

## Sediment Tipi Mikrobiyal Yakıt Hücresi Kullanılarak Arıtma Çamurlarından Elektrik Üretimi

\*Ergin Taşkan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23119-Elazığ,  
\*etaskan@firat.edu.tr

(Geliş/ Received: 06.01.2016; Kabul/ Accepted:05.02.2016)

### Özet

Bu çalışmada, sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresi (SMYH) kullanılarak kentsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının elektrik üretim kapasitesi araştırılmıştır. SMYH’de anot ve katot materyali olarak grafit elektrot kullanılmış ve sistem 35 gün süre ile işletilmiştir. Sistemde üretilen maksimum güç yoğunluğu 10,2 mW/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. SEM görüntüleri, anot elektrotu yüzeyinde yoğun bir biyofilm yapısının mevcut olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, arıtma çamurlarının elektrik üretim kapasitesinin literatürde yapılmış SMYH çalışmaları ile kıyaslanabilir düzeyde olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresi, Arıtma çamuru, Maksimum güç yoğunluğu.

## Electricity Generation From Treatment Sludge By Using Sediment-type Microbial Fuel Cell

### Abstract

In this study, the electricity generation capacity of wastewater treatment plant sludge was investigated by using sediment type microbial fuel cell (SMFC). Graphite electrode was used as anode and cathode material in SMFC and the system was operated for 35 days. The maximum power density of 10.2 mW/m<sup>2</sup> was obtained. The SEM images showed that a dense biofilm structure was formed on the anode electrode surface. The obtained results showed that electricity generation capacity of treatment sludge comparable to literature values obtained from SMFC.

**Keywords:** Sediment type microbial fuel cell, Treatment sludge, Maximum power density.

### 1. Giriş

Aktif çamur prosesleri, kentsel atıksuların arıtımı için dünya genelinde kullanılan en yaygın metotlardan biridir. Bu arıtım prosesi, atıksu içerisindeki çözülmüş organik maddelerin bakteriyel hücre içerisine alınması ve bu hücrelerin çeşitli yöntemler ile sudan uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Aktif çamur prosesleri arıtma tesislerinde etkin bir şekilde kullanılmakla birlikte bazı dezavantajlara sahiptir. Bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biri yüksek miktarda çamur üretimidir [1]. Bu durum arıtma tesislerinde ikincil bir kirletici oluşturarak ilave maliyet gerektirmektedir. Aktif çamur sistemlerinde oluşan arıtma çamurlarının bileşimi atıksu

karakteristiğinden ciddi oranda etkilemektedir. Kentsel atıksu arıtma çamurlarının içeriği genellikle karbonhidratlar (%14), proteinler (%40), lipitler (%10), lignin (%17) ve diğer (%30-50) kompleks organik maddelerden oluşmaktadır [2, 3]. Ayrıca arıtma çamurları; ağır metal, virüs ve bakteri gibi zararlı maddeleri ve mikroorganizmaları içermektedir [4]. Arıtma tesislerinde üretilen çamurun giderimi amacıyla anaerobik çamur çürütme metodu yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat arıtma çamurlarının anaerobik arıtımı biyolojik ayrışmanın düşük olmasından dolayı metan üretiminin yetersizliği gibi dezavantajlara sahiptir [5, 6]. Bu nedenle bu tür atıkların arıtımı için alternatif metotların geliştirilmesi ve artma maliyetinin düşürülmesi oldukça önemlidir.

Sediment mikrobiyal yakıt hücreleri (SMYH), anot elektrotunun sediment ortamına gömülü olduğu katot elektrotunun ise su yüzeyine yakın aerobik ortamda konumlandırıldığı bir tür mikrobiyal yakıt hücresidir [7]. Bir SMYH’de sediment ortamında bulunan mikroorganizmalar organik maddelerin oksidasyonu ile meydana gelen elektronları anot elektrotuna aktarırken katot bölgesinde (su ortamında) bulunan oksijen sediment ortamında üretilen elektronları alarak indirgenmektedir [8]. Katot bölgesine elektronların aktarımı dış direnç vasıtası ile sağlanmakta ve elektrotlar arasında bir elektrik akımı oluşmaktadır. Bu sayede, SMYH’lerin deniz tabanına konumlandırılmış cihazlar için uzun süreli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılma potansiyeli mevcuttur [9, 10]. Ayrıca, SMYH’ler sediment ortamındaki organik maddelerin yerinde arıtımı için yeni bir teknoloji olarak düşünülebilir [11, 12]. Son yıllarda SMYH performansını etkileyen birçok faktör araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu amaçla, daha önceki çalışmalarda elektrot materyali [8, 13], anot ve katot elektrotu arasındaki uzaklık [14], pH [15, 16], dış direnç [14, 16], sıcaklık [14, 17], iletkenlik [7, 18] ve sediment ortamındaki organik madde konsantrasyonu [12, 19] gibi faktörlerin etkisi incelenmiştir. Literatürde yapılmış çalışmalarda SMYH’lerde sediment ortamına organik madde ilavesi yapılarak üretilen elektrik miktarı arttırılmaya çalışılmıştır [20]. Bu yaklaşım dikkate alınarak, arıtma tesisi çamurlarının yüksek organik madde içeriğinden dolayı SMYH sistemlerinde sediment ortamı olarak kullanılabilme potansiyeli mevcuttur. Bu çalışmada, aktif çamur sistemlerinde oluşan arıtma çamurları SMYH sisteminde sediment ortamı olarak kullanılmış ve elektrik üretim kapasitesi araştırılmıştır. Çalışmada anot ve katot materyali olarak grafit elektrot kullanılmış ve işletme süresi sonunda elektrot yüzeyindeki yapı SEM elektron mikroskopu ile araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sediment mikrobiyal yakıt hücresi kurulumu ve işletimi

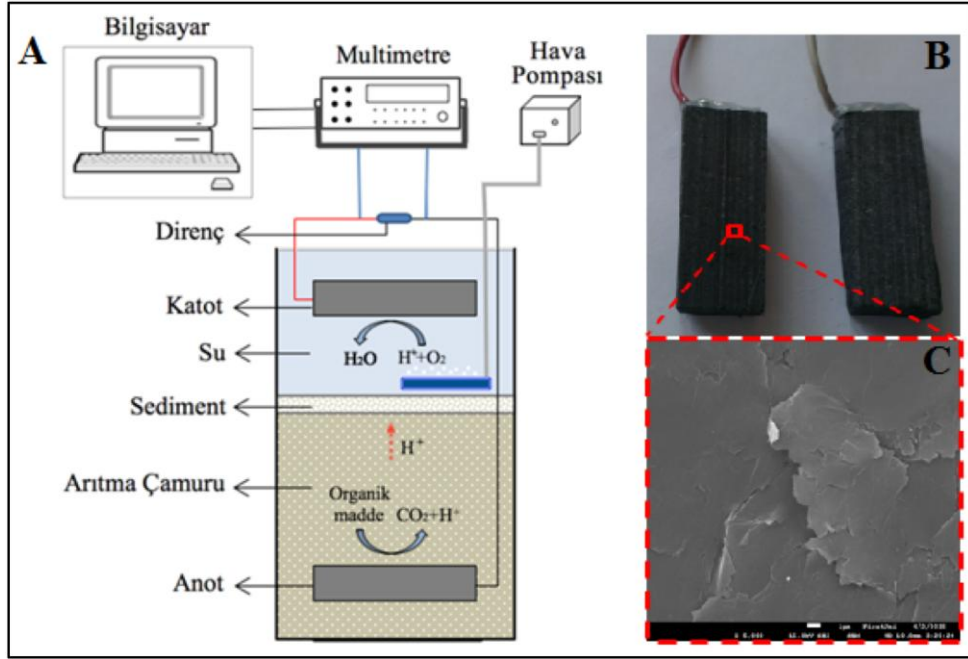
Çalışmada kullanılan sediment mikrobiyal yakıt hücresi 21 cm yüksekliğinde ve 8 cm çapında plastik bir kap kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 2.1-A). Çalışmada sediment ortamı olarak Elazığ ili kentsel atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru kullanılmıştır. Arıtma çamurları 1/10 oranında haliç tabanından alınan sediment ile karıştırılarak anarobik mikroorganizma içermesi sağlanmıştır. Ardından çamur yüksekliği 15 cm olacak şekilde kap içerisine doldurulmuş ve anot elektrotu çamur yüzeyinden 10 cm aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Arıtma çamuru ile üst sıvısının karışımını ve oluşabilecek problemleri önlemek amacıyla çamur üst yüzeyi 1 cm yüksekliğinde deniz tabanından alınan sediment ile kaplanmıştır. Çalışmada üst sıvı olarak musluk suyu kullanılmıştır. Katot elektrotu su yüzeyinden 2 cm aşağıda ve sediment yüzeyinden 3 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. SMYH karanlık bir ortamda oda sıcaklığında ( $23\pm 2$  °C) işletilmiştir. İşletme süresince su yüksekliğinde meydana gelen azalma musluk suyu ilave edilerek giderilmiştir. SMYH’de üst sıvı akvaryum pompası kullanılarak sürekli olarak havalandırılmış ve O<sub>2</sub> seviyesi yaklaşık olarak 5-6 mg/L civarında tutulmuştur.

### 2.2. Elektrot malzemesi

Çalışmada anot ve katot elektrotu olarak grafit plaka elektrot kullanılmıştır (Şekil 2.1-B). Elektrot malzemesi *Fuel Cell Store* firmasından temin edilmiştir ([www.fuelcellstore.com](http://www.fuelcellstore.com)). Grafit elektrotlara ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Grafit elektrota ait teknik özellikler

Özellik	Değer
Yoğunluk	1,90 g/cm
Basınç Dayanımı	>50 MPa veya 7250 psi
Elektriksel İletkenlik	110 S/cm
Elektriksel Direnç	90 mikro ohm/M



**Şekil 2.1:** Çalışmada kullanılan sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresinin şematik görünümü (A), kullanılan elektrot materyalleri (B) ve elektrot yüzeyinin SEM görüntüsü (C).

Çalışmada kullanılan anot ve katot elektrotun yüzey alanı  $25\text{ cm}^2$  dir. Elektrotlar kullanılmadan önce 10 dk etanol içerisinde bekletilerek elektrot yüzeyinde mevcut olabilecek mikro ve nano partiküllerden arındırılmıştır. Ardından SMYH sistemine yerleştirilerek  $1000\ \Omega$ 'luk direnç kullanılarak sabitlenmiştir. Grafit elektrotun kullanılmadan önce yüzeyinden alınan SEM görüntüsü şekil 2.1-C'de görülmektedir.

### 2.3. Analizler

SMYH'de üretilen voltaj, işletme süresi boyunca 60 sn aralıklarla dijital multimetre (FLUKE 8846A, Everett, WA, USA) kullanılarak ölçülmüştür. SMYH'de üretilen akım, ohm kanununa göre  $V=IR$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır ( $V=$  Voltaj,  $R=$  Dış direnç). Güç miktarı ise,  $P=IV$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır. SMYH'de üretilen maksimum güç miktarını tespit etmek amacıyla polarizasyon eğrileri oluşturulmuştur. Polarizasyon eğrisini oluşturmak amacıyla dış direnç  $1-50000\ \Omega$  arasında değiştirilerek farklı dirençler için elde edilen voltaj değerleri belirlenmiştir. SMYH'nin iç direnci Logan [21] da belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. İşletme

süresi sonunda anot elektrotu sistemden çıkarılmış ve % 2,5'lik paraformaldehit çözeltisinde 3 st bekletilerek elektrot yüzeyinde bulunan mikroorganizma ve diğer yapının ortamda sabitlenmesi sağlanmıştır. Ardından  $4\ ^\circ\text{C}$  sıcakta  $0,1\ \text{mol/L}$ 'lik pH'sı 6,8 fosfat tamponu çözeltisi ile üç kez art arda yıkanmıştır [22]. Daha sonra konsantrasyonu sırasıyla % 50, 70, 80, 90 ve 100 olan etil alkol çözeltileri kullanılarak her bir konsantrasyon için iki tekrar olacak şekilde yıkanmıştır. Ardından numuneler da sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Numuneler tam olarak kurutulduktan sonra vakum altında altın ile kaplanmış ve JEOL JSM-7001F marka elektron mikroskobu cihazı ile SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

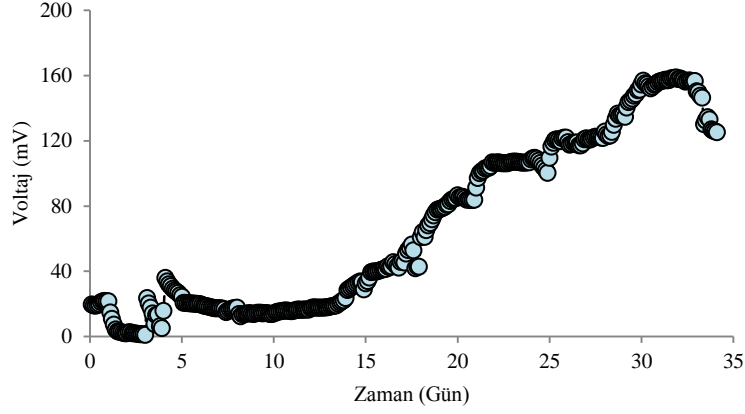
## 3. Sonuç ve Tartışma

### 3.1. Elektrik üretim performansı

İşletme süresince SMYH'de üretilen elektrik miktarı Şekil 3.1'de görülmektedir. Sistemin kurulumu tamamlandıktan sonra anot ve katot elektrotları dış direnç ile sabitlenmiş ve sistemde  $20\ \text{mV}$  düzeyinde elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bu süreçte sistemden elde edilen akım yoğunluğu  $8\ \text{mA/m}^2$  olarak elde edilmiştir.

Sistemde üretilen elektrik miktarı bir gün süre ile 20 mV civarında devam etmiş ve ikinci işletme gününde azalarak 1-2 mV değerine düşmüştür. SMYH’de 5. işletme gününe kadar üretilen elektrik miktarı dalgalı bir şekilde seyretmiş ve işletme süresinin 5-14 günleri arasında kararlı bir şekilde devam ederek ortalama 20 mV düzeyinde olduğu belirlenmiştir. SMYH’de 10. işletme gününden sonra üretilen elektrik miktarı artmaya başlamıştır. Bu durum grafit elektrot yüzeyinde elektrokimyasal olarak aktif (elektrojen) biyofilm yapısının oluştuğunu göstermektedir. Elektrojen mikroorganizmaların ortama adaptasyonunun sağlanması ile birlikte arıtma çamuru içerisindeki organik maddelerin tüketimi artmış ve elektrik üretiminde artış meydana

gelmiştir. Elektrik üretimindeki artış işletme süresinin 34. gününe kadar devam etmiştir. Sistemin 34. işletme gününde en yüksek voltaj  $158 \pm 0,7$  mV olarak elde edilmiştir. Bu süreçte SMYH’de üretilen akım yoğunluğu  $63 \text{ mA/m}^2$  olarak elde edilmiştir. Bu değer sistem işletmeye alındıktan sonra elde edilen elektrik üretiminden yaklaşık olarak 8 kat daha fazladır. İşletme süresinin 34. gününde SMYH’de üretilen elektrik miktarı düşmeye başlamıştır. Üretilen elektrik miktarında meydana gelen düşüşün elektrot yüzeyinde bulunan mikroorganizmaların arıtma çamuru içerisindeki organik maddeyi tüketmesi sonucu meydana geldiği düşünülmektedir.



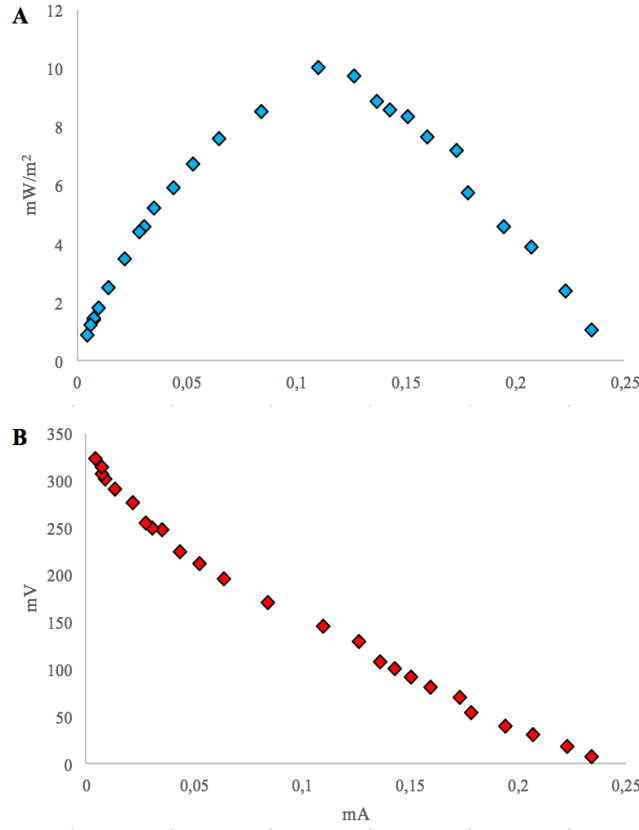
**Şekil 3.1:** Sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresinde 35 günlük işletme süresinde voltaj üretimi

SMYH sisteminde üretilen güç miktarı polarizasyon eğrisi oluşturularak tespit edilmiştir. Polarizasyon eğrisi oluşturulurken dış direnç  $1-50000 \Omega$  arasında değiştirilmiş ve her bir direnç değerine karşılık sistemin ürettiği güç miktarı hesaplanmıştır. İşletme süresinin 33. işletme gününde sistemin ürettiği maksimum güç miktarı  $10,2 \text{ mW/m}^2$  olarak elde edilmiştir (Şekil 3.2). Elde edilen maksimum güç yoğunluğu, literatürde yapılmış diğer çalışmalar ile kıyaslanabilir düzeydedir. Commault ve diğ. [23] tarafından yapılan çalışmada, fotosentetik biyokatot’a sahip sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresi kullanılmış karbon anot ve paslanmaz çelik katot kullanılarak  $11 \text{ mW/m}^2$  maksimum güç yoğunluğuna ulaşılmıştır. Song ve diğ. [24] granüle aktif karbon katot ve paslanmaz çelik anot kullanarak sediment mikrobiyal yakıt

hücresi ile  $11,2 \text{ mW/m}^2$  maksimum güç yoğunluğuna ulaşmıştır. Sajana ve diğ. [25] tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise sediment ortamında bulunan selüloz miktarının güç üretimi üzerine etkisi araştırılmıştır ve maksimum güç yoğunluğu  $8,47 \text{ mW/m}^2$  olarak rapor edilmiştir. Çalışmada en yüksek güç üretiminin sağlandığı süreçte elde edilen voltaj ve akım değerlerine karşı çizilen eğri yardımıyla SMYH sisteminin iç direnç değerinin  $1364 \Omega$  olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen iç direnç değeri oldukça yüksek bir değerdir. Yüksek iç direnç değerleri, SMYH’lerinin en büyük dezavantajı olup bu sistemlerde elektrik üretimini kısıtlayan en önemli faktördür. Daha önceki çalışmalarda MYH sistemlerinde iç direnç değerini etkileyen en önemli faktörün anot ve katot elektrotu arasındaki uzaklık olduğu

rapor edilmiştir. Hong ve diğ. [14] SMYH’de anot ve katot elektrotları arası uzaklığın 100 cm’den 12 cm’ye düşürülmesi ile maksimum güç yoğunluğunun  $0.37 \text{ mW/m}^2$  değerinden  $1.01 \text{ mW/m}^2$  değerine yükseldiğini rapor etmişlerdir. MYH sistemlerinde iç direnç değerini etkileyen diğer bir faktör ise sistemde kullanılan elektrot

materyalidir. Song ve diğ. [26] SMHY’de farklı elektrot materyaller için farklı iç direnç değerleri rapor etmiş ve en yüksek iç direnç değerini  $1900 \pm 30 \ \Omega$  olarak aktif karbon fiber keçe ile elde edildiğini belirtmiştir. diğer bir yüksek iç direnç değeri Wang ve diğ. [27] tarafından  $1823 \ \Omega$  olarak rapor edilmiştir.

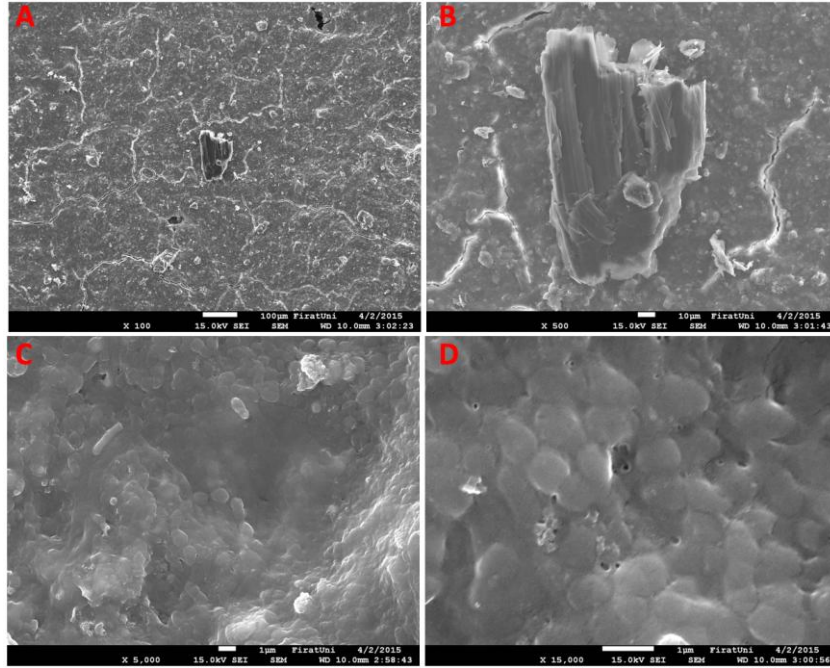


Şekil 3.2: Sistemde üretilen güç yoğunluğu (A) ve polarizasyon eğrisi (B)

### 3.2 SEM Sonuçları

Grafit elektrot yüzeyinde işletme süresi sonunda yüzey morfolojisi elektron mikroskobu ile analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 3.3’de sunulmuştur. Grafit elektrot mikroorganizmalar ile biyouyumlu olan bir malzemedir. Bu durum literatürde birçok çalışma tarafından rapor edilmiştir [28, 29]. SEM görüntüleri, anot elektrotu yüzeyinde kek tabakasının mevcut olduğunu göstermektedir (Şekil 3.3-A). Aynı bölgelerden yüksek büyütmeyle alınan SEM görüntülerinde yapı içerisinde yüksek miktarda mikroorganizmanın mevcut olduğu tespit

edilmiştir (Şekil 3.3-C ve Şekil 3.3-D). Elektrot yüzeyinde genellikle yuvarlak şekilli mikroorganizmalar ile nadiren çubuk şekli mikroorganizmaların mevcut olduğu görülmektedir. SEM analizi sonuçları elektrot yüzeyinde tespit edilen mikroorganizmaların sistemin elektrik üretiminde etkin olan mikrobiyal türlerinden olduğunu göstermektedir. Elde edilen SEM görüntülerinden elektrot yüzeyinde farklı yapıların mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 3.3-B). Bu yapıların arıtma çamurlarının içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.3. Anot elektrotu yüzeyinden işletme süresi sonunda alınan SEM görüntüsü

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresi kullanılarak arıtma çamurlarının elektrik üretim performansı araştırılmıştır. Çalışma sonuçları arıtma çamurlarının elektrik üretim kapasitesinin 34 gün süre ile devam ettiğini ve bu süreden sonra sistemde üretilen elektrik miktarının azalmaya başladığını göstermiştir. Sistemde üretilen maksimum güç yoğunluğunun  $10,2 \text{ mW/m}^2$  olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen güç yoğunluğu, sediment tipi mikrobiyal yakıt hücreleri kullanılarak yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanabilir düzeydedir. Çalışma sonunda anot elektrotu yüzeyinde elde edilen SEM görüntülerinden grafit elektrot yüzeyinde ciddi miktarda mikroorganizma topluluğunun mevcut olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen mikroorganizmaların elektrik üretiminde etkin türler olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bulgular, arıtma tesisleri için ciddi bir problem olan arıtma çamurlarının sediment tipi mikrobiyal yakıt hücresinde elektrik üretimi amacıyla değerlendirilebileceğini göstermektedir. Elektrik üretimi açısından etkin yeni elektrot materyallerinin kullanılması ile daha yüksek elektrik üretiminin sağlanması mümkün olabilecektir.

#### Kaynaklar

1. Kelessidis, A., Stasinakis, A.S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste management.*, **32**: 1186-1195.
2. Goto, M., Nada, T., Kodama, A., Hirose, T. (1999). Kinetic analysis for destruction of municipal sewage sludge and alcohol distillery wastewater by supercritical water oxidation. *Industrial & engineering chemistry research.*, **38**: 1863-1865.
3. Youssef, E.A., Nakhla, G., Charpentier, P.A. (2011). Oleic acid gasification over supported metal catalysts in supercritical water: hydrogen production and product distribution. *International Journal of Hydrogen Energy.*, **36**: 4830-4842.
4. Qian, L., Wang, S., Xu, D., Guo, Y., Tang, X., Wang, L. (2016). Treatment of municipal sewage sludge in supercritical water: A review. *Water research.*, **89**: 118-131.
5. Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni, P., Cecchi, F. (2005). Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment process. *Process Biochemistry.*, **40**: 1453-1460.
6. Kuglarz, M., Karakashev, D., Angelidaki, I. (2013). Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants. *Bioresource technology.*, **134**: 290-297.

7. Reimers, C.E., Tender, L.M., Fertig, S., Wang, W. (2001). Harvesting energy from the marine sediment-water interface. *Environmental science & technology.*, **35**: 192-195.
8. Scott, K., Cotlarciuc, I., Head, I., Katuri, K., Hall, D., Lakeman, J., et al. (2008). Fuel cell power generation from marine sediments: Investigation of cathode materials. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.*, **83**: 1244-1254.
9. Donovan, C., Dewan, A., Heo, D., Beyenal, H. (2008). Batteryless, wireless sensor powered by a sediment microbial fuel cell. *Environmental science & technology.*, **42**: 8591-8196.
10. Tender, L.M., Gray, S.A., Groveman, E., Lowy, D.A., Kauffman, P., Melhado, J., et al. (2008). The first demonstration of a microbial fuel cell as a viable power supply: powering a meteorological buoy. *Journal of Power Sources.*, **179**: 571-575.
11. Hong, S.W., Kim, H.S., Chung, T.H. (2010). Alteration of sediment organic matter in sediment microbial fuel cells. *Environmental Pollution.*, **158**: 185-191.
12. Song, T.S., Yan, Z.S., Zhao, Z.W., Jiang, H.L. (2010). Removal of organic matter in freshwater sediment by microbial fuel cells at various external resistances. *Journal of chemical technology and biotechnology.*, **85**: 1489-1493.
13. Scott, K., Cotlarciuc, I., Hall, D., Lakeman, J., Browning, D. (2008). Power from marine sediment fuel cells: the influence of anode material. *Journal of Applied Electrochemistry.*, **38**: 1313-1319.
14. Hong, S.W., Chang, I.S., Choi, Y.S., Chung, T.H. (2009). Experimental evaluation of influential factors for electricity harvesting from sediment using microbial fuel cell. *Bioresource technology.*, **100**: 3029-3035.
15. Behera, M., Ghangrekar, M. (2009). Performance of microbial fuel cell in response to change in sludge loading rate at different anodic feed pH. *Bioresource Technology.*, **100**: 5114-5121.
16. Jadhav, G., Ghangrekar, M. (2009). Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration. *Bioresource Technology.*, **100**: 717-723.
17. Renslow, R., Donovan, C., Shim, M., Babauta, J., Nannapaneni, S., Schenk, J., et al. (2011). Oxygen reduction kinetics on graphite cathodes in sediment microbial fuel cells. *Physical Chemistry Chemical Physics.*, **13**: 21573-21584.
18. Hong, S.W., Chang, I.S., Choi, Y.S., Kim, B.H., Chung, T.H. (2009). Responses from freshwater sediment during electricity generation using microbial fuel cells. *Bioprocess and biosystems engineering.*, **32**: 389-395.
19. Wang, A., Cheng, H., Ren, N., Cui, D., Lin, N., Wu, W. (2012). Sediment microbial fuel cell with floating biocathode for organic removal and energy recovery. *Frontiers of Environmental Science & Engineering.*, **6**: 569-574.
20. Kim, M., Ekpeghere, K.I., Kim, S.-H., Chang, J.-S., Koh, S.-C. (2012). Analysis of microbial communities in aquatic sediment microbial fuel cells injected with glucose. *미생물학회지.*, **48**: 254-261.
21. Logan, B.E. (2008). *Microbial fuel cells*: John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
22. Song, T., Xu, Y., Ye, Y., Chen, Y., Shen, S. (2009). Electricity generation from terephthalic acid using a microbial fuel cell. *Journal of chemical technology and biotechnology.*, **84**: 356-360.
23. Commault, A., Lear, G., Novis, P., Weld, R. (2014). Photosynthetic biocathode enhances the power output of a sediment-type microbial fuel cell. *New Zealand Journal of Botany.*, **52**: 48-59.
24. Song, T.-S., Yan, Z.-S., Zhao, Z.-W., Jiang, H.-L. (2011). Construction and operation of freshwater sediment microbial fuel cell for electricity generation. *Bioprocess and biosystems engineering.*, **34**: 621-627.
25. Sajana, T., Ghangrekar, M., Mitra, A. (2014). Effect of presence of cellulose in the freshwater sediment on the performance of sediment microbial fuel cell. *Bioresource technology.*, **155**: 84-90.
26. Song, T.s., Tan, W.m., Wu, X.y., Zhou, C.C. (2012). Effect of graphite felt and activated carbon fiber felt on performance of freshwater sediment microbial fuel cell. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.*, **87**: 1436-1440.
27. Wang, D.-B., Song, T.-S., Guo, T., Zeng, Q., Xie, J. (2014). Electricity generation from sediment microbial fuel cells with algae-assisted cathodes. *international journal of hydrogen energy.*, **39**: 13224-13230.
28. Tang, J., Chen, S., Yuan, Y., Cai, X., Zhou, S. (2015). In situ formation of graphene layers on graphite surfaces for efficient anodes of microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics.*, **71**: 387-395.
29. Wei, J., Liang, P., Huang, X. (2011). Recent progress in electrodes for microbial fuel cells. *Bioresource technology.*, **102**: 9335-9344.