

7x7 CM² MEMBRANLI MİKROBİYAL YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Necmettin ÇOBAN¹, Kevser DİNCER¹, Yunus ÇAVUŞOĞLU¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

necmettin_coban@hotmail.com, kdincer@selcuk.edu.tr, cavusoglu.yunus@gmail.com

Özet

Mikroorganizmaları katalizör olarak kullanarak organik maddeleri direkt olarak elektrik enerjisine çevirebilen sistemler Mikrobiyal Yakıt Hücreleri (MYH)'dir. Bu çalışmada, 7x7 cm² membranlı, aktif ve çökeltme çamuru için farklı sıcaklıklarda ($\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 10^{\circ}\text{C}, 12^{\circ}\text{C}, 14^{\circ}\text{C}, 16^{\circ}\text{C}$), düşük (0.8 L/dak) ve yüksek bubble etkisinde (3 L/dak), 10 farklı direnç için akım ve gerilim değerleri ölçülerek, MYH'sinin performansı incelenmiştir. Performans parametreleri, gücün akıma göre değişimi, gücün gerilime göre değişimi ve akımın gerilime göre değişimidir. Tüm deneysel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, maksimum gerilim, aktif çamurda, yüksek bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \Omega$ 'da, 0.366 V'tır. Maksimum güç aktif çamurda, düşük bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 901 \Omega$ 'da 0.114 mW'tır.

Anahtar Kelimeler: Güç, Membran, Mikrobiyal Yakıt Hücresi.

INVESTIGATION OF EXPERIMENTAL PERFORMANCE OF 7x7 CM² MEMBRANED MICROBIAL FUEL CELL

Abstract

Microbial fuel cells (MYH) are systems that can convert organic substances directly into electrical energy by using microorganisms as catalysts. In this study, at different temperatures ($\Delta T_{\text{sludge-Tenvironmen}} = 10^{\circ}\text{C}, 12^{\circ}\text{C}, 14^{\circ}\text{C}, 16^{\circ}\text{C}$), in effect of bubble low (0.8 L/min) and high bubble (3 L/min) the current and voltage values were measured for 10 different resistances and the performance of the MFC with 7x7 cm² membrane was investigated for active sludge and sediment sludge. The performance

parameters are the change in power versus current, the change in power versus voltage and the change in current versus current. When all the experimental results are evaluated together, the maximum voltage is 0.366 V in the active sludge, in the high bubble effect, in the $\Delta T_{\text{sludge-environment}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, in the $R = 990$. The maximum power is 0.114 mW in activated sludge, under low bubble effect, in the $\Delta T_{\text{sludge-environment}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, in the $R = 901 \text{ } \Omega$.

Keywords: Membrane, Microbial Fuel Cells, Power.

1. Giriş

Günümüzde, teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaçta o kadar artmıştır. Şu anda kullanılmakta olan enerji kaynaklarının büyük bir bölümü fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar, küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Aynı zamanda yakın bir gelecekte tükenmeleri söz konusu olduğu bilinmektedir. Bu durum, bilim insanlarının, fosil kaynaklı yakıtlar dışındaki enerji kaynağı arayışına girmelerine neden olmuştur. Fosil kaynaklı olmayan enerji kaynakları yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları olarak bilinmektedir.

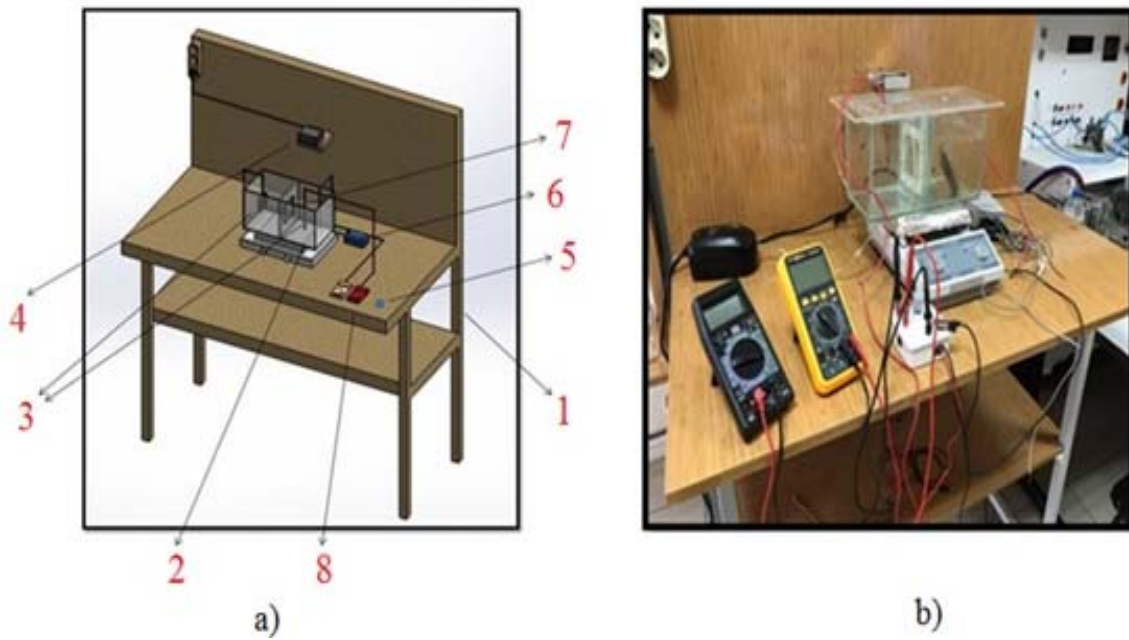
MYH sistemleri, son zamanlarda, organik maddeleri kullanabilen sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. MYH sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynağı sayılmasının nedenlerinden biri karbon-nötr olmaları yani organik maddelerin oksidasyonu sonucu atmosfere sadece kararlı olan karbonu salmalarındır [1]. MYH, katot ve anot adı verilen iki bölmeden oluşan ve birbirinden proton değiştirici membran ile ayrılan bir sistemdir. Anot hücrelerinde bulunan, elektrot yüzeyine tutunarak büyüyen mikroorganizmalar, organik maddeleri oksitleyerek elektron ve proton (hidrojen) üretirler. Anot bölgesinde üretilen elektronlar, elektrot yüzeyinden bir devre ile katot bölgesine aktarılır. Hidrojen ise difüzyon ile proton değiştirici zarıdan geçerek katot bölgesine ulaşır ve burada oksijen ile birleşerek suya dönüşür [2].

Bu çalışmada $7 \times 7 \text{ cm}^2$ membranlı, aktif ve çökeltme çamuru için farklı sıcaklıklarda, düşük ve yüksek bubble etkisinde, 10 farklı direnç için akım ve gerilim değerleri ölçülerek, MYH'sinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Maksimum akım, aktif çamurda yüksek bubble etkisinde, maksimum gerilim aktif çamurda yüksek

bubble etkisinde, maksimum güç ise aktif çamurda düşük bubble etkisinde tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metod

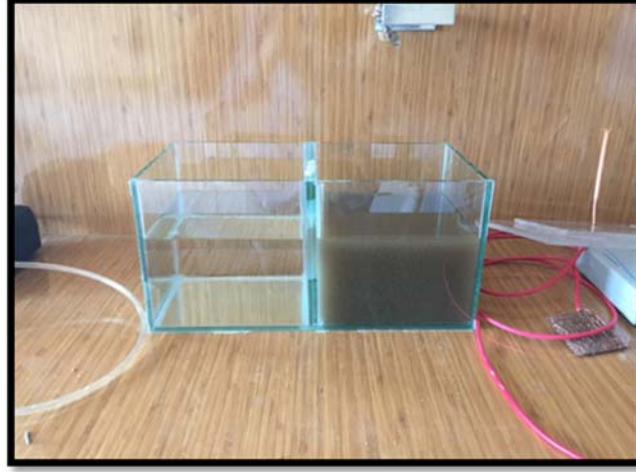
Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 1a'da, deneysel sistemin görünüşü ise Şekil 1b'de sunulmuştur. Deneysel sistemde kullanılan cihaz ve aparatlar ise Şekil 2-6'da sunulmuştur.



(1) Profil masa, (2) cam kaplar, (3) bakır örgü ve bakır çubuk (4) ısılcift, (5) potansiyometre, (6) hava motoru, (7) membran, (8)avometre

Şekil 1. (a) Deney düzeneğinin şematik görünüşü, (b) deneysel sistemin görünüşü

Cam hazneler, 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında, 2 hazneden oluşacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 2). Cam haznelerin ortasına, 7x7 cm² boyutlarında, membran yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Cam hazneler

Bakır elementinin elektrik iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle bu çalışmada anot ve katot için bakır örgü ve bakır çubuk kullanılmıştır (Şekil 3-4).



Şekil 3. Bakır örgü



Şekil 4. Bakır çubuk

Potansiyometre yardımı ile direnç değışimi değerleri ayarlanmıştır (şekil 5).



şekil 5. Potansiyometre

Hava motoru ile su dalgalandırılarak sudaki O₂ miktarı arttırılmıştır (şekil 6).



şekil 6. Hava motoru

Membranlar, anot ve katot bölmelerinin ayrımı için kullanılan malzemedir. Nafion membranlar, yüksek iyonik iletkenliğe sahiptirler (10^{-2} Scm^{-1}). Bu nedenle, bu çalışmada, $7 \times 7 \text{ cm}^2$ boyutlarında, nafion membranlar kullanılmıştır. şekil 7’de sunulmuş olan multimetreler ile deneysel çalışmadaki, akım, gerilim ve direnç değerleri ölçülmüştür.



Şekil 7. Multimetreler

Deneylerde aktif ve çökeltme çamurları kullanılarak, farklı sıcaklık, farklı direnç, farklı bubble etkisindeki akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Sıcaklıklar 4 farklı $\Delta T_{\text{çamur-çevre}}$ ($\Delta T_{\text{ça-çe}} = 10^{\circ}\text{C}$, 12°C , 14°C , 16°C) değerden oluşmaktadır. Her $\Delta T_{\text{ça-çe}}$ değeri için 2 farklı bubble etkisinde (hava motorunun en yüksek seviyesindeki debi değeri 3 L/dak ve en düşük seviyesindeki debi değeri 0.8 L/dak) ve her bubble etkisi için ise 10 farklı direnç kademesi belirlenerek deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmaya ait işlem basamakları aşağıda sunulmuştur.

- 1) MYH'sinin anot kısmına su, katot kısmına aktif çamur veya çökeltme çamuru yerleştirilir.
- 2) Anot kısmına bakır çubuk, katot kısmına ise bakır örgü daldırılır.
- 3) Çamurun cam kabın altına çökmesini önlemek için katot bölmesine balıklar (balıklar manyetik malzemelerdir ve manyetik karıştırmayı sağlarlar) konulur.
- 4) Sıcaklık farkının oluşturulması ve çamurun karıştırılması için MYH manyetik karıştırıcı ve ısıtıcının üzerine yerleştirilir.
- 5) Çamurun içine ısı çift daldırılır.
- 6) Ortam sıcaklığını ölçmek için de ayrıca bir sıcaklık sensörü bulunmalıdır.
- 7) Karıştırma işleminin gerçekleşmesi ve çamur sıcaklığının istenilen seviyeye getirilmesi için, manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı belirli bir seviyeye getirilerek çalıştırılır.
- 8) Multimetrenin bir ucu gerilim bölümüne, diğer ucu ise akım bölümüne tutulur ve potans yardımıyla istenilen direnç değeri ayarlanır.

- 9) Direnç değerinin ayarlanmasından sonra, akım ölçümü yapan avometrenin (+) ucu akım bölümünde 1. born vida ağzına, (-) ucu ise 2. born vida ağzına yerleştirilir. Aynı işlem gerilim ölçen multimetre için de gerilim bölümünde yapılır.
- 10) Sistem ayarları yapıldıktan sonra, ayarlanan direnç değerine ait gerilim ve akım değerleri ölçülerek, elde edilen veriler kayıt edilir.

3. Bulgular ve Tartışma

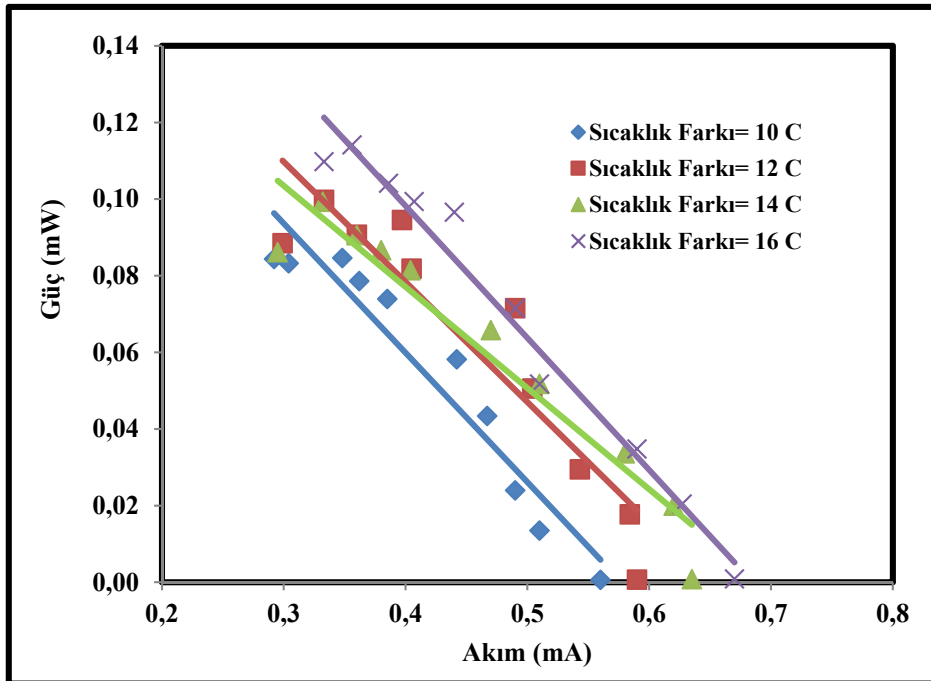
Bu çalışmada, 7×7 cm² membranlı MYH'sinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Mikrobiyal yakıt hücreleri üzerinde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Aktan ve arkadaşları çalışmalarında, membran enzimlerini doğal olarak kullanma yeteneğine ve elektronlarını iletken bir anoda verme kabiliyetine sahip olan shawenella putrefaciens bakterileri kullanarak, mikrobiyal yakıt hücrelerinin performansını incelemiştir. Çalışmalarında, 10 mM glikoz kullanıldığında, 1250 mL besi maddesi içinde çoğaltılan saf kültürün santrifüjünden elde edilen devre voltajını 832 mV olarak bulmuşlardır [3]. Çatal ve arkadaşları, lignoselülozik biyokütlelerin asit hidrolizatlarında yaygın olarak bulunan disakkaritlerden tek odalı, hava-katot mikrobiyal yakıt hücreleri yardımıyla elektrik üretimini araştırmışlardır. En yüksek güç yoğunluğunu, 0.44-0.66 mA cm⁻² akım yoğunluğunda, sellobiyoz için 1262 ± 5 mW m⁻², maltoz içinse 1893 ± 67 mW m⁻² olarak tespit etmişlerdir. [4]. Köroğlu, iki bölmeli MYH ile farklı membran elektrot konfigürasyonlarını, farklı hidrolik bekletme süreleri (HBS)'nde performans incelemiştir. Maksimum akım yoğunluğu 1385 mA/m² ve güç yoğunluğu 16 mW/m², Ti-TiO₂-nafion, en düşük akım yoğunluğu 480 mA/m² ve güç yoğunluğu 2 mW/m² karbon kağıt elektrot membran konfigürasyonlarında HBS'de elde edilmiştir [5]. Bu çalışmada, 7×7 cm² membranlı mikrobiyal yakıt hücresinde, Konya Atıksu Arıtma Tesislerinden temin edilmiş olunan aktif çamur ve çökeltme çamuru kullanılmıştır.

Aktif çamur prosesi, atıksulardaki kolloidal ve çözülmüş formlarda bulunan ve çökelemeyen maddeleri çökelebilen biyolojik yumaklara dönüştürme işlemidir. Biyolojik yumaklar havalandırma havuzunda meydana getirilir ve son çökeltme havuzunda çökelttilerek sistemden ayrılır. Bu çökelen biyolojik yumaklara kısaca "Aktif çamur" denir [6]. Aktif çamur prosesi, farklı karakterizasyona sahip atıksuları arıtmak

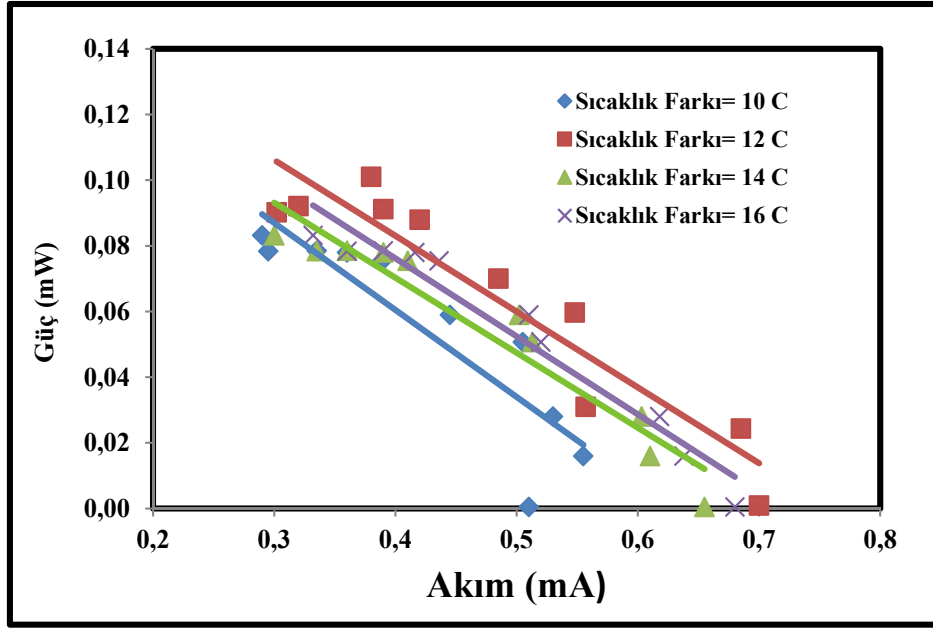
için kullanılmaktadır. Bu prosesin temel fonksiyonu, organik kirleticileri karbondioksit, su ve biyokütleye dönüştürmektir [7]. Aktif çamur içerisinde, bakteriler bulunmaktadır. Bu bakteriler organik madde oksidasyonuna sebep olurlar.

Çökeltme çamuru, çökelebilen özelliğine sahip organik ve inorganik yapıda askıda katı maddelerin yerçekimi etkisiyle sudan ayrılması işlemiyle oluşmaktadır. Ham atık suyun içindeki çökelebilen maddeler, yüksek yoğunlukta çökeltme çamuru olarak tanımlanmıştır. Çökeltme çamuru, aktif çamura göre mikroorganizmalar açısından yüzde olarak daha fazladır. Çökeltme çamurları organik madde içeriği zengin olduğundan yoğunlaştırma aşamasından sonra çamur stabilizasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azaltılmış olmaktadır [8].

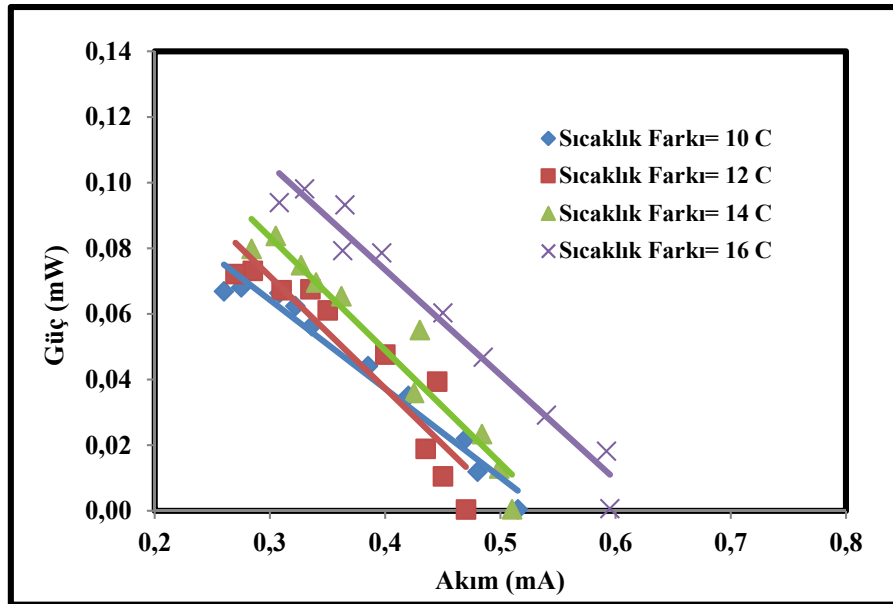
Bu çalışmada, 7x7 cm²'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş olan 7x7 cm²'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresinin performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Performans parametreleri; gücün akıma göre değişimi, gücün gerilime göre değişimi ve akımın gerilime göre değişimidir. 7x7 cm²'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresine ait güç (P)= I²xR_{dış} eşitliğinden hesaplanarak tespit edilmiştir. Aktif çamur (aç), çökeltme çamuru (çç) için düşük bubble (db) ve yüksek bubble (yb) etkisi için gücün akıma göre değişimi, Şekil 9 ve 10'da sunulmuştur.



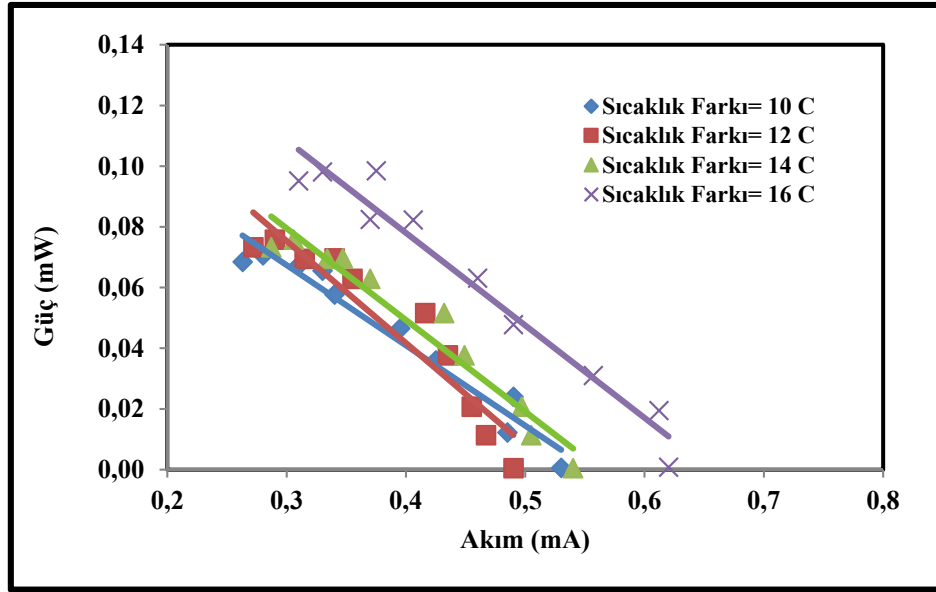
Şekil 9a. Gücün akıma göre değişimi (aktif çamur - düşük bubble etkisi)



Şekil 9b. Gücün akıma göre değişimi (aktif çamur - yüksek bubble etkisi)



Şekil 10a. Gücün akıma göre değişimi (çökelme çamuru - düşük bubble etkisi)



Şekil 10b. Gücün akıma göre değişimi (çökeltme çamuru - yüksek bubble etkisi)

Şekil 9 ve 10'da elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, düşük ve yüksek bubble etkisinde elde edilen maksimum güç değerleri;

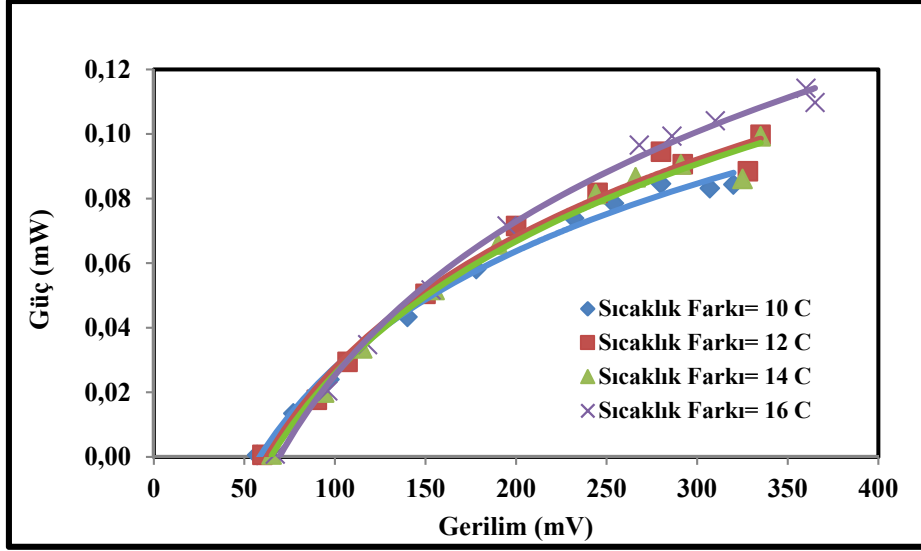
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da *aç* için $P_{\text{maks}} = 0.114 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da *aç* için, $P_{\text{maks}} = 0.101 \text{ mW}$
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da *çç* için $P_{\text{maks}} = 0.098 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da *çç* için $P_{\text{maks}} = 0.098 \text{ mW}$ 'dir.

Düşük ve yüksek bubble etkisinde, *aç* ve *çç* için elde edilen maksimum akım değerleri (I_{maks});

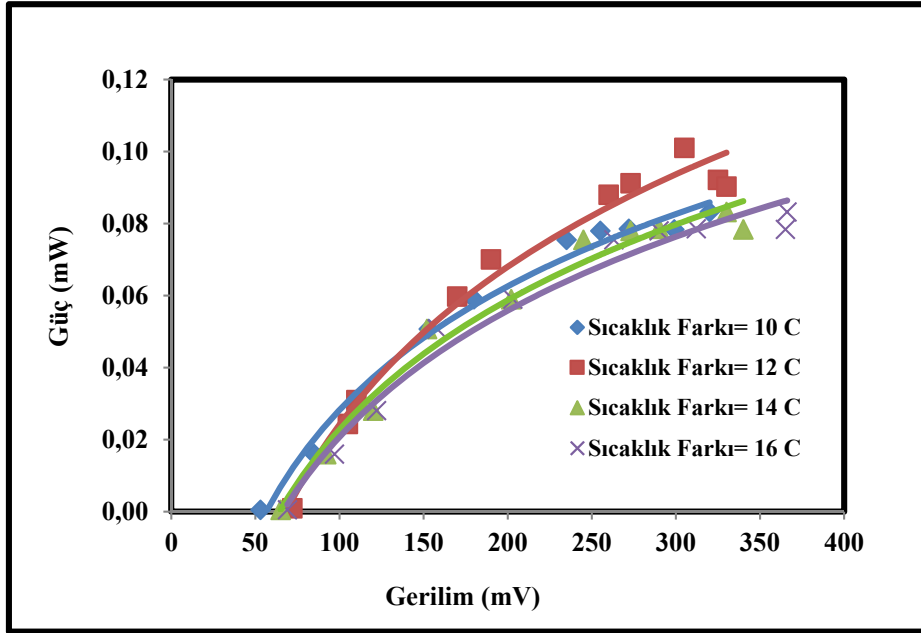
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, $I_{\text{maks}} = 0.67 \text{ mA}$ 'dir (*aç* için)
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, $I_{\text{maks}} = 0.7 \text{ mA}$ 'dir, (*aç* için)
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, $I_{\text{maks}} = 0.595 \text{ mA}$ 'dir (*çç* için)
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, $I_{\text{maks}} = 0.62 \text{ mA}$ 'dir (*çç* için).

$7 \times 7 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 10, 12, 14, 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lerde, düşük ve yüksek bubble etkisinde, aktif ve çökeltme çamuru için tüm P_{maks} değerleri birlikte değerlendirildiğinde; maksimum güç $0,114 \text{ mW}$, aktif çamur için, düşük bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da, $0,356 \text{ mA}$ 'de tespit edilmiştir. Çökeltme çamuru için, yüksek bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{ç-a-ç}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da, $0,375 \text{ mA}$ 'de, maksimum güç $0,0984$ elde edilmiştir. Akımın artması ile güç düşmüştür. Düşük akım değerlerinde yüksek güç elde edilmiştir.

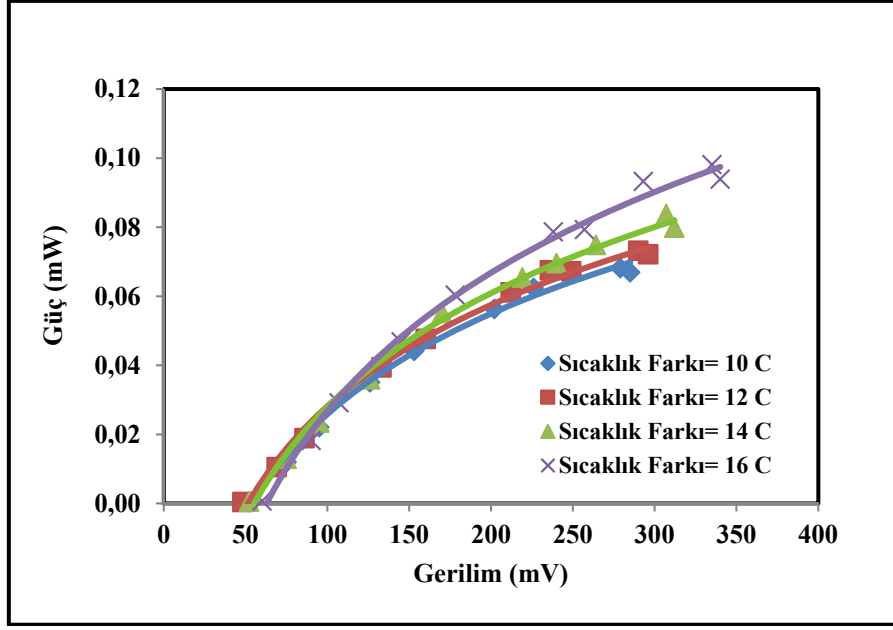
Aktif çamur ve çökelme çamuru için düşük ve yüksek bubble etkisinde, gücün gerilime göre değişimi, Şekil 11 ve 12’de sunulmuştur.



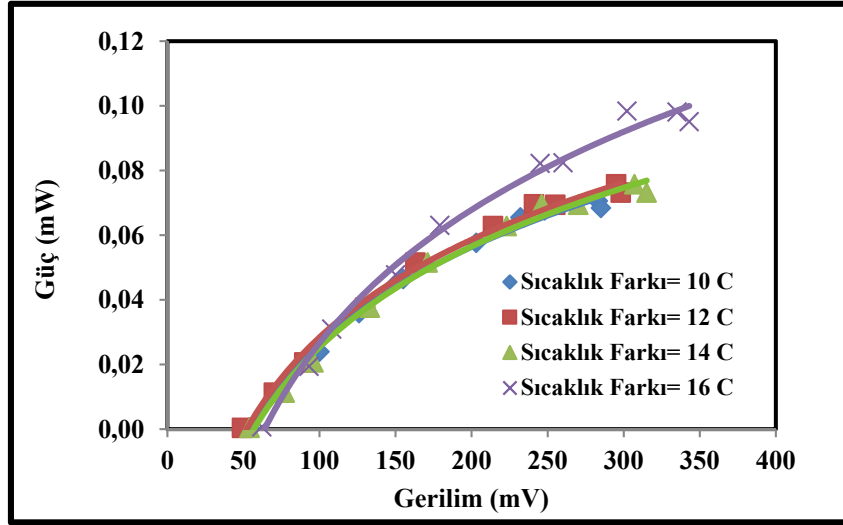
Şekil 11a. Gücün gerilime göre değişimi (aktif çamur - düşük bubble etkisi)



Şekil 11b. Gücün gerilime göre değişimi (aktif çamur - yüksek bubble etkisi)



Şekil 12a. Gücün gerilime göre değişimi (çökeltme çamuru - düşük bubble etkisi)



Şekil 12b. Gücün gerilime göre değişimi (çökeltme çamuru - yüksek bubble etkisi)

Şekil 11 ve 12 birlikte değerlendirildiğinde, düşük ve yüksek bubble etkisinde elde edilen maksimum güç değerleri;

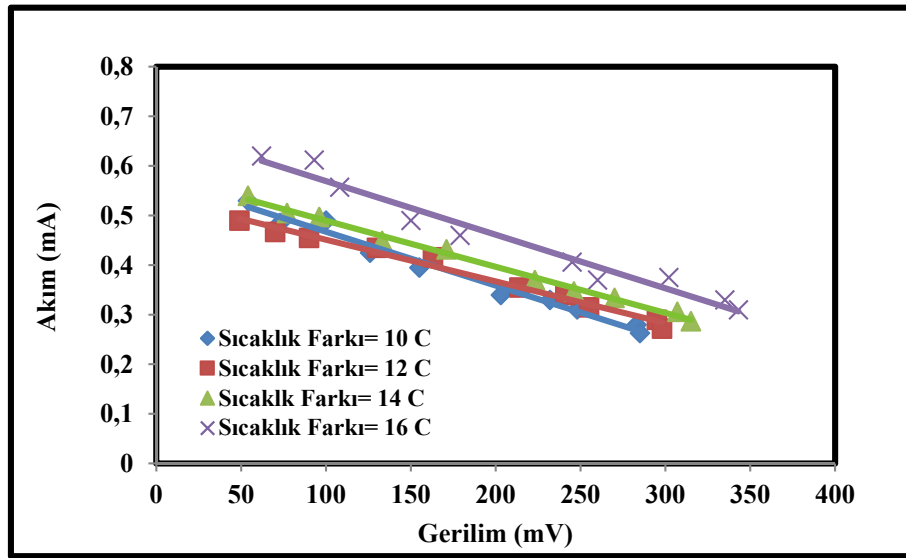
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da *aç* için $P_{\text{maks}} = 0.114 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da *aç* için, $P_{\text{maks}} = 0.101 \text{ mW}$
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da *çç* için $P_{\text{maks}} = 0.098 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da *çç* için $P_{\text{maks}} = 0.098 \text{ mW}$ 'dır.

Düşük ve yüksek bubble etkisinde, maksimum gerilim değerlerinde elde edilen güç değerleri;

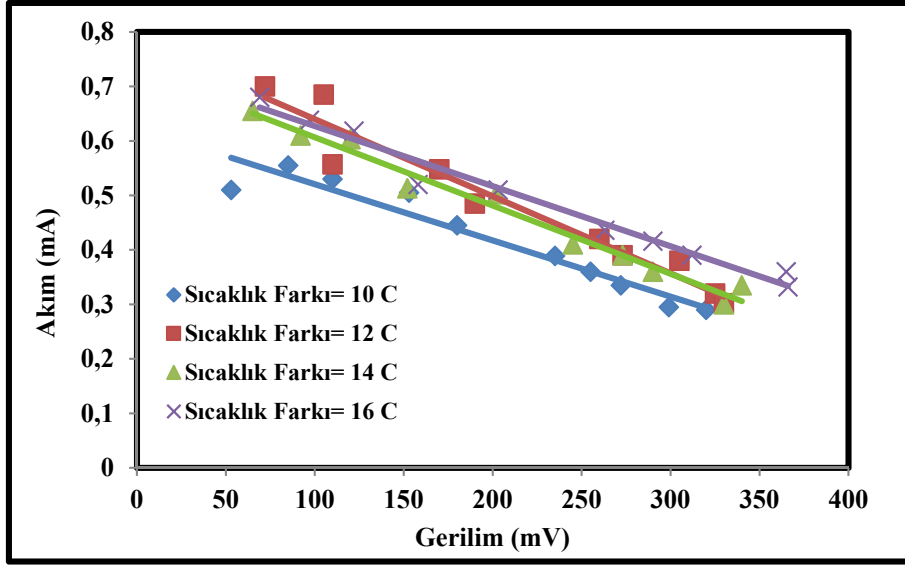
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, $V_{\text{maks}} = 0.365 \text{ V}$ 'de, *aç* için, $P = 0.109 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, $V_{\text{maks}} = 0.366 \text{ V}$ 'de, *aç* için, $P = 0.083 \text{ mW}$
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, $V_{\text{maks}} = 0.34 \text{ V}$ 'de, *çç* için, $P = 0.093 \text{ mW}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, $V_{\text{maks}} = 0.343 \text{ V}$ 'de, *çç* için, $P = 0.095 \text{ mW}$ 'dir.

Gerilimin artması ile güç artmıştır. Maksimum güç, 0.114 mW , aktif çamur için, düşük bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 901 \text{ } \Omega$ 'da, 0.36 V 'da görülmüştür. Çökeltme çamuru için, yüksek bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 700 \text{ } \Omega$ 'da, 0.302 V 'da, $P_{\text{maks}} = 0.0984 \text{ mW}$ 'dir. Gerilimin artması ile güç artmıştır.

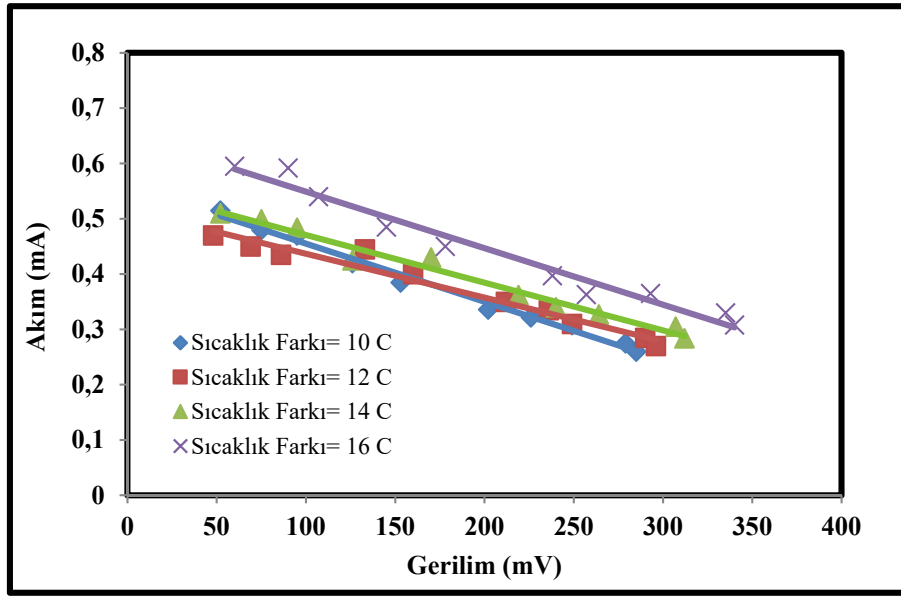
Akımın gerilime göre değişimi aktif çamur ve çökeltme çamuru için (düşük ve yüksek bubble etkisinde) Şekil 13 ve 14'de sunulmuştur.



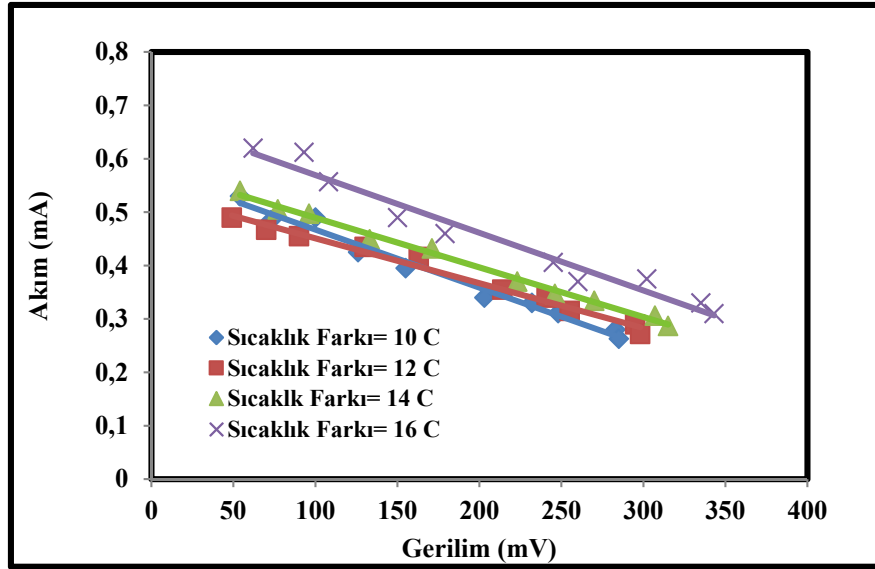
Şekil 13a. Akımın gerilime göre değişimi (çökeltme çamuru - düşük bubble etkisi)



Şekil 13b. Akımın gerilime göre değişimi (aktif çamur - yüksek bubble etkisi)



Şekil 14a. Akımın gerilime göre değişimi (çökelme çamuru - düşük bubble etkisi)



Şekil 14b. Akımın gerilime göre değişimi (çökeltme çamuru - yüksek bubble etkisi)

Şekil 13 ve 14 birlikte değerlendirildiğinde, tespit edilen maksimum akım ve gerilim değerleri aşağıda sunulmuştur.

- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, *aç* için, $I_{\text{maks}} = 0.67 \text{ mA}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, *aç* için, $I_{\text{maks}} = 0.7 \text{ mA}$
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, *çç* için, $I_{\text{maks}} = 0.595 \text{ mA}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{çam}} \Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, *çç* için, $I_{\text{maks}} = 0.62 \text{ mA}$ 'dir
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, *aç* için, $V_{\text{maks}} = 0.365 \text{ V}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, *aç* için, $V_{\text{maks}} = 0.366 \text{ V}$
- *Db* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, *çç* için, $V_{\text{maks}} = 0.34 \text{ V}$
- *Yb* etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 990 \text{ } \Omega$ 'da, *çç* için, $V_{\text{maks}} = 0.343 \text{ V}$ 'dir.

Gerilimin artması ile akım düşmüştür. Maksimum akım $I_{\text{maks}} = 0.7 \text{ mA}$, aktif çamur için, yüksek bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{çamur-çevre}} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, 0.072 V 'da görülmüştür. Çökeltme çamuru için, $I_{\text{maks}} = 0.62 \text{ mA}$, yüksek bubble etkisinde, $\Delta T_{\text{ça-çe}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, $R = 2 \text{ } \Omega$ 'da, 0.062 V 'da görülmüştür.

4. Sonuçlar

MYH, oksijensiz ortamda mikroorganizmaları katalizör olarak kullanarak biyokimyasal olarak organik maddeleri direkt olarak elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında $7 \times 7 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresi

imal edilmiş ve deneysel olarak performansı incelenmiştir. Tüm deneysel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde;

- Akımın artması ile gücün düştüğü,
- Gerilimin artması ile gücün arttığı
- Akımın artması ile gerilimin düştüğü
- Direncin artması ile gerilimin arttığı, akımın düştüğü, gücün arttığı tespit edilmiştir.
- Tüm deneysel sonuçlar birlikte analiz edildiğinde, maksimum gerilim, akım ve güç değerleri aktif çamur numunesinde tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, 1919B011603411 no'lu proje ile "2209/A" Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a ve deney numunelerinin temin edilmesinde yardımcı olan Konya Atık Su Tesisi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Demir Ö, Gümüş E. Mikrobiyal yakıt hücreleri ile çamur arıtımı ve elektrik üretimi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2016; 1(2): 81- 89.
- [2] Kılıç A, Uysal Y, Çınar Ö. Laboratuvar ölçekli bir mikrobiyal yakıt hücresinde sentetik atıksudan elektrik üretimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2011; 17 (1) : 43-49.
- [3] Aktan S, Çokgör E, Gücin F. Mikrobiyel yakıt hücresinde shawanella putrefaciens tarafından organik atıklardan elektrik üretimi, İtü Dergisi 2011; 21: 79-87.
- [4] Çatal T, Bermek H, Li K, Liu H. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde disakkaritlerden elektrik üretimi, İtü Dergisi, 2009; 7: 123-131.
- [5] Köroğlu EO. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde evsel atıklardan elektrik üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [6] Aktif Çamur, <http://anadolucevre.com/dokumans/25.htm>, [online], [Ziyaret Tarihi:10.12.2018].

[7] Gürtekin E, Şekerdağ N. Aktif çamur proste aşırı çamur üretimini azaltmak için kullanılan yöntemler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2006; (11) 1: 1-8.

[8] Öztürk İ, Çallı B, Arıkan O, Altınbaş M. Kağıt endüstrisi atıksularına uygun arıtma teknolojilerinin belirlenmesi ve Türkiye'deki mevcut durumun analizi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü; 2015.