

ACTA BIOLOGICA TURCICA

© 1950-1978 Biologi, Türk Biologi Dergisi, Türk Biyoloji Dergisi, Acta Biologica
E-ISSN: 2458-7893, <http://www.actabiologicturcica.com>

Research article

Biogas production from potato peel

Nurhayat KAYA^{1,*}, Melayib BİLGİN²

Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

*Corresponding author e-mail: nurhaytkaya@gmail.com

Abstract: Energy production, conversion and consumption are one of the important factors in community life. With increasing population, searching of alternative energy sources has begun because of fossil sources scarcity and environmental effects of them. From this point of view, energy sources, which is continuous, renewable, and ecofriendly have gained importance. Biogas is produced by anaerobic digestion or fermentation of biodegradable materials and it is a clean and high value energy source according to other energy types. The aim of this study is to determine the effects of biochemical methane potential (BMP) of potato peel waste. According to the results of the BMP tests carried out for 40 days as a result of the addition of mineral medium, carbonate and graft mud, gas formation was observed in a shorter time in the samples to which the graft mud was added. It has been determined that the potato skins can contribute to the biogas production potential if appropriate anaerobic conditions are provided.

Keywords: Biochemical Methane Potential, Anaerobic Digestion Activated Sludge Waste, Potato Shell.

Citing: Kaya, N., & Bilgin, M. (2022). Biogas production from potato peel. *Acta Biologica Turcica*, 35(1), 49-56.

Patates kabuğundan biyogaz eldesi

Özet: Enerji üretimi, dönüşümü ve tüketimi, toplum yaşamı için her zaman önemli olmuştur. Artan nüfusla birlikte fosil kökenli yakıtlarının sınırlı olması ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle yeni enerji kaynakları için arayış başlamıştır. Bu açıdan, sürekli, yenilenebilir ve çevreye zararsız enerji kaynakları önem kazanmıştır. Biyogaz, anaerobik sindirim ya da biyolojik maddelerin fermantasyonu ile elde edilmekte olup diğer enerji kaynaklarına göre temiz ve enerji değeri yüksek bir kaynaktır. Bu çalışmanın amacı patates kabuğu atıklarının biyokimyasal metan potansiyelinin (BMP) etkilerinin belirlenmesidir. Mineral ortam, karbonat ve aşı çamuru ilaveleri sonucu 40 gün boyunca gerçekleştirilen BMP deneyleri sonucuna göre aşı çamurunun ilave edildiği örneklerde daha kısa sürede gaz oluşumu gözlenmiştir. Uygun anaerobik şartların sağlanması durumunda patates kabuğundan biyogaz üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyokimyasal Metan Potansiyeli, Anaerobik Çürüme, Arıtma Çamurları, Patates Kabuğu.

Giriş

Günümüz toplumunda insan nüfusundaki artışı yanı sıra tüketim miktarının artmasının sonucu olarak atık miktarında da büyük bir artış söz konusudur. Bu nedenle de gelişmiş ülkelerde atık bertarafı için “Katı Atık Yönetimi” kavramı esas alınmıştır (McCarthy, 1982).

Ülkemizdeki organik atıklar toplam atıkların %65’ini oluşturmaktadır. Bu atıklar genellikle denetim

yapılmaksızın çevreye bırakılarak çürümeye terk edilmektedir. Çevre kirliliğine sebep olan bu atıkların tekrar işlenmesi hem çevre kirliliği açısından hem de enerji üretilmesi bakımından etkin bir rol oynamaktadır (Şenol ve ark., 2017). Farklı organik atıklardan farklı kombinasyonlarla yapılan deneylerden elde edilen biyogaz metan potansiyeli ölçümleri hakkında birçok

çalışma yapılmıştır (Anonim, 2001; Halisdemir, 2009; Varinli, 2010; Tulun, 2018; Yavrucu, 2019).

Halisdemir (2009) büyük miktarlarda üretilen ve değerlendirilmeyen arıtma çamuru ve portakal posası değerlendirildiğinde metan gazı üretimi yapıldığını ve en yüksek verimin de bazik ön işlem uygulamasıyla gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir.

Varinli (2010) elma posası atıklarının termal ön arıtım sonrası metan içeriğinin yaklaşık %50 civarında olduğunu ve diğer meyve endüstrisi atıklarının da bu açıdan değerlendirilmesinin göz ardı edilmez bir değer olduğunu belirtmiştir. Koçer (2017) alglerin laboratuvar ölçekli biyogaz üretiminde elde edilen biyogazın metan içeriğini %45,6 olarak hesaplamış ve algal biyokütlenin biyogaz üretimi için hammadde kaynağı olarak önerilebileceğini vurgulamıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2019 yılı verilerine göre Türkiye’de toplam 4.979.824 ton patates üretimi gerçekleştirmiş olup üretim miktarı ekim alanı, fiyatlarda yaşanan dalgalanmalar, iklim koşulları vb. gibi nedenlerden dolayı üretim miktarı yıldan yıla değişiklik göstermektedir. Aksaray ili 239.650 tonluk üretim miktarıyla en fazla patates üreten 8. ili durumundadır (Yegül, 2020). Patatesin üretiminin yüksek olmasının yanı sıra tüketim miktarı da fazladır. Bu nedenle organik atıklar içerisinde patates kabuğu da önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada patates kabuğunun karakterizasyonu belirlendikten sonra farklı ortam şartlarında BMP etkileri incelenmiş ve biyogaz potansiyeli tartışılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan patates kabuğu, Aksaray ilinde kurulan halk pazarında oluşan atık patateslerden elde edilmiştir. Patatesten ayrılan kabuklar çalışmaların yapılacağı Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölüm laboratuvarına getirilmiştir. Patates kabuklarının kuruması için 3 gün boyunca 75 °C’de etüvde (Mommert, UNB-400) kurutulmuştur. Kurutulan patates kabukları öğütücü yardımıyla (Arnica, GH21520) toz haline getirilerek 0.02 milimetrelik elekten geçirildi ve gerekli deneylerde kullanılması için saklama kabında muhafaza edilerek buzdolabında saklanmıştır. Anaerobik çürütme işleminde örneklerin üzerine, Yapılcanlar Biyogaz Üretim Tesisindeki anaerobik çürütücüsünün tabanından alınan, belirlenen miktarda aşı çamuru olarak ilave edilmiştir.

Çalışmada dört farklı kombinasyon için aşağıdaki analizler yapılmıştır. Bunlar; 1) Patates, 2) Patates+Aşı, 3) Patates+HCO₃ ve 4) Patates+HCO₃+Aşı.

Nem tayini

Homojen karışım haline getirilen 25 g ham numune tartılarak (Presisa, XB 220A) darası belirlenmiş (A g) saat camlarına alınarak 103°C’de 2,5 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Daha sonra etüvden çıkarılan örnekler desikatörde 45 dakika bekletildikten sonra tartılmış (B g) ve nem miktarı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (ASTM D 3173).

$$\%Nem = 100 - [(B - A) * 4]$$

Çamur hacim indeksi (ÇHI) tayini

Aşı çamurunun karakterizasyonu belirlemek için çamurun AKM miktarı belirlenmiştir. Örnekler iyice karıştırılarak 1000 mL hacimli imhof hunisine konulmuştur. 30 dakika çökme süresi sonunda ıslak hacmi tespit edilmiş ve AKM değerine bölünerek ÇHI belirlenmiştir (Han ve ark., 2017).

Organik madde tayini

Darası alınmış porselen krozelere 2 g numune alınmış 550°C’de 1 saat kül fırınında (Protherm, 100/3) yakılmış çıkartıldıktan sonra desikatörde 45 dakika bekletilerek tartılmıştır (B g). Organik madde miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (ASTM D 1102).

$$\%Organik\ madde\ tayini = 100 - [(B - A) * 50]$$

pH tayini

Kurutulmuş ham numunelerden 10 g alınarak 160 mL saf suda 24 saat karıştırıldıktan sonra pH değeri belirlenmiştir (Hach, HQ440d Multi).

Askıda katı madde (AKM) tayini

Askıda katı madde miktarının belirlenmesi için 1000 mL su filtre edildikten sonra filtre kağıdı tartıldıktan (B g) sonra 103°C’de kurutularak tartılmıştır (A g) (SM 2540 D).

$$Askıda\ Katı\ Madde\ (mgL) = (A - B) * 1000\ ml$$

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), kapalı reflux-titrimetrik yöntemiyle tespit edilmiştir. Ön arıtım uygulanan ve ön arıtım uygulanmayan örneklerin üst sıvılarından 2,5 ml alınarak üzerine 1,5 mL parçalama çözültisi ve 3,5 mL H₂SO₄ ilave edilmiş ve 148°C’de 2 saat temoreaktörde (WTW, CR 4200) bekletilmiştir. Oda sıcaklığına geldikten sonra ferroin indikatörü kullanılarak demir

amonyum sülfat (DAS) ile titrasyon yapılarak harcanan miktardan KOİ değerleri hesaplanmıştır. DAS molaritesinde değişimler oluşması nedeniyle DAS'ın normalitesi 10 mL saf suyun üzerine 5 mL parçalama çözültisi konularak seyreltilmiş ferroin indikatörü yardımıyla sarf edilen DAS miktarından molaritesi hesaplanmıştır (SM 5220 C). Aynı işlemler üst sıvı süzülerek gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda çözünmüş KOİ değerleri belirlenmiştir.

Anyon tayini

Anyonlar iyon kromatografi (IC, Dionex) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Numunelerin üst sıvıları alınarak 0,45 µm filtre kullanılarak süzölmüş eluent akışı içine enjekte edilerek iyon değiştirme serilerinin içinden geçirilmiştir. Güçlü bazik anyon değiştirici, düşük kapasitesi için bağlı eğilimleri temeline dayanarak ilgilenilen anyonlar ayrılmıştır (gard ve analitik kolonlar). Alıkonma süreleri standartlar ile karşılaştırılmış ve pik yükseklikleri ile pik alanlarından konsantrasyonları hesaplanmıştır (SM 4110 B).

Toplam organik karbon (TOC) tayini

Toplam organik karbon (TOC) kızılötesi ışınlar yardımıyla (Shimadzu, TOC-VCPN/TNM-1) ölçülmüştür (SM 5310 B).

Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) analizi

Tablo. Dört farklı kombinasyon için anyon, KOİ ve TOC analiz sonuçları (1- Patates, 2- Patates+Aşısı, 3- Patates+HCO₃, 4- Patates+HCO₃+Aşısı)

Anyon	1	2	3	4
Florür (mg/L)	61,16	538,4	213,88	619,53
Klorür (mg/L)	191,18	1074,17	249,15	110,78
Bromat (mg/L)	0,4093	-	1036,64	-
Bromür (mg/L)	-	1,183	10,35	2,0019
Nitrat (mg/L)	14,06	52,747	12,09	51,18
Nitrit (mg/L)	-	98,29	-	109,1
Fosfat (mg/L)	568,03	1290,57	773,39	1262,21
Sülfat (mg/L)	1,631	0,73	1,71	0,724
Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)	15385	13600	13692	14154
Toplam organik karbon (mg/L)	9,929	29,08	10,31	31,15

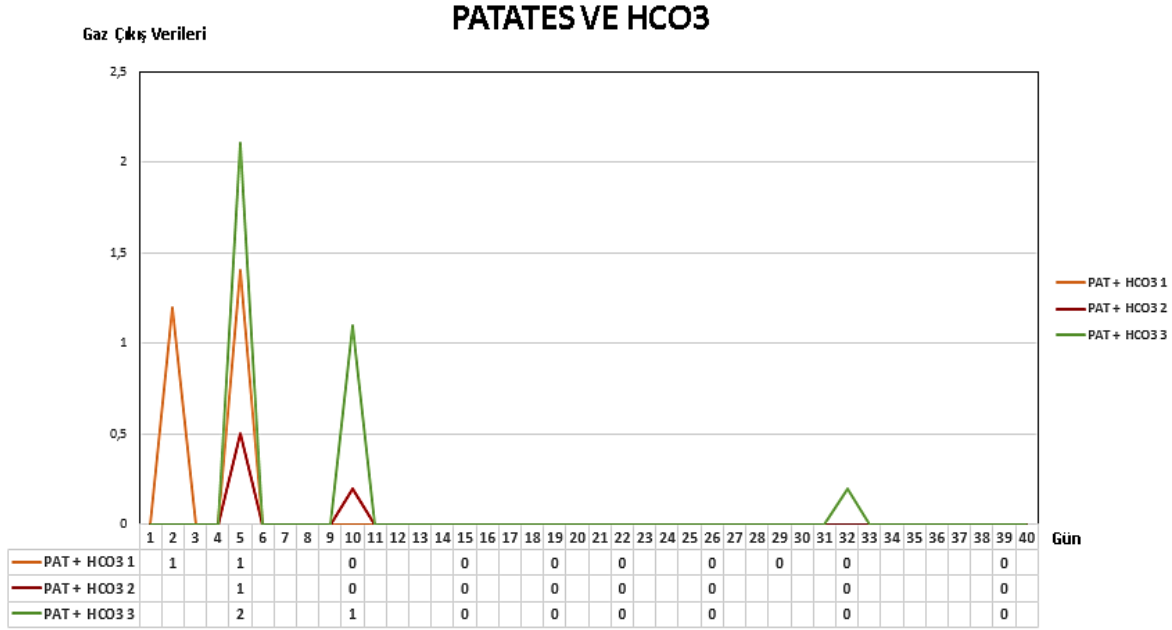
Hazırlanan numunelerden 5'er günlük aralıklarla 40 gün boyunca 3 tekerrürlü olarak sıvı yer değiştirme metodu ile BMP değerleri belirlenmiştir. Sadece patates kabuğu kullanılarak üç tekrarlı olarak (PAT1, 2, 3) yapılan BMP analizi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Substratlar arasında hangi tür substratın metan oluşturma potansiyelinin uygun olduğu biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) kullanılır (Elbeshbishy ve ark., 2012). Farklı kombinasyonlarla hazırlanan numunelere 4000 mgCaCO₃/l alkalinite konsantrasyonunun sağlanması amacıyla sodyum bikarbonat (NaHCO₃) ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan şişelerin her biri 2 dakika boyunca şişedeki oksijenin çıkışı sağlanacak şekilde azot gazını şişenin içerisine verilmiştir. 3 saatte bir havası alınan şişeler 36-37 °C'de bir gün süreyle inkübe (Zhicheng, ZHWY-221D) edilerek sıvı yer değiştirme yöntemiyle 40 gün boyunca BMP değerleri ölçülmüştür (Kim ve ark., 2006).

Bulgular ve Tartışma

Çalışma süresince yapılan deneysel çalışma sonucunda patates kabuğu atıklarının biyogaz üretim potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda patates kabuğunun organik madde miktarı %15,25, Askıda Katı Madde miktarı 21050 mg/L, pH 6,38 ve Çamur hacim indeksi ise 37,28 mL/g olarak ölçülmüştür. Anyon tayini, KOİ ve TOC sonuçları ise dört farklı kombinasyon için Tabloda verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere dört farklı kombinasyonun anyon değerlerinde büyük farklılıklar söz konusudur.

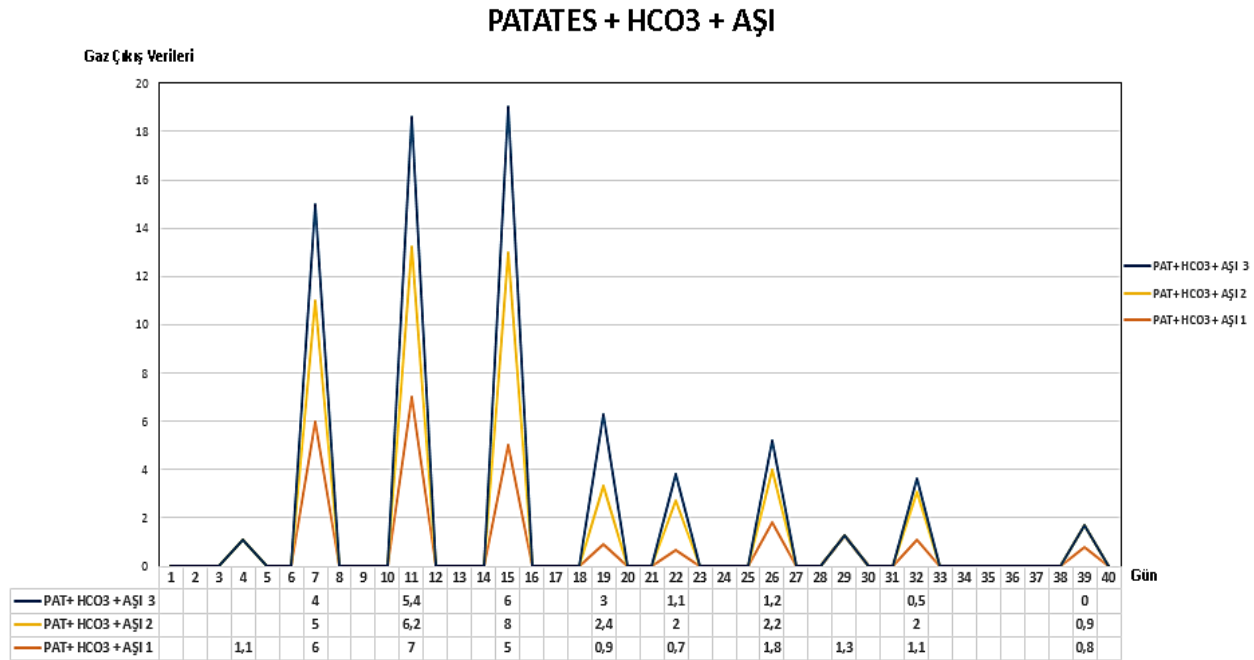
Buna göre BMP değerlerinin 5'er günlük ölçüm sonuçlarına göre zamana bağlı olarak anlamlı bir ilişki olmadığı görülmektedir. Tekerrürlere bakıldığında ise tüm tekerrürlerin birbirleri ile uyumlu bir eğilim izlediği görülmektedir



Şekil 3. Patates, mineral ortam, su ve HCO₃ numunesinin BMP tayini.

Dördüncü kombinasyon olarak ise patates kabuğu aşı çamuru ve HCO₃ ile muameleye tabi tutulmuştur. Bunun sonucu olarak ilk günlerde yüksek olan BMP değerinin daha sonra büyük bir düşüş sergilediği görülmektedir

(Şekil 4). Şekilden de görüleceği üzere daima 1. Tekerrürün en yüksek BMP değerine sahip olduğunu bunu 2. ve 3. tekerrürlerin izlediği belirlenmiştir.

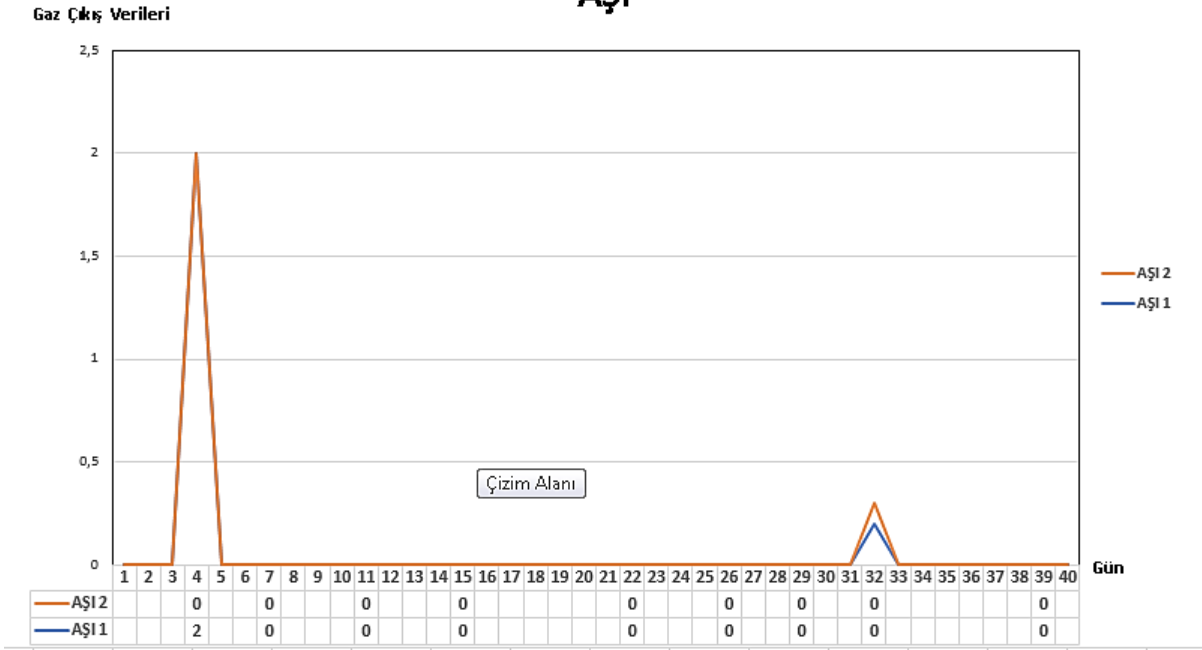


Şekil 4. Patates, mineral ortam, su, HCO₃ ve aşı çamuru numunesinin BMP tayini.

Aşı çamurunun tek başına olduğundaki BMP analizi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Sadece aşı çamurunun ilk günlerde BMP değeri 2 düzeyinde iken daha sonra

ölçülebilir değer altına yada sıfır (0) düzeyinde olduğu sadece 30. Gün civarında 0.2 civarında bir değerin ölçüldüğü görülmüştür.

AŞI



Şekil 5. Aşı çamuru numunesinin BMP tayini.

Tüm kombinasyonlar dikkate alındığında (Şekil 1-4) en yüksek BMP değerinin 2. kombinasyonda (Patates+Aşı) gerçekleştiğini bunu 4. kombinasyonun (Patates+HCO₃+Aşı) izlediğini bunu 1. ve 3. kombinasyonların izlediği görülmektedir.

Deney çalışması için hazırlanan üç tekrarlı numunelerden (Şekil 1) sadece patates kabuğu bulunan şişelerden, sadece pat3 numaralı ham numunesi diğer ham numunelere göre BMP değerinde bir farklılık göstermiştir.

Deney çalışması için hazırlanan (Şekil 3) üç tekrarlı numunelerden (PAT+HCO₃, PAT+HCO₃ ve PAT+HCO₃) anaerobik aşı çamuru ilave yapılmayan numune şişelerinden eser miktarda gözlenmiştir ya da hiç metan oluşumu gözlenmemiştir. Bunun nedeni anaerobik şartların henüz oluşmamış olması özellikle metan bakterilerinin gelişme göstermemiş olmasına bağlanmıştır.

Deney çalışmada elde edilen verilere göre sadece patates ve aşı ilavesi olan üç tekrarlı numunelerin (Şekil 2) ilkinin (Pat+Aşı1), BMP değerine bakıldığında 5. günde (Kümülatif mL CH₄=31), 10 günde (Kümülatif mL CH₄=26), 15 günde (Kümülatif mL CH₄=22), 20 günde (Kümülatif mL CH₄=12) ve 25 günde (Kümülatif mL CH₄=6) yapılan ölçümlerinin sonucunda ham patatesin sadece aşı ile birleştiği ortamda alınan BMP değerinin sadece ham patatese göre yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Elde edilen bu sonuçlar aşı çamurunun anaerobik şartların oluşmasındaki önemini göstermektedir.

Patates kabukları için bütün anaerobik koşulların sağlandığı üç tekrarlı numunelerden (Şekil 5) ilki (Pat+HCO₃+Aşı1), 11. günün sonunda yapılan ölçüm sonucunda (Kümülatif mL CH₄=7) alınan metan üretimi diğer günlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlara bakıldığında patates kabuğunun 6. günden itibaren yüksek miktarlarda metan oluşturmaya başladığı belirlenmiştir. HCO₃ tamponlama etkisi sonucunda metan üretimi artmıştır.

Anaerobik aşı çamurunun ilave edilen (Şekil 4) şişelerde (Pat+HCO₃+Aşı1, Pat+HCO₃+Aşı2 ve Pat+HCO₃+Aşı3) aşı ilavesi bulunmayan (Şekil 3) şişelere (Pat+HCO₃1, Pat+HCO₃2 ve Pat+HCO₃3) göre daha fazla metan oluşum gözlenmiştir. Buradaki sonuçlara bakıldığında aşı çamurunun eklendiği numune şişelerine, aşı çamurunun biyogaz oluşum potansiyelinde olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilir.

Sadece aşı eklenen (Şekil 5) üç tekrarlı ham numunelerin (Pat+Aşı1, Pat+ Aşı2 ve Pat+Aşı3) ölçümünde alınan BMP değeri, patates kabukları için bütün anaerobik koşulların sağlandığı üç tekrarlı numune şişelerine (Pat+HCO₃+Aşı1, Pat+HCO₃+Aşı2 ve Pat+HCO₃+Aşı3) göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Sebze ve meyve atıklarının yüksek düzeyde olduğu ülkemizde biyogaz tesislerin kurulması ile önemli miktarda enerji kazanımı söz konusu olabilecektir.

Kalaycıoğlu ve Ergüder (2019) ham bahçe atıklarının biyokimyasal metan potansiyelini (BMP) ve ön işlemin BMP etkisi incelemiştir. Seçilen üç farklı ön işlem

yöntemi (alkali, termal ve ultrason) ve farklı başlangıç katı madde miktarlarından (%2, %5 ve %8) en yüksek metan verimi eldesi sağlayan koşullar araştırılmıştır. 60 günlük inkübasyon sonucunda, ham bahçe atığının BMP değerinin 73-267 mL CH₄/g TUKM arasında değiştiği gözlenmiştir bunun yanı sıra uygulanan ön işlemler arasında en yüksek metan verimi (%5 katı madde de 313 mL CH₄/g TUKM) alkali ön işlem ile elde edilmiştir. Bu gözlemlere dayanarak ham madde miktarının artırılması ve ham numuneye uygulanacak ön işlemlerin metan oluşumuna katkı sağlayabileceğini söyleyebilmek mümkündür.

Benzer şekilde Tulun (2018) elma posasının BMP değerlerinin en yüksek olduğu şartları 60°C 45 dakika olarak tespit etmiş ve bu şartlarda kümülatif BMP 261 mL CH₄/gUKM olarak bildirmiştir. Bu artış ham elma posası ile birlikte aşı çamuru kullanarak yapılan BMP değerlerine göre %53,01 daha fazla bulunmuştur. Patates kabuğunun BMP değerinin elma posasına göre daha düşük olduğu görülmüş olup bunun nedeninin kimyasal içeriğinin farklılığı ve ortam koşullarındaki değişikliklerden kaynaklanması söz konusudur.

Türkmenler ve ark. (2018) zeytin küspesindeki en yüksek toplam biyogaz üretiminin 50 g/L substrat derişiminde 90,04 mL olarak ölçmüştür Zeytin küspesi lignoselülozik yapıya sahiptir ve bu yapı yüksek oranda karbon kaynağı içermektedir. Bu nedenle patates kabuğuna göre zeytin küspesi, şeker pancarı, mısır ve pirinç gibi bitkilerin karbon kaynağının yüksek olması nedeniyle çıkan BMP değerleri yüksektir.

Halisdemir (2009) portakal posasından yaptığı BMP ölçüm sonuçlarına da bakılacak olursak anaerobik şartların sağlandığı işlem sonucunda 489,5 mLbiyogaz/gKM ile 793,4mLbiyogaz/gUM biyogaz üretim verimleri saptarken, metan üretim verimlerinin 297,5 mLCH₄/gKM ve 482,2 mLCH₄/gUM olduğunu hesaplanmış.

Sonuç olarak patates kabuğunda elde edilen BMP değeri zeytin küspesi, portakal ve elma posasından çıkan BMP değerine göre daha düşük olarak bulunmuştur. Bu durum söz konusu hammaddelerin kimyasal yapıları arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada patates kabuğunun biyogaz potansiyeline sahip olduğu ortaya konarak, 4 farklı kombinasyonun 40 günlük süre içerisindeki durumu belirlenmiştir. Diğer pek çok organik atık gibi patates kabuğunun da geri dönüştürülerek enerji eldesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Yüksek Lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır.

Etik Onay

Bu çalışma için etik onay belgesine gerek olmadığı belirtilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildiriminde bulunmamışlardır.

Mali Destek

Yazarlar herhangi bir mali destek bildiriminde bulunmamışlardır.

Kaynaklar

- Halisdemir, B. (2009). *Aktif Çamur ve Portakal Posasının Biyogaz Üretim Verimleri ve Bazı Ön İşlemlerin Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin Araştırılması*, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Mersin.
- Han, H., Wu, X., Ge, L., & Qiao, J., (2017). A Sludge Volume Index (SVI) Model Based On the Multivariate Local Quadratic Polynomial Regression Method, *Chinese Journal of Chemical Engineering*.
- Kalaycıoğlu N., & Ergüder T. (2019). Bahçe Atıklarının Farklı Ön İşlem ve Katı Yüzdeleri İle Biyokimyasal Metan Potansiyelinin ve Enerji Veriminin Arttırılması, 13. Ulusal, 1. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi, 220-224, Gebze-Kocaeli.
- Kim, D. H., Han, S. K., Kim, S. H., & Shin, H. S. (2006). Effect of Gas Sparging on Continuous Fermentative Hydrogen Production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 2158-2169.
- Koçer, A. (2017). *Alglerden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- McCarthy, P. L. (1982). *One Hundred Years of Anaerobic Digestion, Anaerobic Digestion*, 1981, Hughes ve ark. (eds.).
- Şenol, H., Elibol, E. A., Açıkeli, Ü., & Şenol, M. (2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi için Başlıca Biyokütle Kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 81-92.
- Tulun, Ş. (2018). *Fiziksel ve Kimyasal Ön İşlemlerin Farklı Atık Türlerinin Biyogaz Üretim Potansiyellerine Etkisi*, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Aksaray.

- Türkmenler, H., Aslan, M., & Gümüş, M. (2018). *Zeytin Küspesi Çözeltisinin Derişime Bağlı Biyogaz ve Hidrojen Potansiyelinin İncelenmesi*, Adıyaman Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, 147-155.
- Varinli, F. (2010). *Elma Posasından Biyogaz ve Metan Üretimine Termal Ön Arıtımın Etkisi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Yavrucu, K. (2019). *Biyogaz Üretim Parametrelerinin İncelenmesi, Saflaştırılması ve Askeri Birlikler için Analiz*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Savunma Teknolojileri Programı.
- Yegül, Z. (2020). *Ürün Raporu Patates*, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE Yayın No: 326, 14, Ankara.