



Yemek Atığı ve İnek Dışkısı Karışımından İki Kademeli Anaerobik Sistem ile Biyoenerji Üretimi

Mahmut ALTINBAŞ*

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469 Sarıyer/İstanbul
altinbasml@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 94*

Ali Onur KASARCI

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469 Sarıyer/İstanbul

Geliş: 15.11.2017, Kabul Tarihi: 15.12.2017

Öz

Bu çalışmada İnek Dışkısı (İD) ve Yemek Atığı (YA) karışımının metan ve hidrojen üretimini sağlayacak iki kademeli anaerobik sistemde, biyoenerji üretim performansı incelenmiştir. İD ve YA'nın ayrı çürütülmesinde gözlenecek olumsuz bileşenler, karışımda dengelenerek biyobozunurluk açısından olumlu hale getirilmiştir. Bu amaçla, seri bağlı iki reaktör yarı-kesikli besleme ile üç farklı toplam katı konsantrasyonda (%2.3, 3.3 ve 6.5) çalıştırılmıştır. İlk kademesinde hidrojen reaktörü 70°C'de ikinci kademesinde metan reaktörü ise 35°C'de işletilmiştir. En yüksek hidrojen üretim verimi %6.5 katı madde konsantrasyonunda 56.5 L/kg TUKM ile gözlenirken en yüksek metan üretimi %3.3 katı madde konsantrasyonunda 233.7 L/kg TUKM olarak gözlenmiştir. Literatürde daha yüksek biyogaz üretim değerlerinin de olmasına karşın bu çalışmada İD ve YA'nın birlikte ardışık hidrojen ve metan üretiminde kullanılmasının verimli olduğunu göstermiştir. Farklı karakterizasyona sahip İD ve YA'nın birlikte çürütülmesi ile YA'nın tek başına çürütülmesinde gözlenebilecek Uçucu Yağ Asitleri (UYA) birikimi önlenmiştir. Organik yüklemdeki salınımlara karşı da daha iyi dengeleme ve koruma sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik çürütme, Biyogaz, Hidrojen, İnek dışkısı, Metan, Yemek atığı.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Atık yönetimi, çevresel kalitenin artırılması, atıkların ekonomik verimliliğini ve ekolojik faydalarını arttırmak için gereklidir. Bu bağlamda anaerobik prosesler, yenilenebilir enerji kazanımı ve atıkların stabilizasyonu konuları giderek önem kazanmaktadır. Çok çeşitli organik katı atıklar anaerobik koşullar altında biyogaz enerjisi üretimi ile verimli bir şekilde işlendiği belirtilmiştir (Ward vd., 2008). Farklı katı atıkların birlikte çürütülmesi, tekli hammaddelerin çürütülmesine göre beklenenden çok daha fazla biyogaz üreterek sistemin verimini arttırması beklenir (Ashekuzzaman ve Poulsen, 2011). Farklı atık kaynaklarının birleştirilmesiyle elde edilen yüksek verim ve nispeten düşük yatırım maliyeti ile anaerobik çürütme cazip bir teknoloji haline gelmektedir. Birlikte çürütme ile makro ve mikro besin maddelerinin dengelenmesi, pH, inhibitör / toksik bileşikler, biyobozunma karakterleri farklı olan maddelerin birleştirilmesi ile biyoenerji üretim verimliliği daha da artması beklenmektedir (Hartmann vd., 2003).

Organik katı atıklardan elde edilebilecek en verimli biyoenerji sistemlerinden biri de hidrojen ve metanın birlikte üretildiği, iki kademeli anaerobik çürütücü sistemleridir. İki kademeli sistemlerin hidroliz/asitleşme ve metanojen fazlarını ayırarak daha yüksek performans ve biyogaz üretim verimi sağlamaktadır (Lee vd., 1999; Weiland, 2010). Bu bakış açısıyla tek başına arıtılması zor veya verimi düşük olan organik atık değerli bir kaynak özelliği kazanmaktadır. Hayvan atıkları ile yemek atıkları üretim miktarları açısından oldukça yüksek olup ayrıca biyogaz üretimi açısından bir potansiyele sahiptir. Bu kapsamda yemek ve hayvan atıklarının birlikte değerlendirilmesi oldukça caziptir. Tek kademeli sistemlerde tüm reaksiyonlar tek bir tankta gerçekleşirken iki kademeli sistemlerde iki tankta gerçekleşmektedir.

Belediyelerden gelen yemek benzeri organik atıklar, dengeleme özellikleri ve üretim miktarı nedeniyle İnek Dışkısı (İD) için yardımcı

substratkaynağı olarak düşünülebilir. Kentsel katı atıkların organik madde içeriği, İD'nin çürütülmesi için iyi bir kaynak olmasına rağmen içerdiği plastik, cam kırıkları, metal parçaları v.b. safsızlıklardan dolayı iyi bir kaynak olmayabilir. Bu nedenle, ön ayırma ve katı boyutlarını azaltmak için parçalama ekipmanının kullanılması gerektiği ifade edilmiştir (Edelmann vd., 2000). Bu nedenle, Yemek Atıkları (YA) bu ön işlem adımlarını ortadan kaldırmak için ekonomik bir alternatif olmaktadır. YA, restoranlar, yurtlar, hastaneler ve üniversite kampüslerinden yüksek miktarda üretilmektedir. Bu atıklar kolayca toplanabilir taşınabilir ve safsızlık içermezler (Traverso vd., 2000). Gıda atıkları kolay bozunur yüksek miktarda organik madde içerir (Altınbas, 2008). Bununla birlikte, YA'ların anaerobik çürütülmesi genelde yüksek biyolojik bozunabilirlik nedeniyle uçucu yağ asitlerin birikimi ile karşı karşıya kalınmaktadır (Kim vd., 2004).

Termofilik ve termofilik üstü aşırı sıcaklıklar birçok yönden hidrojen üretimini arttırmak için avantajlıdır (Liu vd., 2008). Birincisi, yüksek sıcaklık, hidrojen tüketiminin başlıca nedeni olan metanojenleri ortadan kaldırdığı için gaz fazında daha fazla hidrojenin açığa çıkmasını sağlar. İkincisi, yüksek sıcaklık ile hidrojenin sudaki çözünürlüğünün azalması ile hidrojenin kısmi basıncı da düşmektedir. Bu yüzden hidrojenin yüksek konsantrasyonda bulunmasından kaynaklanabilecek inhibisyon yüksek sıcaklıktan dolayı önlenmiş olacaktır. Bu da hidrojenin gaz fazında yüksek oranda toplanmasını sağlamaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta pastörizasyon ile patojen mikroorganizmaların giderimi sağlanır. Son olarak, yüksek sıcaklık ile termodinamik koşullar daha elverişli hale gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı yüksek sıcaklıkta hidrojen üretimi yapmak oldukça avantajlıdır.

Bu çalışmada İD ve YA karışımının farklı işletme koşullarında metan ve hidrojen üretimini sağlayacak iki kademeli anaerobik sistemde, sistem performansı incelenmiştir. Yüksek biyoenerji verimleri elde edebilmek için birinci

kademedeki hidrojen reaktörü 70°C'de, ikinci kademedeki metan reaktörü ise 37°C'de çalıştırılmıştır. İki kademeli anaerobik sistem ile daha yüksek enerji üretimi sağlanmasının yanında daha stabil bir işletimin sağlanması hedeflenmiştir.

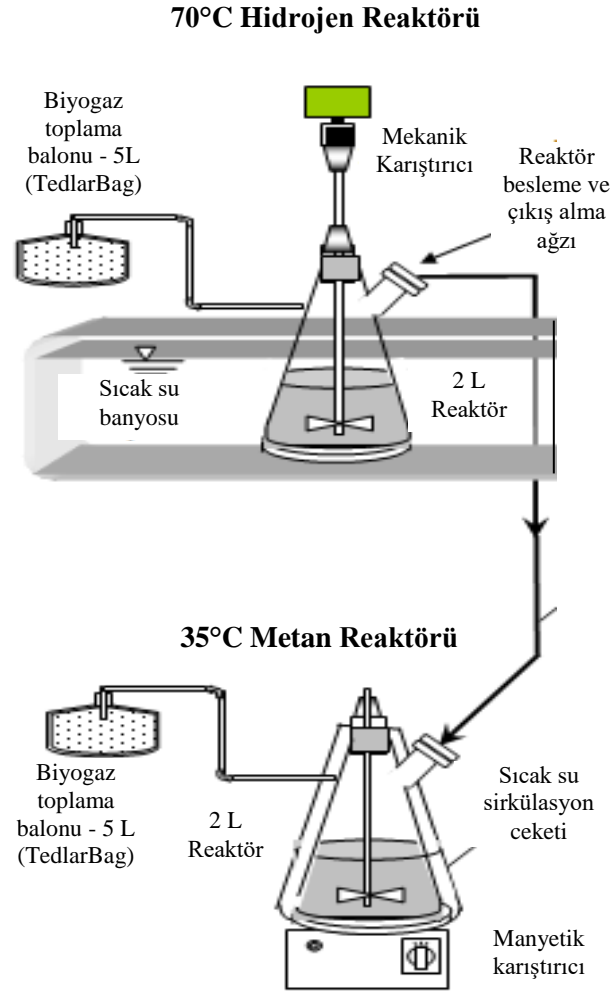
Materyal ve Yöntem

Hammaddelerden İnek Dışkısı (İD), Silivri (İstanbul) yakınlarında bulunan ve 150 büyükbaş hayvan içeren süt çiftliğinden temin edilmiştir. Ön işleme tabi tutulmadan doğrudan hammadde olarak kullanılmıştır. Yemek Atığı (YA), İstanbul Teknik Üniversitesi yemekhanesinden haftada bir toplandıktan sonra mutfak tezgah altı çöp öğütücü ile parçalanarak 3 mm açıklığa sahip bir elekten geçirildikten sonra kullanılmıştır. Her iki hammadde de kullanımdan önce +4°C'de saklanmıştır. Hammaddelerin karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Hidrojen reaktörü için aşı, daha önce 70°C'de sadece YA'dan hidrojen üretilen reaktörden temin edilmiştir. Bu reaktördeki hidrojen üretimi, %12.5 TKM'de, 65-80 L H₂/g TUKM_{eklenen} olarak gözlenmiştir. Metan reaktörü için aşı, pazar atıklarının pilot ölçekli tesiste çürütüldüğü iki aşamalı mezofilik reaktörden alınmıştır. Bu sistemdeki TUKM giderimi %40-60 gözlemlenmiş olup gaz bileşimindeki metan miktarı %50-60 olarak tespit edilmiştir.

Seri olarak çalıştırılan iki kademeli reaktörlerden birincisi hidrojen ikincisi metan üretimi için çalıştırılmıştır. Yarı kesikli olarak beslenen reaktörlere 50:50 oranında (TUKM bazında) İD ve YA karışımı çalışma boyunca beslenmiştir. Başlangıç aşısı:hammadde oranı, 1.5 g/g TUKM olarak seçilmiştir. Laboratuvar ölçekli reaktörlerin etkili hacmi 2 L olup sırasıyla hidrojen ve metan reaktörleri için sıcaklıklar 70 ve 37 °C'de sirkülasyonlu sıcak su banyosu ile sabit tutulmuştur. Reaktörler su ceketli cam şişede (Bellco, Vineland, NJ) ve 200 dev/dak'da bir manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır (Şekil 1). Başlangıçta pH, hidrojen reaktörü için NaOH ile

7'ye ayarlanmış ve geri kalan işletme boyunca herhangi bir pH ayarı yapılmamıştır. Reaktörlerde oluşan gazlar, 5 L TedlarBags (Grace, IL, ABD) içinde toplanmış ve biyogaz hacmi, ıslak gaz sayacı (Ritter, Bochum, Almanya) tarafından günlük olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan deney düzeneği

Reaktörlerin çalışma koşulları Tablo 2'de özetlenmiştir. Birinci hidrojen reaktörünün Hidrolik Bekletme Süresi (HBS) her 2 günde bir 1L çıkarıp 1 L taze karışım ile beslenerek 4 günde tutulmuştur. Hidrojen reaktöründen çıkarılan atığın 300 mL'si, ikinci metan reaktörüne beslenmiştir. Her 2 günde bir 300 mL çıkarma ve ekleme yapılarak metan reaktörün HBS'si 13.3 günde tutulmuştur. Seri iki kademeli reaktörlerin toplam HBS'si çalışma boyunca 17.3 gün olmuştur. Reaktörler 180 gün boyunca işletilmiştir.

Tablo 1. Hammaddelerin karakterizasyonu

Parametre	Birim	İnek Dışkısı	Yemek Atığı
pH	-	7.9±0.2	6.3±0.2
TKM (Toplam Katı Madde)	g/kg (a:a)	136±8	249±9
TUKM (Total Uçucu Katı Madde)	g/kg (a:a)	124±11	189±5
KOİ _{top} (Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı)	g/L	169±8	374
KOİ _{çöz} (Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı)	g/L	71±8	117

Tablo 2. Hidrojen ve metan reaktörlerinin işletme koşulları

Parametre	Birim	1.Dönem		2.Dönem		3.Dönem	
		Hidrojen	Metan	Hidrojen	Metan	Hidrojen	Metan
Sıcaklık	°C	70	37	70	37	70	37
Hidrolik Bekletme Süresi (HBS)	Gün	4	13.3	4	13.3	4	13.3
Hacimsel Yükleme Hızı (HYH)	g TUKM/L.gün	3,8	1.5	7,5	3	15	6

TKM, TUKM, pH, alkalinite, toplam ve çözünmüş KOİ, Uçucu Yağ Asitleri (UYA), biyogaz debisi ve bileşimi ölçülmüştür. Karbon ve Azot sadece hammadde için elemental analizör (Vario MAX CN) ile belirlenmiştir. Toplam Katı Madde (TKM), Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM), pH, alkalinite ve KOİ "Standard Methods" (2005)'e göre analiz edilmiştir. Çözünmüş KOİ ve UYA için alınan numuneler 9000 g'de 15 dakika süreyle santrifüje tabi tutulmuş ve oluşan supernatant, KOİ için bir Millipore PVDF filtresi (0.45 µm) ve UYA için Millipore PVDF filtresi (0.22 µm) ile süzülmüştür. KOİ numuneleri konsantre H₂SO₄, UYA örnekleri ise 10M H₃PO₄ ile korunmuştur. UYA konsantrasyonları, bir alev iyonlaştırma detektörü ve bir 30 m x 0.25 mm TRB-FFAP kapiler kolon (film kalınlığı = 0.25 µm) ile teçhiz edilmiş bir gaz kromatografi (Shimadzu GC-2010) ile belirlenmiştir. Enjeksiyon portunun ve detektörün sıcaklığı 250 °C tutulmuştur. Fırın sıcaklığı ilk 1 dakikada 60 °C'ye, ardından 60 °C ila 230 °C'ye (5 °C / dakika) ulaşmış ve 1 dakikada 230 °C'de sabitlenmiştir. Taşıyıcı gaz olarak 30 ml/dakika akış hızı ile azot kullanılmıştır. Buna ek olarak, alev için 40 ml/dakika akış hızında hidrojen gazı ve 400 ml/dakika akış hızı ile kuru hava kullanılmıştır. Biyogazların hidrojen, karbon dioksit ve metan içerikleri, iki tane termal iletkenlik detektörü olan gaz kromatografisi (Perichrom PR2100, Fransa) ile

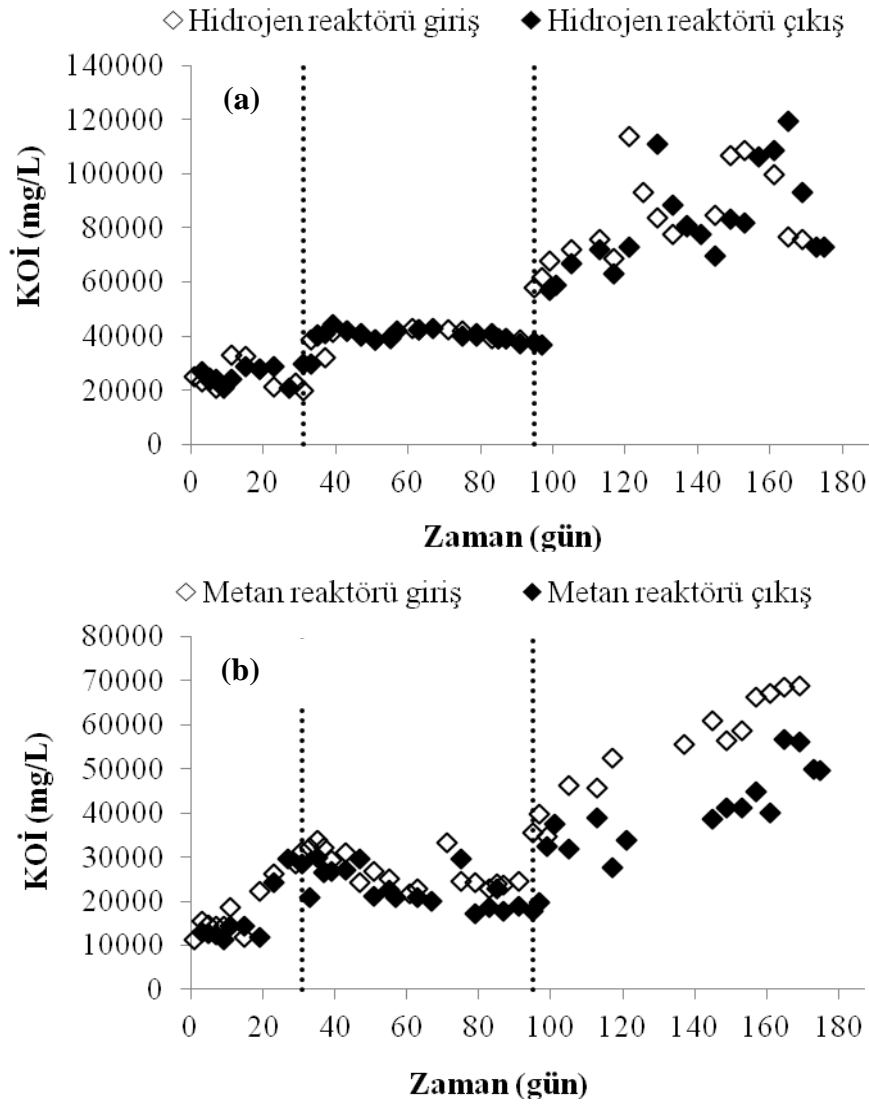
ölçülmüş olup taşıyıcı gaz olarak helyum ve azot kullanılmıştır (Kasarıcı vd., 2012).

Uygulama ve Tartışma

180 gün boyunca işletilen hidrojen ve metan reaktörleri, hacimsel yükleme hızına bağlı olarak 3 ayrı döneme ayrılmıştır. 1. Dönemde hidrojen reaktöründe toplam katı madde miktarı ortalama %2.3 olarak 32 gün boyunca işletilmiştir. 2. Dönem de ise reaktöre beslenen atık miktarı artırılarak, reaktör içi TKM miktarı ortalama %3.3'e yükseltilmiş ve 80 gün süre ile işletmeye devam edilmiştir. 3. Dönemde ise besleme miktarı TKM %6.5 olacak şekilde artırılarak 68 gün boyunca işletilmiştir (Tablo 3). Hidrojen reaktör girişinde ortalama toplam KOİ 1., 2., ve 3. Dönem beslemeleri için sırasıyla 25.05, 39.87 ve 86.11 g/L, çıkışında ise sırasıyla 25.66, 39.66 ve 81.13 g/L değerindedir (Şekil 2). Metan reaktör girişinde ortalama toplam KOİ 1., 2., ve 3. Dönem beslemeleri için sırasıyla 17.74, 27.54 ve 55.67 g/L, çıkışında ise sırasıyla 12.88, 23.21 ve 41.36 g/L değerindedir. Metan reaktöründe KOİ giderimi 1.Dönem %27, 2. Dönem %16, 3.Dönem %26 olarak gözlenmiştir. Literatürde YA ile yapılan çalışmalarda geniş bir aralıkta KOİ giderim performansı gösterirken en yüksek giderim verimi %94 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuç literatür ile karşılaştırıldığında düşük kalmaktadır (Kiran vd., 2014).

Tablo 3. Hidrojen ve metan reaktörlerinin üç ayrı dönem için çıkış akımının karakterizasyonu ve biyogaz üretim potansiyelleri

Parametre	Birim	1.Dönem		2.Dönem		3.Dönem	
		Hidrojen	Metan	Hidrojen	Metan	Hidrojen	Metan
TKM	g/L	22.55	12.22	33.40	23.00	64.48	38.79
TUKM	g/L	14.94	7.12	22.41	13.27	46.90	24.33
KOİ _{top}	g/L	25.66	12.88	39.66	23.21	81.13	41.36
KOİ _{çöz}	g/L	13.56	9.18	18.27	9.83	40.01	22.68
KOİ _{top} //TUKM	-	1.71	1.81	1.77	1.75	1.73	1.70
pH	-	6.4	7.2	6.3	7.5	6.4	7.4
Alkalinite	g CaCO ₃ /L	-	-	-	-	7.38	11.09
Hidrojen ve metan üretim Potansiyeli	L/kg TUKM	9.6	179.2	41.8	233.7	56.5	199.9
Biyogazın hidrojen ve metan içeriği	%	4.6	60.1	9.7	61.4	28.5	66.2
Hidrojen ve metan üretim hızı	g TUKM/L.gün	2.4	13.5	10.5	17.6	14.1	15.0



Şekil 2. Hidrojen (a) ve metan (b) reaktörlerinde üç dönem boyunca gözlenen KOİ değişim grafiği

Hidrojen reaktör girişinde ortalama çözünmüş KOİ 1., 2., ve 3. Dönem beslemeler için sırasıyla 12.93, 18.16 ve 39.44 g/L, çıkışında ise sırasıyla 13.56, 18.27 ve 40.01 g/L değerindedir. Metan reaktör girişinde ortalama çözünmüş KOİ 1., 2., ve 3. Dönem beslemeler için sırasıyla 9.24, 14.60 ve 33.60 g/L, çıkışında ise sırasıyla 9.18, 9.83 ve 22.68 g/L değerindedir. Hidrojen reaktöründeki pH ayarlamasında yaşanan problemlerden dolayı 43 ve 90. günler arasında çözünmüş KOİ değerlerinde yüksek salınımlar gözlenmiştir. pH'nın azalması ile çözünmüş KOİ değerinde çıkış numunelerinde, giriş numunelerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. 90. günden sonra pH değişimi sabitlenerek daha stabil KOİ değerleri elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ Hidrojen reaktöründe hidrolize bağlı olarak 1.Dönem %8, 2. Dönem %1, 3.Dönem %2 artış göstermiştir. Metan reaktöründe anaerobik biyobozunma ile çözünmüş KOİ değerleri 1.Dönem %1, 2. Dönem %33, 3. Dönem de yine %33 oranında azalmıştır.

Hidrojen reaktör girişinde ortalama pH, 1., 2. ve 3. Dönem beslemelerin hepsinde 7.4 iken çıkışında ise sırasıyla 6.5, 6.3 ve 6.4 değerine düşmüştür. Metan reaktör girişinde ortalama pH 1., 2. ve 3. Dönem beslemeler için sırasıyla 7.4, 7.5 ve 7.4, çıkışında ise sırasıyla 7.1, 7.5 ve 7.4 değerindedir. Hidrojen reaktöründe gözlenen düşük pH seviyesinin nedeni, fermentasyon ile organik asit seviyesinin artmasıdır.

Hidrojen reaktöründe ortalama Alkalinite 3. Dönem besleme için 7384 mg CaCO₃/L değerindedir. Metan reaktöründe ortalama alkalinite aynı dönem için 11094 mg CaCO₃/L değerindedir. Metan oluşumunu sağlayan bakteriler uçucu asitleri tüketirken aynı zamanda alkalinite üretmektedir. Bu nedenle metan reaktöründe alkalinite değeri daha yüksektir. Yüksek alkalinite tamponlanma kapasitesinin yüksekliğini göstermekte olup buna bağlı olarak pH ayarlaması yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Yemek atığı içerisinde yer alan kolay biyolojik olarak bozulan organik maddelerin ayrışmasından sonra açığa çıkan amonyum gibi tamponlama kapasitesi yüksek

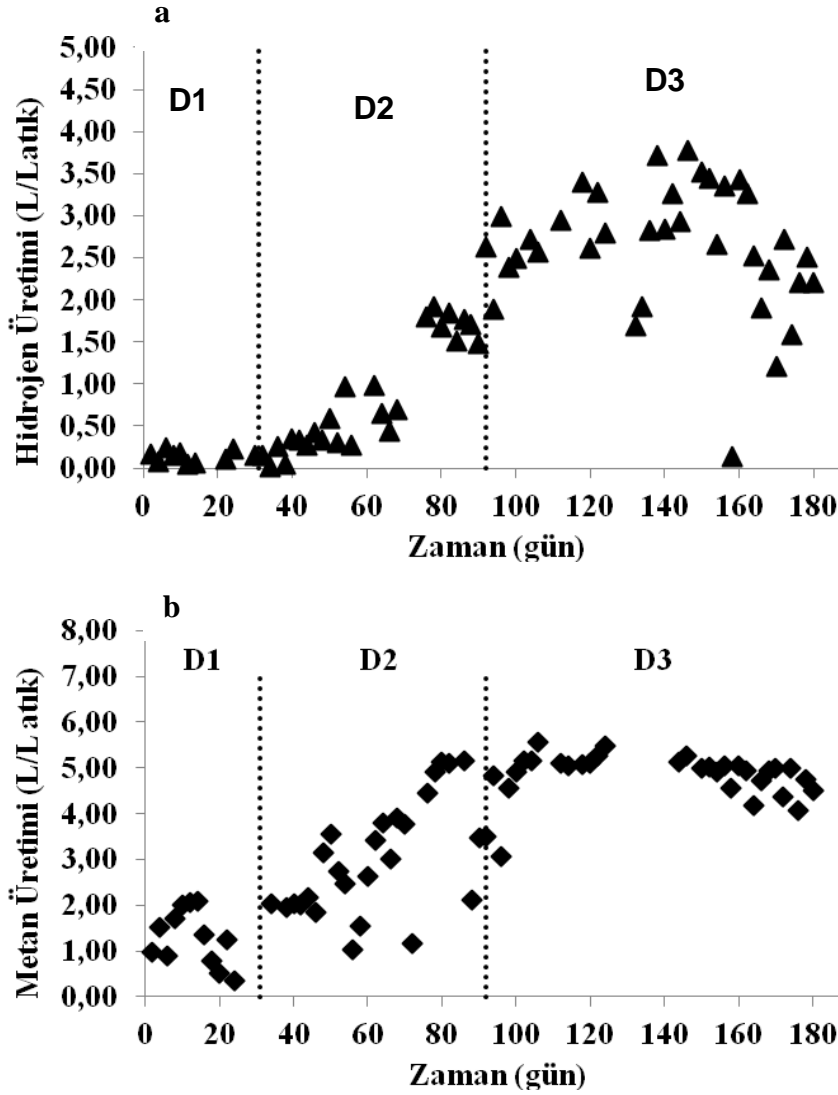
iyonların çözünmesi ile alkalinite miktarı artmaktadır. Buna karşılık hayvan atığı içeriğinde bulunan yavaş ayrışan maddeler ile birleşerek atık karışımının dengelenmesini sağlamaktadır.

pH, metabolizmadaki hidrojenaz aktivitesini etkilediği için hidrojen üretimini etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle pH'ın düşük olması, hidrojen üretiminde artışa neden olmaktadır. Ara ürünler olarak bilinen asetat, bütirat, etanol, propiyonat gibi maddeler, hidrojen üretim verimi ve sürekliliği bakımından önemli göstergelerdir. Kaynağında ayrılmış kentsel organik atık ve sentetik ile yapılan çalışmalar da pH 5'te hidrojen ve asetat üretiminin yüksek olduğu gözlenmiştir (Lay vd., 1999; Hwang vd., 2004). Genel yargı olan düşük pH'da hidrojen üretimine karşın nötr pH (7-7.5)'da da oldukça yüksek oranda hidrojen üretmek mümkündür (Liu vd., 2008). Bu çalışma da bu nedenle nötr pH değerinde çalışılmıştır.

Hidrojen ve metan reaktörlerinde üç dönem boyunca gözlenen biyogaz üretim değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Hidrojen ve metan reaktörlerinde ortalama gaz üretimleri sırasıyla 1.65 ve 3.55 L/gün olarak gözlenmiştir. Reaktörlerde üretilen gaz miktarları dikkate alındığında hidrojen reaktörünün gaz üretim veriminin daha az olduğu gözlenmiştir. Hidrojen reaktöründen 40.güne kadar istenilen verim alınamamıştır. Bunun nedeni aşı kalitesinin veya yükleme hızının düşüklüğü olabilir. 2. Dönemde yeni aşı ve maya özütü eklemeleri ile birlikte yükleme hızının da artması ile birlikte gaz üretimi artmıştır. Metan reaktörünün gaz üretimi bu dönemden sonra genel olarak düzenli olarak bir artış gözlenmiştir. 120. Günden itibaren reaktör beslemesinde düzensizlikler yaşandığından, reaktörde üretilen gaz miktarının salınım gösterdiği, 15-20 günlük zaman dilimi içerisinde bu durumun düzelmesi ile üretilen gaz miktarı eski haline gelmiştir. Bu durum iki kademeli sistemin organik yüklemedeki salınımlara karşı da daha iyi dengeleme ve koruma sağladığının da bir göstergesidir.

En yüksek hidrojen üretim verimi 3.Dönemde 56.5 L/kg TUKM ile gözlenirken en yüksek metan üretimi 2.Dönemde 233.7 L/kg TUKM olarak gözlenmiştir. İD'nin biyogaz üretim verimini artırmak için yapılan çalışmada, karışımda inek gübresi % 55 (kuru ağırlığa göre) tutularak metan verimi 133 (sadece inek gübresi) L/kg TUKM'den 220 (kolay ayrışabilir organik madde ile birlikte) L/kg TUKM'ye kadar arttığı bulunmuştur (Ashekuzzaman ve Poulsen, 2011). Literatürdeki bu çalışmada elde edilen biyogaz değeri bu çalışmada elde edilen değerden daha düşük olmakla birlikte bu çalışmada ayrıca hidrojen geri kazanımı söz konusudur.

Lee vd., (2014), sadece YA'nın iki kademeli termofilik çürütücü kullanarak yaptığı çalışmada (TKM: %10, TUKM:%9.5) en yüksek hidrojen ve metan üretimleri sırasıyla 114 L/g TUKM ve 450.6 L/kg TUKM elde edilmiştir. Liu ve diğerleri (2006)'nin organik evsel katı atıkların iki kademeli çürütülmesi çalışmasında (TKM:3.5, TUKM: % 2.6) en yüksek hidrojen ve metan üretimleri sırasıyla 43 ve 500 L/kg TUKM gözlenmiştir. Kim ve diğerleri (2003) YA (TUKM: %4, TUKM: %3.8)'nin iki kademeli çürütüldüğü çalışmada hidrojen ve metan üretimini sırasıyla 66 ve 364 L/kg TUKM elde etmiştir. Literatürde gözlenen bu değerler bu çalışmada gözlenen biyogaz üretim potansiyellerinden daha yüksektir.



Şekil 3.Hidrojen (a) ve metan (b) reaktörlerinde üç dönem boyunca gözlenen biyogaz üretim değerleri

Sonuç

Yapılan bu çalışma İD ve YA'nın birlikte ardışık hidrojen ve metan üretiminde kullanılmasının verimli olduğunu göstermiştir. Farklı karakterizasyona sahip İD ve YA'nın birlikte çürütülmesi ile YA'nın tek başına çürütülmesinde gözlenebilecek UYA birikimi önlenmiştir. Birlikte çürütme ile organik yüklemdeki değişkenliklere karşı daha iyi dengeleme ve koruma sağlanmıştır. Bu üstünlükler ile hidrojen ve metan reaktörlerinde gözlenen en yüksek biyogaz üretim değerleri 3. dönemde elde edilmiştir. Bu değerler, literatürle karşılaştırıldığında makul düzeyde olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada önerilen sistem ile yüksek oranda metan üretiminin yanında günümüzde temiz enerji kaynaklarından biri olarak giderek önem kazanan hidrojenin de verimli bir şekilde üretilebileceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Onur Kasarcı'nın yüksek lisans tezi kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu (ITU-BAP), Proje No: 34445 tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Altınbas M., Balaban U., Ericyel K., Gulay A., Dereli R.K., Ersahin M.E., Arikani O., Aydın A.F. and Ozturk I. (2008). Pilot-scale experiments on two-stage mesophilic anaerobic digestion of food waste, CEOBIO Bioenergy: Challenges and Opportunities, International Conference and Exhibition on Bioenergy, 6th/9th April, Universidade do Minho, Guimaraes, Portugal.

Ashekuzzaman, S.M., Poulsen, T.G. (2011). Optimizing feed composition for improved methane yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures, *Bioresource Technology*, 102, 2213–2218.

Edelmann W., Engeli H. and Gradenecker M. (2000). Co-digestion of organic waste and sludge from sewage treatment, *Water Science and Technology*, 41(3), 213-221.

Han, S.K., Shin, H.S. (2004). Performance of an innovative two-stage process converting food waste to hydrogen and methane, *Journal of Air & Waste Management Association*, 54, 242-249.

Hartmann H., Angelidaki I. and Ahring B.K. (2003). Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types, In *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, Mata Alvarez J. (Ed), IWA Publishing, Cornwall, UK, pp. 181-199.

Hwang, M. H., Jang, N. J., Hyun, S. H. and Kim, I. S. 2004. Anaerobic biohydrogen from ethanol fermentation: the role of pH, *Biotechnology*, 111, 297-309.

Kasarcı, A.O. (2012). Yemekhane ve hayvan atıklarından biyoenerji geri kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kim H.W., Han S.K. and Shin H.S. (2003). The optimization of food waste addition as a co-substrate in anaerobic digestion of sewage sludge, *Waste Management and Research*, 21, 515-526.

Kim H.W., Han S.K. and Shin H.S. (2004). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste using temperature-phased anaerobic digestion process, *Water Science and Technology*, 50(9), 107-114.

Lay J.J., Lee Y. J., Noike T. 1999. Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste, *Water Research*, 33, 2579–86.

Lee J.P.; Lee J.S. and Park S.C. (1999) Two-phase methanization of food wastes in pilot scale, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 79(1-3), 585.

Lee, W.S., Chua, A.S.M., Yeoh, H.K., Ngoh, G.C: (2014). A review of the population and applications of waste-derived volatile fatty acids, *Chemical Engineering Journal*, 235, 83-99.

Liu, D., Liu, D., Zeng, R.J., Angelidaki, I., 2006. Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process. *Water Research*, 40, 2230–2236.

- Liu, D., Zeng, R.J., Angelidaki, I., (2008). Effects of pH and hydraulic retention time on hydrogen production versus methanogenesis during anaerobic fermentation of organic household solid waste under extreme-thermophilic temperature (70°C). *Biotechnology and Bioengineering* 100, 1108-1114.
- Traverso P.; Pavan P.; Bolzonella D.; Innocenti L.; Cecchi F. and Mata-Alvarez J. (2000). Acidogenic fermentation of source separated mixtures of vegetables and fruits wasted from supermarkets, *Biodegradation*, 11(6), 407.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J. Holliman, D.L. Jones, H. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresource Technology*, 99, 7928-7940.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85 (4), 849-860.

Bioenergy production from food waste and dairy manure by two phase anaerobic codigestion

Extended abstract

In this study, bioenergy production performance was investigated in a two stage anaerobic system to provide methane and hydrogen production from the mixture of Cow Manure (ID) and Food Waste (YA). The negative features of the substrates were balanced in the mixture and made positive in terms of bioavailability. For this purpose, two series reactors were operated at three different total solid concentrations (2.3, 3.3 and 6.5) with semi-continuous feeding regime. The temperatures of the reactors were kept constant at 70°C and 35°C, sequentially. In the first and second stages of the system, hydrogen and methane productions were observed, respectively.

It was observed that the influent and effluent COD values were close to each other due to the fermentation reactions observed in the hydrogen reactor. Simultaneously with the increase in the volumetric loading rate in the methane reactor, the COD removal efficiency also increased. Especially in the third period, the increase in the efficiency of COD removal is also a result of high level adaptation in the microbial population. Significant COD removal was observed in the methane reactor. Since the COD removal was only 10% in the first period, then it increased to 31% for the second and third period.

Extreme temperatures are advantageous for increasing hydrogen production in many aspects. Firstly, hydrogen consumers can be eliminated with higher temperatures. Secondly, the partial pressure of hydrogen decreases with the decrease in the water solubility of hydrogen at high temperature. Therefore, the inhibition that can result from the presence of high concentrations of hydrogen will be prevented. This allows the hydrogen to accumulate at high ratios in the gas phase. In addition, pasteurization at high temperature provides efficient removal of pathogenic microorganisms. Finally, the high temperature makes the thermodynamic conditions more favorable, then proceeds advantageously. For these reasons, it is very advantageous to produce hydrogen at high temperature.

pH is an important factor effecting hydrogen production as it affects hydrogenase activity in the pathway of metabolism. Generally, low pH causes an increase in hydrogen production. Acids such as acetate, butyrate, ethanol, propionate, hydrogen, which are known as intermediates, are important indicators for production yield and continuity. However, it is possible to produce hydrogen at a very high level at neutral pH (7-7.5) despite the general judgment of hydrogen production at low pH. For this reason, this work was carried out at neutral pH.

The highest hydrogen production yield was observed as 56.5 L / kg total volatile solids at a concentration of 6.5% total solids, while the highest methane production was observed at 233.7 L / kg total volatile solids at a concentration of 3.3% total solids. In spite of the moderate biogas production values compared to the literature, this study shows the efficiency of ID and YA together in successive hydrogen and methane production. The co-digestion of ID and YA with different characterizations has prevented the accumulation of volatile fatty acids that can be observed in the digestion of YA alone. It also provides better balancing and protection against fluctuations in the organic loads.

Keywords: Anaerobic digestion, Biogas, Dairy manure, Food waste, Hydrogen, Methane