

Biyogaz Üretiminde Atıkların Verim Üzerine Etkilerinin Araştırılması

İrfan Ruhi UÇAR¹, Zekeriya ÖZER¹, Oğuz Yunus SARIBIYIK^{*1}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve
Biyomühendislik Bölümü, Gümüşhane

Geliş tarihi: 20.04.2021

Kabul tarihi: 13.09.2021

Öz

Ülkelerin refah seviyesi kişi başı enerji tüketim miktarları ve sanayii gelişimleri gibi parametreler birbiriyle doğrudan alakalıdır. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması ve yaşam standartların yükselmesi gibi nedenler fosil kökenli yakıtların tüketim hızının sürekli artmasına sebep olmaktadır. Fosil kaynaklar yenilenebilir olmadığından dolayı biyodizel, biyogaz, rüzgâr, hidroelektrik, güneş enerjisi, yeni temiz alternatif sürdürülebilir, gibi enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu alternatif enerjiler içerisinde biyogaz üretimi, kurulum kolaylığı, bol hammadde miktarı ve kolay ulaşılabilirlik, düşük maliyet, işlenmiş biyokütle kaynağının gübre verimini artırması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Biyogaz üretiminde, reaktör tasarımı, reaksiyon şartlarının değiştirilmesi, bakterilerin beslenme türleri biyogaz üretimini artırmaktadır. Yapılan bu çalışmada, 50 L (Litre)'lik laboratuvar tipi pilot reaktör kullanılarak uygun fermantasyon şartları sağlanmış ve çeşitli endüstriyel-evsel atıklar gibi farklı atık türlerinin biyogaz üretimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, biyogaz üretimi farklı atık türlerine göre değişiklik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyoyakıt, Biyogaz, Atık bertarafı, Beslemenin etkisi

The Investigation of the Waste Effect on Biogas Production

Abstract

The amount of the energy consumption rate are directly related to the such a parameters the welfare level and industrial revolution. Additionally to those reason, the energy utilization intensively rises depending on the increasing world population and higher welfare level standarts. Carbon based fuels are not renewable and environmentally unfriendly therefore many of the research group and university have been working on renewable and sustainable energy sources such as hydrogen, solar, wind, geothermal, wave, biodiesel and biogas. Biogas production has been preferred beacuse of those reasons, easy construction and transportation, sustainability and also fermantated biomass is very effective fertiliser for agriculture in farms. The type of the reactor, the fermantation conditions, the feeding of the bacteria has increased the biogas production from different waste sources. In this study, 50 liter lab scale pilot reactor was designed and the fermantation conditions, and the effect of the different wastes such as vegetable waste, organic industrial waste and etc. were investigated on the biogas production yield. The results showed that fermentation condition and feeding play an important role for biogas production that tea dreg decrease the biogas while mulberry dreg and other vegetable sources increase the biogas production.

Keywords: Biofuel, Biogas, Waste treatment, Feeding effect

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Oğuz Yunus SARIBIYIK, oyzaribiyik@gumushane.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan enerji ihtiyacı fosil kaynaklı yakıtlardan sağlandığı için atmosferdeki karbondioksit (CO₂) miktarı 1970 yılında 325 ppm iken son yapılan analizlere göre 2020 yılında 409 ppm olarak ölçülmüştür [1]. Karbondioksitin atmosferdeki miktarının artmasına bağlı olarak yerküreden uzaya yayılması gereken ışınlar atmosferdeki karbondioksit tarafından tutulduğu için atmosfer altı sıcaklığın yükselmesine sebep olmaktadır ve bu olay genel olarak küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır [1]. Küresel ısınmaya sebep olan bir diğer gaz ise metan (CH₄) gazıdır ve yenilenemediği için atmosferde sürekli birikmeye devam ederken ayrıca hava kirliliğine de sebep olmaktadır [2,3]. Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği ile mücadele etmek için fosil kaynaklı yakıtların yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Özellikle Avrupa başta olmak üzere birçok devlet alternatif enerji üretimini teşvik etmektedir [5-13]. Bu sebeple biyodizel, güneş enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi ve biyogaz yoğun şekilde araştırılmaktadır [4,14-19]. Bu alternatif enerji kaynaklarının içerisinde ucuz ve bol hammadde kaynağı, uygulanabilir olması, doğaya salınan metan gazından dolayı küresel ısınmayı ve hava kirliliğini azaltmaktadır. Bunların yanı sıra, birim mol başına daha az karbondioksit üretiminden dolayı metanın diğer yakıtlara oranla daha çevreci olması gibi sebepler ve fermantasyon sonrası oluşan ürünün doğal gübre olarak kullanılabilirliği biyogazın biraz daha ön plana çıkmasını sağlamaktadır [20,21]. Ayrıca, biyogaz üretimi sonucu elde edilen organik gübre kullanımı sentetik gübreyle bağlı olarak artan tuzluluğu ve ağır metal birikimini azaltarak toprakların temiz ve verimli kalmasını sağlamaktadır [20-24].

Biyogaz üretimi büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan grubundan elde edilen biyo kütlelerden, tarımsal ve şehirsal organik atıklardan üretilebilmektedir [25,26]. Özellikle şehirler, tarımsal ve evsel organik atıkların bu şekilde düşük maliyetli ve faydalı bertarafı hem kötü koku, görünüm ve bulaş riskini azaltır hem de atıklardan yüksek kalorili 5200 kcal/Nm³ enerji üretimini

sağlamaktadır [24]. Dünyadaki organik atıkların 2,2 milyar ton/yıl, organik tarım atıklarının 6 milyar ton/yıl, kişi başı olarak atık ise 165-225 kg/yıl hesaplanmaktadır [22,24,27]. Bu kadar büyük miktardaki atıktan oluşan metanın atmosfere yayılımının devam etmesi halinde, karbondioksitle birlikte metanın küresel ısınmaya etkisinin %84 oranında artacağı belirtilmektedir [28]. Bu sebeple, atıklardan oluşan bu gazların uygun reaktörlerde biyogaza dönüştürülmesi ve faydalı amaçlara yönelik kullanılması gerekmektedir. Biyogaz üretiminde farklı reaktör tipleri, fermantasyon sıcaklığı ve farklı biyokütle kaynakları kullanımı biyogaz verimini değiştirmektedir [13,25,29]. Özellikle farklı biyokütle kaynaklarının kullanımı biyogaz üretiminde oluşan gaz miktarının büyük oranda değişmesine sebep olmaktadır [13,29]. Bunların yanı sıra, gıda amaçlı tüketilen biyokütle kaynaklarının enerji üretiminde kullanılması gıda fiyatlarının yükselmesine neden olmaktadır [4]. Bu sebeple, özellikle algler, organik atıklar gibi yenilmeyen biyokütle kaynaklarının biyogaz verimi üzerine etkileri yoğun şekilde araştırılmaktadır [30]. Bu amaç için, evsel atık, domates, mango, portakal, ananas ve muz atığı gibi atıkların yanında balık işletmelerinin atıkları, peynir alt suyunun etkileri, protein içeriği yüksek olan kan, tavuk işletmelerinin protein içeriği yüksek atıklarının biyogaz verimi üzerine etkileri araştırılmaktadır [13,27].

Yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle küçük ölçekli ve ev tipi biyogaz üretiminde bölgesel olarak ortaya çıkan biyokütle kaynaklarının herhangi ön işleme tabi tutulmadan biyogaz üretiminde etkilerinin araştırılması ile üretilen biyogaz miktarının artırılacağı görülmüştür [26]. Ön işlem yapılması her ne kadar biyogaz oluşumunu artırsa da üretim maliyetini artırmakta ve ön işlem sonrası oluşabilecek furfural ve benzerleri kimyasallar biyogaz oluşumuna negatif etki etmektedir [31-33].

Yapılan bu çalışmada, özellikle küçük işletmeler ve ev tipi biyogaz üretimi yapılan reaktörlerde organik kökenli bölgesel atıklar değerlendirilerek herhangi bir ön işlem yapmadan biyogaz üretimi yapıldığında atıkların biyogaz üretim verimini

nasıl etkilediğine yönelik araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, bölgesel olarak birçok işletmede atık olarak ortaya çıkan dut pekmezi üretiminden sonra oluşan dut atığı gibi işletme atıkları kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, organik evsel atıklar, bayat ekmeğe gibi tüm dünyada ortaya çıkan atıkların biyogaz üretimi üzerine etkileri de incelenmiştir. Ayrıca, protein içeriği yüksek yenilmeyen sakatat parçaları, tavuk derisi ve çay posası gibi atıkların biyogaz verimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Biyogaz üretimi gerçekleştirilirken hayvansal, evsel ve tarımsal biyokütle kaynakları kullanılabilir. Bu bağlamda deneysel çalışmalarda biyogaz üretimi için 50 litrelik laboratuvar tipi 316 paslanmaz çelik metalden üretilmiş, gaz sızdırmaz, elektrik ısıtıcılı ve mekanik karıştırıcılı (dip süpürmeli) pilot biyoreaktörden elde edilen sonuçlar ve önceki çalışma sonuçları temel alınarak biyogaz üretim miktarı hesaplanmıştır.

Reaktör fermente süresinde 50 devir/dk ile ön karıştırma işlemi için 5 dk 275 devir/dk olarak (biyokütle: su oranları 1:1 olacak şekilde) uygulanmıştır. Fermentasyon işlemi sırasında reaktör sıcaklığı 37°C'de 5 devir/dk karıştırma hızıyla 30 gün sürede gerçekleştirilmiştir. Araştırılan malzemelerin boyut küçültme işlemi için 22 no'lu et kıyma makinası kullanılmıştır.

Reaktörde oluşan gaz miktarı Mastech MS6310 Gaz Dedektörü ile gazın tür analizleri ise portatif G5000 gaz analizörü kullanılarak yapılmıştır. Biyogaz üretiminde elde edilen gazların belirlenmesi için numune alma işlemlerinde Flexfoilplus numune çantası kullanılıp gazlar Agilent (6820) gaz kromatografisi kolon (molesieve 5A 30m x 0,53 mm x 50 µm) kullanılarak belirlenmiştir.

Biyogaz üretiminde %60 kaba ve %40 yoğunlaştırılmış yemle (selüloz içeriği %18'den küçük) beslenen 5 yaşında dişi (Simental) büyükbaş hayvanlardan temin edilen biyokütle günlük olarak kullanılmıştır. Deneylerde

hammadde olarak kullanılan biyokütlenin ağırlık ölçümleri (ıslak ağırlık biyokütle oluşumundan itibaren 12 saat içerisinde) alınarak yapılmıştır. Fermantasyonda 13 kg biyokütle, 13 kg saf su, 4 kg araştırması yapılan madde ilave edilmiştir.

Reaktörde oluşan mayaların araştırılmasında Nikon E200 marka mikroskoba bağlı Nikon fotoğraf makinasının 1-J1 modeli kullanılmıştır.

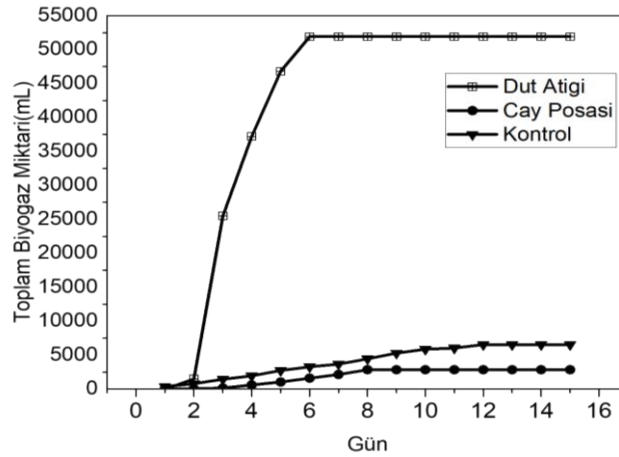
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fosil yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği son yıllarda giderek artmaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak seller, kuraklık vb. doğal afetler gıda ve sağlık problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı fosil yakıt kullanımına bağlı oluşan karbondioksit miktarının sürdürülebilir şekilde azaltılmasına yönelik çözümlerin bulunması gerekmektedir. Alternatif yakıtların uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği göz önünde bulundurulduğunda, ucuz hammadde kaynağının bol ve bulunabilir olması biyogaz üretiminin daha avantajlı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, biyoproses sonrası oluşan organik gübrenin sentetik gübre yerine ikame edilebilecek olması, doğaya salınan metan gazından enerji elde edilerek küresel ısınmanın, toprak kirliliğinin ve ağır metal birikiminin azaltılması gibi faktörlerden dolayı biyogaz üretimi biraz daha ön plana çıkmaktadır [34,35]. Bunların dışında evsel ve sanayii organik atıklardan da biyogaz üretilebilir olması ve oluşan biyogazın sadece ısınma ve elektrik üretimi açısından değil aynı zamanda ulaşım amacı için kullanılabilir olması özellikle atıklardan biyogaz elde edilmesini daha anlamlı kılmaktadır [36,37]. Dünyada ortalama oluşan 2,2 milyar ton/yıl atıkların içeriği ülkelere ve coğrafyalara göre değişebilmektedir [27,38,39]. Örneğin Avrupa ülkelerinde 88 milyon ton yemek atığından 143 milyarlık ekstra maliyet oluşmaktadır [31]. Balık üretimi ve yağı üretilen yerlerde balık artıkları ve balık yağına bağlı atıklar oluşurken, tavuk çiftliklerinde de benzer durumlar oluşmaktadır [40-43]. Düşük yağış alan bölgelerde rahatlıkla büyüeyebilen dikenli incire bağlı ürünlerin değerlendirilmesi, peynir üretiminde alt suyu, kan gibi atıkların biyogaz üretiminde kullanıldığı

bilinmektedir. Bunlara ilave olarak, yeşil mısır gövdesi ve çimenden, sebze meyve atığı, selüloz içerikli atıklar, kahve atığı, algler vb. birçok atık malzemenin değerlendirilerek biyogaz elde edilmesi ve oluşan ürünün doğal gübre olarak kullanıldığı görülmektedir [16,30,32,33,43-52]. Biyogaz verimini artırmaya yönelik çalışmalarda C/N oranına bağlı olarak %20-30 aralığının uygun değer olduğu gösterilmektedir ancak moleküler bazda yapılan araştırmalarda metanojen bakterilerinin saflaştırılarak bakteriye özel incelemelere rastlanmamıştır [53,54]. Özellikle farklı coğrafyalarda ve besi ortamlarındaki canlıların biyokütlelerinde bulunan metanojen bakteri grupları değişiklik gösterdiği için yapılan çalışmaların sonuçlarında ciddi farklılıklar bulunmaktadır [54]. Protein içeriği zengin sakatat

atıkları ve uzun zincirli yağ asidi içeriği yüksek tavuk derisi ile yapılan çalışmalarda, önceki yayınlarda olduğu gibi yağların bakterileri kapsüle etmesinden dolayı biyogaz üretimi gerçekleşmemiştir [33,55-58]. Bu sebeple, bu tür atıklardan biyogaz üretimi prosesinden önce ön işleme tabi tutulması gerekmektedir [57].

Ülkemizde neredeyse üretilen ekmeğin yaklaşık %50'si çöpe atılmaktadır. Buna ilaveten, pekmez üretimi sonrası dut atığı oluşmakta ve bütün bölgelerde çay posası atığı oluşmaktadır. Bu sebeple yapılan çalışmada ilk grup olarak dut atığı ve çay posası atığının biyogaz oluşumu üzerine etkileri incelenmiştir. Kontrol grubunda ayrıca herhangi bir atık ilavesi yapılmamıştır (Şekil 1).



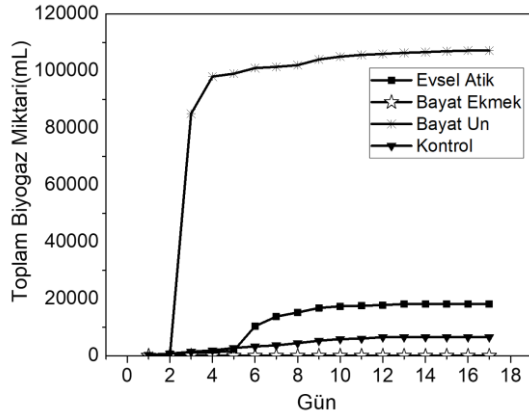
Şekil 1. Dut atığı, çay posası ve kontrol grubu biyogaz üretim grafiği

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek biyogaz üretimi Dut atığından, daha sonra kontrol grubu ve en düşük biyogaz üretimi ise çay posası ilaveli çalışmada gözlemlenmiştir (Şekil 1). Yapılan çalışmalarda karşılaşılan diğer durum ise atıkların biyogaz üretim miktarına etkileri oldukça farklılık göstermektedir. Kontrol grubunda 0,5 m³/ton biyogaz miktarı diğerlerine göre en az iken Dut atığı an fazla 2,9 m³/ton biyogaz üretimini gerçekleştirmiştir. Ayrıca kontrol grubu biyogaz oluşumunun 1. günden itibaren gerçekleşmeye başladığı görülmüştür. Dut atığı ilaveli çalışmada biyogaz üretiminin 2. günden itibaren arttığı Çay posası ilaveli biyogaz üretiminin ise 5. günden

itibaren artış gösterdiği görülmektedir. Çay atığı içeren reaktörden elde edilen biyogaz üretiminin düşük olmasının nedeninin, çay içerisinde bulunan yüksek miktardaki antimikrobiyal etkiye sahip polifenolik bileşiklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir [47,59]. Ayrıca ligninin metanojen bakterileri tarafından bozundurulmadığı belirtilmektedir [60]. Bu sebeple, hem %25 lignin içeriğinin varlığı hem de polifenolik antibakteriyel bileşiklerin varlığı biyogaz üretiminde düşüşe sebep olabilmektedir [61].

Bir diğer araştırma grubunda ise Bayat ekme, evsel organik atıklar ve kontrol grubunun biyogaz

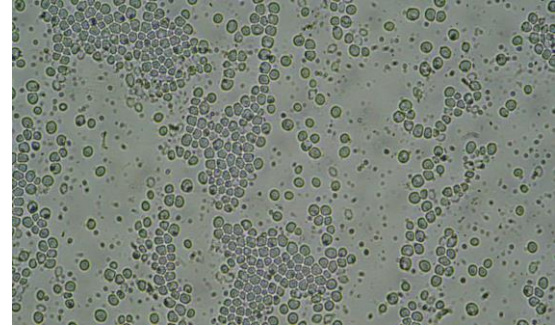
üretimi üzerine etkileri araştırılmıştır (Şekil 2). Özellikle Bayat ekmek ile yapılan çalışmada biyogaz üretimi gözlemlenmemiştir. Normal olarak hidrokarbon içeriği yüksek olan besi ortamında biyogaz üretiminin artması beklenmektedir [44]. Bu sebeple aynı şartlarda tekrar çalışmaları yapılmış ve yine biyogaz üretiminin gerçekleşmediği gözlemlenmiştir [31]. Aynı deney, son kullanım tarihi geçmiş bayat un ile yapıldığında biyogaz üretiminin hayli arttığı gözlemlenmiştir. Mikroskop ile yapılan incelemelerde ise ortamda maya kültürünün olduğu (Şekil 3) bu sebepten dolayı biyogaz üretiminin olmadığı gözlemlenmiştir [31].



Şekil 2. Evsel atık, bayat ekmek, bayat un, kontrol grubu biyogaz üretim grafiği

Yapılan ikinci grup çalışmasında ise bayat ekmek, evsel atık ve kontrol grubu incelenmiştir (Şekil 2). Sonuçlara göre hidrokarbon içeriği yüksek olan bayat un ilaveli reaktör 2. günden itibaren biyogaz üretimini artırırken evsel atık ilaveli çalışmada biyogaz oluşumu 5. günden itibaren artmaktadır. Bir önceki yapılan çalışmaya benzer olarak biyogaz oluşum süresinde dut atığı ve hidrokarbon benzer süreçlerde biyogaz oluşumu gerçekleşmiştir. Ancak lignin içeriği yüksek çay posası ve evsel atık gibi atıklarda biyogaz üretimi ancak 5. Günün sonucunda gözlemlenmiştir (Şekil 2) [61]. Çalışma sırasında, Evsel atıklardan toplamda 1,4 m³/ton biyogaz üretimi yapılmıştır fakat Bayat ekmek ilaveli çalışmada ise biyogaz üretimi gerçekleşmemiştir. Normal şartlarda hidrokarbonca zengin atıklarla beslenen metanojen

bakterilerinin biyogaz üretimlerinin yüksek olması beklenmektedir [22]. Bu sebeple, farklı bir atık kaynağı olarak kullanım süresi dolmuş un kullanılarak biyogaz üretimi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu çalışmada üretilen biyogaz miktarının 8,1 m³/ton olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bu sonuçlardan sonra Bayat ekmek ile yapılan tekrar denemelerinde reaktör içerisinde alınan numune mikroskop ile incelenmiş ve reaktör içerisinde maya üretiminin gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 3). Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen görüntülerin önceki çalışmalarla uyumlu olduğu reaktör içerisinde maya üretiminin yoğun şekilde gerçekleştiği görülmektedir [31,62].



Şekil 3. Bayat ekmek ile beslenen reaktörden alınan örneğin mikroskop görüntüsü

4. SONUÇ

Dünyadaki toplam atık miktarının teknolojik gelişimlere ve nüfus artışına bağlı olarak artması atmosfere salınan karbondioksit ve metan miktarının yükselmesine sebep olarak küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Bu sebeple, özellikle atıkların geri dönüşüme kazandırılarak çevre temizliği sağlanmalı ve atmosfere salınan metan gazı miktarı azaltılmalıdır çünkü küresel ısınma sonucu meydana gelen iklim değişiklikleri gözle görülür şekilde ortaya çıkmaya başlamıştır. İçinden geçtiğimiz bu günlerde Marmara denizinde meydana gelen müsülaj problemi atık arıtımı ve yönetiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, özellikle ev tipi ve küçük ölçekli işletmelerde kullanılabilecek farklı atıkların ön işleme tabi tutulmadan biyogaz üretimine etkileri daha da önemli hale gelmektedir.

Çünkü küçük ölçekli tesislerin sayısının ve veriminin artması alternatif enerji kullanımını artırarak küresel ısınmanın etkilerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple biyogaz üretiminde kullanılacak atıkların ve buna uygun bakterilerin seçimi çok önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre yağ içeriği ve protein içeriği yüksek atıklardan biyogaz üretimi gerçekleşmediği ancak hidrokarbonca zengin dut atığı, bayat un gibi atıkların biyogaz üretimini çok ciddi miktarda artırdığı bulunmuştur. Bunların dışında, mikroskop sonuçlarına göre biyogaz üretiminde bayat ekmeği gibi maya kültürü içeren atıkların kullanılması durumunda atıklarda bulunan mayanın uygun yaşam koşullarına ulaşarak metanojen bakterilerin gelişmelerini durdurduğu gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Lindsey, R., 2020. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. In: Dlugokencky E., <https://www.climate.gov/>, Erişim Tarihi: 05.05.2021.
2. Agency (EPA) EP 2021. Understanding Global Warming Potentials, <https://www.epa.gov/>, Erişim Tarihi: 02.05.2021.
3. Khalil, M.A.K., 2003. Atmospheric Methane its Role in the Global Environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126, 125-126, doi: 10.1016/j.agrformet.2003.09.004.
4. Sarıbiyık, O.Y., Özcanlı, M., Serin, H., Serin, S., Aydın K., 2010. Biodiesel Production from Ricinus Communis Oil and its Blends with Soybean Biodiesel. *Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 56(12), 811-816.
5. Agency, E., 2020. Energy in Sweden 2020 An Overview. Swedish Energy Agency, <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=174155>, Erişim Tarihi: 01.03.2021.
6. Eyl-Mazzega M.A., Mathieu, C., 2019. Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy, 76.
7. Sif, B.S., Kofoed, W., Herrmann, A., Tengbjerg, I., Bernard, K.K., 2014. Experiences with Biogas in Denmark. Department of Management Engineering, 27.
8. Benato, A., Macor, A., 2019. Italian Biogas Plants: Trend, Subsidies, Cost, Biogas Composition and Engine Emissions. *Mdpi Energy*, 12(6), 979.
9. Gu, L., Zhang, Y.X., Wang, J.Z., Chen, G., Batty, H., 2016. Where is the Future of China's Biogas? Review, Forecast, and Policy Implications. *Pet. Sci. Springer*, 13(2016), 604-624.
10. Winquist, E., Rikonen, P., Pyysiäinen, J., Varho, V., 2019. Is Biogas an Energy or a Sustainability Product?-Business Opportunities in the Finnish Biogas Branch. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1344-1354.
11. Havrysh, V., Kalinichenko, A., Mentel, G., Olejarz, T., 2020. Commercial Biogas Plants: Lessons for Ukraine. *MDPI Energies*, 13(10), 2668.
12. Murray, B. C., Galik, C. S., Vegh, T., 2014. An Assessment of Market Potential in a Carbon-Constrained Future. *Nicholas Institute Report*, 59.
13. Nsair, A., Cinar, S. O., Alassali, A., Qdais, H. A., Kuchta, K., 2020. Operational Parameters of Biogas Plants: A Review and Evaluation Study. *Energies*, 13(15), 3761.
14. Qiliang, L., Zhang, Y., Miegheem, A.V., Chen, Y.C., Yu, N., Yang, Y., Yin, H., 2020. Design and Experiment of a Sun-powered Smart Building Envelope with Automatic Control. *Energy&Buildings*, 223, 110173, 1-17.
15. Patel, R.P., Nagababu, G., Kumar, S.V.V.A., Kachhwah, S.S., 2020. Wave Resource Assessment and Wave Energy Exploitation Along the Indian Coast. *Ocean Engineering* 217, 107834.
16. Zhang, Z., Zhang, G., Li, W., Li, C., Xu, G., 2016. Enhanced Biogas Production from Sorghum Stem by Co-digestion with Cow Manure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(21), 9153-9158.
17. Ren, S., Dou, B., Ning, F., 2020. Geothermal Energy Exploitation from Depleted High-temperature Gas Reservoirs by Recycling CO₂: the Superiority and Existing Problems. *Geoscience Frontiers Pre Proof*. <https://doi.org/10.1016/j.gsf>.
18. Zhoua, B., Or, S.W., Chan, K.W., Duan, H., Wu, Q., Wang, H., Meng, Y., 2021. Short-term

- Prediction of Wind Power and its Ramp Events Based on Semisupervised Generative Adversarial Network. *Electrical Power and Energy Systems*, 125(2), 106411.
19. India, B. Pi., 2021. Biogas: A Fit Option for Rural Energy. Erişim Tarihi: 05.06.2021.
 20. Abubaker, J., Risberg, K., Pell, M., 2012. Biogas Residues as Fertilisers—effects on Wheat Growth and Soil Microbial Activities. *Applied Energy*, 99, 126-134.
 21. Boreka, K., Romaniuk, W., 2020. Biogas Installation for Harvesting Energy and Utilization of Natural Fertilisers. *Scienco Agricultural Engineering*, 24(1), 1-14.
 22. Siddique, M.N.I., Khalid, Z.B., Ibrahim, M.Z.B., 2020. Effect of Additional Nutrients on Bio-methane Production from Anaerobic Digestion of Farming Waste: Feasibility & Fertilizer Recovery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103569.
 23. Valentinuzzi, F., Cavani, L., Porfido, C., Terzano, R., Pii, Y., Cesco, S., Marzadori, C., Mimmo, T., 2020. The Fertilising Potential of Manure-based Biogas Fermentation Residues: Pelleted vs. Liquid Digestate. *Heliyon*, 6(2), 03325, 1-15.
 24. Ferreira, S. F., Buller, L. S., Berni, M., Forster, C. T., 2019. Environmental Impact Assessment of end-uses of Biomethane. *Journal of Cleaner Production*, 230, 613-621.
 25. Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Panahi, H.K.S., Nizami, A.S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., 2020. A Comprehensive Review on Recent Biological Innovations to Improve Biogas Production. Part 1: Upstream Strategies. *Renewable Energy*, 146, 1204-12020.
 26. Orlando, M.Q., Borja, V.M., 2020. Pretreatment of Animal Manure Biomass to Improve Biogas Production: A Review. *Energies*, 13(14), 3573, 1-25.
 27. Pavi, S., Kramer, L.E., Gomes, L.P., Miranda, L.A.S., 2017. Biogas Production from Co-digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Fruit and Vegetable Waste. *Bioresource Technology*, 228, 362-367.
 28. Chukeaw, T., Tiyyathaa, W., Jaroenpanona, K., Wittoon, T., Kongkachuichay, P., Chareonpanich, M., Faungnawakij, K., Yigit, N., Rupprechter, G., Seubsai, A., 2021. Synthesis of Value-added Hydrocarbons Via Oxidative Coupling of Methane Over MnTiO₃-Na₂WO₄/SBA-15 Catalysts. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 1110–1122.
 29. Koniuszewska, I., Korzeniewska, E., Czatkowska, M., Harnisz, M., 2020. Intensification of Biogas Production Using Various Technologies: A Review. *International Journal of Energy Research*, 44(8), 6240–6258.
 30. Montingelli, M.E., Tedesco, S., Olabi, A.G., 2015. Biogas Production from Algal Biomass: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 961–972.
 31. Tsigkou, K., Zagklis, D., Tsafarakidou, P., Zapanti, P., Manthos, G., Karamitou, K., Zafiri, C., Kornaros, M., 2021. Expired Food Products and Used Disposable Adult Nappies Mesophilic Anaerobic Co-digestion: Biochemical Methane Potential, Feedstock Pretreatment and Two-stage System Performance. *Renewable Energy*, 168(7), 309-318.
 32. Thompson, T.M., Young, B.R., Baroutian, S., 2021. Enhancing Biogas Production from Caribbean Pelagic Sargassum Utilising Hydrothermal Pretreatment and Anaerobic Co-digestion with Food Waste. *Chemosphere*, 275, 130035.
 33. Jablonski, S.J., Kułazynski, M., Sikora, I., Łukaszewicz, M., 2017. The Influence of Different Pretreatment Methods on Biogas Production from *Jatropha Curcas* oil Cake. *Journal of Environmental Management*, 203, 714-719.
 34. Huang, Q., Yu, Y., Wan, Y., Wang, Q., Luo, Z., Qiao, Y., Su, D., Li, H., 2018. Effects of Continuous Fertilization on Bioavailability and Fractionation of Cadmium in soil and its Uptake by Rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Environmental Management*, 215, 13-21.
 35. Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y., 2017. New Insights Into Co-digestion of Activated Sludge and Food Waste: Biogas Versus Biofertilizer. *Bioresource Technology*, 241, 448–453.
 36. Scholwin, F., Grope, J., Clinkscales, A., Boshell, F., Saygin, D., Salgado, A., Seleem, A., 2018. Biogas for Road Vehicles Technology Brief. *The International*

- Renewable Energy Agency (IRENA). https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2017/mar/irena_biogas_for_road_vehicles_2017.pdf. Erişim Tarihi: 08.05.2021.
37. Niskanen, J., Magnusson, D., 2021. Understanding Upscaling and Stagnation of Farm-based Biogas Production in Sweden Through Transitional and Farming Logics. *Journal of Cleaner Production*, 279(3), 123235.
38. Pramanika, S.K., Sujaa, F.B., Zaina, S.M., Pramanik, B.K., 2019. The Anaerobic Digestion Process of Biogas Production from Food Waste: Prospects and Constraints. *Bioresource Technology Reports*, 8, 100310.
39. Azadbakht, M., Ardebili, S.M.S., Rahmani, M., 2021. Potential for the Production of Biofuels from Agricultural Waste, Livestock, and Slaughterhouse Waste in Golestan Province, Iran. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01308-0>
40. Lanari, D., Franci, C., 1998. Biogas Production from Solid Wastes Removed from Fiih farm Effluents. *Aquatic Living Resources*, 11(4), 289-295.
41. Sarker, S., 2020. By-products of Fish-oil Refinery as Potential Substrates for Biogas Production in Norway: A Preliminary Study. *Results in Engineering*, 6, 100137, 1-8
42. Singh, R., Karki, A.B., Shrestha, J.N., 2008. Production of Biogas from Poultry Waste. *International Journal of Renewable Energy*, 3(1), 11-20.
43. Silva, T.H.L., Santos, L.A., Oliveira, C.R.M., Porto, T.S., Jucá, J.F.T., Santos, A.F.M.S., 2021. Determination of Methane Generation Potential and Evaluation of Kinetic Models in Poultry Wastes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, 101936, 1-8.
44. Quiroz, M., Varnero, M.T., Cuevas, J.G., Sierra, H., 2021. Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) in Areas with Limited Rainfall for the Production of Biogas and Biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125839, 1-16.
45. Kovács, E., Wirth, R., Maróti, G., Bagi, Z., Rákhely, G., Kovács, K.L., 2013. Biogas Production from Protein-Rich Biomass: Fed-Batch Anaerobic Fermentation of Casein and of Pig Blood and Associated Changes in Microbial Community Composition. *Plos One*, 8(10), 1-18.
46. Battista, F., Fino, D. Mancini, G., 2016. Optimization of Biogas Production from Coffee Production Waste. *Bioresource Technology*, 200, 884-890.
47. Cardoso, R.R., Neto, R.O., Dalmeid, C.S., Nascimento, T., Pressete, C.G., Azevedo, L., Martinod, H.S.D., Camerone, L.C., Ferreira, M.S.L., Barros, F., 2020. Kombuchas from Green and Black Teas have Different Phenolic Profile, Which Impacts Their Antioxidant Capacities, Antibacterial and Antiproliferative Activities. *Food Research International*, 128, 1-10.
48. Malik, W., Mohan, C., Annachhatre, A.P., 2020. Community Based Biogas Plant Utilizing Food Waste and Cow Dung. *Materials Today: Proceedings*, 28(3), 1910-1915.
49. Chuanchai, A., Ramaraj, R., 2018. Sustainability Assessment of Biogas Production from Buffalo Grass and Dung: Biogas Purification and Bio-fertilizer. *Springer Biotech*, 8(3), 2-11.
50. Spence, A., Madrigal, E.B., Patil, R., Fernández, Y.B., 2019. Evaluation of Anaerobic Digestibility of Energy Crops and Agricultural Byproducts. *Bioresource Technology Reports*, 5, 243-250.
51. Feng, L., Ward, A.J., Guixé, P.G., Moset, V., Møller, H.B., 2018. Flexible Biogas Production by Pulse Feeding Maize Silage or Briquetted Meadow Grass into Continuous Stirred Tank Reactors. *Biosystems Engineering*, 174, 239-248.
52. Comino, E., Rosso, M., Riggio, V., 2009. Development of a Pilot Scale Anaerobic Digester for Biogas Production from Cow Manure and Whey Mix. *Bioresource Technology*, 100(21), 5072-5078.
53. Xue, S., Wang, Y., Lyuc, X., Zhao, N., Song, J., Wang, X., Yang, G., 2020. Interactive Effects of Carbohydrate, Lipid, Protein Composition and Carbon/nitrogen Ratio on Biogas Production of Different Food Wastes. *Bioresource Technology*, 312, 123566.
54. Hirakata, Y., Hatamoto, M., Oshiki, M., Watari, T., Araki, N., Yamaguchi, T., 2020. Food Selectivity of Anaerobic Protists and

- Direct Evidence for Methane Production Using Carbon from Prey Bacteria by Endosymbiotic Methanogen. *ISME*, 14, 1873–1885.
55. Cheng, J., Ding, L., Lin, R., Yue, L., Liu, J., Junhu, Zhou, K.C., 2016. Fermentative Biohydrogen and Biomethane Co-production from Mixture of Food Waste and Sewage Sludge: Effects of Physiochemical Properties and Mix Ratios on Fermentation Performance. *Applied Energy*, 184, 1-8.
 56. Lu, X., Jin, W., Xue, S., Wang, X., 2017. Effects of Waste Sources on Performance of Anaerobic Codigestion of Complex Organic Wastes: Taking Food Waste as an Example. *Nature*, 7(1), 15702, 1-9.
 57. Diamantis, V., Eftaxias, A., Stamatelatou, K., Noutsopoulos, C., Vlachokostas, C., Aivasidis, A., 2021. Bioenergy in the Era of Circular Economy: Anaerobic Digestion Technological Solutions to Produce Biogas from Lipid-rich Wastes. *Renewable Energy*, 168, 438-447.
 58. Rasit, N., Idris, A., Harun, R., Azlina, W., Ghani, W.A.K., 2015. Effects of Lipid Inhibition on Biogas Production of Anaerobic Digestion from Oily Effluents and Sludges: An Overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 351–358.
 59. Rahardiyan, D., 2018. Antibacterial Potential of Catechin of Tea (*Camellia sinensis*) and its Applications. *Food Research*, 3(1), 1-6.
 60. Lia, W., Khalida, H., Zhua, Z., Zhangb, R., Liua, G., Chena, C., Thorin, E., 2018. Methane Production Through Anaerobic Digestion: Participation and Digestion Characteristics of Cellulose, Hemicellulose and Lignin. *Applied Energy*, 226, 1219–1228.
 61. Uzun, B.B., Varol, E.A., Ates, F., Özbay, N., Pütün, A. E., 2010. Synthetic Fuel Production from Tea Waste: Characterisation of Bio-oil and Bio-char. *Fuel*, 89, 176–184.
 62. Srinivasan, P., Smolke, C.D., 2020. Biosynthesis of Medicinal Tropane Alkaloids in Yeast. *Nature*, 585, 614-619.

