni hidrolizi takiben meydana gelen asitleşme safhasıdır. Asitleşme safhasında pH düşmektedir. 15.günden sonra sistem metanlaşma safhasına geçmeye başlamıştır ve pH'da artma gözlenmiştir. pH'nın 6.5-8.5 aralığı organik maddelerin ayrışmasında görevli olan metanojen bakterilerinin giderim yüzdelerinin yüksek olduğu değerlerdir. Kontrol ve parçalımalı reaktörlerde metanojen bakterilerinin ayrışmaya başlaması için gerekli olan minimum pH= 6.5 değerine kontrol ve parçalımalı reaktörlerde yaklaşık 29.günde ulaşılırken, sıkıştırılmalı reaktörde mikroorganizma faaliyeti için gerekli olan minimum pH 6.5 değerine daha uzun sürede yaklaşık 44.günde ulaşılmıştır. Bunun nedeni sıkıştırma nedeniyle mikroorganizmaların faaliyeti için gerekli nem taşınımının sağlanamamasıdır. Sonuçta da sıkıştırılmalı reaktörde stabilizasyon için 57 günden daha uzun süre gereksinimi doğar.

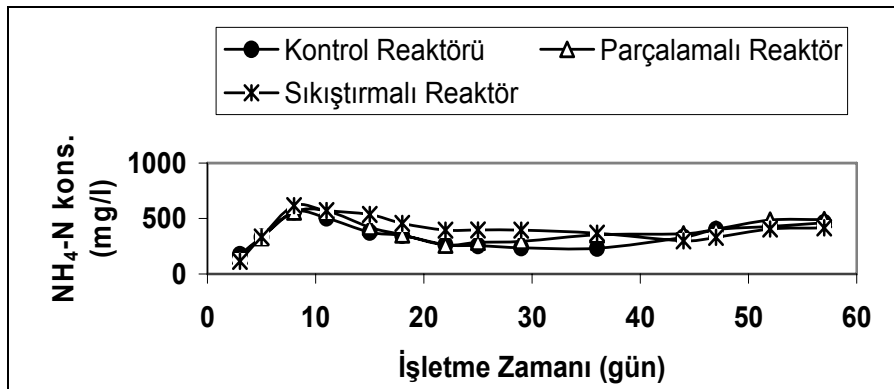
3.4. Sızıntı Suyunda NH₄-N Değişimleri

Sızıntı sularındaki azotun büyük bir kısmı amonyum azotu formunda bulunmaktadır ve yüksek miktardaki amonyum azotu metan oluşumunu inhibe edebilmektedir. Sızıntı suyundaki amonyum azotu, kentsel katı atıkların içerisinde fazla miktarda bulunan azotlu bileşiklerin parçalanması sonucu açığa çıkmaktadır (İnanç vd., 2000). Sızıntı suyu toksisitesi önemli ölçüde yüksek KOİ ve yüksek amonyum azotu konsantrasyonu ile ifade edilebilir (Marttinen vd., 2002).



Şekil 4. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktör Sızıntı Suyundaki pH Değişimleri

Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı biyoreaktörlerde oluşan sızıntı suyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 4'de verilmektedir. Parçalımalı, kontrol ve sıkıştırılmalı reaktörlerinin başlangıç $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları sırasıyla; 160, 175 ve 115 mg/l'dir. Kontrol reaktöründe ilk 8 günde sızıntı suyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda bir artış meydana gelmiş ve 8.günde 560 mg/l maksimum seviyesine ulaşmıştır. İşletim süresinin sonunda yani 57.günde 462 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu gözlenmiştir. Sıkıştırılmalı reaktörde de ilk 8 günde $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda bir artış meydana gelmiş ve 8.günde 616 mg/l maksimum seviyesine ulaşmıştır. Bu durum evsel çöplerdeki organik azotlu bileşikler ve proteinlerin parçalanması ile açıklanır. 8.günü takiben 44. güne kadar $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir ve 44.günde 298 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu elde edildikten sonra 44.günden itibaren amonyum miktarı artmış ve işletme süresinin sonunda yani 57.günde 416 mg/l seviyesine ulaşmıştır. Parçalımalı reaktörde ilk 11 günde amonyum konsantrasyonunda bir artış meydana gelmiş ve 11.günde 568 mg/l maksimum seviyesine ulaşmıştır. 11.günden itibaren 22.güne kadar $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda bir azalma meydana gelmiş ve 22.günde 260 mg/l değeri gözlemlendikten sonra $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonunda bir artış gözlenmiş ve işletme süresinin son günü olan 57.günde 476 mg/l seviyesine ulaşmıştır.

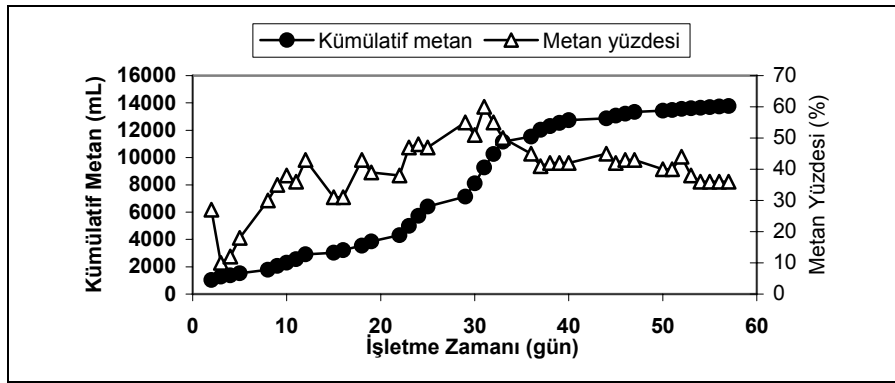


Şekil 5. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktör Sızıntı Suyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ Değişimleri

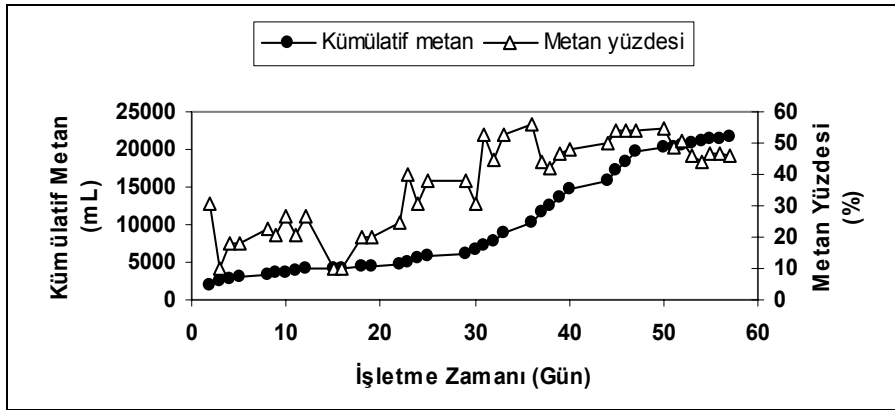
3.5. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktörlerdeki Metan Üretimleri

Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı reaktörler için metan miktarı ve % metan değerleri sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere, 57 gün sonunda en yüksek toplam metan gazı üretimleri kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı reaktörler için sırasıyla 13.8 L, 21.6 L ve 15.5 L'dir. Sıkıştırılmalı reaktörde en yüksek metan

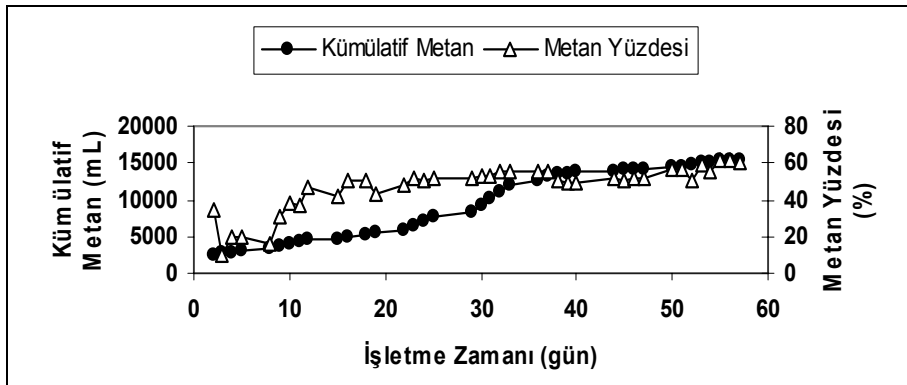
miktarının olmasının nedeni, bu reaktörün ağırlıkça en fazla atığa sahip olmasıdır. Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı reaktörlerin metan yüzdeleri 55.gün yaklaşık olarak sırasıyla % 55, % 56 ve % 61'dir. Başlangıç metan yüzdesi en fazla olan reaktör parçalımalı reaktördür, başka bir deyişle atık ayrışmasının en hızlı olduğu reaktör parçalımalı reaktördür. Çalışma periyodunun sonunda metan yüzdeleri kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı reaktörler için sırasıyla % 36, % 46, ve % 60'dır. Çalışma periyodunun sonuna doğru metan yüzdesinin azalmasının nedeni, katı atıkların anaerobik ortamda ayrışmasının gerçekleşmiş olmasıdır. Sıkıştırılmalı reaktördeki atık miktarı parçalımalı reaktörden daha fazla olsa da, parçalımalı reaktörün metan yüzdesi daha yüksektir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar Angelidaki ve Ahring tarafından da bulunmuştur (Angelidaki ve Ahring, 1999). Bu araştırmacılara göre parçalanmış atıkların metan yüzdesi parçalanmamışa göre %17 daha fazladır. Sonuçlar göstermektedir ki, atık parçalaması metan verimini artırmakta ve atık ayrışma zamanını kısaltmaktadır.



Şekil 6. Kontrol Reaktörde Toplam Metan ve % Metan Değişimleri



Şekil 7. Sıkıştırılmalı Reaktörde Toplam Metan ve % Metan Değişimleri



Şekil 8. Parçalımalı Reaktör Toplam Metan ve % Metan

3.6. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktörlerde Sızıntı Suyundaki BOI₅ , KOİ ve TOK Konsantrasyonlarının Değişimleri

Tüm reaktörlerde BOI₅ , KOİ ve TOK konsantrasyonları çalışma periyodunun 5. ve 47.günleri ölçülmüştür (Çizelge 2). Başlangıç BOI₅ değerleri kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalımalı reaktörler için sırasıyla 16661 mg/l, 27152 mg/l, 24804 mg/l iken çalışma periyodunun sonunda bu değerler 4251 mg/l, 5330 mg/l ve 2145 mg/l 'ye düşmüştür. En yüksek BOI₅ azalması ise parçalımalı reaktörde görülmüştür. Başlangıçta tüm reaktörlerde yüksek BOI₅/KOİ oranlarının olduğu gözlenmiştir. Bu yüksek oran organik maddenin yüksekliğini ve biyolojik ayrışabilirliği göstermektedir. Başlangıçta 0.97 olan bu değer 47.gün 0.5'e düşmüştür. Bu düşüşte organik maddenin anaerobik ortamda parçalanarak metana dönüşümünü göstermektedir. Bu dönüşüm hızı da Çizelge 2'den de görüleceği üzere en fazla parçalımalı reaktörde gerçekleşmiştir. Ledakowicz ve Kaczorek tarafından yapılan çalışmadaki BOI₅/KOİ oranları bu çalışmadakine benzer sonuçlardır (Ledakowicz ve Kaczorek, 2002).

Çizelge 2'den görüleceği üzere en yüksek başlangıç TOK değeri parçalımalı reaktörde olmasına rağmen, çalışma periyodunun sonunda en düşük değer parçalımalı reaktörde görülmüştür. Bu sonuç en hızlı biyolojik ayrışmanın parçalımalı reaktörde olduğunu göstermektedir. Başlangıçta yüksek olan TOK değerinin düşüşü anaerobik ortamda katı atıkların ayrışarak metana dönüştüğünün göstergesidir. Üç reaktörde elde ettiğimiz TOK değerleri Quasim ve Chiang tarafından belirtilen değerler ile uyum göstermektedir (Quasim ve Chiang, 1994).

Çizelge 2. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktörlere ait Sızıntı Suyu Örneklerinde BOI₅, ve TOK değerleri BOI₅/KOİ

	Kontrol Reaktör		Sıkıştırılmalı Reaktör		Parçalımalı Reaktör	
	Day 5	Day 47	Day 5	Day 47	Day 5	Day 47
BOI ₅ (mg/l)	16760	4256	27152	5330	24804	2145
KOİ (mg/l)	17089	8396	27849	9629	25440	4831
BOI ₅ /KOİ(mg/l)	0.98	0.5	0.97	0.55	0.97	0.44
TOK (mg/l)	6400	2734	9751	3513	10500	729

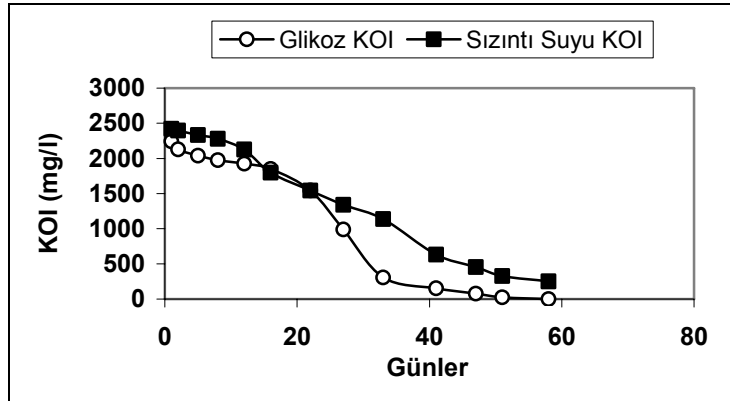
3.7. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalımalı Reaktörlerde Oluşan Sızıntı Suyunda Anaerobik Toksikite Testi (ATA) ve İnert KOİ Değişimleri

Serum şişelerinde 3 günlük anaerobik inkübasyon süresi sonunda kontrol (glikoz) ile sıkıştırılmış ve parçalanmış reaktörlerinde gözlenen metan gazları Çizelge 3'te gösterilmektedir. ATA deneylerinin sonuçları evsel organik atıklardan oluşan sızıntı suyunda anaerobik koşullarda toksisite olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, DEÜ mutfak atıklarında alınan katı atıklarda anaerobik ayrışmayı inhibe edici organik ve inorganik toksik kimyasalların bulunmadığını ifade etmektedir. Şişelerdeki sızıntı suyu yüzdesini artırdığımız zaman metan gazı miktarı artmakta, metanojenik bakteriler sızıntı suyunu uygun karbon kaynağı olarak kullanmaktadır.

Çizelge 3. Glikoz ile Sıkıştırılmalı ve Parçalamaalı Reaktörlerin Sızıntı Sularındaki Metan Miktarları (ATA Testi Sonuçları)

	Metan (ml/gün) – 3 gün sonra	
	Sıkıştırılmalı Reaktör	Parçalamaalı Reaktör
Glikoz 0 % sızıntı suyu (kontrol)	28	33
% 25 sızıntı suyu	34	39
% 50 sızıntı suyu	44	47
% 75 sızıntı suyu	48	50
% 100 sızıntı suyu	54	54

Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalamaalı reaktörlerde İnert KOİ deneyleri yapılmasına rağmen sıkıştırılmalı ve parçalamaalı reaktörlerdeki inert KOİ sonuçları benzer olduğundan sadece parçalamaalı reaktördeki sonuçlar Şekil 9’da gösterilmektedir. İnert KOİ deneyinde 40.günden itibaren glikoz KOİ’si sıfıra yaklaşmıştır. Sızıntı suyunun inert KOİ denemeleri sonucunda, başlangıç KOİ değerinin yaklaşık % 10’unun inert KOİ olduğu (250 mg/l) bulunmuştur. Bu da uygun anaerobik koşullarda sızıntı suyunda % 90 düzeyde KOİ giderimi olabileceğini göstermektedir. Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) denemesi sonucunda parçalamaalı reaktörde oluşan KOİ’nin 225 g/l’si sıkıştırılmalı reaktörde ise oluşan KOİ’nin 208 g/l’si metana dönüştürülmüştür (veriler gösterilmemektedir). Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise her iki reaktörden çıkan sızıntı sularında toksisite bulunmamasıdır.



Şekil 9. Sızıntı Suyu ve Glikoz İçeren Örneklerdeki İnert KOİ Değişimleri

3.8. Kontrol, Sıkıştırılmalı ve Parçalamaalı Reaktörlerdeki Katı Atık Karakterlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4 çalışma periyodunun başlangıç ve sonucunda her üç reaktörün katı atık özelliklerini göstermektedir. Organik madde azalması en fazla parçalamaalı reaktörde gerçekleşmiştir. 57 günlük inkübasyon süresi sonunda organik madde yüzdeleri kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalamaalı reaktörler için sırasıyla % 27, % 23 ve % 31’dir. Organik maddeye benzer olarak % C azalması ve atık miktarı azalması da en fazla parçalamaalı reaktörde olmuştur. Bu parametrelerdeki azalma beraberinde atığın işgal ettiği hacimde de bir azalma getirecektir. Bu da ekonomik fayda anlamına gelmektedir. Çalışma sonuçları katı atıkların parçalanmasının evsel organik çöplerin ayrışma hızını ve derecesini arttırdığını göstermektedir.

Çizelge 4. Reaktörlerin Başlangıç ve Son Katı Atık Özelliklerinin Karşılaştırılması

	Kontrol		Sıkıştırılmalı		Parçalamalı	
	Baş.	Son	Baş.	Son	Baş.	Son
Su içeriği (%)	86	87	85	89	85	88
Org. madde (%) (kuru)	92	67	91	70	91	63
% C (kuru)	51	38	50.5	39	50.5	35
TN (mg/g) (katı atıkta)	8.5	0.5	8	0.3	8	0.3
TP (mg/g) (katı atıkta)	6.7	1	6.5	0.3	6.5	0.4
NH ₄ -N (mg/g) (katı atıkta)	0.57	0.14	0.56	0.3	0.56	0.1
Atık miktarı (g)	1000	299	1400	589	1000	285

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; katı atıkların simüle biyoreaktörlerde ayrışmasını etkileyen faktörlerden sıkıştırma ve katı atıkların parçalanması üzerinde durulmuştur. Parçalamalı reaktörde yüzey alanı genişletilmiş, sıkıştırılmalı reaktörde ise atık yoğunluğu artırılmıştır. Çalışma sonuçları katı atıklarda boyut küçültülmesinin atık ayrışmasını hızlandırdığını göstermiştir. Parçalamalı reaktörde oluşan metan gazı üretimlerinin de diğer iki reaktöre kıyasla daha iyi olduğu gözlenmiştir. Organik madde, C giderimi ile azot ve fosfor gideriminin bu reaktörde daha iyi olduğu gözlenmiştir. 57 günlük çalışma periyodunun sonunda parçalamalı reaktörde oluşan sızıntı suyu özelliklerinin de kontrol ve sıkıştırılmalı reaktörlerinkinden daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Parçalamalı reaktörlerde organik madde miktarı ve atık ağırlığının da daha fazla azaldığı gözlenmiştir. Bu durumda deponi alanı hacminden kazanç sağlanacak bu da ekonomik faydayı beraberinde getirecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma D.E.Ü Rektörlüğü'nün 02. KB. FEN. 021 ve 02. KB. FEN. 051 no'lu AİF projeleri tarafından kısmen desteklenmiştir. Bu destekten dolayı D.E.Ü. Rektörlüğü Araştırma ve İnceleme Fonu'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ağdağ O.N., Sponza D.T. (2003): "Sızıntı Suyu Geri Devir Hacminin Evsel Çöplerin Anaerobik Simüle Biyoreaktörlerde Verim Özelliklerine Etkisi", II. Ulusal Katı Atık Sempozyumu, 6. Oturum, 19-26, İzmir.
- Anderson G., Yang G. (1992): "Determination of Bicarbonate and Total Volatile Acid Concentration in Anaerobic Digestion using a Simple Titration", Water Environment Research 64, 53-59.
- APPA-AWWA (1992): "Standard Methods for Water and Wastewater", 17th Edition, Am. Publ. Hlth. Assoc., Washington D.C.
- Beydilli M.I., Pavlosathis S.G., Tinver W.C. (1998): "Decolorization and Toxicity Screening of Selected Reactive Azo Dyes under Methanogenic Conditions", Water Science and Technology 38, 225-232.
- Chugh S., Clarke W., Pullammanpallil P., Rudolph V. (1998): "Effect of Recirculated Leachate Volume on MSW Degradation, Waste Management & Research", cilt: 16-6, 564-573.

- Donlon B.A., Razo-Flores E., Field J.A., Lettinga G. (1995): "Toxicity of N-Substituted Aromatics to Acetolastic Methanogenic Activity in Granular Sludge", *Applied and Environmental Microbiology* 61, 3889-3893.
- Inanç B., Çalli B., Saatçi A. (2000): "Characterization and Anaerobic Treatment of the Sanitary Landfill Leachate in Istanbul", *Water Science and Technology* 41, 223-230.
- Kim I.S., Kim D.H., Hyun S.H. (2000): "Effect of Particle Size and Sodium Ion Concentration on Anaerobic Thermophilic Food Waste Digestion", *Water Science and Technology* 41, 67-73.
- Ledakowicz S., Kaczorek K. (2002): "Laboratory Simulation of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste", *Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, Istanbul*, pp. 1139-1146.
- Martinen S.K., Kettunen R.H., Sormunen K.M., Soimasuo R.M., Rintala J.A. (2002): "Screening of Physical-Chemical Methods for Removal of Organic Material, Nitrogen and Toxicity from Low Strength Landfill Leachates", *Chemosphere* 46, 851-858.
- Owen W.F., Stuckey D.C., Heally J.B., Young L.Y., McCarthy P.L. (1979): "Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity", *Water Research* 13, 485-492.
- Palmowski L.M., Müller J.A. (2000): "Influence of the Size Reduction of Organic Waste on Their Anaerobic Digestion", *Water Science and Technology* 41, 155-162.
- Plaza G., Robredo P., Pacheco O., Toledo A.S. (1996): "Anaerobic Treatment of Municipal Solid Waste", *Water Science and Technology* 33, 169-175.
- Quasim S.R., Chiang W. (1994): "Sanitary Landfill Leachate Generation, Control and Treatment", Technomic Publishing Company, USA.
- Razo-Flores E., Luijton M., Donlon B.A., Lettinga G., Field J.A. (1997): "Biodegradation of Selected Azo Dye under Methanogenic Conditions", *Water Science and Technology* 36, 65-72.
- Read D.R., Hudgings M., Philipps P. (2001): "Perpetual Landfilling through Aeration of the Waste Mass; Lessons from Test Cells in Georgia (USA)", *Waste Management* 21, 617-629.
- Reinhart D.R., McCreanor P.T., Townsend T. (2002): "The Bioreactor Landfill: Its Status and Future", *Waste Management and Research*, vol: 20, no: 2, 172-186.
- Vieitez E.R., Ghosh S. (1999): "Biogasification of Solid Wastes by Two-Phase Anaerobic Fermentation", *Biomass and Bioenergy* 16, 299-309.
- Warith M. (2002): "Bioreactor Landfills: Experimental and Field Results", *Waste Management*, Vol: 22, 7-17.