



Mikrobiyal Yakıt Hücresi Reaktöründe Kampüs Atıksuyunun Arıtımı ve Elektrik Üretimi Potansiyelinin İncelenmesi

Investigation of Campus Wastewater Treatment and Electricity Generation Potential in Microbial Fuel Cell

Müzzeyen SOYDAN¹, Gizem Hazan AKÇAY²

¹ Eğitim Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

² Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

ahmetselimakcay06@gmail.com—ORCID> [0009-0009-5750-1715](https://orcid.org/0009-0009-5750-1715)

gh.caglayan@alparslan.edu.tr—ORCID> [0000-0003-2692-7923](https://orcid.org/0000-0003-2692-7923)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types	Araştırma Makalesi / Research Article
Alınış Tarihi / Received	11 Mart / March 2025
Kabul Tarihi / Accepted	16 Nisan / April 2025

Yıl / Year: 2025 | **Cilt / Volume:** 2 | **Sayı / Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 1-4

Atıf Formatı / Cite as: Soydan, M., Akçay, G. H., "Mikrobiyal Yakıt Hücresi Reaktöründe Kampüs Atıksuyunun Arıtımı ve Elektrik Üretimi Potansiyelinin İncelenmesi" Hendese, Vol. 2, Issue 1, Pages 1-4, 2025.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Gizem Hazan AKÇAY

Mikrobiyal Yakıt Hücresi Reaktöründe Kampüs Atıksuyunun Arıtımı ve Elektrik Üretimi Potansiyelinin İncelenmesi

Müzzeyen SOYDAN¹, Gizem Hazan AKÇAY^{*2}

¹Eğitim Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

^{*2}Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 11.03.2025, Kabul / Accepted: 16.04.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 25.04.2025)

Anahtar Kelimeler

Gerilim,
Evsel atıksu,
Mikrobiyal yakıt hücresi

ÖZ

Nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan enerji talebi, araştırmacıları alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yoğunlaştırmıştır. Son yıllarda; güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif enerji teknolojileri de oldukça ilgi görmektedir. Bu alternatif enerji teknolojilerinden biri olan mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH), hem atıksu arıtımı hem de elektrik üretimi gerçekleştirebilen sistemlerdir. Yapılan çalışmada; plastik atık kaplar değerlendirilerek bir mikrobiyal yakıt hücresi tasarlanmıştır. Reaktörde substrat olarak Muş Alparslan Üniversitesi kampüs yerleşkesine ait atıksu kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; maksimum 96,8 mV gerilim değeri ölçülmüştür. Ayrıca atıksuyun kirlilik gideriminin tespiti için kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi yapılmış ve %36,8 giderim verimi elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, laboratuvar ölçekli MYH sisteminde ve evsel atıksuyun temininde çeşitli iyileştirmeler yapılarak kampüs elektriğini karşılayacak pilot ölçekli bir MYH sistemi geliştirilebileceği ifade edilebilir.

Investigation of Campus Wastewater Treatment and Electricity Generation Potential in Microbial Fuel Cell

Keywords

Voltage,
Domestic wastewater,
Microbial fuel cell

ABSTRACT

Population growth and the resulting increase in energy demand have led researchers to focus on alternative and renewable energy sources. In recent years, renewable energy sources such as solar, wind, biomass, and geothermal, as well as alternative energy technologies, have attracted significant interest. One of these alternative energy technologies, microbial fuel cells (MFCs), are systems capable of both wastewater treatment and electricity generation. In this study, a microbial fuel cell was designed using recycled plastic waste containers. Wastewater from the Muş Alparslan University campus was used as the substrate in the reactor. As a result of the study, a maximum voltage value of 96.8 mV was measured. Additionally, to determine the wastewater pollution removal efficiency, a chemical oxygen demand (COD) analysis was conducted, achieving a removal efficiency of 36.8%. The results suggest that by making various improvements to the laboratory-scale MFC system and the supply of domestic wastewater, a pilot-scale MFC system capable of supplying electricity to the campus could be developed.



Published by Muş Alparslan University, Muş, Türkiye
This is an open access article under the CC BY-NC license

Corresponding Author / Sorumlu Yazar: gh.caglayan@alparslan.edu.tr

Cilt / Volume: 2

Sayı / Issue: 1

Atıf Formatı / Cite as: Soydan, M., Akçay, G. H., "Mikrobiyal Yakıt Hücresi Reaktöründe Kampüs Atıksuyunun Arıtımı ve Elektrik Üretimi Potansiyelinin İncelenmesi", Hendese, Vol. 2, Issue 1, Pages 1-4, 2025.

Doi: 10.5281/zenodo.15278177

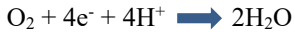
1. GİRİŞ

Fosil yakıtlar, küresel ısınma gibi birçok çevresel problemin başlıca nedenleri olan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklara alternatif olarak, organik maddeleri yakıt olarak kullanan mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) sistemleri ortaya çıkmıştır [1]. Mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH'ler), çeşitli organik maddeler veya yenilenebilir biyokütle gibi malzemelerin arıtımı ve elektrik üretimi için umut vadeden bir teknolojidir. İlk olarak, 1910 yılında Potter, platin elektrotlar kullanarak *Escherichia coli* veya *Saccharomyces*'in canlı kültürlerinden elektrik enerjisi üretimini göstermiş ve bu alandaki çalışmalar başlamıştır [2]. MYH'ler, elektrik teli aracılığıyla bağlanan iki elektrota sahip oldukları için diğer tüm pillere veya yakıt hücrelerine oldukça benzemektedirler. Aradaki fark, anot tarafında elektrik üretmek için yakıt olarak organik substratlar kullanılmaktadır [3]. Genel olarak MYH'ler, fiziksel olarak bir proton değişim membranı (PDM) ile ayrılmış anot ve katot bölmelerinden oluşmaktadır. Anot bölgesindeki aktif biyokatalizör, organik substratları oksitler ve daha sonra elektronlar ve protonlar üretir. Protonlar, PDM aracılığıyla ve elektronlar dış devre aracılığıyla katot bölgesine aktarılırlar. Protonlar ve elektronlar, oksijenin suya paralel indirgenmesiyle birlikte katot bölmesinde reaksiyona girer ve sistem tamamlanır [4]. Asetatın substrat olarak kullanıldığı anot ve katot reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir [5]:

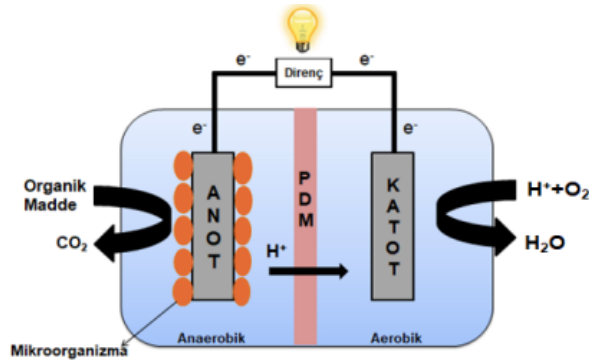
Anot:



Katot:



Şekil 1'de iki bölmeli klasik bir mikrobiyal yakıt hücresi gösterilmiştir.



Şekil 1. Klasik bir mikrobiyal yakıt hücresi gösterimi [6].

Anot bölgesindeki mikroorganizmalar, organik maddeleri ve biyolojik olarak parçalanabilir substratları kullanarak elektrik ürettiğinden evsel atıksu gibi biyolojik olarak parçalanabilir ürünlerin arıtılmasını da sağlamaktadırlar. Bu nedenle MYH'nde biyolojik olarak parçalanabilir substratların yakıt olarak kullanılabilmesi nedeniyle araştırmacılar bu alana oldukça ilgi göstermektedir [7]. MYH, atık su arıtma süreçlerinin tamamen değiştirilmesini gerektirmeden

biyokatalizör olarak bakterileri kullanıldığında atık sudaki organik maddeden biyoenerji eldesi sağlamaktadır. Bu nedenle, MYH teknolojisinin elektrik ihtiyacı olan uzak bölgelere güç sağlama potansiyeli bulunmaktadır [8].

Literatür çalışmaları ışığında, Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde pilot ölçekli sistemin kurulmasına öncülük edecek laboratuvar ölçekli bir mikrobiyal yakıt hücresi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma yürütülürken reaktör olarak atık plastik kaplar değerlendirilmiş ve katot bölgesinin anot bölgesi içine yerleştirildiği iki bölmeli bir MYH tasarlanmıştır. Kampüs atık suyunun substrat olarak kullanıldığı çalışmada gerilim değerleri gözlemlenmiş ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümü yapılarak kirlilik giderimi tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Reaktör Tasarım Süreci

Yapılan çalışmada herhangi bir standart yakıt hücresi reaktörü kullanmak yerine atıl durumdaki plastik kaplar değerlendirilmiştir. Bu sayede "sıfır atık" ışığında katı plastik atıkların da değerlendirilmesi için öncülük edilmiştir.

Saklama kabı olarak kullanılmış plastik kabın üst kısmı silindirik plastik kabın yerleştirilmesi amacıyla kesilmiştir. Silindirik plastik kabın ise alt tabanı membran yüzeyinin atıksu ile temas etmesi için kesilmiştir. Ayrıca elektrot telinin ve hava hortumunun geçirilmesi için de delikler açılmıştır. Anot ve katot bölmesi olarak kullanılması planlanan plastik kaplar Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Mikrobiyal yakıt hücresi olarak kullanılan plastik kaplar.

2.2. Atıksu Temin Süreci

Reaktörde substrat olarak Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü kanalizasyon şebekesine ait atıksu kullanılmıştır. Atıksu temini için üniversite bünyesindeki ilgili kişiler ile irtibata geçilmiş ve atıksu temini gerçekleştirilmiştir.

Atıksu numunesi alındıktan sonra oda sıcaklığına getirilmesi için bekletilmiş ve daha sonra kullanılmıştır. Numunenin alındığı şebeke noktası ve atıksu temin süreci görseli Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Atıksuyun alındığı şebeke noktası ve atıksu temin süreci.

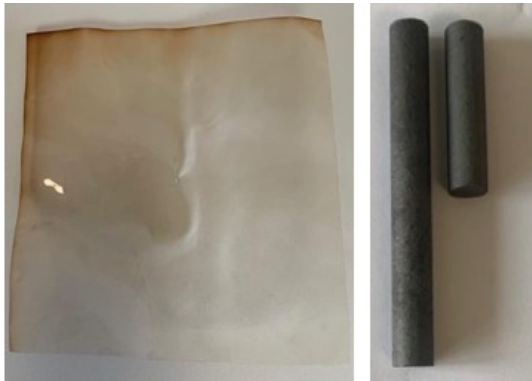
2.3. Deneysel Sürecin Hazırlanması

Elektroaktif bakteriler anaerobik şartlarda, belirli pH değerlerinde (6,5-8) ve oda sıcaklığında (20-25°C) daha aktif rol oynamaktadırlar. Bu nedenle kampüs kanalizasyon şebekesinden alınan atıksu numunesi reaktöre boşaltılmadan önce pH, sıcaklık ve KOİ analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlere ait çeşitli görseller Şekil 4'te gösterilmiştir.



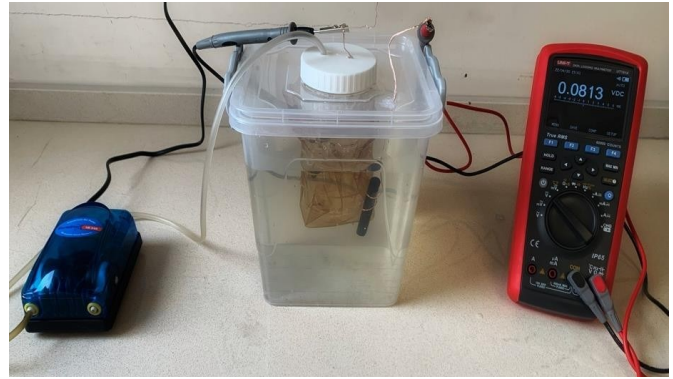
Şekil 4. Reaktörde substrat olarak kullanılacak atıksuyu ait başlangıç analizleri.

Çalışmada kullanılan reaktörün anot bölgesi 500 mL ve katot bölgesi 200 mL'dir. Anot bölgesi evsel atıksu ile, katot bölgesi ise deiyonize su ile doldurulmuştur. Anot ve katot bölmelerini birbirinden ayırmak için proton geçirgen membran olarak 10 cm X 10 cm ölçülerinde Nafion 117 kullanılmıştır. Anot ve katot elektrot olarak ise grafit çubuk elektrotlar kullanılmıştır. Anot elektrot 10 cm boyunda ve 1 cm çapında, katot elektrot ise 5 cm boyunda ve 1 cm çapındadır. Çalışmada kullanılan membran ve elektrotlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Nafion 117 membran ve grafit çubuk elektrotlar.

Şekil 5'te gösterilen elektrotların etrafı bakır tel ile sarılarak reaktörün üst kısmında multimetreye bağlanmış ve elektrot etrafındaki bakteriler tarafından üretilen elektronlar aktararak devre tamamlanmıştır. Bu sayede sistemde akım ve gerilim oluşarak elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Ayrıca anot bölgesindeki elektroaktif bakterilerin anaerobik şartlarda yaşaması için anot bölgesindeki bütün açıklıklar silikon tabanca ile doldurulmuş ve reaktörün hava alması engellenmiştir. Son olarak; katot bölgesinde oksijen konsantrasyonunun fazla olması ve bu sayede anot bölgesinden katot bölgesine iyon aktarım hızının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle, katot bölgesi hava pompası ile sürekli olarak havalandırılmıştır. Çalışmada açık devre gerilimi (ADV) ölçülmüş ve 5 dk. ölçüm aralıklarıyla gerilim değerleri kaydedilmiştir. Yapılan çalışmaya ait deney düzeneği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Yapılan çalışmaya ait deney düzeneği.

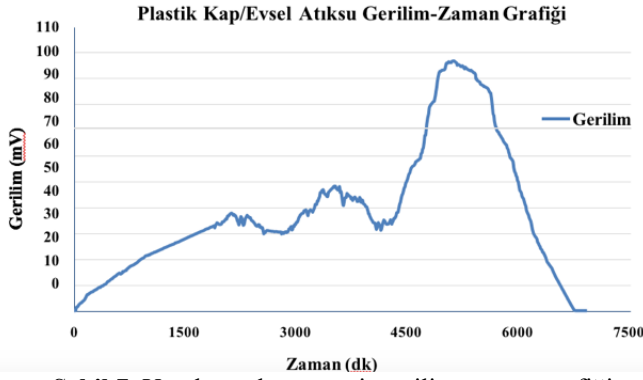
3. DENEYSEL BULGULAR

Yapılan çalışmada, kampüse ait evsel atıksudan ölçülen gerilim değerleri kaydedilerek gerilim-zaman grafiği elde edilmiştir. Ayrıca çalışma başlamadan önce ve bittikten sonra KOİ ve pH ölçümleri yapılmış ve evsel atıksuyun arıtılma potansiyeli ortaya koyulmuştur. Çalışma başlangıcında ve sonunda yapılan ölçümler ve elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yapılan çalışma süresince elde edilen pH ve sıcaklık ölçümleri.

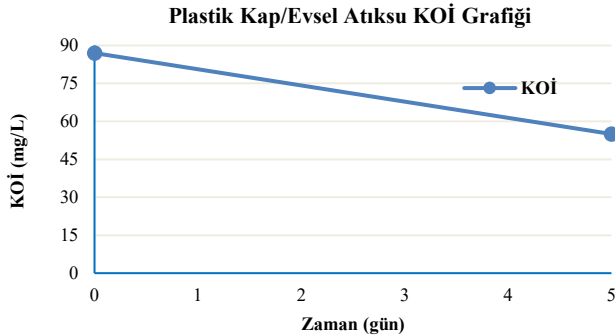
Analiz Türü	İlk Okuma	Son Okuma
pH	7,52	7,50
Sıcaklık	21,7 °C	21,4 °C

Elektroaktif bakterilerin nötral pH ve oda sıcaklığında çalıştığı dikkate alındığında, Çizelge 1'deki ölçümlere göre atıksu numunesinin pH ve sıcaklık değerlerinin yapılan çalışma için uygun olduğu ifade edilebilir. Yapılan çalışma sonucunda pH değerlerinde ciddi değişiklik gözlenmemiştir. Çalışma süresince ölçülen gerilim değerleri kaydedilerek elde edilen grafik Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yapılan çalışmaya ait gerilim-zaman grafiği.

Çalışma başlangıcında gerilim değerleri hızlıca artış göstermiş ve en yüksek gerilim değeri 96,8 mV olarak ölçülmüştür. Reaktörün anot bölmesinde ekstra aşı ilavesinin olmaması, elektrik üretiminin evsel atıksu içerisindeki aşı aktivitesi ile gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Çalışma süresince atıksuyun kirlilik derecesinin tespiti ve çalışma sonunda ne kadar arıtımın gerçekleştiğini ortaya koymak için, evsel atıksuyun reaktöre boşaltılmadan önce ve çalışma tamamlandıktan sonra KOİ değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Yapılan çalışmaya ait KOİ grafiği.

Kampüs bünyesinde lojmanlar, yemekhane, merkezi araştırma laboratuvarı, fakülteler ve idari binalar olması nedeniyle çalışma planlanırken kampüs atıksuyunun kirlilik yükünün yüksek olacağı düşünülmüştür. Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda kampüsün kanalizasyon şebekesine yağmur suyunun karıştığı ve atıksuda seyrelme olduğu tespit edilmiştir. Numunenin bahar ayında alınmış olması atıksuyun KOİ değerlerini etkilemiştir. Şekil 8 incelendiğinde; kanalizasyon şebekesinden temin edilen ham atıksuyun kirlilik yükünün düşük çıktığı ve buna bağlı olarak da atıksu bünyesindeki elektroaktif mikroorganizma miktarının az olduğu ifade edilebilir. Yapılan çalışmada reaktöre ayrıca aşı ilavesi yapılmamış ve mevcut şartlardaki elektrik üretim potansiyeli ortaya koyulmuştur. Bu nedenle ham atıksuyun kirliliğinde %36,8'lik bir giderim gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Mikrobiyal yakıt hücreleri, son yıllarda hem atıksu arıtımı hem de elektrik üretimi açısından alternatif bir teknoloji olarak oldukça önemli hale gelmiştir. Bu teknolojiler, laboratuvar ölçekli olarak sıklıkla kullanılmakla birlikte pilot ölçekli kullanımları bölgenin enerji ihtiyacı için büyük rol oynayacaktır. Yapılan çalışmada Muş Alparslan Üniversitesi kampüsüne ait evsel atıksu, basit tasarımda bir mikrobiyal yakıt hücresinde substrat olarak kullanılmış ve hem atıksu arıtımı hem de elektrik üretim kapasitesi incelenmiştir. Elde edilen bulgular dikkate alındığında, kampüs bünyesindeki birleşik sistem altyapısı nedeniyle yağmur sularının evsel atıksu ile karışması atıksuyun kirlilik derecesini önemli ölçüde değiştirmiş ve yapılan çalışmadaki gerilim değerlerini etkilemiştir. Mikrobiyal yakıt hücreleri çalışmalarında anot bölmesi elektroaktif bakteri topluluğu ile desteklendiğinde, daha yüksek gerilim değerleri elde edileceği açıktır. Yapılan çalışmanın, pilot ölçekli mikrobiyal yakıt hücresi uygulamalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yapılan çalışma "Sıfır Atık Projesi Işığında Kampüs Atık Suyundan Elektrik Üretimi" başlıklı proje ile TÜBİTAK 2209-A tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, Ö., Gümüş, E., "Mikrobiyal Yakıt Hücreleri ile Çamur Arıtımı ve Elektrik Üretimi", Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, Sayfa 81-89, 2016.
- [2] Ieropoulos, I. A., Greenman, J., Melhuish, C., Hart, J., "Comparative study of three types of microbial fuel cell", Enzyme and Microbial Technology, Volume 37 (2), Pages 238-245, 2005.
- [3] Oliveira, V. B., Simões, M., Melo, L. F., Pinto, A. M. F. R., "Overview on the developments of microbial fuel cells", Biochemical Engineering Journal, Volume 73, Pages 53-64, 2013.
- [4] Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., Oh, S. E., "Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review", Alexandria Engineering Journal, Volume 54(3), Pages 745-756, 2015.
- [5] Atamert, B. H. "İki Bölmeli Mikrobiyal Yakıt Hücresi Kullanarak Karbon Giderimi ve Elektrik Üretimi". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [6] Dege, Y., Danış, Ü., "Mikrobiyal Yakıt Hücresi Teknolojisini Kullanarak Atıksu Arıtımı ve Biyoenerji Üretimi: Literatür Araştırması", Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Cilt 3, Sayı 3, Sayfa 128-140, 2020.
- [7] Slate, A. J., Whitehead, K. A., Brownson, D. A., Banks, C. E., "Microbial fuel cells: An overview of current technology", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 101, Pages 60-81, 2019.
- [8] Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Ayub, M., Goh, H. H., Kusworo, T. D., Mohyuddin, A., Chew, K. W., "Microbial fuel cells (MFC): a potential game-changer in renewable energy development", Sustainability, Volume 14(24), Pages 16847, 2022.