



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**10x10 VE 11x11 CM<sup>2</sup>'LİK MEMBRANLI  
MİKROBİYAL YAKIT HÜCRESİ TASARIMI,  
İMALATI VE PERFORMANSININ  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Mustafa Akram Hayder HAYDER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2018**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Akram Hayder HAYDER tarafından hazırlanan "10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup>'lik Membranlı Mikrobiyal Yakıt Hücresi Tasarımı, İmalatı ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı tez çalışması 01/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı/ Enerji Sistemleri Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Dr.Öğr.Üyesi Tuba ARTAN ONAT

#### Danışman

Doç.Dr.Kevser DİNCER

#### Üye

Prof.Dr.Halil Kürşad ERSOY

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. ....  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından BAP\_17201094 no'lu proje nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa Akram Hayder HAYDER

Tarih: 01.06.2018



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### 10x10 VE 11x11 CM<sup>2</sup>'LİK MEMBRANLI MİKROBİYAL YAKIT HÜCRESİ TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**Mustafa Akram Hayder HAYDER**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji Sistemleri Mühendisliği**

**Danışman: Doç. Dr. Kevser DİNCER**

**2018, 108 Sayfa**

**Jüri  
Doç. Dr. Kevser DİNCER**

Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH), alternatif enerji kaynaklarından biridir. Bu çalışmada 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı mikrobiyal yakıt hücresinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiş olan MYH'nin performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Performans parametreleri aktif (#AÇ) ve çökeltme çamuru (#ÇÇ) için düşük ve yüksek debide farklı sıcaklık değişimlerinde  $\Delta T (=T_{\text{çamur}} - T_{\text{çevre}}) = 8, 10, 12, 14^{\circ}\text{C}$ 'deki, 21 farklı dış dirençteki gerilimin (V) akım yoğunluğu (A/m<sup>3</sup>)'na göre değişimi, güç yoğunluğu (W/m<sup>3</sup>)'nin akım yoğunluğu (A/m<sup>3</sup>)'na göre değişimidir. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin gerilim, akım yoğunluğu ve güç yoğunluğunun maksimum değerleri sırasıyla 0,571 V, 0,520 A/m<sup>3</sup> ve 79,4 W/m<sup>3</sup>'dir ve bu değerler #AÇ'da,  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ 'de bulunmuştur. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik MYH için gerilim, akım yoğunluğu ve güç yoğunluğunun maksimum değerleri sırasıyla 0,616 V, 0,463 A/m<sup>3</sup> ve 75,64 W/m<sup>3</sup>'dir ve bu değerler #AÇ'da,  $\Delta T = 14^{\circ}\text{C}$ 'de tesbit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrobiyal yakıt hücresi, membran, performans, akım yoğunluğu, güç yoğunluğu

## **ABSTRACT**

### **MASTER DEGREE**

## **DESIGN, MANUFACTURING OF 10x10 AND 11x11 CM<sup>2</sup> MEMBRANED MICROBIAL FUEL CELL AND EXPERIMENTALY INVESTIGATION OF PERFORMANCE**

**Mustafa Akram Hayder HAYDER**

**Energy Systems Engineering  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kevser DINCER**

**2018, 108 Pages**

**Jury  
Assoc. Prof. Dr. Kevser DINCER**

Microbial fuel cells (MFC) is an alternative energy source. In this, study has realized the design and manufacture of microbial energies with 10x10 and 11x11 cm<sup>2</sup> membranes. The performance of MFC designed and manufactured has been investigated experimentally. Performance parameters are the differences active sludge (#AS) and sediment sludge (#SS) at low and high the flow rates and at different temperature changes  $\Delta T(=T_{\text{mud}}-T_{\text{ambient}}) = 8, 10, 12, 14$  °C, at different 21 external resistences, the variation of voltage (V) according to current density (A/m<sup>3</sup>), and variaton of power density (W/m<sup>3</sup>) to current density (A/m<sup>3</sup>). The maximum values of voltage, current density and power density of the 10x10 cm<sup>2</sup> membrane MFC are 0.571 V, 0.520 A/m<sup>3</sup> and 79.4 W/m<sup>3</sup>, respectively, and these values were found at # AS and at  $\Delta T = 10$  ° C. The maximum values of voltage, current density and power density of the 11x11 cm<sup>2</sup> MFC are 0.616 V, 0.463 A/m<sup>3</sup> and 75.64 W/m<sup>3</sup>, respectively, and these values were determined at # SS and at  $\Delta T = 14$  °C.

**Keywords:** Microbial fuel cell, membrane, performance, current density, power density.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli fikir ve tecrübelerinden faydalandığım, danışman hocam Doç. Dr. Kevser DİNCER, gösterdiği desteğinden dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doktor Öğretim Üyesi Tuba ARTAN ONAT sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın Arş. Gör. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY'a teşekkürlerimi sunarım, bu çalışmanın mali desteği için, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne (BAP\_17201094 no'lu proje) katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük katkı ve emeğe sahip olan çok değerli aileme ve yakın arkadaşima Y.L. öğrencisi Ozan Batuhan ATICI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Günümüzdeki alternatif enerji kaynaklarına, insanlık olarak ihtiyaç duymaktayız. Bu amaçla, bilim adamları farklı alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yapacağım çalışma ile enerji ihtiyacının daha ucuz ve kolay bir yolla elde edilmesini amaçlamaktayım. Ben bu çalışma ile şehirlerin atıksuyu gibi oldukça basit ve maliyetsiz bir yol kullanarak enerji üretimi elde etmeyi amaçlamaktayım. Bununla beraber başta bu çalışmayı yapacağım Türkiye ve vatandaşı bulunduğum Irak'ta bu yöntem ile beraber ucuz enerji kullanımını amaçlamaktayım.

Mustafa Akram Hayder HAYDER  
KONYA-2018

## İÇİNDEKİLER

<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. MİKROBİYAL YAKIT HÜCRESİ.....</b>	<b>10</b>
3.1. MYH'lerin Bileşenleri.....	10
3.1.1. Anot elektrot.....	10
3.1.2. Katot elektrot.....	11
3.1.3. Proton iletken membran .....	11
3.2. Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinin Çalışma Prensibi.....	11
3.3. Anot ve Katot Bölmelerinin Birbirinden Ayrılmasında Kullanılan Yöntemler ...	14
3.3.1. Tuz köprüleri .....	14
3.3.2. Membran uygulamaları .....	15
3.4. Mikrobiyal Yakıt Sistemlerinde Elektronların Bakteriden Elektrota Taşınma Mekanizmaları.....	19
3.4.1. Direkt elektron transferi .....	19
3.4.2. Medyatörler aracılığı ile elektron transferi.....	21
3.4.3. Kimyasal medyatörler aracılığı ile anot elektrota elektron transferi .....	22
3.4.4. Biyolojik medyatörler aracılığı ile anot elektrota elektron transferi.....	22
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
4.1. Deney Düzeneği Tasarımı ve İmalatı .....	24
4.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar .....	24
4.3. Cam Kapların İmalat Prosedürleri.....	33
4.3. Bakterilerde enerji .....	35
4.4. Deney numuneleri.....	36
4.4.1. Aktif Çamur.....	37
4.4.2. Çökelme Çamuru .....	39
4.5. Deneylerin Yapılışı.....	40
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>42</b>
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>79</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>96</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>107</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

V	: Gerilim, V
R	: Direnç, $\Omega$
I	: Akım, mA
P	: Güç yoğunluğu, W/m <sup>3</sup>
A	: Alan cm <sup>2</sup>
T	: Sıcaklık, °C
$\dot{V}$	: Hacimsel debi, m <sup>3</sup> /sn
$\eta_{el}$	: Elektrik verimlilik

### Kısaltmalar

#ÇÇMYH	: Çökelme çamurlu Mikrobiyal Yakıt Hücresi
#AÇMYH	: Aktif çamurlu Mikrobiyal Yakıt Hücresi
#AÇYB	: Aktif çamurlu yüksek debi etkisinde MYH
#ASMFC	: Active sludge Microbial Fuel Cell
MYH	: Mikrobiyal yakıt hücresi
#SSMFC	: Sediment sludge Microbial Fuel Cell
#ÇÇDB	: Çökelme çamurlu düşük debi etkisinde MYH
T <sub>hava</sub>	: Deney yapıldığı ortamın hava sıcaklığı, °C
T <sub>çamur</sub>	: Anot bölümünde bulunan çamur sıcaklığı, °C
$\Delta T_8$	: T <sub>çamur</sub> -T <sub>çevre</sub> =8 °C
$\Delta T_{10}$	: T <sub>çamur</sub> -T <sub>çevre</sub> =10 °C
$\Delta T_{12}$	: T <sub>çamur</sub> -T <sub>çevre</sub> =12 °C
$\Delta T_{14}$	: T <sub>çamur</sub> -T <sub>çevre</sub> =14 °C
LHV	: Düşük ısıtma değerinde
Volume	: m <sup>3</sup>



## 1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, üretimde zorunlu bir üretim faktörü olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtmakta olan temel göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla, enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir. Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik (akış, potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Ekonomik anlamda, değişik yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları, kısa bir gelecekte tükenilebileceği öngörülen enerji kaynakları olup fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir (Koç ve Şenel, 2013).

Fosil enerji kaynakları, hidrokarbon içerikli kömür, petrol ve doğal gaz esaslı yakıtlardır. Fosil yakıtlar, çevreye zararlıdır ve rezervleri sınırlıdır. Bu nedenle, bilim insanları farklı enerji kaynakları arayışındadırlar. Fosil yakıtlarla birlikte, nükleer enerji ve su gücü (hidrolik) günümüzün geleneksel enerji kaynaklarıdır. Bu klasik enerji kaynakları dışındaki enerji kaynaklarına, alternatif enerji kaynakları denilmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri, alternatif enerji kaynaklarındandır. Elektrokimyasal reaksiyon gerçekleştiren MYH'leri genellikle anot, katot ve membrandan oluşur. Anot bölümündeki mikro organizmalar, hidrojen iyonlarını elektrik enerjisine dönüştürürler.

Tezin amacı; 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı mikrobiyal yakıt hücresi performansının deneysel olarak incelenmesidir.

Tezin önemi ; Çağımızda, tüm Dünya'da ve ülkemizde hızla gelişen teknoloji ile birlikte artan enerji ihtiyacı, son yıllarda doğal enerji kaynaklarının hızla tüketilmesine neden olmuştur. Bu sorun, bilim dünyasında, yapılan çalışmaları alternatif enerji kaynakları

arayışına yönlendirmiştir. Günümüzdeki alternatif enerji kaynaklarına, insanlık olarak ihtiyaç duymaktayız. Bu amaçla, bilim adamları farklı alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Biz de bu çalışma kapsamında arıtma tesislerinden yararlanarak (MYH'leri ile), enerji üretimine yönelik çalışma yapmayı planladık ve arıtma tesislerinin alternatif enerji kaynakları olarak işlev göreceği kanaati amacıyla, bu çalışmayı gerçekleştirmiş bulunmaktayız.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada, 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilerek, performansı incelenmiştir. Tipik bir MYH'si anot, katot, proton geçirgen membran ve elektrik devresinden oluşur (Logan ve ark., 2006). Bakteri oksijensiz ortamda anot üzerinde biyofilm tabakası oluşturarak organik maddeleri (glikoz, asetat, atıksu vb.) karbondioksit, elektron ve protona çevirir.

Bir MYH'deki proton iletken materyalleri, yüksek verimlilikte katota protonlar iletirken, yakıt (substrat) veya elektron alıcısı (oksijen) gibi diğer materyallerin transferini engelleyebilmektedir. Yüksek iyonik iletkenlik sağlamasından dolayı, Nafion en yaygın olarak kullanılan membranlardır (Min ve ark., 2005).

MYH'nin anot bölgesinde bulunan mikroorganizmalar substratları oksitler ve bu süre içinde elektronları ve protonları üretir. Karbondioksit bir oksidasyon ürünü olarak üretilir. Bununla birlikte net bir karbon emisyonu yoktur. Anot bölgesindeki mikroorganizmalar organik substratların farklı oksitlenme yolları ile elektronları ve protonları açığa çıkarır.

Toczyłowska-Mamińska ve ark. (2018) çalışmalarında, yaygın kullanılan selülozik substrat hakkında varlığında gelişen yeni veriler getiren hava katodlu, selülozla beslenen bir MYH'de operasyondan önce ve sonra bir konsorsiyumda bakteri gelişimini araştırmışlardır. Bakteri topluluğundaki değişiklikler üzerine bir selüloz altlığının etkisi, bu sistemde kararlı güç üretildikten sonra incelenmiştir. MYH'nin aşılmasından sonra, voltaj, ilk 12 günlük çalışma için 0 ila 50 mV arasında değişmiştir. Bundan sonra, voltaj stabilize başlamış ve ilk kesik-besleme devresinde 175 mV'e kadar ulaşmıştır.

Chen ve ark. (2018) çalışmalarında, daha büyük bir üç fazlı katodik oksijen indirgeme (ORR) arayüzü ve gelişmiş bir oksijen kütle aktarım hızı sağlayan bağlayıcı içermeyen, dönen, üç boyutlu bir hava katodu bildirilmiştir. Katot, kendi kendini destekleyen bir N ve P katkılı karbon ORR katalizör tabakasının bir grafit fiber fırça akım toplayıcısına (GB/NPC) kaplanmasıyla hazırlanmıştır. Hava katodu, dönme hızının 20 rpm'de üç kat daha yüksek katodik akım ( $1.02 \pm 0.05 \text{mA.cm}^{-2}$ ) ve iki kat daha yüksek güç çıkışı ( $879 \pm 16 \text{mW.m}^{-2}$ , hava- statik hava-katoduna (sırasıyla  $0.35 \pm 0.03 \text{mA.cm}^{-2}$  ve  $486 \pm 11 \text{mW.m}^{-2}$ ) kıyaslanmıştır.

Zhao ve ark. (2017), ilk kez, gliserol ile beslenen dalgıç mikrobiyal yakıt hücresi performansının, küme işlemi sırasında bağlantı değişiklikleri tarafından nasıl etkilendiğini göstermişlerdir. Seri bağlantıda, maksimum gerilimin 1.15 V'ye ulaşırken, maksimum akım yoğunluğunun, 5.73 mA olduğunu tespit etmişlerdir. Her iki bağlantıda da başlangıçtaki gliserol konsantrasyonu ile birlikte maksimum güç yoğunluğunu arttığını vurgulamışlardır. Bununla birlikte, paralel bağlantıda, gliserol parçalanmasını daha da hızlı olduğunu bulmuşlardır.

Yang ve ark. (2017) Dört Laminer Akışlı Mikrobiyal Yakıt Hücresi (LAMYH)'ni seri bağlayarak güç artışı sağlamışlardır. LAMYH dizisi, her bir MYH birimininkinden dört kat daha yüksek, 100 kΩ altında 60.5 W/cm<sup>2</sup>'lik maksimum bir güç çıktısı üretmişlerdir.

Park ve ark. (2017a) çalışmalarında, farklı hava-katodu MYH'lerin, farklı ön-iklimlendirme substrat stratejilerinin uygulanmış olduğu üç grupta performans ve mikrobiyal komünite değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Strateji 1'i ev atıksuyunu vermeden önce asetat ve glikoz ile seri ön-iklimlendirme; strateji 2'i ev atıksuyunu vermeden önce asetat ile bir kademeli ön-iklimlendirme ve strateji 3'ü, herhangi bir ön-iklimlendirme olmadan evsel atıksuyu doğrudan kullanmışlardır. Strateji 3'te en yüksek akım değeri elde etmişlerdir (1.4 mA) ve Coulombic verimliliği (% 33.5) olduğunu bulmuşlardır.

Park ve ark. (2017b) çalışmalarında, biyolojik nitrifikasyon için havadan katottaki oksijenin kolay taşınmasını sağlamak için geniş bir elektrot alanına (600 cm<sup>2</sup>) sahip iki ayırıcı elektrod düzeneğinden oluşan bir düz-panel hava katodlu MYH'sini (FA-MYH) test etmişlerdir. Beş adet FA-MYH ünitesini birbirine organik ve azot bileşiklerini gidermek için bir kısa işletim hidrolik tutma süresi 2.5 saat (her ünite için 0.5 saat) ile çalıştırmışlardır ve aynı zamanda yerel bir WWT fabrikasındaki birincil atıklardan elektrik üretmişlerdir. FA-MYH sistemi, minimum enerji çıktısına (ilk ünite 6.3 W/m<sup>3</sup>) yol açmasına rağmen KOİ'yi (kimyasal oksijen ihtiyacı) evsel atıksudan eşzamanlı olarak giderdiğini tespit etmişlerdir.

Qin ve ark. (2017) çalışmalarında, yenilikçi bir arıtma sistemi olan ozmotik mikrobiyal yakıt hücresi (OsMYH) kullanarak, mevcut jenerasyonun İleri Osmoz membranında amonyum hareketini yönlendiren önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Yang ve ark. (2017) çalışmalarında, iyonik sıvı polimer kaplı karbon elektrotlar imal etmişler ve bunları bakteri kolonizasyonu için kullanmışlardır. Burada, karbon kumaş veya karbon keçe üzerine hidrofilik ve pozitif yüklü bir iyonik sıvı polimer (İSP) kaplamak suretiyle, MYH'lerde mevcut jenerasyonun büyüklük sırasına göre yükseltilebileceğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak, Yang ve ark.'ları, (karbon keçe-pozitif yüklü bir iyonik sıvı polimer) anodu ile donatılmış bir MYH'nin maksimum güç yoğunluğu, bugüne kadar bilinen en yüksek değerlerin arasında olan  $4400 \pm 170 \text{ mW m}^{-2}$ 'ye kadar yükseldiğini vurgulamışlardır.

Zheng ve ark. (2017)'ları, iki alg katotlu fotosentetik MYH'lerin elektrokimyasal performansları ve karbon komünite yapılarını araştırıp, karşılaştırmışlardır. Bu iki MYH'nin mikrobiyal konsorsiyumu, sulak (bataklık) alanlardan elde edilmiş çöktellerinden (SMYH) olarak adlandırmışlar ve doğrudan anaerobik atıksu arıtma reaktöründen alınan atıksu numunesi (UMYH) olarak adlandırmışlar. SMYH ve UMYH'nin maksimum güç yoğunluğu sırasıyla  $202.9 \pm 18.1 \text{ mW/m}^2$  ve  $158.2 \pm 15.1 \text{ mW/m}^2$ 'ye ulaşmıştır. Topluluğun kimyasal yapısını analizi, SMYH'nin, fotosentetik cins *Rhodopseudomonas'a* (%61,25) hakim olduğunu, UMYH'deki bakteriyel cinsin daha eşit olarak dağıldığını göstermişlerdir. İki MYH'nin elektrokimyasal aktiviteleri arasındaki fark, elektron transfer sürecinde *Rhodopseudomonas spp* ve *Citrobacter spp* gibi ekzoelektrojenlerin farklı rollerinden kaynaklanmıştır.

Asghar ve ark. (2017) çalışmalarında, çift bölmeli MYH üzerinde çalışmışlardır. Katot olarak ısıyla işlem görmüş bir grafit elektrot ve membran olarak Nafion-117 kullanmışlardır. Isıl işleminden geçirilmiş grafit katotun  $\text{H}_2\text{O}_2$  üretimi potansiyelini araştırmak için periyodik voltametrik analiz de yapmışlardır. Deneysel olarak, eşzamanlı olarak  $33.52 \text{ W m}^{-3}$ 'lük güç üretimi ile maksimum  $140 \text{ mg L}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$  üretmişlerdir.

Li ve ark. (2017) çalışmalarında, anodik biyofilm ve MYH performansının farklı deşarj akım yoğunluklarına verdiği tepkileri incelenmişlerdir. Sonuçlar, MYH'nin yüksek deşarj akım yoğunluğu uyguladığını ve aktif biyokütlenin artışı ve biyofilmin elektrokimyasal aktivitesini arttırdığını, ayrıca yük transfer direncinin azaltılmasını sağlayarak, MYH performansının yükselmesini sağladığını göstermişlerdir. Bu, deşarj akımını arttırdıktan sonra artmış aktif biyokütleden kaynaklanan azaltılmış yük transfer direncine sebep olarak göstermişlerdir. Bununla birlikte, yüksek deşarj akım yoğunluğu

(4.8 A/m<sup>2</sup>) karbon kumaştan, karbon bezlerinin pul pul dökülmesine ve daha sonra da anot biyofilminin ayrışmasına neden olarak, (4.8)'lik MYH'nin hücre arızasına neden olmuştur şeklinde açıklama yapmışlardır.

Li ve ark. (2017) çalışmalarında, GO/MgO nanokompozitini, düşük maliyetle reaktörlerin performansını önemli ölçüde optimize edebilen karbon kağıdı, katotta uygulamışlardır. GO/MgO üzerinde yapılan bir dizi karakterizasyon, magnezyum oksitin grafen oksit yüzeyine uygulamayı başarmışlardır. Sonuç olarak, GO/MgO ile katalize edilen MYH'nin güç yoğunluğu, Pt/C ile katalize edilen MYH'lerin % 86.78'ine eşdeğer olan 755.63 mW m<sup>-2</sup>'ye yükselmiştir.

Liu ve ark. (2016)'ları, tek hücreli bir mikrobiyal yakıt hücresinde, membranın kaldırılması durumunda, oksijen difüzyonunun arttığını ve kolombik verimin % 44-55'ten % 9-12'ye düştüğünü bildirmişlerdir. Ancak yine de membranı kaldırılan yakıt hücresinde güç yoğunluğu düşen iç direnç nedeniyle artmıştır.

Manickam ve ark. (2013)'ları, aktif karbon nanofiber (AKNF)'i, MYH'lerinde yeni bir anot malzemesi olarak araştırmalarında kullanmışlardır. AKNF'leri, PAN kullanılarak elektrospon yöntemi ile elde etmişlerdir. Daha sonra aktivasyon işlemine tabi tutmuşlardır. AKNF'den (0.46 V) elde edilen açık devre voltajı (ADV)'nin karbon kumaş (KK) ve Granüler aktif karbon (GAK)'den (sırasıyla 0.4 ve 0.41 V) elde edilenden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Elde edilen maksimum akım yoğunluğu, literatürde bugüne kadar elde edilen en yüksek maksimum değerden (2500 A / m<sup>3</sup>, KNT'lü bir kompozit anot kullanılarak) yaklaşık % 10'dan daha yüksek olan 2714.646 A/m<sup>3</sup>'dür.

Karra ve ark. (2013), MYH sistemlerinde, yeni anot malzemesi olarak aktif karbon nanofiberler(AKNF)'i kullanmışlardır. AKNF'nin performansı, yaygın olarak kullanılan iki anot ile karşılaştırılmıştır: Bunlar, GAK ve KK'dır. Anot olarak ACNF ve GAK'ya sahip MYH'lerde, sırasıyla, 3.50±0.46 W/m<sup>3</sup> ve 3.09±0.33 W/m<sup>3</sup>'lük güç yoğunluklarına ulaşmıştır, KK'ye sahip MYH'lerin güç yoğunluğu 1.10±0.21 W/m<sup>3</sup>'e düştüğünü göstermişlerdir.

Yılmaz (2011), çalışmasında kullanılan MYH'lerden, farklı günlerde karışık kültür bakteri örnekleri üzerinde çalışmıştır. DNA saflaştırma, PZR (Polimeriz Zincir Reaksiyonu) ve klonlama deneyleri yapılarak, DNA dizi analizine gönderilmiştir. Elde edilen DNA dizileri, veri tabanındaki dizilerle karşılaştırılmış, benzerlik ve filogenetik

analizleri yapmışlardır. Ayrıca FISH (Floresan in situ Hibridizasyon) ile MYH'lerde *Geobacter* türlerinin olup olmadığı ve diğer türler arasındaki dağılımı belirlenmiştir. Eş zamanlı PZR deneyleri ile *Geobacter* türlerinin diğer türlerle miktarsal oranı tayin edilmiş ve bu oranın pil voltajı üretimindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, *Geobacter* sp., *Clostridium* sp., *Rhodopseudomonas* sp., *Zoogloe* sp., *Thauera* sp., *Pseudomonas* sp., *Desulfobacterium* sp., *Ferribacterium* sp., *Azovibrio* sp., gibi birçok bakteri, yüksek elektrokimyasal aktivite gösteren ve karışık kültür MYH çalışmalarında yoğun olarak bulunan *Geobacter* sp. miktarının zamana bağlı olarak farklılık gösterdiği ve bu farklılığın anot potansiyeli ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, karışık kültür MYH'lerde farklı anot bakterileri ile benzer pil voltajı değerlerinin elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Aktan ve ark. (2011)'ları, iki hazneli MYH ve saf kültür, *Shewanella putrefaciens* kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, farklı organik maddeler kullanılarak açık devre potansiyel değerlerini kaydetmişlerdir. 10 mM glikoz ve 1250 mL saf kültürden çalışılırken 5000  $\Omega$  dış direnç takıldığında, akım 4  $\mu$ A olarak ölçmüşlerdir. Ohm yasasına göre kullanılan anot yüzeyi başına oluşan güç yoğunluğunu  $P=0.8 \text{ mW/m}^2$  olarak tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark. (2011) çalışmalarında, değişik miktarlarda, difüzyon tabakalı MYH'lerinde, farklı nemlere dayanıklı karbon kumaşlar (% 0, % 30, % 50 ve % 70) kullanmışlardır. En iyi performans, % 50 nem geçirmez katot ve 1 difüzyon katmanları (1 DK) ( $1427 \pm 28 \text{ mW/m}^2$ ) ile elde edilmiştir, ancak katot su sızdırmıştır. Yaygın olarak kullanılan bir katot (% 30 rutubet geçirmez katot, 4 DK), % 50 rutubet geçirmez katot (1 DK) tarafından üretilenin % 31'den daha az, maksimum güç yoğunluğunu ( $988 \text{ mW/m}^2$ ) üretmişlerdir. Farklı malzemeler ve DK sayısı ile katot performansının, oksijen transferini artıran koşullarla direkt olarak ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Kılıç ve ark. (2011)'ları, yapmış oldukları çalışmada, laboratuvar ortamında farklı değişimlerde, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerlerinde, hazırlanan sentetik atıksu kullanmışlardır. Laboratuvar ölçekli ve iki bölmeli kübik-MYH reaktöründe, organik madde giderimi ile birlikte, elektrik enerjisi üretmeye yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kolay parçalanabilir bir organik madde olan glikoz ile laboratuvar ölçekli bir MYH reaktörü kullanılarak, sentetik atıksudan elektrik üretim çalışmaları yapmışlardır. Çalışmadan elde edilen bilimsel bulgular "pH"ın önemli bir parametre olduğunu ve anot bölümünde

glikozun indirgenmesi sonucunda açığa çıkan  $H^+$  iyonlarının pH'ın yükselmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, KOİ konsantrasyonunun artması, elektrik üretimini de arttırdığını ve yüksek kirliliğe sahip endüstriyel atıksuların, MYH ile artırılırken, elektrik üretebileceğini de kanıtlamışlardır.

Cavdar (2009), asetat içeren sentetik atık su ile beslenen 2 odalı MYH'lerin 192 gün boyunca çalışmasını incelemiştir. Her iki MYH'nde de karbon kağıdı, anot elektrot olarak kullanmıştır. MYH'lerin performansını sınırlayan faktörlerin izlenmesi için voltmetre ve empedans analizlerini yapmıştır. 135. gündeki voltmetre testlerinde, MYH-1 ve MYH-2 için sırasıyla  $58.6 \text{ mW/m}^2$  ve  $439 \text{ mW/m}^2$  maksimum güç yoğunlukları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ferrosiyanit katalizör olarak katottaki oksijen ve platin yerine elektron alıcı olarak kullanıldığında, MYH'lerin elektrik akımı ve güç üretimi önemli derecede arttığını vurgulamıştır.

Kim ve ark. (2007)'ları, etanol ve metanolden elektrik üretimi için iki farklı özellikteki mikrobiyal yakıt hücresi üzerinde çalışmışlardır. Bunlar: iki odacıklı, sulu-katotlu MYH ve tek odacıklı (air cathode) hava katodu MYH'dir. İki odacıklı sistemde, sistemin tipik maksimum güç yoğunluğunda ( $40 \pm 2 \text{ mW/m}^2$ ) ve etanol kullanılarak % 42 ila % 61 arasında değişen bir Kolombik verimi (KV) elde edilmiştir. Bakteriler, farklı substratlarla, daha yüksek güç yoğunlukları üretebilen tek odacıklı MYH'ne transfer edildiğinde, maksimum güç yoğunluğuna ( $488 \pm 12 \text{ mW/m}^2$ 'ye, KV =% 10, etanol ile) yükselmiştir. Bu sonuçlar, etanolün, bir MYH'nde, anottaki bakteri kullanılarak oda sıcaklığında, sürekli elektrik üretimi için kullanılabileceğini gösterilmiştir.

Logan ve ark. (2005) çalışmalarında, Cysteine'nin bir MYH'nde bakteri tarafından elektrik üretimi için bir substrat görevi yapabileceğini araştırmışlardır. Proton değişim membranı ihtiva eden iki bölmeli MYH'nin, bir anaerobik deniz çökeltisi ile inoküle etmişlerdir. Logan ve ark.'ları, birkaç haftalık bir süre sonunda, elektrik üretimi,  $19 \text{ mW/m}^2$  maksimum güç yoğunluğuna kadar yükseldiğini, 700 veya 1000  $\Omega$  direnç ve 385 mg/L Cysteine kullanarak bulmuşlardır.

Min ve ark. (2005)'ları, bir membran sistemi yerine bir tuz köprüsüne sahip MYH'ndeki güç çıkışını incelemiştir. MYH tuz köprüsü (*G. metallateducens* ile indile edilmiş) ile güç çıkışını  $2.2 \text{ mW/m}^2$  bulmuşlardır. Her iki sistemde de, katot odasından anot odasına oksijen difüzyonunun güç üretiminde bir faktör olduğu gözlemlenmiştir.



Burkitt ve ark. (2016)'ları çalışmalarında,  $MnO_x$  ilavesi ile MYH,  $140 \text{ mW.m}^{-2}$  güç üreten Pt/C'na kıyasla, kompozit hava ile katotda  $143 \text{ mW.m}^{-2}$  güç üretmişlerdir.

Dong ve ark. (2015)'ları çalışmalarında, kendiliğinden yeterli bir atık su arıtımı için 90 L'lik ölçekli bir MYH reaktörünü, 5 modül şeklinde tasarlamışlardır. Ek bir madde eklemeyen bira fabrikası atık suyunu substrat olarak kullanmışlardır. Pompa sistemine güç sağlamak için elektrikle çalıştırmak için dönüşümlü olarak, beş bağımsız modül çalıştırmışlardır. Dong ve ark. (2015)'ları, araştırmalarında gerçek atık suyun arıtılması için kendi kendine yeten enerji için faydalı bir girişim başlatmışlardır. Sistemlerinde, pompa sistemine güç sağlamak için (her iki aşamada  $0.027 \text{ kWh / m}^3$ )  $0.021 \text{ kWh / m}^3$  ve  $0.034 \text{ kWh / m}^3$ lük net elektrik enerjisi için yeterli enerji üretmişlerdir (1. evrede  $0.056 \text{ kWh / m}^3$ , 2. evrede  $0.097 \text{ kWh / m}^3$ ).

Zhang ve ark. (2014)'ları, aktif karbon, katotların performansını ve elektrik iletkenliğini arttırmak, elektron transferini kolaylaştırmak için 0, 2, 5, 10 ve 15 ağırlık oranındaki (CB) (carbon black- karbon siyahı): AC oranlarında AC'ye, CB eklenmişlerdir. Optimal CB: AC oranı hem MYH polarizasyon testlerine hem de üç elektrotlu elektrokimyasal testlere dayanılarak % 10 olduğunu tespit etmişlerdir.

Xiao ve ark. (2012)'ları, elektron elektrokimyasal özelliklerini karakterize etmek için, grafen ile modifiye edilmiş (anot veya katot) elektrotlar ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi gibi elektrokimyasal teknikler kullanarak elektrik üretimini sistematik olarak incelemişlerdir. Karşılaştırma için, bir aktif karbon ile modifiye edilmiş anot elektrotunu ve platin ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş katot elektrotlarını, karbon kumaş grafen ile modifiye edilmiş elektrotlarla paralel olarak test etmişlerdir. Grafen ile modifiye edilmiş anot elektrodu, aktifleştirilmiş karbonla modifiye edilmiş anot elektrodunun ( $1.7 \text{ W m}^3$ ) iki kat daha fazla maksimum güç yoğunluğunu ( $3.6 \text{ W m}^3$ ) üretmiştir.

### 3. MİKROBİYAL YAKIT HÜCRESİ

Çağımızda, tüm Dünya’da ve ülkemizde hızla gelişen teknoloji ile birlikte artan enerji ihtiyacı, son yıllarda doğal enerji kaynaklarının hızla tüketilmesine neden olmuştur. Bu sorun, bilim dünyasında yapılan çalışmaları alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Alternatif enerji kaynaklarından birisi de Mikrobiyal Yakıt Hücreleridir (MYH). MYH’leri, elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bir anot, bir katot ve genellikle bir membrandan oluşur. Anot bölmesindeki, mikroorganizmalar sayesinde elektrik enerjisi elde edilir.

#### 3.1. MYH'lerin Bileşenleri

Tipik bir MYH, membran ile birbirinden ayrılmış anot ve katot bölmesinden oluşur (Logan, 2008). Çizelge 3.1’de MYH’lerde kullanılan bileşenler ve materyaller sunulmuştur (Du ve ark., 2007).

**Çizelge 3.1.** MYH’lerde kullanılan bileşenler ve özellikleri

Bileşen	Kullanılan Malzeme
Anot Elektrot	Grafit, grafit/karbon kumaş, grafit/karbon kağıt, Pt, retiküle camsı karbon (RCK)
Katot Elektrot	Grafit, grafit/karbon kumaş, grafit/karbon kağıt, Pt, retiküle camsı karbon (RCK)
Anot Bölmesi	Cam, polikarbonat, pleksiglass
Katot Bölmesi	Cam, polikarbonat, pleksiglass
Proton iletken membran	Nafion (Dupond), Ultrex (Membran Int. Inc., sadece elektrolit (membransız))

##### 3.1.1. Anot elektrot

Anot materyalleri iletken, biyolojik ve kimyasal çalışmalara uygun olmalıdır (Cavdar, 2009). Anot için en basit materyaller nispeten daha ucuz ve sınırlı bir yüzey alanına sahip, grafit levha, veya çubuktur. Daha geniş yüzey alanları grafit keçe elektrotlar ile elde edilebilir. Ancak anot olarak kullanılan yüzey alanlarının çoğu bakterilerin gelişimi için elverişli değildir. Karbon tel, karbon kağıt, karbon köpük ve karbon kumaş yaygın olarak kullanılan elektrotlardır. Yüzey alanındaki akım yükselişi, karbon keçe, karbon köpük, grafit şeklindedir (Demir ve Gümüş, 2006).

### 3.1.2. Katot elektrot

Demir siyanit  $K_3[Fe(CN)_6]$  verimliliğinden dolayı MYH'lerde elektron alıcısı olarak çok kullanışlıdır (Köroğlu, 2013). Demir siyanidin, en büyük avantajı düşük gerilimde karbon katot kullanıldığında, açık devre potansiyeline yakın bir potansiyel oluşturduğu görülmüştür. En büyük dezavantajı ise oksijenin yetersiz reoksidasyonundan dolayı, katot çözeltisinin devamlı yenilenmesi gerekmektedir.

Katod materyalinin seçimi, büyük ölçüde performansı etkiler ve deneylerdeki çeşitliliği artırır. Oksijen indirgenme oranını arttırmak için, genellikle çözünmüş oksijen yerine Pt katalizörü kullanılmışlardır (Logan ve ark., 2006). Uzun vadede Pt'nin tam olarak araştırılması daha ucuz katalizörlerin bulunmasını gerektirir. Son zamanlarda, pirolizlenmiş demir (II) fitalosiyanın veya CoTMPP gibi soy metal katalizörlerinin kullanılması önerilmiştir.

### 3.1.3. Proton iletken membran

Proton iletken membranlar, anot ve katod bölmelerini fiziksel olarak ayıran ve elektrik akımını üretmek üzere protonların anottan katoda geçişine izin veren MYH bileşenlerindedir (Demir ve Gümüş, 2006). Katod ve anot bölmelerindeki çözeltilerin karışmamasını sağlamış olur. Bu membranların, anottan katoda proton geçişini sağlamak için geçirgen olmaları gerekmektedir (Logan, 2008). PEM olarak yakıt hücrelerinde ve MYH'lerde en çok kullanılan, protonların geçişi için büyük avantaja sahip olmuş Nafion<sup>TM</sup>'dir (Liang ve ark., 2004). Bununla birlikte, bu membran bakteriyel çözelti içindeki amonyak ile bağlanan sülfonik asid gruplarını içermiştir. Böylelikle, bu membran yüksek seçiciliğe fakat düşük kararlılığa sahiptir (Liu ve Logan, 2004). Kullanılan ikinci tip membran ise Ultrex<sup>TM</sup> katyon seçici membrandır (Rabaey ve ark., 2003). Bu tür membran büyük dirençliliğe ve daha az seçiciliğe sahiptir. Fakat genellikle daha fazla kararlılık göstermektedir.

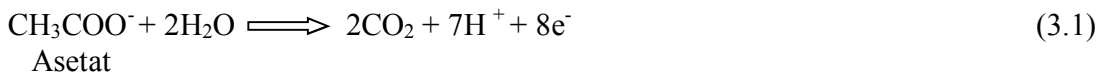
## 3.2. Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinin Çalışma Prensibi

MYH'leri, organik bileşiklerde bulunan kimyasal bağlarda depolanan enerjiyi mikroorganizmaların katalitik reaksiyonları yoluyla elektrik enerjisine dönüştüren, son

yıllarda araştırmacılar tarafından ilgi çeken bir teknoloji olmuştur (Kim ve ark., 2007). Bakteriler, atıkların veya organik maddelerin biyolojik yıkımı ile elektrik üretebilirler (Logan ve ark., 2005). Birçok organizma biyokimyasal enerjiyi ATP'ye dönüştürmek için solunumu kullanmaktadır. Bu süreç, elektron taşıyıcı proteinlerin reaksiyon basamaklarıyla gerçekteşir. Solunumda, elektron alıcısı olarak çözülebilen bileşikler (oksijen, nitrat ve sülfat) kullanılmakla birlikte bazı mikroorganizmalar enerjiyi elde etmek için katı elektron alıcılarını da (metal oksitler, karbon ve metal elektrotlar) kullanmaktadır. Mikroorganizmaların katı elektron alıcılarıyla nasıl solunum yaptıkları farklı şekillerde açıklanmaktadır (Erdem, 2013).

MYH sistemi, proton seçici membran ile ayrılmış anot ve katot bölmelerini içermektedir (Gil ve ark., 2003). Bu sistem yarı biyolojiktir. Çünkü anot bölmesi, elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmaları içerirken, katot abiyotiktir, yani canlılık göstermeyen bölümdür. MYH'nin anot bölmesinde bulunan mikroorganizmalar substratları oksitler ve bu süre içinde elektronları ve protonları üretir. Karbondioksit bir oksidasyon ürünü olarak üretilir. Bununla birlikte net bir karbon emisyonu oluşmak. Çünkü, karbondioksit aslında yenilenebilir biyokütle içinde fotosentez sürecinde tekrar kullanılır. Anot bölmesindeki mikroorganizmalar organik substratların farklı oksitlenme yolları ile elektronları ve protonları açığa çıkarır (Rabaey ve Verstraete, 2005). Bakteri oksijensiz ortamda, anot üzerinde biyofilm tabakası oluşturarak organik maddeler (glikoz, asetat, atıksu vb.) karbondioksit, elektron ve protona çevirir (Logan ve ark., 2005). Katot tarafına geçen proton ise oksijenle birleşerek su oluşturur. Elektrik üretimi, mikroorganizmaların oksitenesit ortamda geliştirmesiyle gerçekteşmiştir. Tipik elektrot reaksiyonları asetat örneği üzerinden aşağıda gösterilmiştir (Du ve ark., 2007).

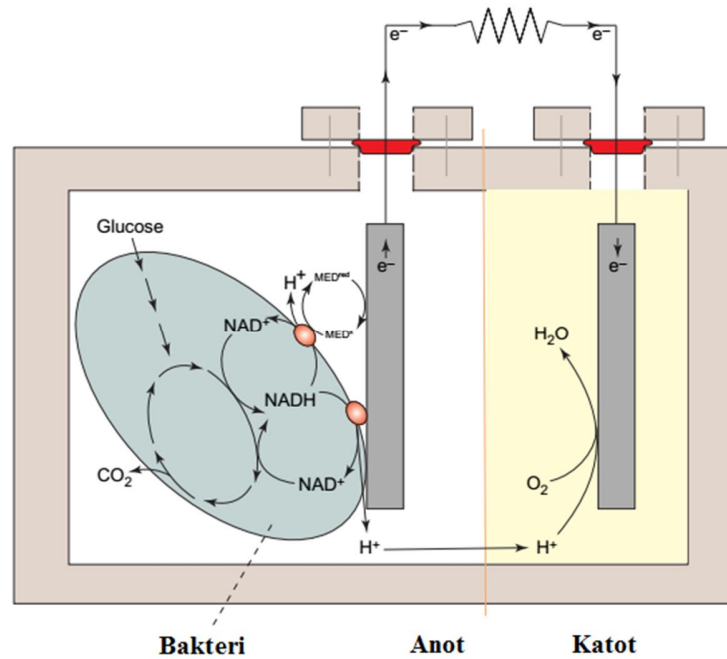
Anot reaksiyonu:



Katot reaksiyonu :



Bu reaksiyonlara göre, tüm sistemdeki MYH'sinin dış devresinden geçen elektronlar sayesinde elektrik üretilir. Genel reaksiyon substratın karbondioksit ve suya dönüşmesi aynı zamanda elektrik üretimine sebep olmaktadır. Yukarıdaki reaksiyonlara bağlı olarak, bir MYH'de dış direnç uygulandığında, anottan katoda, elektron transferi gerçekleşerek elektrik akımı üretilir. Bir MYH'nin çalışma prensibi veya şematize edilmiş hali Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. MYH'nin çalışma prensibi (Rabaey ve Verstraete, 2005)

MYH'nin performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar: bakteri metabolizması, bakteri elektron transportu, membran performansı, elektrolitlerin iç direnci ve katot oksijenin etkili elektron transferidir. Elektronun iletim direnci genellikle, MYH'nin iç direnci olarak tanımlanmıştır. Elektronun bakteri katalizörleri ile anot elektrodu arasında iletilmesi ciddi zorluklara neden olmaktadır. MYH'de en önemli faktör, bakterilerden elektron transferi olmasıdır (Rabaey ve Verstraete, 2005).

Yapılan deneysel çalışmalarda elektronların anoda taşınım mekanizmalarının, direkt elektron transferi (DET) ve medyatör kullanılarak yapılan elektron transferi (MET) şeklinde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Rabaey ve Verstraete, 2005).

### 3.3. Anot ve Katot Bölmelerinin Birbirinden Ayrılmasında Kullanılan Yöntemler

Mikrobiyal yakıt hücrelerinde oksijen kullanıldığında oksijenin katot bölümünde kalması ve anaerobik bakterilerin çalıştığı anot bölümüne ulaşmaması gerekir. Bu durumda proton değişim membranları ile iki bölme birbirleri ile ayrılarak sadece protonların geçişi sağlanır (Logan, 2008). Başka elektron alıcılar kullanıldığında ise yine bir ayırım yapılarak bu elektron alıcıların katot bölümüne yakın durmaları gerekir. Bu sayede daha etkin bir indirgeme oluşur. Anot ve katot bölmelerinin ayrılmaları bu nedenle gerekir (Kim ve ark., 2007). Bazı durumlarda, katot bölümündeki indirgeme reaksiyonları için özel şartlara ihtiyaç duyulur (pH gibi). Bu sebeple istenen çevresel şartlara ulaşabilmek için bazen proton transferinin yanı sıra diğer katyon ya da anyonlarında katot bölümüne geçişinin sağlanması gerekir. Bipolar membranlar bu durum için bir örnek teşkil eder (Ter Heijne ve ark., 2006).

Bir diğer ayırım aracı ise katyon değişim membranlarıdır. Katyon değişim membranları (Cation Exchange Membrane) proton değişim membranları (PEM) gibi çalışırlar. Ancak genellikle daha sağlam yapılı ve düşük maliyetlidirler (Kim ve ark., 2007) Membran uygulamalarından farklı olarak bir diğer ayırım metodu tuz köprüleridir. Düşük maliyet, tuz köprüleri için en önemli avantajdır. Anot ve katot bölmeleri, tuz köprüleri ile ayrılabilir ve bu kısımlardaki tuz konsantrasyonları da mikrobiyal yakıt hücrelerinin verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür (Sevda ve Srekrishnan, 2012)

#### 3.3.1. Tuz köprüleri

Tuz köprüleri protonların geçişi için tasarlanmış agar ve sodyum klorür tuzlarıdır. Düşük maliyet, en önemli avantajları iken yüksek iç direnç en büyük dezavantajlarıdır. Membran teknolojileri ile kıyaslandığında güç çıkışları oldukça düşüktür. Yapılan bir çalışmada proton değişim membranı ile *Geobacter metallireducens* ve karışık kültür kullanılarak mikrobiyal yakıt hücreleri işletilmiş ve sırasıyla  $40 \pm 1$  ve  $38 \pm 1$  mW/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu elde edilmiştir (Sevda ve Srekrishnan, 2012).

Min ve ark., (2005)'ları, tuz köprüleri ve *G metallireducens* bakterisi, MYH'nde kullanıldığında 2.2 mW/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu elde edildiğini vurgulamışlardır. Bu durum tuz köprülerinin neden olduğu yüksek iç direnciden dolayıdır şeklinde açıklamışlardır.

Tuz köprüleri, MYH’de elde edilen güç yoğunluğu agar tuz köprüsünde bulunan tuz konsantrasyonu ile orantılıdır. Güç yoğunluğu artan tuz konsantrasyonları ile artar. Tuz köprüsündeki tuz konsantrasyonu %1’den %10’a yükseltildiğinde, volumetrik güç yoğunluğunun da  $1.71 \text{ mW/m}^2$ ’den  $84.99 \text{ mW/m}^2$  değerine ulaştığını açıklamışlardır (Sevda ve Srekrishnan, 2012).

### 3.3.2. Membran uygulamaları

#### 3.3.2.1. Proton değişim membranı

Proton değişim membranları anot ve katot bölmelerinin ayrımı için en yaygın kullanılan malzemedir. Yüksek iyonik iletkenlik sağlamasından dolayı ( $10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$ ) nafion kullanılan membranlar içinde en çok kullanılan membrandır. Doğru membran seçimi ile katot bölmesinden anot bölgesine oksijen geçişi tamamen engellenir. Bu seçim aynı zamanda katot bölgesindeki substrat kaybını da engeller (Min ve ark., 2005).

Liu ve ark. (2004)’ları, tek hücreli bir mikrobiyal yakıt pilinde membranın kaldırılması durumunda oksijen difüzyonunun arttığını ve kolombik verimin (coulombic efficiency) % 44-55’ten % 9-12’ye düştüğünü bildirmişlerdir. Ancak yine de membranı kaldırılan yakıt hücresinde güç yoğunluğu düşen iç dirençle birlikte artmıştır.

Nafion membranlar,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$  gibi pozitif yüklü bazı katyonları da geçirir. (Rozendal ve ark., 2007)’na göre, bu katyonların sudaki konsantrasyonları, protonların konsantrasyonundan, 105 kat fazla olabilmektedir. Bu durum pH’nın anot bölümünde düşerken, katot kısmında ise yükselmesi ve anottan katoda proton geçişini olumsuz etkilenmesi ile sonuçlanmıştır. Anot kısmındaki pH’ın düşüşü, bakteriyel faaliyeti ve dolayısı ile akım üretimini etkiler (Logan, 2008).

#### 3.3.2.2. Katyon değişim membranı

Katyon değişim membranlarını, proton değişim membranlarından düşük maliyetleri ( $80 \text{ \$/m}^2$ ) (Logan, 2008) ve sağlam yapıları (Rabaey ve ark., 2005); (Kim ve ark., 2007) nedeni ile tercih edilmektedir. Leong ve ark., (2013) literatürde rastlanan bazı katyon değişim membranlar (Ultrex CMI 7000); Hyflon ve Zirfon membranlarıdır şeklinde

açıklama yapmışlardır. Virdis ve ark., (2008)'ları, eş zamanlı karbon ve azot giderimi için yaptıkları çalışmada, organik madde ve amonyum içeren atık suyu, öncelikle anot bölmesine pompalamışlardır. Bu sayede organik maddelerin oksidasyonu sağlanmıştır. Yazarların katyon değişim membranı kullandıkları, bu çalışmada katot bölmesine giriş yapan amonyum konsantrasyonu, çıkış konsantrasyonundan daha düşük çıkmıştır. Bu durum anot bölmesindeki amonyumun bir gurup diğer katyon ile birlikte membran üzerinden katot bölmesine geçişi olarak açıklanmıştır. Nagarale ve ark., (2006)'larının çalışmalarında, katot bölmesinde özel koşulların gerekli olduğu durumlarda farklı membran tipleri (bipolar membranlar) kullanmışlardır.

### 3.3.2.3. Anyon değişim membranı

Katyon değişim membranları, düşük konsantrasyonları nedeniyle proton transferinde verimsiz olmaları nedeniyle, bazı araştırmacılar anyon değişim membranları üzerinde çalışmışlardır. Anyon değişim membranı kullanılan, mikrobiyal yakıt hücrelerinde proton transferini kolaylaştırmak için fosfat ya da karbonat kullanılır. Bu maddeler yakıt hücresinde proton taşıyıcı ya da pH tamponu olarak işlev görürler (Harnisch ve ark., 2009). Fosfat anyonlarının tamponlama etkisi, yakıt hücrelerinde pH dengelenmesine yardımcı olur. Sonuç olarak, anyon değişim membranlarında (örnek olarak AMI-7001) proton transferi diğer membranlara nazaran ciddi oranda fazladır (Uçar ve Toprak, 2014).

Anyon değişim membranı, MYH'sinde kullanılırsa, membran hidroksit anyonlarının (ya da karbonat) transferini sağlar. Bu durumun, bazı avantajları aşağıda sunulmuştur:

1) Oksijen indirgenmesi, reaksiyonları asidik ortamlara kıyasla alkali ortamlarda daha kolay oluşur.

2) Alkali ortamlarda, elektro oksidasyon kinetikleri birçok substrat türü için artış gösterir.

3) İyon transferi ile ilişkili elektro osmotik direnç sıvı yakıtın karşılıklı geçişine engeller. Bu sayede de daha konsantre sıvı yakıtın kullanılmasını sağlar. Tüm bu avantajlar anyon değişim membranların, diğerlerine nazaran daha cazip hale getirir. Bu sayede anyon değişim membranları ile konvansiyonel proton/katyon değişim membranlarına nazaran daha yüksek performans elde edilir (Zuo ve ark., 2008). Lefèvre ve ark., (2009) yaptıkları çalışmada, anyon değişim membranları kullanarak yakıt hücreleri işletmişler ve anyon



değişim membranı kullanıldığı durumda daha stabil membran direnci ve katolit direnci ile daha stabil güç yoğunlukları oluştuğunu tespit etmişlerdir.

#### 3.3.2.4. Bipolar membran

Bipolar membranlar iki adet monopolar membranın birlikte montajından elde edilen yapılardır. Bu nedenle, monopolar membranlardan farklı olarak, seçici geçirgen özellikte olup sadece pozitif ya da negatif yüklü iyonların bir taraftan diğer tarafa geçişine izin verilir (Harnisch ve ark., 2009).

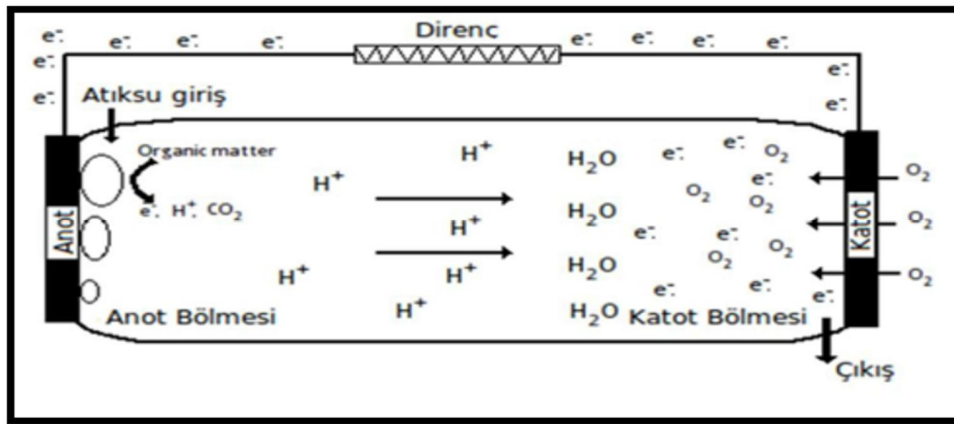
Katot bölmesinde, spesifik koşullar (sabit bir pH değeri gibi) gerektiğinde istenmeyen anyon ve katyonların katot bölmesine geçmeleri arzu edilir. Ter Heijne ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, demir  $Fe^{3+}$  ve  $Fe$  yüksek standart potansiyele sahiptir. Ter Heijne ve ark.,'ları,  $0.86 \text{ W/m}^2$  güç yoğunluğu,  $4.5 \text{ A/m}^2$  akım yoğunluğunun tespit etmişlerdir.  $Fe^{3+}$  indirgenebilmesi için çözelti içinde çözünebilir kalması gereklidir ve bu durum içinde düşük pH değerine ihtiyaç vardır. pH değerinde yükselme, membran üzerine demir çökeleklerinin oluşmasına sebebiyet verip membranın zarar görmesi ile sonuçlanmıştır. Bu sebeple, pH yükselmesine sebep olabilecek istenmeyen anyon ve katyonların katot bölmesine geçişinin engellenmesi için bipolar membran kullanmışlardır. Bipolar membranlar hem katyon hem de anyon değişim kısımlarını seriler halinde içerir (Simons ve ark., 1978; Hurvitz ve ark., 2001). Böylece harici asit dozajı yapmadan katot bölmesinin, pH'nın 2.5'in altında kalması bipolar membranların kullanılması ile sağlanmıştır.

Kim ve ark. (2007)'ları, proton, katyon, anyon ve ultrafiltrasyon membranları, MYH'nin deneyerek performans incelenmesi yapmışlardır. Sonuç olarak, anyon değişim membranı kullanan yakıt hücresi 4 cm'lik elektrot aralığı ile en iyi güç yoğunluğuna ulaşmıştır (%72 'lik kolombik verimle  $610 \text{ mW/m}^2$  olarak). Bu durum genel olarak protonların, negatif yüklü fosfat anyonları ile birlikte transferi nedeniyle oluşmuştur.

Fosfat anyonlarının tamponlama etkisinden dolayı güç yoğunluğu artmaktadır. Diğer bir sebep ise anyon değişim membranının iç direnci çok fazla artırmamasıdır. Fakat elektrot aralığı arttırıldığında (4 cm'den 12 cm'ye) güç yoğunlukları birbirine yakın değerler olarak ölçülmüştür (yaklaşık  $33\text{-}38 \text{ mW/m}^2$ ). Farklı güç yoğunlukları ancak elektrotlar birbirlerine yakın konumlandırıldıklarında ortaya çıkmıştır (Kim ve ark., 2007).

### 3.3.2.5. Membransız sistemler

Membranlar, önceki bölümlerde belirtildiği üzere, anot ve katot bölmelerinin ayrılması için kullanılmaktadır. Ancak, herhangi bir membran kullanmadan da bu iki bölüm birbirinden ayrılabilir. Bu sistemlerde katot bölgesine sağlanan oksijen anot bölgesinden gelen protonlar ve elektronlar ile birleşerek su molekülünü oluşturur. Substratın oksidasyonu nedeniyle ortaya çıkabilecek elektron ve proton miktarı hesap edilebileceğinden dolayı katot tarafından, hücre içine sadece gerekli oksijen miktarının girmesi ile mikrobiyal yakıt hücresinin, sadece katot tarafının oksijenli olması sağlanır. Bu sayede, sisteme giren oksijen anot bölgesine ulaşmadan elektron ve protonlarla buluşarak su molekülünü oluşturur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Membransız mikrobiyal yakıt hücresi (Uçar ve Toprak, 2014) (Reaktöre giren sınırlı konsantrasyondaki oksijen anot bölgesindeki mikroorganizmalara ulaşmadan elektron ve oksijen ile reaksiyon verir)

Literatürde, çeşitli avantajlarından dolayı birçok çalışma, tek bölümlü (membransız) yakıt hücreleri üzerine yapılmıştır. Evsel atık su arıtma tesisi ön çökeltim sonrasında alınan bir gerçek atık su membransız bir yakıt hücresine verilmiş ve 210 – 220 mg/L'lik giriş KOI değeri % 80'lik bir giderime uğrayarak 26 mW/m<sup>2</sup>'lik bir güç üretmişlerdir (Uçar ve Toprak, 2014).

Liu ve ark. (2004)'ları, çalışmalarında belirttiği üzere membransız sistemlerde doğru ayırımı sağlayabilmek için reaktör içine olan hava (oksijen) akışı özenle ayarlanmalıdır. Bu nedenle çalışmalarında, aktif havalandırma yerine pasif havalandırma yöntemlerini tercih etmişlerdir (4.5 – 5.5 L/dak).

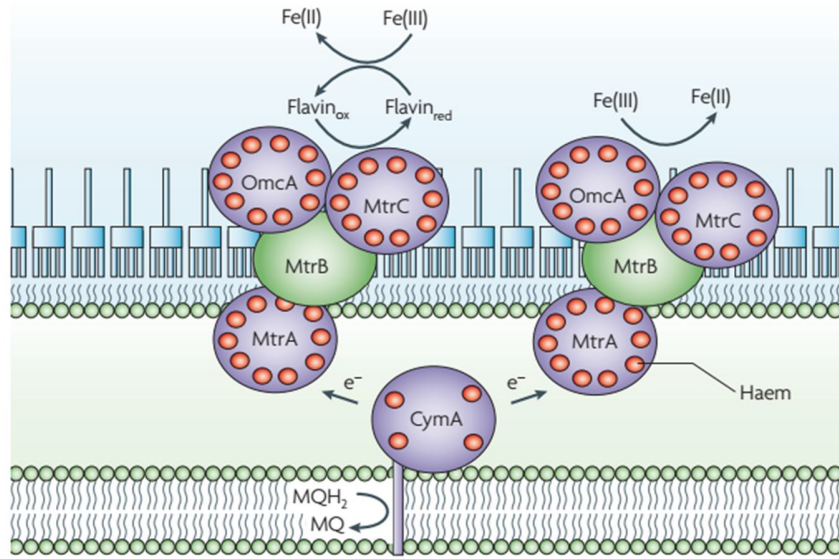
### **3.4. Mikrobiyal Yakıt Sistemlerinde Elektronların Bakteriden Elektrota Taşınma Mekanizmaları**

MYH'lerde, anot bölgesindeki elektron transfer mekanizması, MYH'lerin nasıl çalıştığı teorisine ışık tutmuştur. Elektrokimyasal aktif bakteriler elektron vericilerini (substrat) oksitler (elektron alır) ve bu elektronları çeşitli elektron transfer mekanizmalarıyla elektrota iletir. MYH'lerin verimliliğini arttırmak için, mikroorganizmaların yakıt hücre sistemlerinde neden ve nasıl elektronlarını değiştirdiklerini anlamak gerekir.

#### **3.4.1. Direkt elektron transferi**

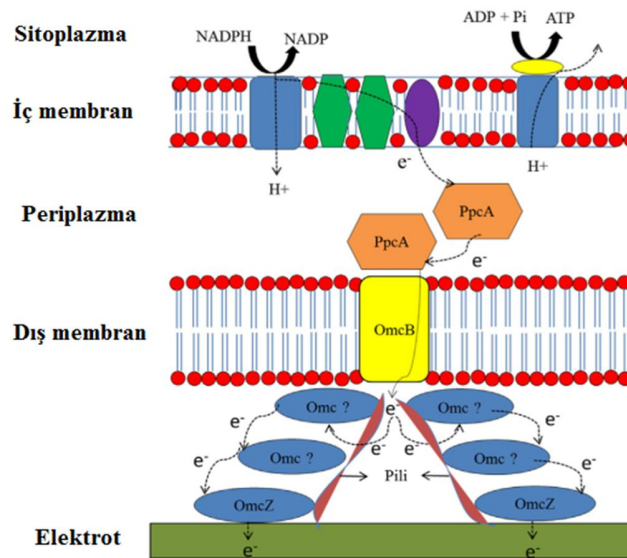
Direkt elektron transferi, elektrot ile direkt olarak etkileşim içinde olan hücre zarındaki sitokromlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Direkt elektron transferi, mikroorganizmaların hücre membranları ya da pili (bakterinin zemine veya besine yapışmasını sağlayan ya da konjugasyon esnasında DNA aktarımını sağlayan iplik şeklinde uzantılar) yapılarıyla, anot elektrot yüzeyi ile yapmış oldukları fiziksel temas aracılığıyla yapılan elektron taşınmasıdır. Hücre membranı ile taşınım sitokrom-c proteinleri aracılığı ile olurken, pili aracılığı ile yapılan taşınım nanoteller aracılığıyla oluşmaktadır. Nanoteller bazı bakterilerin oluşturduğu, elektrokimyasal olarak aktif olduğu kanıtlanan spesifik bir pildir. Direkt elektron transferi bakteri hücre zarı ile elektrot yüzeyinin arasında fiziksel bir temas gerekmiştir (Fredrickson ve ark., 2008).

Direkt elektron transferinin gerçekleşmesi için membran bağımlı elektron taşıma proteinlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Proteinler bakterinin içerisinde yer alan elektronların, hücre dışı membranda yer alan ve dış ortamda bulunan katı elektron alıcıya (metal oksit ya da MYH anodu gibi) iletilmesini sağlayan bir redoks proteinine iletilmiştir. 5 ana protein bileşeni (OmcA, MtrC, MtrA, MtrB, ve CymA) bu prosedür için tanımlanmıştır (Şekil 3.3)(Fredrickson ve ark., 2008).



Şekil 3.3. Ana protein birleşimi (Fredrickson ve ark., 2008)

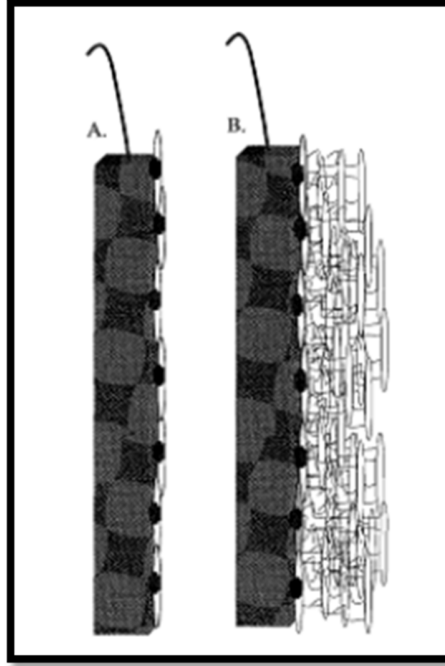
Beliaev ve ark., (2001)'ları yaptıkları çalışmada, mtrCAB'nin bir kalıt bölge oluşturduğunu göstermişlerdir. Pili ile yapılan taşınımında yer alan proteinler, diğer taşınım da yer alan proteinlerden farklıdır. Pili aracılığı ile yapılan elektron taşınımının da rol alan proteinler OmcS ve OmcE'dir (Şekil 3.4) (Kumar ve ark., 2016).



Şekil 3.4. Pili aracılığıyla, elektron taşınım mekanizması

Bu iki proteinin görevi, hücre içerisinde açığa çıkan elektronları nanotel adı verilen özel pilusa iletmektir. İki direk elektron taşınımı arasındaki en önemli fark, hücre

membranı ile yapılan elektron taşınımının da bu türler anot elektrotla yüzeysel temas içinde olmak zorunda iken, pili aracılığı ile yapılan elektron taşınımında bakterilerin anot elektrota direkt olarak temasları gerçekleşir. Çünkü pili yapısı uzundur, pilinin ucunun anot elektrotla temas etmesi yeterlidir (Şekil 3.5) (Gezginci ve ark., 2008).



**Şekil 3.5.** Pili aracılığı ile (B) ve hücre membranı ile (A) anot yüzeyine elektron taşıyan bakterilerin anot yüzeyinde oluşturdukları biyofilm yapıları

Biyofilm kalınlığı incelendiğinde şaşırtıcı bir durum ortaya çıkmıştır. Çünkü laboratuvar ortamında *G. sulfurreducens* bakterilerinde gözlemlenen en uzun pilinin boyu 20  $\mu\text{m}$  iken, 50  $\mu\text{m}$ 'nin üzerinde bir biyofilm tabakasına sahip anot yüzeyinde bu bakterilerin elektronlarını anota aktarabilmeleri için bazı olasılıklar öne sürülmüştür. Bu olasılıklardan birisi, pililerin bir araya gelerek iletken bir ağ oluşturduğu, diğeri ise pili ile elektronların biyofilm içinde daha derinde bulunan bakterilere aktarıldığı, elektronları alan bu bakteriler aracılığı ile bu elektrotlar anot yüzeyine aktarılır. Başka bir olasılık da, pilinin anot biyofilminde daha kompleks iletken bir biyolojik bileşenidir (Gezginci ve ark., 2008).

### 3.4.2. Medyatörler aracılığı ile elektron transferi

MYH sistemlerinde, mikrobiyal türlerin çoğunluğunun dış yüzeyi, iletken olmayan bir lipid membrana, ve peptidoglikan tabakaya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı bu bakteriler, elektronlarını anot elektrotta direk olarak aktaramazlar. Bu engeli aşmak için indirgenme ve yükseltgenme gibi özelliklere sahip medyatörlere ihtiyaç duyulur. Medyatörler, hücre içine kolayca girebilen ve burada elektron taşıma sistemlerinde görev alan elektron taşıyıcılardan elektronları alarak elektron transferini sağlamıştır. Bu aşamalarda mikroorganizmaya ve anot elektrotta herhangi bir zarar vermezler. *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Proteus* ve *Bacillus* cinslerine ait türler metabolizma sonucu oluşan elektronları hücre dışına vermede sorun yaşadıkları için, medyatörler bunlar için çok önemlidir. Bazı bakteri türleri kendi medyatörlerini kendilerini sentezleyebilirken (biyolojik medyatörler), bazı türler için medyatörlerin dışarıdan kimyasal şekilde (kimyasal medyatörler) verilmesi gerekmektedir (Gezginci-Oktayoglu ve ark., 2011).

### **3.4.3. Kimyasal medyatörler aracılığı ile anot elektrotta elektron transferi**

Kimyasal medyatörlerin hücre duvarı ve elektrot arasında elektron transferini teşvik ettiği ve MYH performansını arttırdığı rapor edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan kimyasal medyatörler; neutral red (NR), methylene blue (MB), thionine, meldola's blue (MelB), 2-hydroxy-1,4-naphthoquinone (HNQ), anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) ve Fe(III) EDTA gibi metalloorganiklerdir (Gezginci-Oktayoglu ve ark., 2011).

### **3.4.4. Biyolojik medyatörler aracılığı ile anot elektrotta elektron transferi**

Ieropoulos ve ark. (2005), kimyasal medyatörlerin aksine, biyolojik medyatörler, endüstriyel zehirlenmeleri olmamaları, stabil olmaları ve kimyasal olmadıklarından ekstra maliyet gerektirmedikleri için MYH sistemlerinde kullanımları, kimyasal medyatörlere göre daha çok tercih edilmektedir.

Nevin ve Lovley (2000) yaptıkları çalışmada, Fe(III) oksitlerini indirgeyen *Geothrix fermentans* türünün medyatör üretip-üretmediğini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde, *Geothrix fermentans* ve Fe(III) oksitleri arasındaki iletimi araştırmak amacıyla zayıf bir şekilde kristalleştirilmiş Fe (III) mikroporlualjinat kullanılmıştır. Çalışma sonucunda

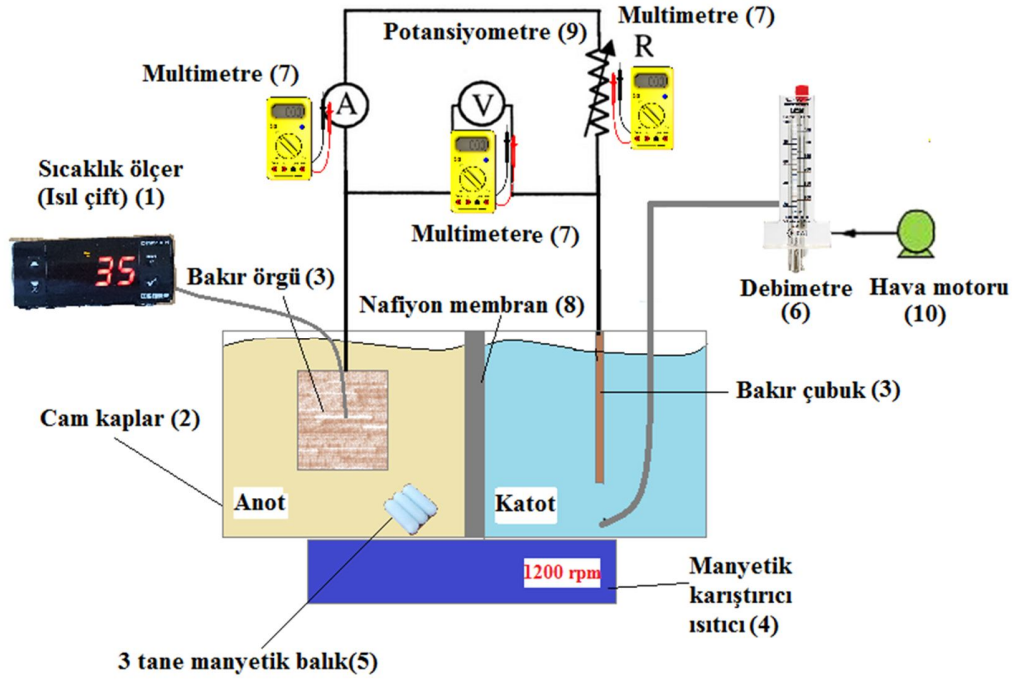
Fe(III) oksit'inin indirgendiği görülmüş ve bakterinin medyatör ürettiği tespit edilmiştir.

İnce-tabaka kromotografisi sonuçları, medyatörün suda çözünür quinona benzer karakteristiğe sahip olduğunu göstermiştir (Beliaev ve ark., 2001). Von Canstein ve ark., (2008) yaptıkları çalışmada, birçok *Shewanella* türünün medyatör olarak salgıladıkları riboflavin ve flavin mononükleotit (FMN)'i ilk olarak tanımlamışlardır. Von Canstein ve ark.'ları, ayrıca bu flavinlerin zayıf olarak kristalize olmuş Fe (III) oksitlerinin indirgenmesinin eşlik ettiği anoksik büyümeyi teşvik ettiğini de göstermişlerdir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Deneý Düzenegi Tasarımı ve İmalatı

Deneý düzenegi tasarımı şematik görünüşü, Şekil 4.1 sunulmuştur.

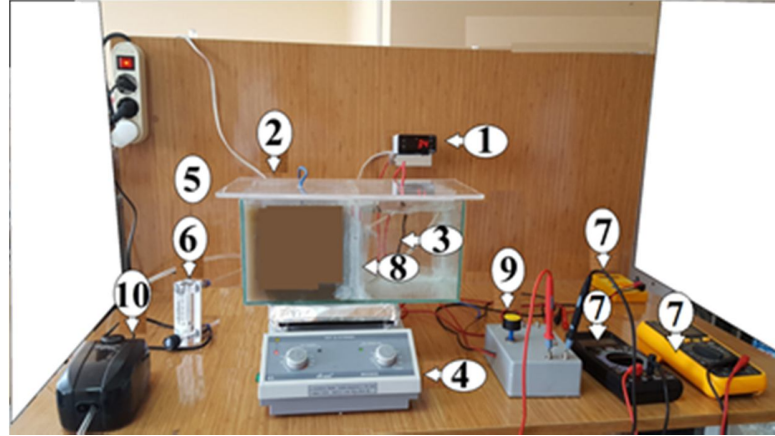


Şekil 4.1. Deneý düzenegi tasarımı şematik görünüşü

### 4.2. Deneýde Kullanılan Ekipmanlar

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'nin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilmiş olan deneý düzenegi imal edilmiş ve S.Ü. İLTEK B Blok 103 no'lu laboratuarda konuşlandırılmıştır. Sonra imal edilmiş olan sistemin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Performans parametreleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre değişimi, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, güç yoğunluğunun gerilime göre değişimidir. Deneý düzenegi ekipmanları, Şekil 4.2'de sunulmuştur.





Şekil 4.2. MYH deney düzeneğine ait ekipmanlar

- (1) Sıcaklık ölçer, (2) MYH'nin cam kapları, (3) bakır örgü (anod) ve bakır çubuk (katot), (4) manyetik karıştırıcı ısıtıcı, (5) deney masası, (6) LPM kare panel tipi hava debimetresi, (7) multimetre (3 tane), (8) 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> Nafion membran, (9) potansiyometre (R<sub>dış</sub>), (10) hava moturu

- **Sıcaklık ölçer;** bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemeden oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı ısıl çift üzerinde gerilim (EMF) oluşturur. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu çalışmada kullanılan sıcaklık ölçer Şekil 4.3'de, sıcaklık ölçerin teknik özellikleri ise Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

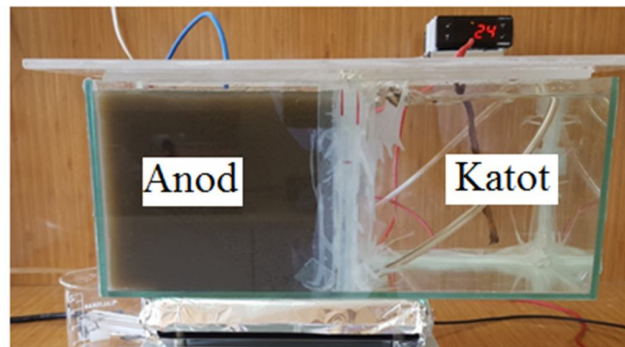


Şekil 4.3. Sıcaklık ölçer

**Çizelge 4.1.** ESM-3710-N Sıcaklık ölçerin teknik özellikleri

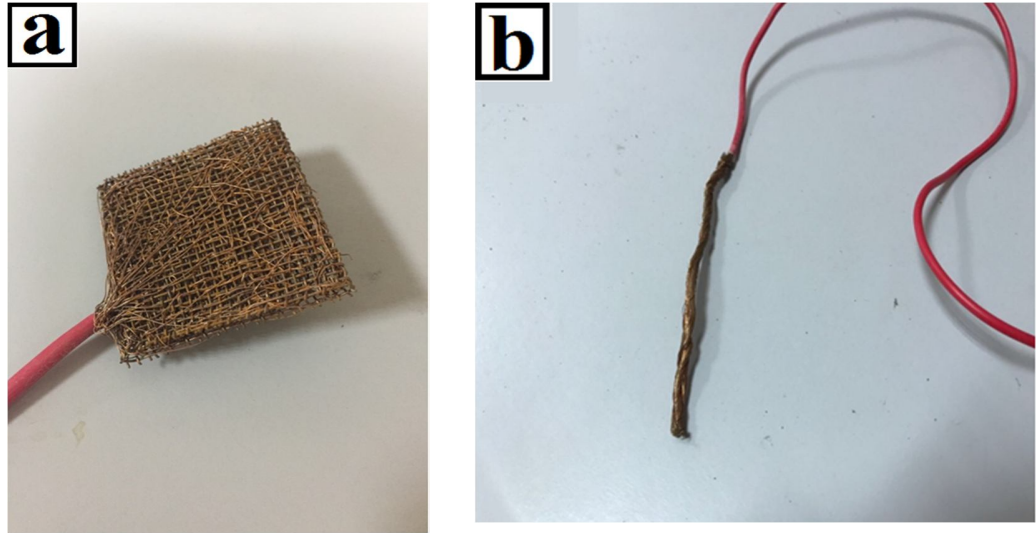
Besleme gerilimi ve güç	230 V ~ (±%15) 50/60 Hz. 1.5 VA 10-30Vdc 1.5W
Sensör girişi	NTC (10k @.25 °C) PTC(1000 @.25 °C)
Hassasiyet	±%0,1°C
Ölçüm aralığı	-50°C +150 °C
Röle çıkış	Rezistif yükte 16(8)A@250 V~
Kontrol formu	On / of
Okuma sıklığı	Saniyede 3 adet okuma

- **MYH'nin cam bölmeleri;** 15 cm x 15 cm x 15 cm<sup>3</sup> boyutlarında 2 hazneden oluşacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 4.4). Kapların katot bölümüne su, anot bölümüne çamur konulmuştur. Camların tam ortasına ise 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> boyutlarında membran yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4. MYH'nin anot ve katot bölümleri

- **Bakır örgü (anod) ve bakır çubuk (katot);** Bakır elementinin tepkimeye girebilme özelliği ve elektrik iletkenliğinin iyi olması nedeniyle bu tez çalışması kapsamında, bakır örgü anot bölümünde, bakır çubuk katot bölümünde kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. (a) Bakır örgü ve (b) bakır çubuk

- **LPM kare panel tipi hava debimetre:** Bir hava debimetresi, hava akışını ölçen, yani bir tüpün içinden ne kadar hava aktığını ölçen bir cihazdır. Genellikle rotametreler olarak bilinen değişken alanlı akış ölçerleri, akış miktarlarını ölçmek için uygun maliyetli araçlardır. Bir güç kaynağına ihtiyaç duymazlar ve kolaylıkla takılabilirler. Deneysel sistemde kullanılan debimetre modeli (LPM Kare Panel Tipi Hava Debimetre rotametre LZT m-6 Akış Ölçeri)'dir. 1 L/dak – 5 L/dak aralığında çalıştırılmıştır (Şekil 4.6). Deneysel sistemde kullanılan debi metrenin teknik özellikleri Çizilge 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.6. (LZT m-6) debi metre

Çizilge 4.2 Debi metre model LZT m-6 teknik bilgileri

Ürün Adı	Panel Tipi Akış Metre
Model No.	LZT M-6
Uygulanabilir ortam	Rotametre (Hava)
Çalışma aralığı	1-5 L/dak
Hassasiyet	± %4
İç delik	11mm (Çap)
Genel boyut	175x84x32mm/6.9 " x 3.3 " x 1.2 " (L * W * T)
Malzeme	Plastik, Metal
Renk	Siyah, gri, temizle
Net Ağırlık	253g

- **Multimetre:** Elektrik devrelerinde kullanılan ölçü aletleri, bir ekranda dalga şekli gösteren ya da sayısal değer gösteren ölçü aletleri olarak sınıflandırılabilir. Multimetre, (avometre), akım (A), gerilim (V), direnç ( $\Omega$ ) ve kısa devre ölçebilen bir elektronik alettir. Avometre sözcüğü, amper, volt ve ohm kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Avometreler, elektrik ve elektronik sektöründe kullanılırlar, analog ve dijital olarak imal edilirler. Üzerindeki komutatorle istenilen ölçme değeri seçilip ölçme yapılır. Günümüzde avometreler oldukça gelişmiş ve birçok yeni özellik eklenmiştir. Standart parametreler olan akım gerilim ve direnç dışında, frekans, sıcaklık, kapasitans ve birçok parametrenin daha ölçümünü

yapabilmektedir. Avometrelerin uçları, oluşturulan elektrik kutusunda bulunan born vidaların uçlarına yerleştirilmiştir. Sistemde born vida için timsah ağzı kullanılmıştır. İstenilen direnç değeri ayarlandıktan sonra, elde edilen akım, gerilim değerleri ölçülerek, çizelgelere not alınmıştır.

**Çizilge 4.3.** Digital gerilim akım ve direncin teknik özellikleri (TT Technic VC-9804A+) ve (DT 830 series)

Temel Fonksiyon	Ölçüm Aralığı	Temel Doğruluk
DC Gerilim	200mV / 2V / 20V / 200V / 1000V	(± 0.5 + 3%)
DC Akım	20mA / 200mA / 20A	(± 0.8 + 10%),
Direnç	200Ω / 2kΩ / 20kΩ	(± 0.8 + 3%)

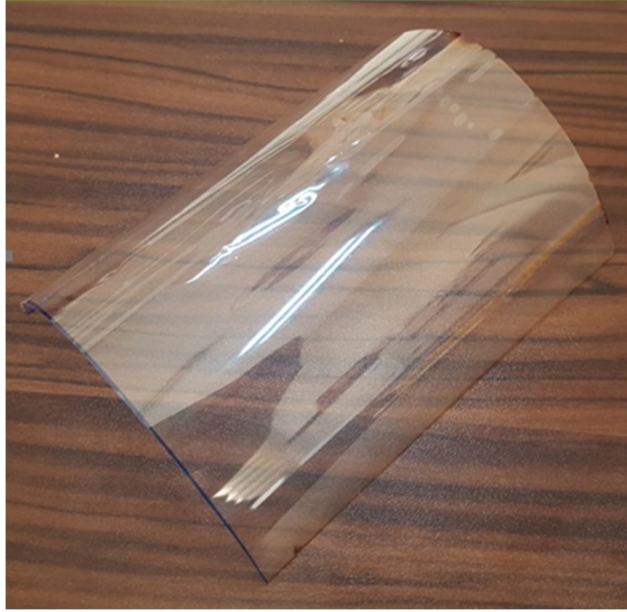


**Şekil 4.7.** Multimetreler

- **10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> Nafion 117 membranı**, anod ve katot bölmelerinin ayrımı için kullanılan malzemedir. Yüksek iyonik iletkenlik sağlamasından dolayı ( $10^{-2} \text{ S.cm}^{-1}$ ) bu tez çalışması kapsamında nafion membran kullanılmıştır (Şekil 4.8). Doğru membran seçimi ile katot bölgesinden anot bölgesine oksijen geçişi tamamen engellenebilir. Bu seçim aynı zamanda katot bölgesindeki substrat kaybını da engellemektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan membranlar, 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> boyutlarındadır. Şekil 4.8’de Nafion 117 membranın teknik özellikleri, Şekil 4.9’da ise Nafion N117 membranının genel görünüşü sunulmuştur.

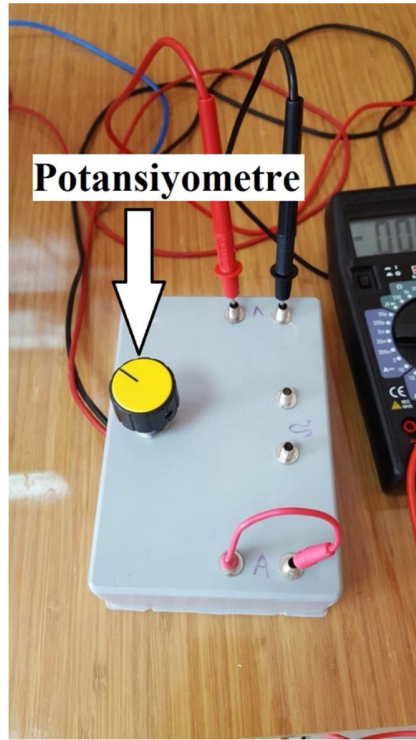
Thickness and Basis Weight Properties <sup>1</sup>		
Membrane Type	Typical Thickness (µm)	Basis Weight (g)
Nafion™ N115	127	250
Nafion™ N117	183	360
Nafion™ N1110	254	500
Physical and Other Properties <sup>2</sup>		
	Typical Value	Test Method
Physical Properties		
Tensile Modulus, MPa (kpsi)		
50% RH, 23 °C (73 °F)	249 (36)	ASTM D882
water soaked, 23 °C (73 °F)	114 (16)	ASTM D882
water soaked, 100 °C (212 °F)	64 (9.4)	ASTM D882
Tensile Strength, Max., MPa (kpsi)		
50% RH, 23 °C (73 °F)	43 (6.2) in MD, 32 (4.6) in TD	ASTM D882
water soaked, 23 °C (73 °F)	34 (4.9) in MD, 26 (3.8) in TD	ASTM D882
water soaked, 100 °C (212 °F)	25 (3.6) in MD, 24 (3.5) in TD	ASTM D882
Elongation at Break, %		
50% RH, 23 °C (73 °F)	225 in MD, 310 in TD	ASTM D882
water soaked, 23 °C (73 °F)	200 in MD, 275 in TD	ASTM D882
water soaked, 100 °C (212 °F)	180 in MD, 240 in TD	ASTM D882
Tear Resistance—Initial, g/mm		
50% RH, 23 °C (73 °F)	6000 in MD, TD	ASTM D1004
water soaked, 23 °C (73 °F)	3500 in MD, TD	ASTM D1004
water soaked, 100 °C (212 °F)	3000 in MD, TD	ASTM D1004
Tear Resistance <sup>3</sup> —Propagating, g/mm		
50% RH, 23 °C (73 °F)	>100 in MD, >150 in TD	ASTM D1922
water soaked, 23 °C (73 °F)	92 in MD, 104 in TD	ASTM D1922
water soaked, 100 °C (212 °F)	74 in MD, 85 in TD	ASTM D1922
Specific Gravity	1.98	—
Other Properties		
Conductivity, S/cm	0.10 min.	See footnote <sup>4</sup>
Available Acid Capacity, meq/g	0.90 min.	See footnote <sup>4</sup>
Total Acid Capacity, meq/g	0.95–1.01	See footnote <sup>4</sup>
Hydrolytic Properties <sup>2</sup>		
Water Content, % water <sup>6</sup>	5	ASTM D570
Water Uptake, % water <sup>7</sup>	38	ASTM D570
Thickness Change, % increase		
from 50% RH, 23 °C (73 °F) to water soaked, 23 °C (73 °F)	10	ASTM D756
from 50% RH, 23 °C (73 °F) to water soaked, 100 °C (212 °F)	14	ASTM D756
Linear Expansion, % increase <sup>8</sup>		
from 50% RH, 23 °C (73 °F) to water soaked, 23 °C (73 °F)	10	ASTM D756
from 50% RH, 23 °C (73 °F) to water soaked, 100 °C (212 °F)	15	ASTM D756

Şekil 4.8. Nafion 117 teknik özellikleri



**Şekil 4.9.** Nafion 117 membranı

- **Potansiyometre ( $R_{dış}$ )** ölçüm türüdür. Fakat diğer direnç ölçüm türlerinden ayrılan en büyük özelliği ise direnç değerlerinin değiştirilebilir olmasıdır. Bu çalışmada uzun mil potans ve bunun rahatça ayarlanabilmesi için potans başlığı kullanılmıştır (Şekil 4.10). Direnç değişimi ile voltaj ve akım değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. Potansiyometre

- **Hava motoru**, çıkan hava kabarcıkları ile suyun yüzeyini dalgalandırmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan Şekil 4.11’teki hava motoru, hava kabarcıklarının suya temas etmesiyle sudaki CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> oranını artırmaktadır. Suyun yüzeyinin dalgalanması ile daha fazla su hava ile direkt temas edeceğinden dolayı difüzyon artmasına neden olmaktadır. Bu durumda reaksiyonu arttırmaktadır. Bu çalışmada hava motorunu iki farklı debi etkisinde (düşük ve yüksek) çalıştırılarak MYH’sinin performansı incelenmiştir.

**Çizilge 4.4.** (Hidom HD-605) çift çıkışlı ayarlanabilir akvaryum hava pompası

Özellikler	Açıklaması
Güç	6 W
Hava çıkışı	6 l/dk
Hava çıkış basıncı	0.020 Mpa
Hava çıkış sayısı	2 çıkış
Ayarlanabilir mi	Evet
Boyut	150 x 85 x 70 mm

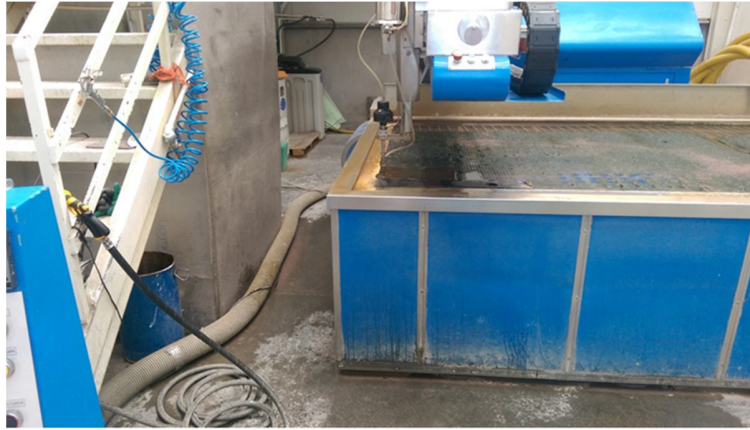




Şekil 4.11. Hava motoru

### 4.3 Cam Kapların İmalat Prosedürleri

İki bölmeli MYH'sinin imalatı için (anot ve katot bölmeli) 4mm kalınlığındaki camlar (Cam plaza, Konya 1. organize) 15(genişlik)x15(yükseklik)x30 (uzunluk) cm<sup>3</sup> boyutlarında kesilmiştir. 30 cm uzunluğunda olan camın tam ortasına (Nafion membranı yerleştirmek için) su jet makinesi (Şekil 4.12) ile sırasıyla 10x10 cm<sup>2</sup> (2 adet) ve 11x11 cm<sup>2</sup> (2 adet) boyutlarında camlar kesilmiştir.



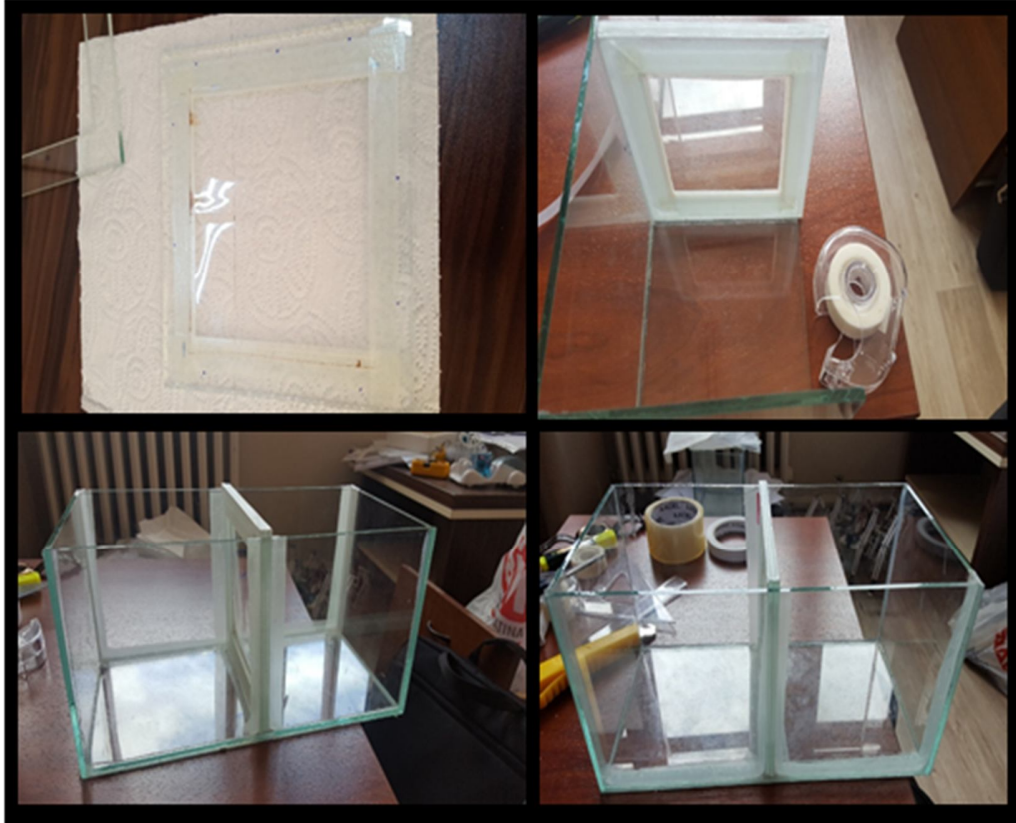
Şekil 4.12. Su jet makinesi

Şekil 4.12’de, görünen su jet makinası ile yapılmış olan kesim sonuçlarından 1 tanesi Şekil 4.13’te ve MYH’nin imalat aşamaları Şekil 4.14’te sunulmuştur.



**Şekil 4.13.** 10x10 cm<sup>2</sup>’lik membranın yerleştirileceği camlardan bir tanesi

İki bölmeyi birbirinden ayıran, membran bölümünü düzgün bir şekilde bir araya getirmek ve oluşabilecek sızıntıları önlemek amacıyla çift taraflı band kullanılmıştır. Membran bu cam bölmelerin tam ortasına yerleştirilmiştir.



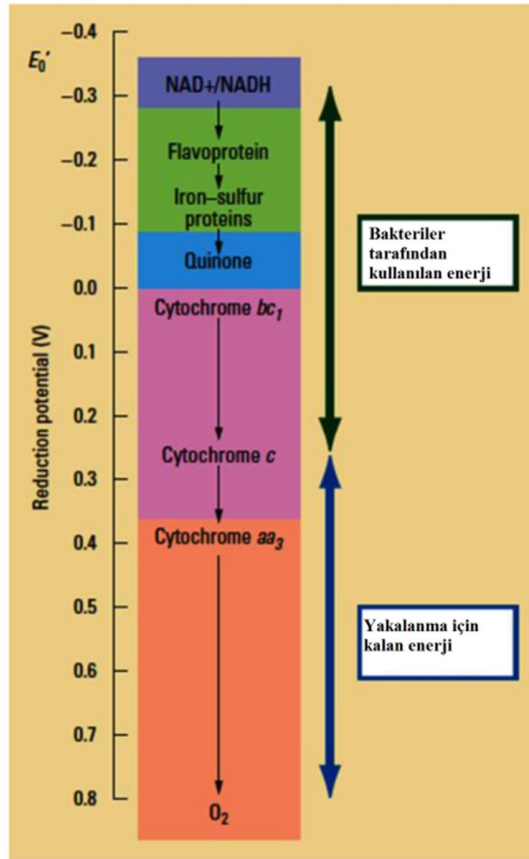
Şekil 4.14. MYH'nin membran bölümünün imalat aşamaları

### 4.3. Bakterilerde enerji

MYH'lerin nasıl elektrik ürettiğini algılamak için önce bakterilerin enerjini nasıl alıp işlediklerini belirtmek gerekmektedir. Bakteriler kimyasal reaksiyonları katilizeyip enerjini adenzin trifosfat (ATP) şekline dönüştürür ve depo eder. Bazı bakterilerde, indirgenmiş substratlar yükseltgenir ve nikotinamid adenin dinükleoitin (NAD) indirgenmiş şekli olan NADH ile solunum enzimlerine aktarılır. Bu elektronlar solunum zinciri enzimleri protonların iç membrana geçmesi için fonksiyon gösteren bir seri enzim boyunca akar ve bir proton gradyenti oluşturur (Şekil 4.15). Protonlar ADP az enzimi ile tekrar hücre içerisine gönderilir ve her 3-4 protona karşılık 1 adenzin diosfat molekülünden 1 ADP molekülü oluşturulur. Elektronlar son olarak nitrat, sülfat veya oksijen gibi çözünür son elektron alıcısına verilir (Holmberg ve ark., 2014).

İşlemin maksimum potansiyeli elektron taşıyıcı ( $\text{NADH}^+$ ) ve standart koşullardaki oksijen arasındaki potansiyel farkına dayalı olarak  $\sim 1.2 \text{ V}$ 'tur. Bakteriler aerobik solunumla

her bir glukoz molekülünden 38 ADP üretirler. Bazı bakteriler elektron alıcısı olarak Fe (III) ve Mn (IV) gibi çözünmez metal oksitleri kullanırlar. Eğer elektronlar solunum zincirinden oksijenden daha düşük bir indirgeme potansiyelinde çıkarlarsa bakteriler daha az ADP elde ederler. Bu nedenle, mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrik üretimi için oksijeni kullanmak daha çok akıma neden olacaktır. Bakteri enerji skalası Şekil 4.15’de sunulmuştur (Mohan ve ark., 2008).



Şekil 4.15. Bakteri enerji skalası (Elektron kulesi) (Holmberg ve ark., 2014)

#### 4.4. Deney numuneleri

Deney kapsamında kullanılan çamurlar Konya Atıksu Arıtma Tesislerinden temin edilmiştir. 2 tip çamur türü kullanılmıştır. Bunlar;

1. Aktif çamur,
2. Çökeltme çamurudur

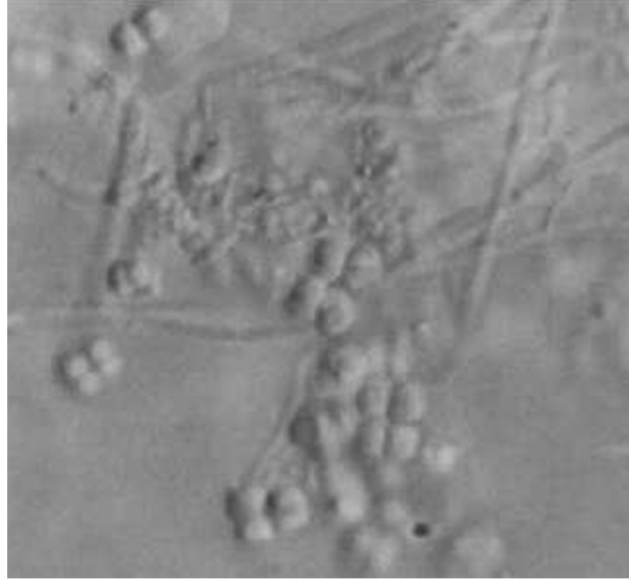
#### 4.4.1. Aktif Çamur

Aktif çamur, organik ve inorganik maddeler içeren atıksu ile hem canlı hem de ölü mikroorganizmaların karışımıdır. Aktif çamur süreci, mikroorganizmaların organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırılmaları esnasından yararlanılarak geliştirilen bir aerobik biyolojik arıtma sistemidir. Reaktörün içeriği “karışık sıvı askıda katı madde” (mixed liquor suspended solids, MLSS) veya “karışık sıvı askıda uçucu katı madde” (mixed liquor volatile suspended solids, MLVSS) olarak tanımlanır ve büyük oranda mikro organizmalardan, inert ve biyolojik olarak ayrışamayan maddelerden ibarettir. Mikroorganizmalar, genellikle, % 70 ila 90 oranında organik, % 10 ila 30 oranında ise inorganik maddelerden meydana gelmişlerdir. Aktif çamur havuzunda oluşan biyolojik yumaklar, bazı durumlarda 1µm'den küçük iken, iyi yumak oluşan bir sistemde yumak boyutu 1000 µm (1 mm)'den büyük olabilir. Aktif çamur içerisinde genellikle gram (-) bakteriler bulunmakta olup, bu bakteriler organik madde oksidasyonu ve nutrient gideriminden sorumludur. Ayrıca, ürettiği polisakarit yada polimerik materyaller ile yumak oluşumuna da katkıda bulunur. Aktif çamurda en çok *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*, *Bacillus* türü bakteriler ve filamentli (ipliksi) bakteriler bulunur (Öztürk ve ark., 2015).

Çizelge 4.5. Aktif Çamur Özellikleri (Öztürk ve ark., 2015)

	Aralık	Tipik Değer
Toplam katı madde (TKM) (%)	0,4-1,5	1
Uçucu katı madde (KM %'si)	60-80	75
Özgül ağırlık		1,01
Yağ ve gres		
→Eterde çözülebilen (KM %'si)	5-12	
→Eterde ekstrakte edilebilen (KM %'si)		
Protein (KM %'si)	32-41	
Azot (N, KM %'si)	2,4-5,0	
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , KM %'si)	2,8-11,0	
Potasyum oksit (K <sub>2</sub> O, KM %'si)	0,5-0,7	7
Selüloz (KM %'si)		7
Demir (sülfür değil, KM %'si)		
Silika (SiO <sub>2</sub> , KM %'si)		8
pH	6,5-8,0	7
Alkalinite (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	580-1100	
Organik asit (mg HAc/L)	1100-1700	
Enerji içeriği: kJ/kg	23300	
Btu/lb	10000	

*G. sulfurreducens* bakterisi olarak bilinen gram negatif koklar aktif camur prosesinde bulunabilirler. Bu bakteriler glikoz ve asetat varlığında bulunurlar. Genellikle düşük fosfat giderimi gözlenen sistemlerde bu bakteriler hakimlerdir (Şekil 4.16) (Öztürk ve ark., 2015).



Şekil 4.16. *G. sulfurreducens* bakterisinin ışın mikroskopunda görünümü (Öztürk ve ark., 2015)

Çizelge 4.6. Standart bir aktif camur ünitesinde heterotrofik bakterilerin dağılımı (Öztürk ve ark., 2015)

Cins ya da grup	%
Comamonas – Pseudomonas	50,0
Alcaligenes	5,8
Pseudomonas (florescent group)	1,9
Pseudomonas	11,5
Unidentified (gram-negative rods)	1,9
Aeromonas	1,9
Flavobacterium – Cytophega	13,5
Bacillus	1,9
Micrococcus	1,9
Coryneform	5,8
Arthrobacter	1,9
Aureobacterium – Microbacterium	1,9

*Zooglea*, hücre dışı polisakarit üreterek, tipik parmak görünümlü şekiller oluşturur. Bu parmak görünümlü şekiller, polisakarit matriksi tarafından sarılan *Zooglea* agregatlarından oluşur. *Zooglea* aktif camur bakterilerinin %10'unu içerir.

Aktif çamur yumakları içerisinde ayrıca ototrofik bakterilerde bulunur. Bunlardan en önemlileri amonyumu nitrata dönüştüren nitrifikasyon yapan bakterilerdir. Moleküler biyolojik yöntemler ile 16S rRNA propları aktif çamur içerisinde *Nitrosomonas* ve *Nitrobacter* türlerinin olduğunu göstermiştir. Ayrıca, fototrofik bakteriler de aktif çamur havuzlarında bulunur. Örneğin pembe, yeşil sulfur bakterileri.

*Protozoa*, *Protozoa*, aktif çamurda bakteriler üzerinden beslenir. Toksik madde varlığı protozoaları olumsuz etkileyebilir. Aktif çamur havuzunda en çok görülen *Protozoalar*; *Siliatlar (Ciliates)*, *Flalelatlar (Flagellates)*, *Rhizopoda (Amoeba)* ve *Rotiferler* dir (Öztürk ve ark., 2015).

#### 4.4.2.Çökelme Çamuru

Çökelme çamuru, çökebilme özelliğine sahip organik ve inorganik yapıda askıda katı maddelerin yerçekimi etkisiyle sudan ayrılması işlemiyle oluşmaktadır. Ham atıksuyun içindeki çökelebilen maddeler, yüksek yoğunlukta çökelme çamuru olarak tanımlanmıştır. Ön çöktürme havuzunda askıda katı madde giderme verimi bekletme süresi ve yüzey yükünün bir fonksiyonudur. Çökelme çamuru, aktif çamura göre mikroorganizmalar açısından yüzde olarak daha fazladır. Çökelme çamurları organik madde içeriği zengin olduğundan yoğunlaştırma aşamasından sonra çamur stabilizasyon işlemine (havasız, havalı vb) tabi tutulması gerekmektedir. Böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azaltılmış olmaktadır. Organik yükteki azalma, biyolojik arıtma ünitesinde sisteme verilmesi gereken oksijen miktarının azalmasına, dolayısı ile enerji gereksiniminin ve oluşan fazla aktif çamur miktarının azalmasına neden olmaktadır. Ham atıksudaki köpüğün giderilmesi ile havalandırma ve çöktürme havuzlarında köpük oluşumu azalmaktadır. Katı madde temaslı ön çöktürme havuzlarında, katı maddeler yükselerek çamur örtüsü oluştururlar ve gelen katı maddeler burada birleşerek tutunurlar. Sıvı faz ise yükselerek savaklara doğru ilerler (Öztürk ve ark., 2015).

**Çizelge 4.7.** Çökelme çamuru özellikleri (Öztürk ve ark., 2015)

	Aralık	Tipik Değer
Toplam katı madde (TKM) (%)	2-7	5
Uçucu katı madde (KM %'si)	60-80	65
Özgül ağırlık		1,02
Yağ ve gres		
→Eterde çözülebilen (KM %'si)	6-30	
→Eterde ekstrakte edilebilen (KM %'si)	7-35	
Protein (KM %'si)	20-30	25
Azot (N, KM %'si)	1,5-4	2,5
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , KM %'si)	0,8-2,8	1,6
Potasyum oksit (K <sub>2</sub> O, KM %'si)	0-1	0,4
Selüloz (KM %'si)	9-13	10
Demir (sülfür değil, KM %'si)	2-4	2,5
Silika (SiO <sub>2</sub> , KM %'si)	15-20	
pH	5-8	6
Alkalinite (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500-1500	600
Organik asit (mg HAc/L)	200-2000	500
Enerji içeriği: kJ/kg	23300	18600
Btu/lb	10000	8000

#### 4.5. DeneYlerin Yapılışı

Bu tez çalışması, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından BAP\_17201094 no'lu proje ile desteklenmiştir. Deneysel sistem, S.Ü. İleri Teknoloji Laboratuvarı (İLTEK) B-Blok 103 no'lu laboratuvarında mevcuttur. Deneysel sistem, Şekil 4.6'da sunulmuştur.

DeneYlerde iki farklı deney numunesi kullanılmıştır. Bunlar aktif ve çökelme çamurlarıdır. Her numune için farklı sıcaklık, direnç ve iki debi etkisi parametrelerinde volt ve akım değerleri ölçülmüştür. Sıcaklıklar dört farklı  $\Delta T$  değerlerinden oluşmaktadır. Bunlar 8, 10, 12, 14°C.  $\Delta T = T_{\text{çamur}} - T_{\text{çevre}}$  olarak belirlenmiştir. Her  $\Delta T$  değeri için iki debi etkisinde [düşük seviyesindeki debi değeri 1 L/dak. (= 1.66 x 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s) ve yüksek debi değeri 1.5 L/dak. (= 2.5 x 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s)] deneYler yapılmıştır. Her debi etkisi için ise 20 farklı direnç kademesi kullanılarak 16 farklı deneysel çalışma yapılmıştır. DeneYler yapılırken aşağıda sunulmuş olan işlemler uygulanmıştır.

- 1) İlk olarak cam kapların (MYH'nin) anot kısmına su, katot kısmına aktif çamur veya çökelme çamur eklenerek hazır hale getirilmiştir.
- 2) Anot kısmına bakır çubuk, katot kısmına ise bakır örgü daldırılmıştır.



- 3) amurun cam kabın altına çökmesini önlemek için katot bölmesine 3 adet manyetik balık atılmıştır.
- 4) Sıcaklık farkının değiştirilebilmesi, çamurun karıştırılması için MYH'si manyetik karıştırıcılı ısıtıcının üzerine yerleştirilmiştir.
- 5) amur ve suyun içine sıcaklık sensörleri daldırılmıştır.
- 6) Ortam sıcaklığını ölçmek için de ayrıca bir sıcaklık sensörü bulunmalıdır.
- 7) Karıştırma işleminin gerçekleşmesi ve çamur sıcaklığının artırılması için, manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı belirli bir seviyeye gelmesi beklenmiştir.
- 8) İstenilen direnç değerinin ölçülmesi için, avometrenin her iki ucuda ponasiyometre kutusunda direnç born vidasına yerleştirilmiştir. Potans yardımıyla istenilen direnç değeri ayarlanmıştır.
- 9) Direnç değerinin ayarlanmasından sonra, akım ölçümü yapan avometrenin (+) ucu akım bölümünde 1. Born vida ağzına, (-) ucu ise, 2. Born vida ağzına yerleştirilmelidir. Aynı işlem gerilim ölçen avometre için de gerilim bölümünde yapılmıştır.
- 10) Sistem istenilen şartlara getirildikten sonra, ayarlanan direnç değerine ait gerilim ve akım değerleri ölçülerek, elde edilen veriler, Excel programında hazırlanan tablolara kayıt edilmiştir.

## 5.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

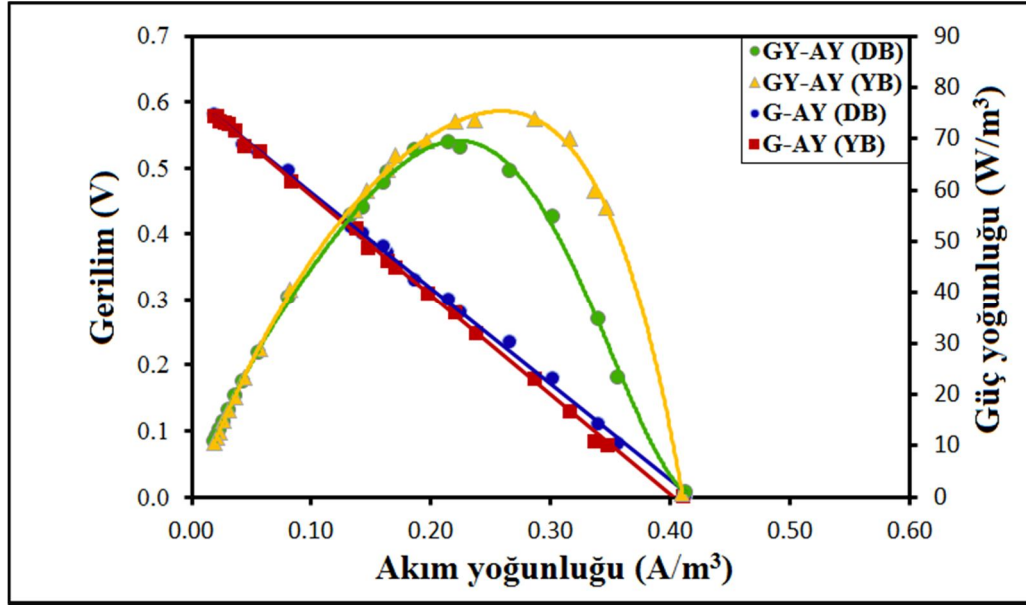
Bu tez çalışması kapsamında, 2 tane mikrobiyal yakıt hücresi tasarlanarak, imal edilmiştir. Bunlar 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup>'lik Nafiyon 117 membranlı MYH'leridir. Mikrobiyal yakıt hücreleri, iki bölümden oluşmaktadır. Hücrenin anot tarafında, 3 litre aktif ve çökelme çamurları (Konya'da ki, Su arıtma tesislerinden temin edilen aktif ve çökeltme çamurları) kullanılmıştır. MYH'nin katot tarafında ise su kullanılmıştır. MYH'nin katot tarafında, düşük debi için 1 lt/dak'da ve yüksek debi için 1.5 lt/dak'da deneyler yapılmıştır. Performans parametreleri aktif ve çökelme çamuru için düşük ve yüksek debide farklı sıcaklık değişiminde  $\Delta T(=T_{\text{çamur}}-T_{\text{çevre}}) = 8, 10, 12, 14$  °C'deki, 21 farklı dış dirençteki gerilimin akım yoğunluğuna göre değişimi, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimidir. Dış direnç değerleri=2, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000  $\Omega$ 'dır. Akım (I) ve gerilim (V) değerleri kullanılarak akım yoğunluğu ve güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır (Manickam ve ark., 2013) .

$$\text{Akım yoğunluğu, } \frac{A}{m^3} = \frac{I}{\text{hacim}} \quad (1)$$

$$\text{Güç yoğunluğu, } P \left( \frac{W}{m^3} \right) = \frac{I^2 * R_{dış}}{\text{hacim}} \quad (2)$$

Bu hesaplamalar dikkate alınarak şekiller oluşturulmuştur. Bu şekiller analiz edilerek, 10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> Nafion 117 membranlı MYH'nin performansı belirlenmiştir. Oluşturulan şekiller ve analizleri aşağıda sunulmuştur.

Bu çalışmadaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamur için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 8$  °C için, Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde (ΔT= 8 °C için)

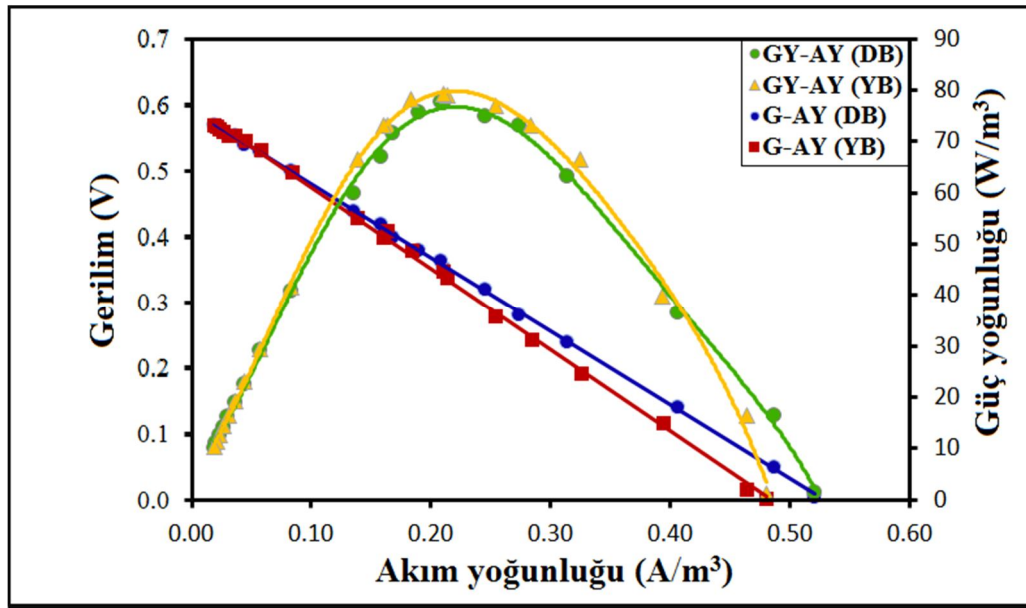
Şekil 5.1'nin analizi (ΔT= 8 °C, düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç 500 Ω'da, akım yoğunluğu 0.215 A/m<sup>3</sup>'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{maks} = 69.3 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 10000 Ω'da, akım yoğunluğu 0.019 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{maks} = 0.581 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 2 Ω'de, maks. akım yoğunluğu = 0.413 A/m<sup>3</sup>'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 300 Ω'da, akım yoğunluğu 0.286 A/m<sup>3</sup>'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{maks} = 74 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000 Ω'de, akım yoğunluğu 0.018 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.580 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2 Ω'de, maks. akım yoğunluğu = 0.41 A/m<sup>3</sup>'dir.

Şekil 5.1'nin analiz sonucu ; ΔT=8 °C sıcaklığındaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim

performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $=74 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=300 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.581 \text{ V}$ 'tur. 1 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.413 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamur için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 10 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.2'de sunulmuştur.



Şekil 5.2.  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 10 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

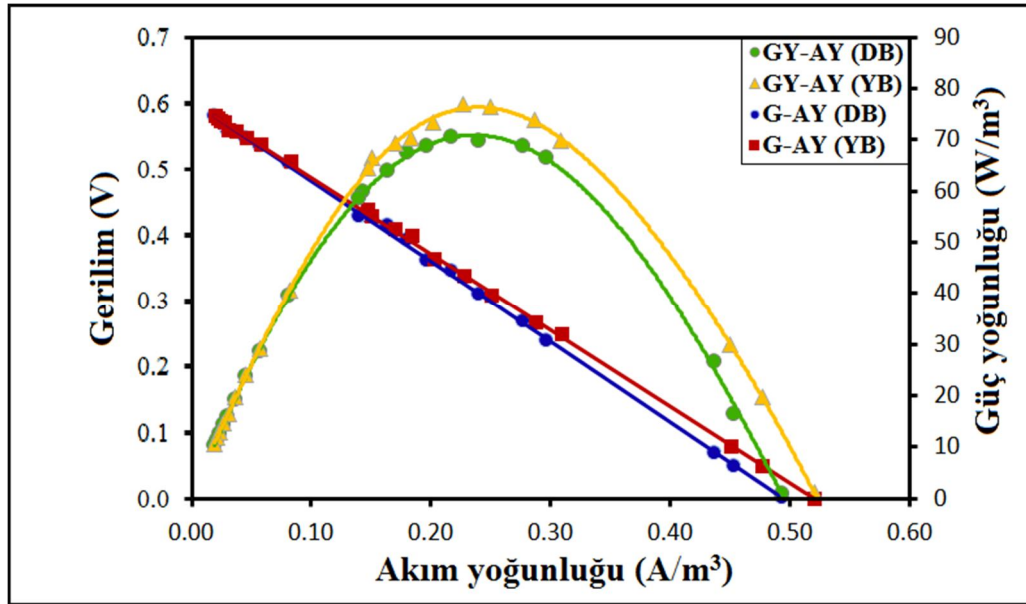
Şekil 5.2'ün analizi ( $\Delta T= 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $600 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.208 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 77.9 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.570 \text{ V}$ 'tr.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.520 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $600 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.210 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 79.4 \text{ W/m}^3$ 'dir.

- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.019 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.571$  V'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.48 A/m<sup>3</sup>'dir.

**Şekil 5.2'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T=10$  °C sıcaklığındaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =79.4 W/m<sup>3</sup>, 1.5 lt/dak'da ki debide, R=600  $\Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.571$  V'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide, R=10000  $\Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri = 0.520 A/m<sup>3</sup>, 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamur için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 12$  °C için, Şekil 5.3'te sunulmuştur.



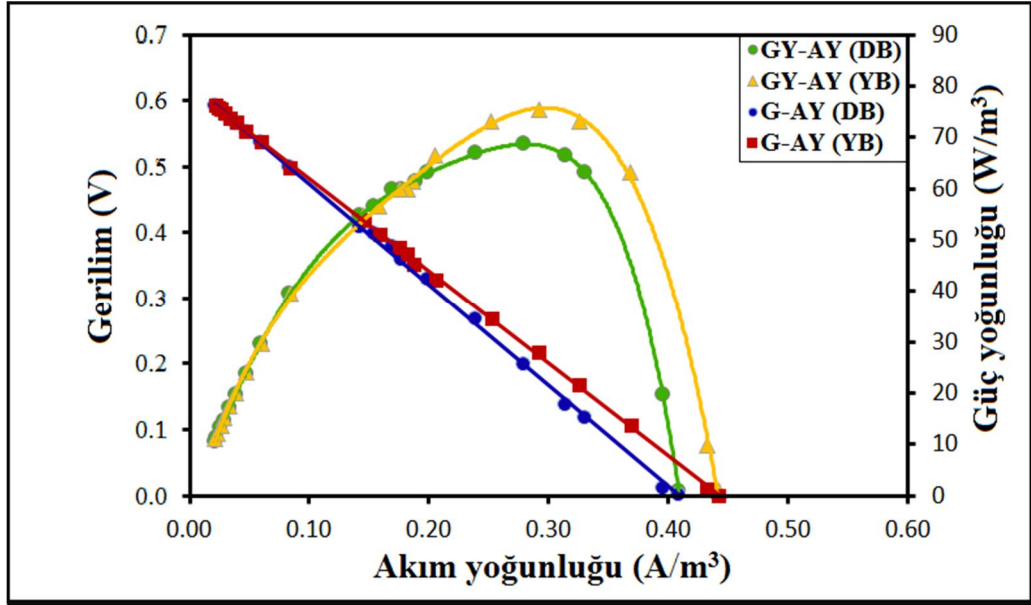
**Şekil 5.3.** 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 12$  °C için)

**Şekil 5.3'nin analizi** ( $\Delta T= 12$  °C, düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç 500  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.217 A/m<sup>3</sup>'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{maks} = 70.9 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.018 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{maks} = 0.581 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.413 A/m<sup>3</sup>'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 500  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.226 A/m<sup>3</sup>'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{maks} = 77 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.019 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.582 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.52 A/m<sup>3</sup>'dir.

**Şekil 5.3'ün analiz sonucu ;**  $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 77 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 600 \text{ } \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.582 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 10000 \text{ } \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri =  $0.520 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamur için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.4'te sunulmuştur.



Şekil 5.4. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 14\text{ }^{\circ}\text{C}$  için)

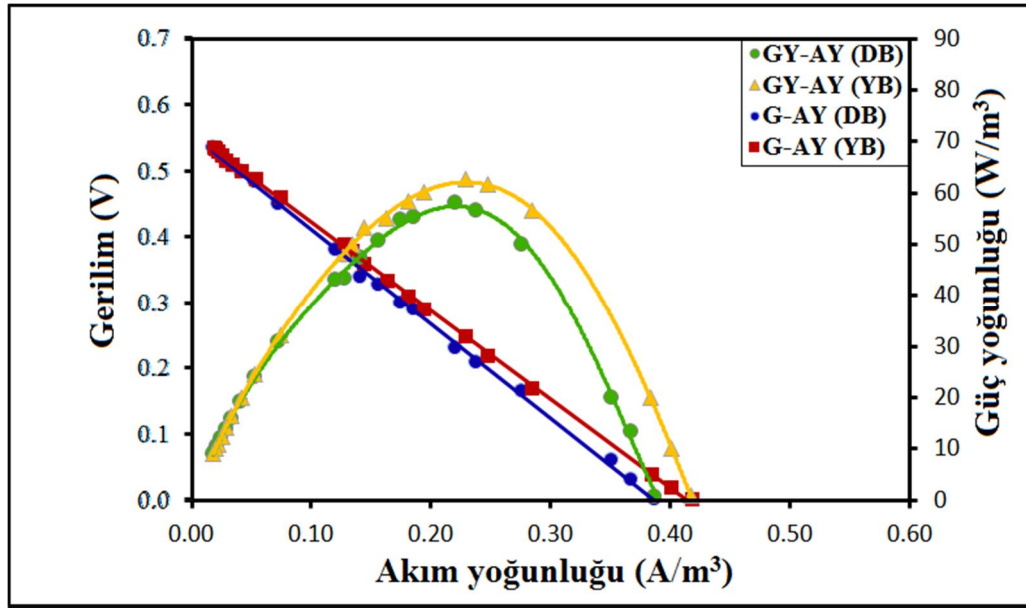
Şekil 5.4'nin analizi ( $\Delta T= 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç 300  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.276 A/m<sup>3</sup>'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{maks} = 68.8\text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.019 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{maks} = 0.593\text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.393 A/m<sup>3</sup>'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 300  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.29 A/m<sup>3</sup>'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{maks} = 75.6\text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.019 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.595\text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.44 A/m<sup>3</sup>'dir.

Şekil 5.4'ün analiz sonucu;  $\Delta T=14\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklığındaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim

performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $=75.69 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=300 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.595 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.44 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.5'de sunulmuştur.



Şekil 5.5.  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurunun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

Şekil 5.5'in analizi ( $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

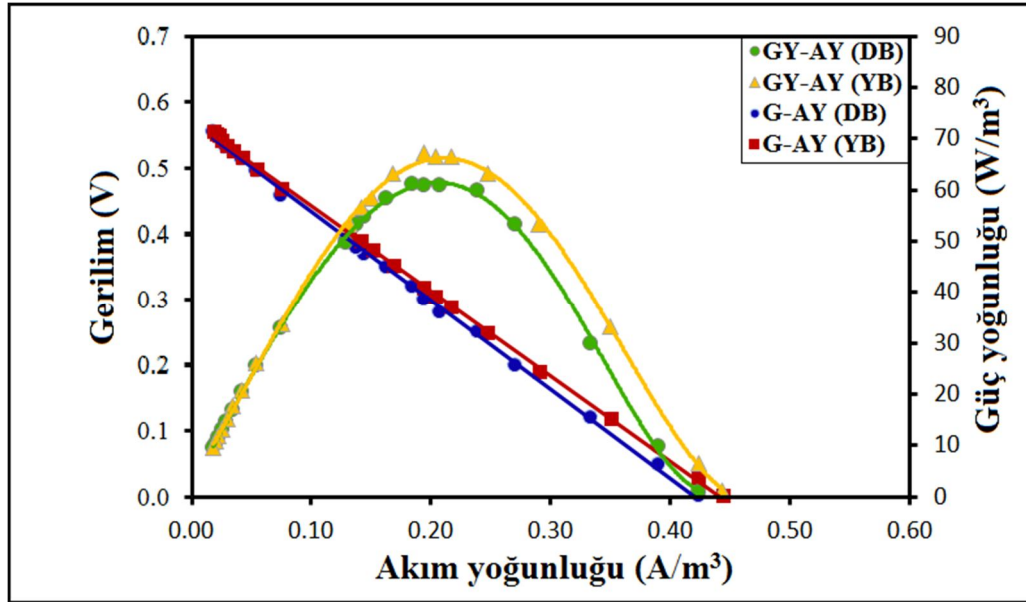
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $400 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.22 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 58.1 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.535 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.386 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $400 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.228 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 62.6 \text{ W/m}^3$ 'dir.



- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.017 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.536$  V'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.416 A/m<sup>3</sup>'dir.

**Şekil 5.5'in analiz sonucu ;**  $\Delta T=8$  °C sıcaklığındaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =62.6 W/m<sup>3</sup>, 1.5 lt/dak'da ki debide, R=400  $\Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.536$  V'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide, R=10000  $\Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri = 0.416 A/m<sup>3</sup>, 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 10$  °C için, Şekil 5.6'de sunulmuştur.



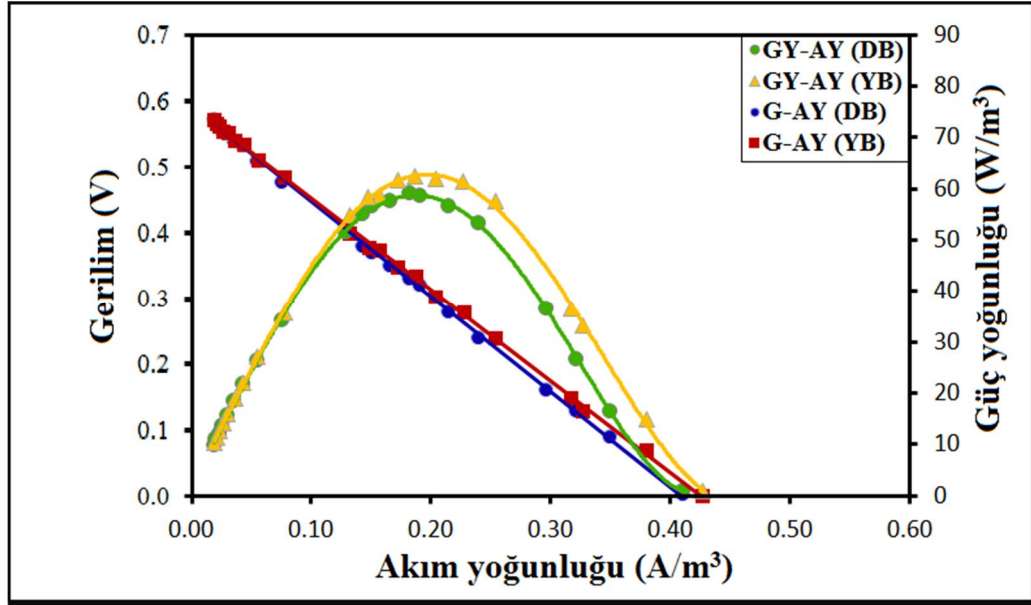
**Şekil 5.6.** 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurunun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 10$  °C için)

**Şekil 5.6'nın analizi** ( $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $600 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.184 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 61.1 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.556 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.423 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $600 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.19 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 67.28 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.557 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.443 \text{ A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.6'nın analiz sonucu** ;  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 67.28 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 600 \text{ } \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.557 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 10000 \text{ } \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.443 \text{ A/m}^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.7'de sunulmuştur.



Şekil 5.7. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

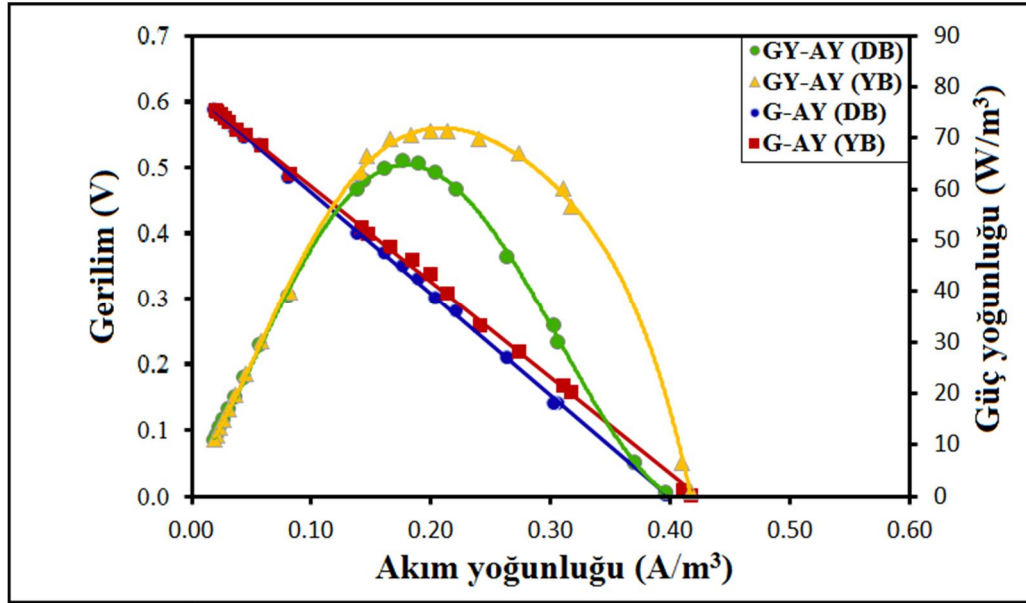
Şekil 5.7'nin analizi ( $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç 600  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.181 A/m<sup>3</sup>'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 59.4 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.018 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.571 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.41 A/m<sup>3</sup>'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 600  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.186 A/m<sup>3</sup>'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 62.72 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.018 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.572 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.426 A/m<sup>3</sup>'dir.

Şekil 5.7'nin analiz sonucu ;  $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki, 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu = 62.72 W/m<sup>3</sup>, 1.5 lt/dak'da ki debide, R=600  $\Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.572 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da

ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri =  $0.442 \text{ A/m}^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.8'de sunulmuştur.



Şekil 5.8.  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

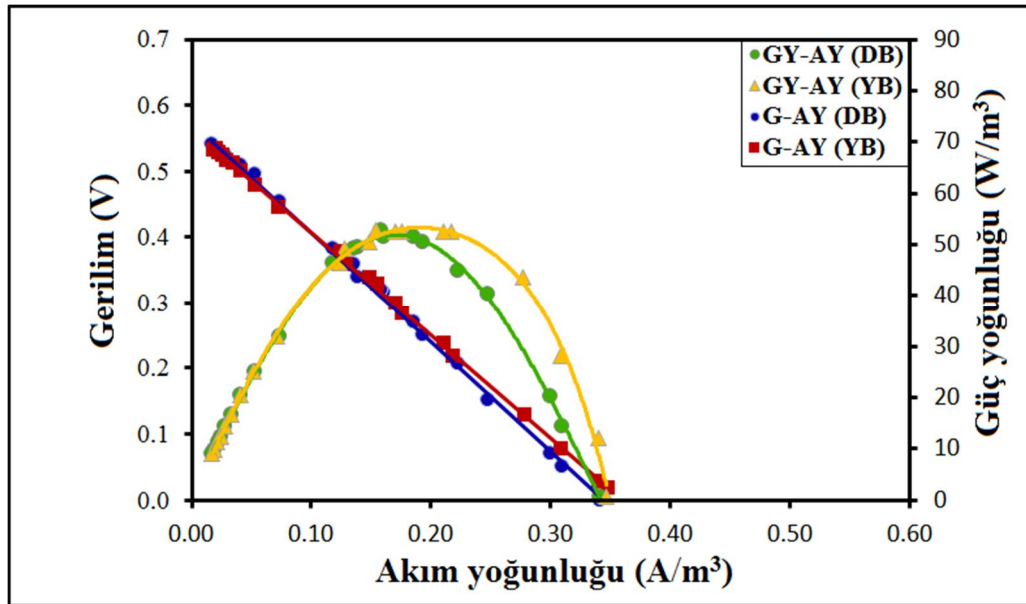
Şekil 5.8'in analizi ( $\Delta T= 14 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $700 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.176 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 65.54 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.588 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu =  $0.396 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $600 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.199 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 71.52 \text{ W/m}^3$ 'dir.

- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.019  $A/m^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.589 V$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.416  $A/m^3$ 'dir.

**Şekil 5.8'in analiz sonucu ;**  $\Delta T=14$   $^{\circ}C$  sıcaklığındaki,  $10 \times 10$   $cm^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =  $71.52 W/m^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=600 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.589 V$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri =  $0.416 A/m^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11$   $cm^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 8$   $^{\circ}C$  için, Şekil 5.9'da sunulmuştur.



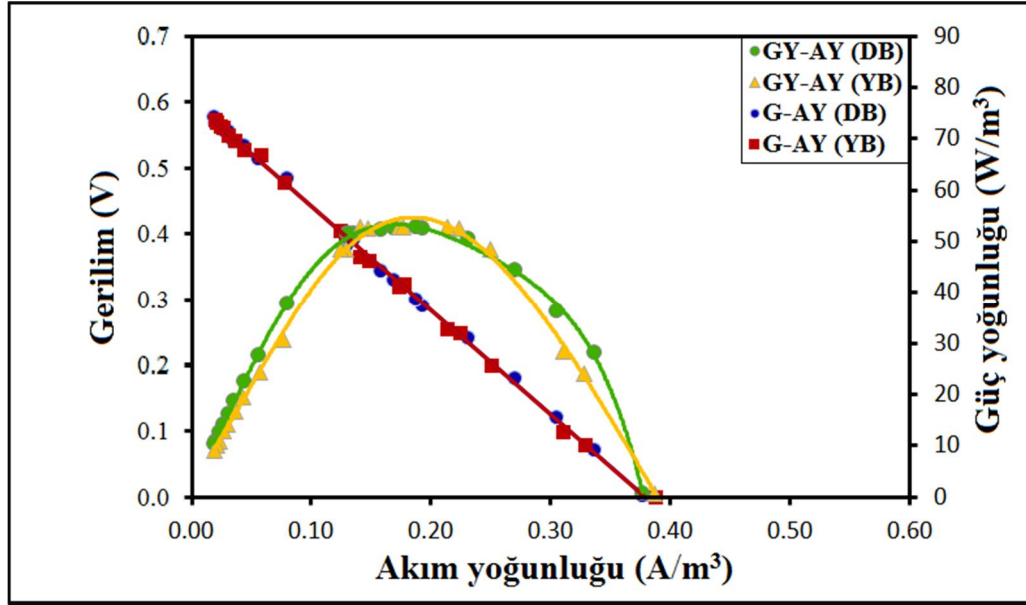
**Şekil 5.9**  $11 \times 11$   $cm^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 8$   $^{\circ}C$  için)

**Şekil 5.9'un analizi** ( $\Delta T= 8$   $^{\circ}C$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç 700  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.158 A/m<sup>3</sup>'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{maks} = 52.64 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.017 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{maks} = 0.540 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.341 A/m<sup>3</sup>'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 500  $\Omega$ 'da, akım yoğunluğu 0.175 A/m<sup>3</sup>'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{maks} = 52.6 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.017 A/m<sup>3</sup>'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.534 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.346 A/m<sup>3</sup>'dir.

**Şekil 5.9'un analiz sonucu ;**  $\Delta T=8 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki, 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =52.64 W/m<sup>3</sup>, 1 lt/dak'da ki debide, R=700  $\Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.540 \text{ V}$ 'tur. 1 lt/dak'da ki debide, R=10000  $\Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri = 0.46 A/m<sup>3</sup>, 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki, 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 10 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.10'da sunulmuştur.



**Şekil 5.10.** 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  için)

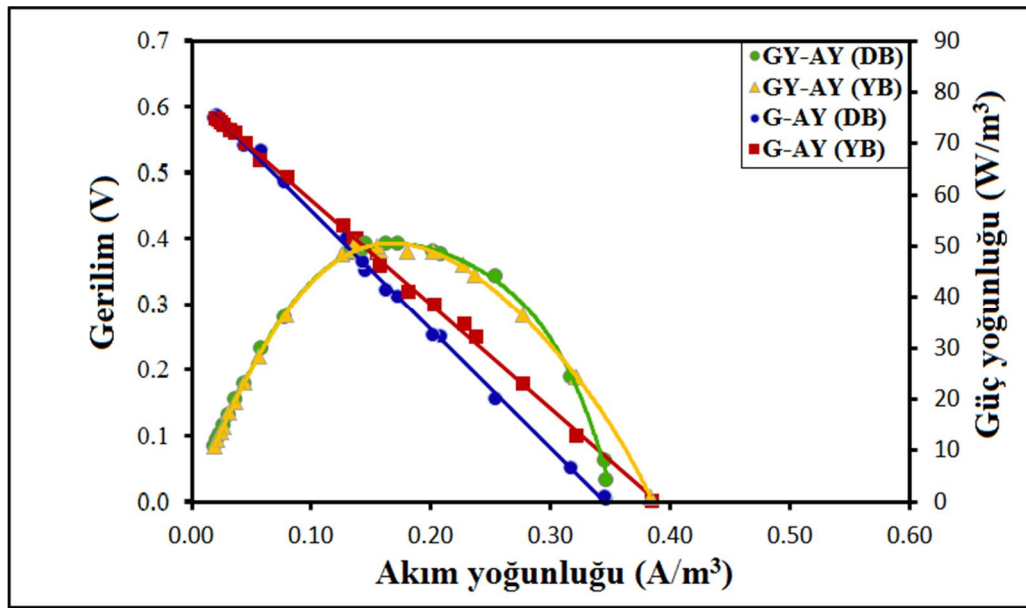
**Şekil 5.10'in analizi** ( $\Delta T= 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $500\ \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.187\ \text{A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 52.82\ \text{W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000\ \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.018\ \text{A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.577\ \text{V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2\ \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.376\ \text{A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $400\ \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.213\ \text{A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 52.92\ \text{W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000\ \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.019\ \text{A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.573\ \text{V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2\ \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.387\ \text{A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.10'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklığındaki, 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç

yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $=52.92 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=400 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.577 \text{ V}$ 'tur. 1 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.387 \text{ A/m}^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 12 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.11'da sunulmuştur.



Şekil 5.11.  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 12 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

Şekil 5.11'in analizi ( $\Delta T= 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

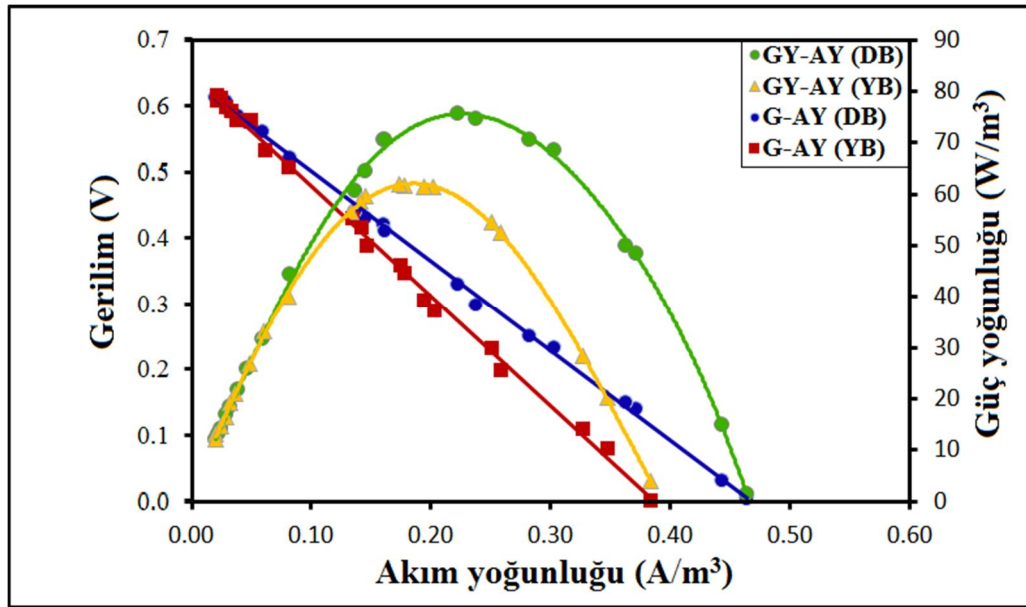
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $600 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.162 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 50.41 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}}= 0.582 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.346 \text{ A/m}^3$ 'dir.



- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $700 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.154 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 50 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.583 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.383 \text{ A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.11'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T=12 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $=50.41 \text{ W/m}^3$ , 1 lt/dak'da ki debide,  $R=600 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.583 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.383 \text{ A/m}^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.12'de sunulmuştur.



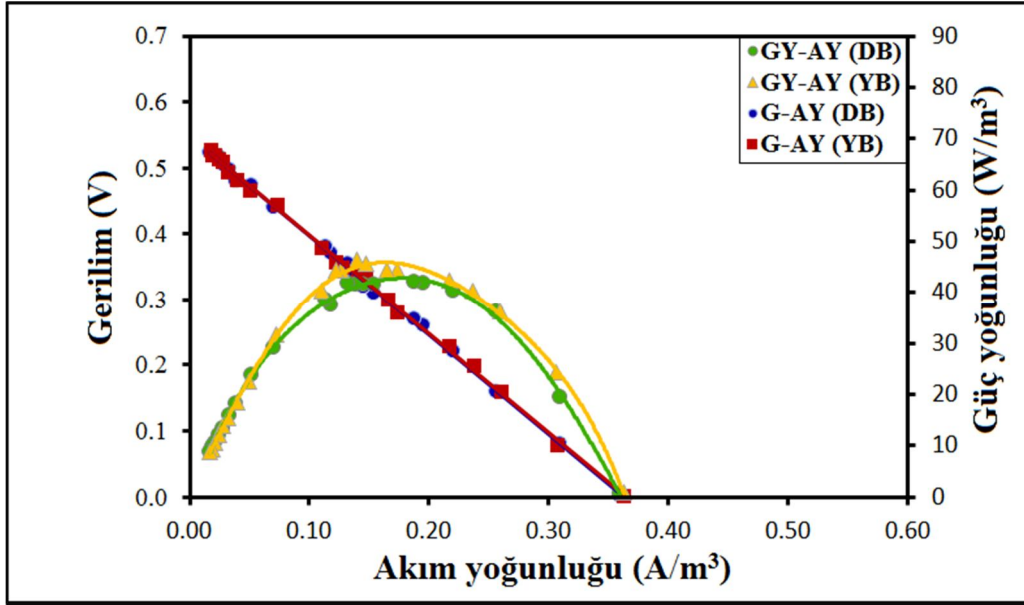
**Şekil 5.12.**  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

**Şekil 5.12'nin analizi** ( $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $700 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.158 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 75.64 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.02 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.612 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.463 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $700 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.175 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 61.88 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.02 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.616 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.383 \text{ A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.12'nin analiz sonucu;**  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 75.64 \text{ W/m}^3$ , 1 lt/dak'da ki debide,  $R = 600 \text{ } \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.616 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 10000 \text{ } \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.463 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.13'te sunulmuştur.



**Şekil 5.13.** 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

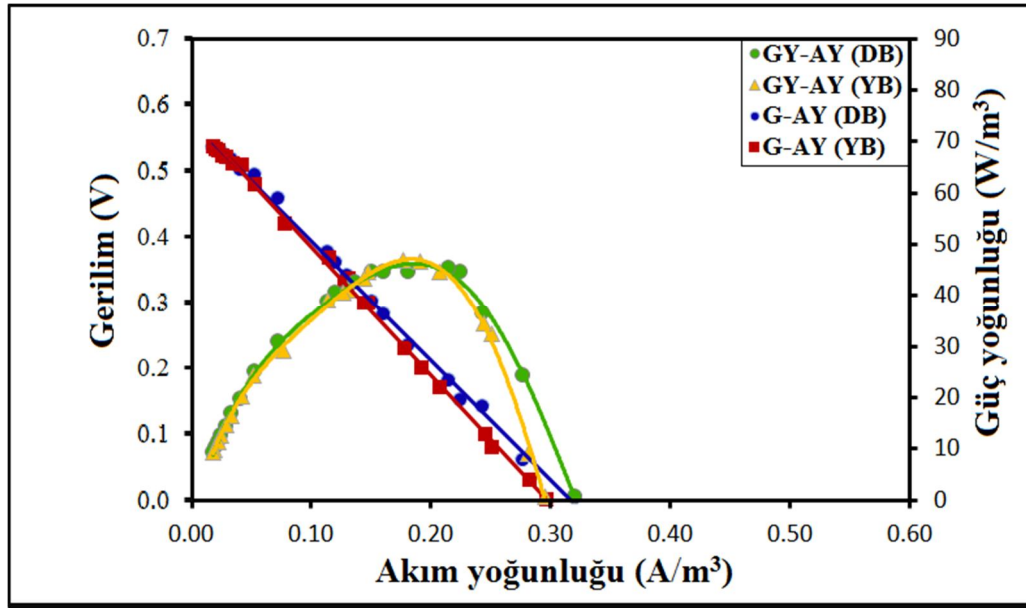
**Şekil 5.13'nin analizi** ( $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $400 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.187 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 42.1 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.524 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.36 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $600 \text{ } \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.14 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 46.4 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \text{ } \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.528 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \text{ } \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.362 \text{ A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.13'nin analiz sonucu;**  $\Delta T = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki, 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 46.4 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki

debide,  $R=600 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.528 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri =  $0.362 \text{ A/m}^3$ , 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.14'da sunulmuştur.



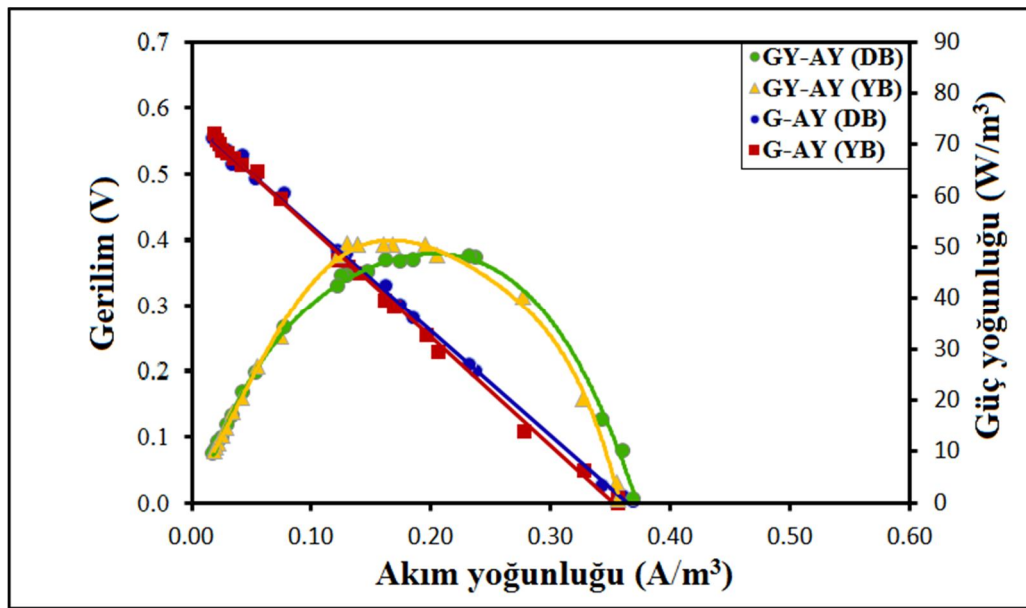
**Şekil 5.14.**  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  için)

- **Şekil 5.14'ün analizi** ( $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , düşük ve yüksek debi etkisinde);
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $500 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.16 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{maks} = 44.36 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.0173 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{maks} = 0.533 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu =  $0.32 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $500 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.177 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{maks} = 46.81 \text{ W/m}^3$ 'dir.

- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 10000  $\Omega$ 'de, akım yoğunluğu 0.017  $A/m^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{maks} = 0.537 V$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu = 0.295  $A/m^3$ 'dir.

**Şekil 5.14'nin analiz sonucu;**  $\Delta T=10$  °C sıcaklığındaki,  $11 \times 11$   $cm^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =46.81  $W/m^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=500 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{maks} = 0.537 V$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri = 0.32  $A/m^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11$   $cm^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T= 12$  °C için, Şekil 5.15'da sunulmuştur.



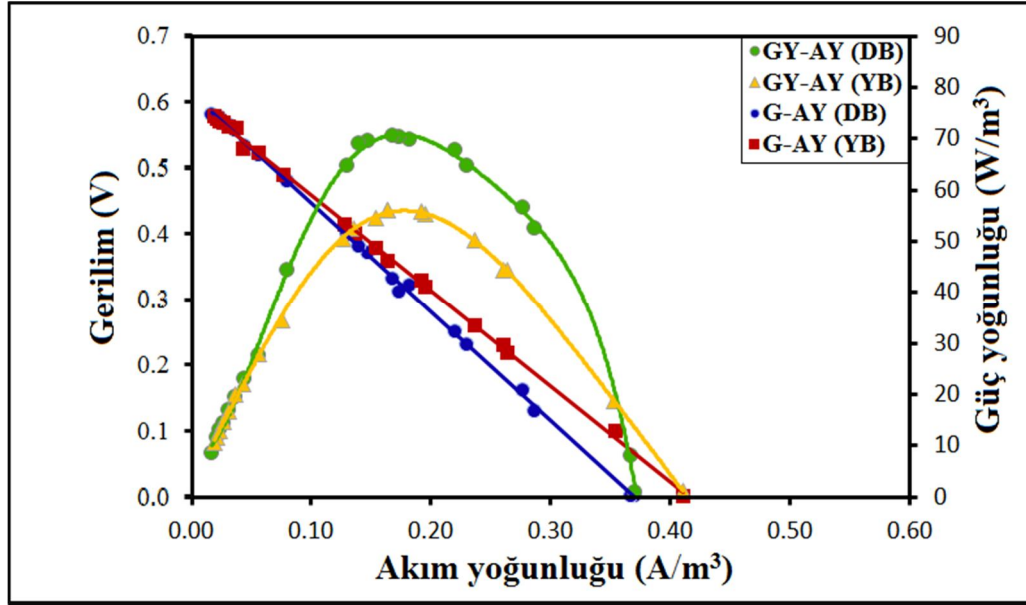
**Şekil 5.15.**  $11 \times 11$   $cm^2$ 'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T= 12$  °C için)

**Şekil 5.15'nin analizi** ( $\Delta T= 12$  °C, düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $300 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.231 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 48.3 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.554 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.369 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $400 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.205 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 50.41 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.563 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.355 \text{ A/m}^3$ 'dir.

**Şekil 5.15'nin analiz sonucu;**  $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 50.41 \text{ W/m}^3$ , 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 400 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.563 \text{ V}$ 'tur. 1.5 lt/dak'da ki debide,  $R = 10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri  $= 0.369 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.

Bu çalışmadaki,  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik membranlı MYH'nin performans analizleri, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamuru için düşük ve yüksek debi etkisinde,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  için, Şekil 5.16'da sunulmuştur.



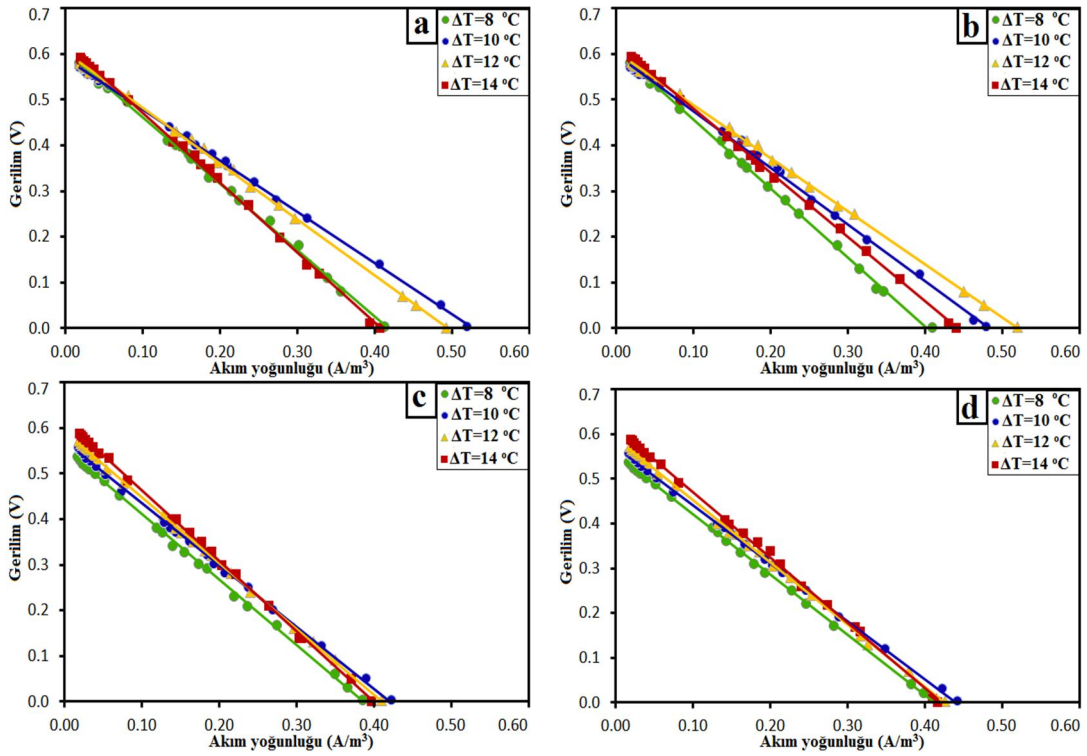
Şekil 5.16. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilimin akım yoğunluğuna göre ve güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $\Delta T = 14$  °C için)

Şekil 5.16'nin analizi ( $\Delta T = 14$  °C, düşük ve yüksek debi etkisinde);

- 1 lt/dak debide, dış direnç  $700 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.168 \text{ A/m}^3$ 'de, maks. güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 70.58 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.016 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maksimum gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.580 \text{ V}$ 'tır.
- 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.37 \text{ A/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $600 \Omega$ 'da, akım yoğunluğu  $0.163 \text{ A/m}^3$ 'de, maksimum güç yoğunluğu  $P_{\text{maks}} = 56.06 \text{ W/m}^3$ 'dir.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $10000 \Omega$ 'de, akım yoğunluğu  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'de, MYH'nin maks. gerilimi  $V_{\text{maks}} = 0.578 \text{ V}$ 'tır.
- 1.5 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de, maks. akım yoğunluğu  $= 0.41 \text{ A/m}^3$ 'dir.

Şekil 5.16'nin analiz sonucu;  $\Delta T = 14$  °C sıcaklığındaki, 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı #ASMYH'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre ve gerilimin akım yoğunluğuna göre değişim performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu  $= 70.58 \text{ W/m}^3$ , 1 lt/dak'da ki debide,  $R = 700 \Omega$ 'da, ve MYH'nin maksimum gerilim  $V_{\text{maks}} = 0.580 \text{ V}$ 'tır. 1 lt/dak'da

ki debide,  $R=10000 \Omega$ 'da tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun maksimum değeri =  $0.37 \text{ A/m}^3$ , 1 lt/dak debide, dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.



**Şekil 5.17.**  $(10 \times 10) \text{ cm}^2$ 'lik aktif ve çökelme çamur için gerilimin (V) akım yoğunluğuna ( $\text{A/m}^3$ ) göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.17 a'nın analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8 \text{ }^\circ\text{C}$  ve akım yoğunluğu  $0.413 \text{ A/m}^3$ , gerilimin min. değeri =  $0.002 \text{ (V)}$  ve maks. değeri =  $0.581 \text{ (V)}$ ,  $0.019 \text{ A/m}^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10 \text{ }^\circ\text{C}$  ve akım yoğunluğu  $0.520 \text{ A/m}^3$ , gerilimin min. değeri =  $0.003 \text{ (V)}$  ve maks. değeri =  $0.570 \text{ (V)}$ ,  $0.018 \text{ A/m}^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12 \text{ }^\circ\text{C}$  ve akım yoğunluğu  $0.493 \text{ A/m}^3$ , gerilimin min. değeri =  $0.001 \text{ (V)}$  ve maks. değeri =  $0.581 \text{ (V)}$ ,  $0.018 \text{ A/m}^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve akım yoğunluğu  $0.406 \text{ A/m}^3$ , gerilimin min. değeri =  $0.002 \text{ (V)}$  ve maks. değeri =  $0.593 \text{ (V)}$ ,  $0.019 \text{ A/m}^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.17 b'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  aktif çamur yüksek debi etkisinde);



- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu  $0.410$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.580 (V),  $0.018$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu  $0.480$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.003 (V) ve maks. değeri =0.571 (V),  $0.019$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu  $0.520$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.582 (V),  $0.019$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu  $0.440$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.595 (V),  $0.019$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.17 c'nin analizi** ( $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

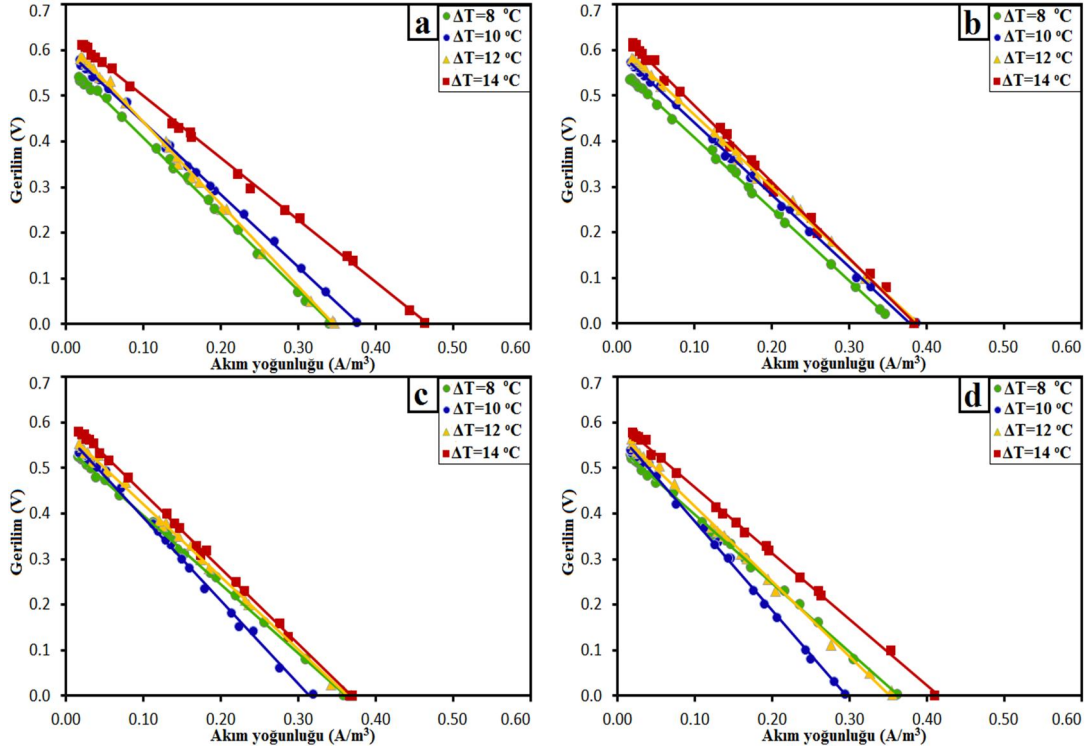
- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu  $0.386$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.535 (V),  $0.017$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu  $0.423$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.556 (V),  $0.018$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu  $0.410$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.571 (V),  $0.018$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu  $0.396$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.588 (V),  $0.019$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.17 d'nin analizi** ( $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu  $0.416$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.536 (V),  $0.017$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu  $0.443$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.557 (V),  $0.018$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu  $0.426$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.557 (V),  $0.018$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu  $0.416$  A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.588 (V),  $0.019$  A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.17 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T= (8, 10, 12, 14)$  °C sıcaklığındaki  $10 \times 10$  #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde

yapılan çalışmalarda, MYH'nin gerilimin akım yoğunluğuna göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum gerilim= 0.595 (V), #AÇMYH'de, 1.5 lt/dak'da ki debide,  $\Delta T=14$  °C ve  $R=10000$   $\Omega$ 'da bulunmuştur. Akım yoğunluğunun maksimum değeri de = 0.520  $A/m^3$ , #AÇMYH'de 1 lt/dak debide,  $\Delta T=10$  °C ve dış direnç 2  $\Omega$ 'de oluşmuştur.



**Şekil 5.18.** (11x11)  $cm^2$ 'lik aktif ve çökelme çamur için gerilimin (V) akım yoğunluğuna ( $A/m^3$ ) göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.18 a'nın analizi** (11x11  $cm^2$  aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu 0.341  $A/m^3$ , gerilimin min. değeri =0 (V) ve maks. değeri =0.540 (V), 0.017  $A/m^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu 0.376  $A/m^3$ , gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.577 (V), 0.018  $A/m^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu 0.346  $A/m^3$ , gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.582 (V), 0.019  $A/m^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu 0.463  $A/m^3$ , gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.612 (V), 0.02  $A/m^3$  akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.18 b'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> aktif çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu 0.346 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.02 (V) ve maks. değeri =0.534 (V), 0.017 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu 0.386 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.573 (V), 0.018 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu 0.383 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.583 (V), 0.019 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu 0.383 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.616 (V), 0.02 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

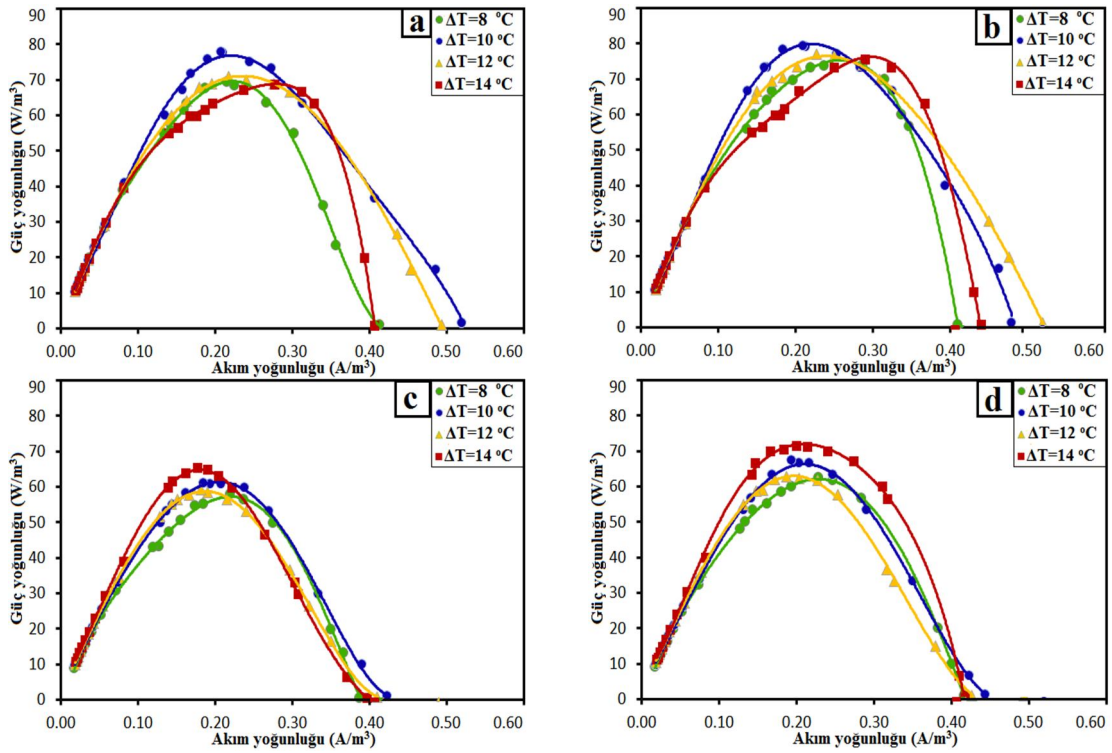
**Şekil 5.18 c'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu 0.360 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.524 (V), 0.017 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu 0.320 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.533 (V), 0.017 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu 0.369 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.554 (V), 0.018 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu 0.370 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.580 (V), 0.016 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.18 d'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C ve akım yoğunluğu 0.362 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.528 (V), 0.017 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C ve akım yoğunluğu 0.295 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.535 (V), 0.017 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C ve akım yoğunluğu 0.355 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.001 (V) ve maks. değeri =0.563 (V), 0.018 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C ve akım yoğunluğu 0.410 A/m<sup>3</sup>, gerilimin min. değeri =0.002 (V) ve maks. değeri =0.578 (V), 0.018 A/m<sup>3</sup> akım yoğunluğunda bulunmuştur.

**Şekil 5.18 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T = (8, 10, 12, 14) ^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin  $1 \text{ lt/dak}$  ve  $1.5 \text{ lt/dak}$ 'lık debilerde yapılan çalışmalarda, MYH'nin gerilimin akım yoğunluğuna göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum gerilim=  $0.616 \text{ (V)}$ , #AÇMYH'de,  $1.5 \text{ lt/dak}$ 'da ki debide,  $\Delta T=14 ^\circ\text{C}$  ve  $R=10000 \Omega$ 'da bulunmuştur. Akım yoğunluğunun maksimum değeri de =  $0.463 \text{ A/m}^3$ , #AÇMYH'de  $1 \text{ lt/dak}$  debide,  $\Delta T=14 ^\circ\text{C}$  ve dış direnç  $2 \Omega$ 'de oluşmuştur.



**Şekil 5.19.**  $(10 \times 10) \text{ cm}^2$ 'lik aktif ve çökeltme çamur için güç yoğunluğunun  $(\text{W/m}^3)$  akım yoğunluğuna  $(\text{A/m}^3)$ 'göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.19 a'nın analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8 ^\circ\text{C}$ 'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.413 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $69.3 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.215 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10 ^\circ\text{C}$ 'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.520 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $77.87 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.208 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.493 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $70.85 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.217 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.406 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $68.89 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.276 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.19 b'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  aktif çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.410 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $74 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.286 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.480 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $79.38 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.210 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.520 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $77.06 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.226 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.440 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $75.69 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.290 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.19 c'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

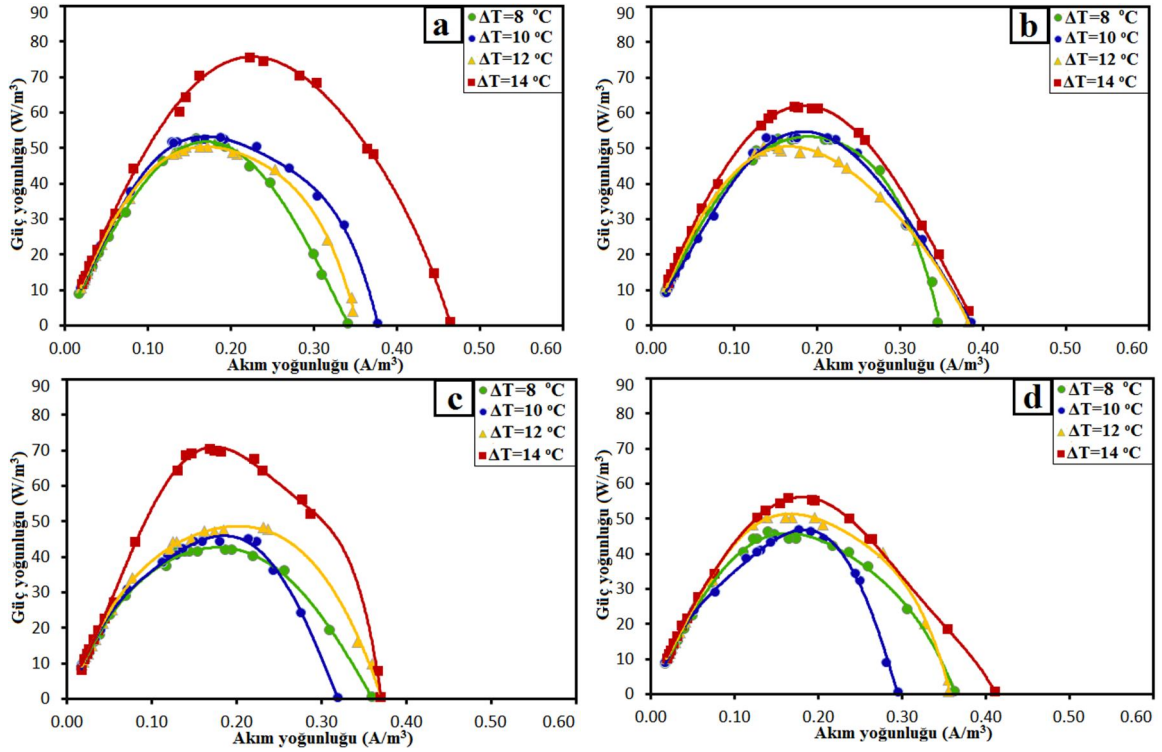
- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.386 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $58.1 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $400 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.220 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.423 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $61.16 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.184 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.410 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $59.4 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.181 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.396 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $65.54 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.176 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.19 d'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.416 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $62.6 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $400 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.228 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.443 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $67.28 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.193 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.426 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $62.72 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.186 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.416 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $71.52 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.199 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.19 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu** ;  $\Delta T= (8, 10, 12, 14)$  °C sıcaklığındaki  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin  $1 \text{ lt/dak}$  ve  $1.5 \text{ lt/dak}$ 'lık debilerde yapılan çalışmalarda, MYH'nin güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =  $79.68 \text{ W/m}^3$ , #AÇMYH'de,  $1.5 \text{ lt/dak}$ 'da ki debide,  $\Delta T=10$  °C, dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.210 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.



**Şekil 5.20.** (11x11) cm<sup>2</sup>'lik aktif ve çökeltme çamur için güç yoğunluğunun (W/m<sup>3</sup>) akım yoğunluğuna (A/m<sup>3</sup>) göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.20 a'nın analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri 0.341 A/m<sup>3</sup>'ten başlamıştır 0.017 A/m<sup>3</sup>'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.6 W/m<sup>3</sup> dış direnç 700  $\Omega$  ve akım yoğunluğu 0.158 A/m<sup>3</sup>'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri 0.376 A/m<sup>3</sup>'ten başlamıştır 0.018 A/m<sup>3</sup>'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.8 W/m<sup>3</sup> dış direnç 500  $\Omega$  ve akım yoğunluğu 0.187 A/m<sup>3</sup>'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri 0.346 A/m<sup>3</sup>'ten başlamıştır 0.019 A/m<sup>3</sup>'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri 50.4 W/m<sup>3</sup> dış direnç 600  $\Omega$  ve akım yoğunluğu 0.162 A/m<sup>3</sup>'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri 0.463 A/m<sup>3</sup>'ten başlamıştır 0.020 A/m<sup>3</sup>'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri 75.64 W/m<sup>3</sup> dış direnç 600  $\Omega$  ve akım yoğunluğu 0.221 A/m<sup>3</sup>'te bulunmuştur.

**Şekil 5.20 b'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> aktif çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.346 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $52.6 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.175 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.387 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $52.9 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $400 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.213 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.383 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.019 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $50 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.154 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.383 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.020 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $61.88 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.173 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.20 c'nin analizi** ( $11 \times 11 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

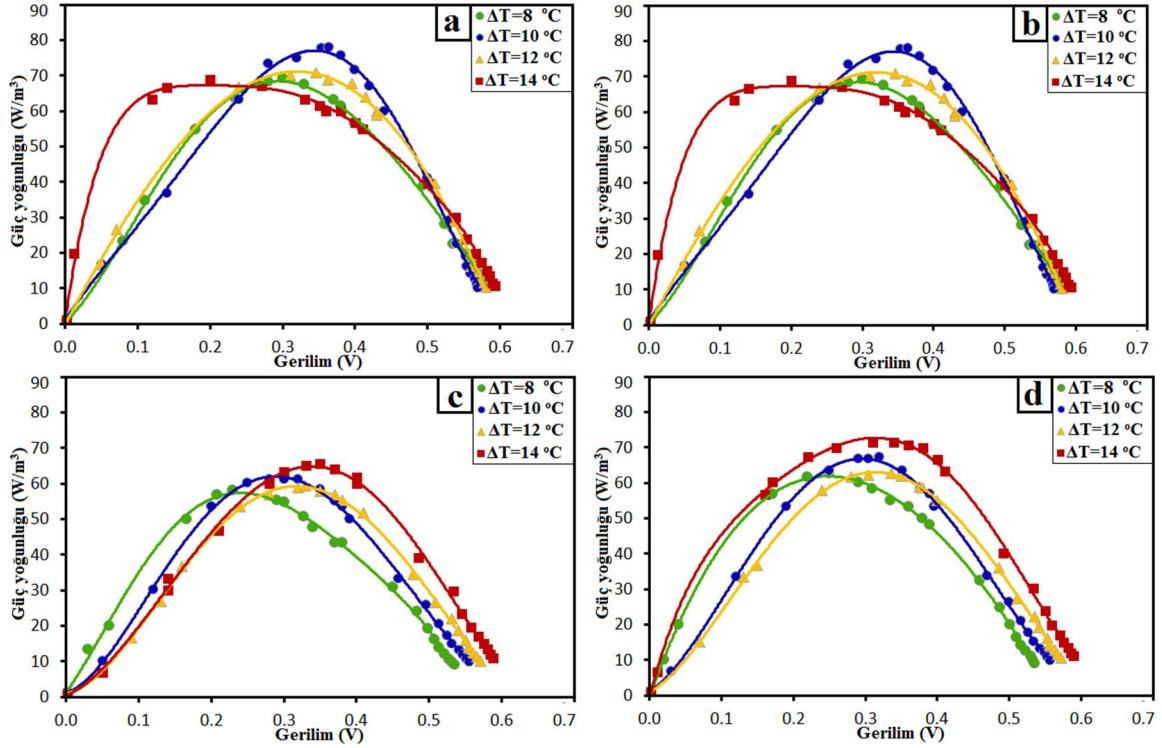
- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.360 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $41.5 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.139 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.320 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $45.15 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.214 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.369 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $48.3 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.231 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.370 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.016 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $70.58 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.168 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.20 d'nin analizi** ( $11 \times 11 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);



- $\Delta T=8$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.362 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $46.4 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.140 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.295 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.017 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $46.81 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.177 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.355 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $50.41 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.138 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da akım yoğunluğu maks. değeri  $0.410 \text{ A/m}^3$ 'ten başlamıştır  $0.018 \text{ A/m}^3$ 'e düşmüştür. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $56 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.163 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.

**Şekil 5.20 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu ;**  $\Delta T= (8, 10, 12, 14)$  °C sıcaklığındaki  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin  $1 \text{ lt/dak}$  ve  $1.5 \text{ lt/dak}$ 'lık debilerde yapılan çalışmalarda, MYH'nin güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =  $75.64 \text{ W/m}^3$ , #AÇMYH'de,  $1 \text{ lt/dak}$ 'da ki debide,  $\Delta T=10$  °C, dış direnç  $600 \Omega$  ve akım yoğunluğu  $0.221 \text{ A/m}^3$ 'te bulunmuştur.



Şekil 5.21.  $(10 \times 10)$  cm<sup>2</sup>'lik aktif ve çökeltme çamur için güç yoğunluğunun (W/m<sup>3</sup>) Gerilime (V) göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.21 a'nın analizi** ( $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.580 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $74 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve gerilim 0.280 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.003 (V)'tan, 0.571 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $79.38 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.350 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.582 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $77 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve gerilim 0.340 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.595 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $75.69 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve gerilim 0.220 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.21 b'nin analizi** ( $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> aktif çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.581 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $69.3 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve gerilim 0.300 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.003 (V)'tan, 0.570 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $77.87 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.364 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.581 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $70.85 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve gerilim 0.346 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.593 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $68.89 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve gerilim 0.200 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.21 c'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

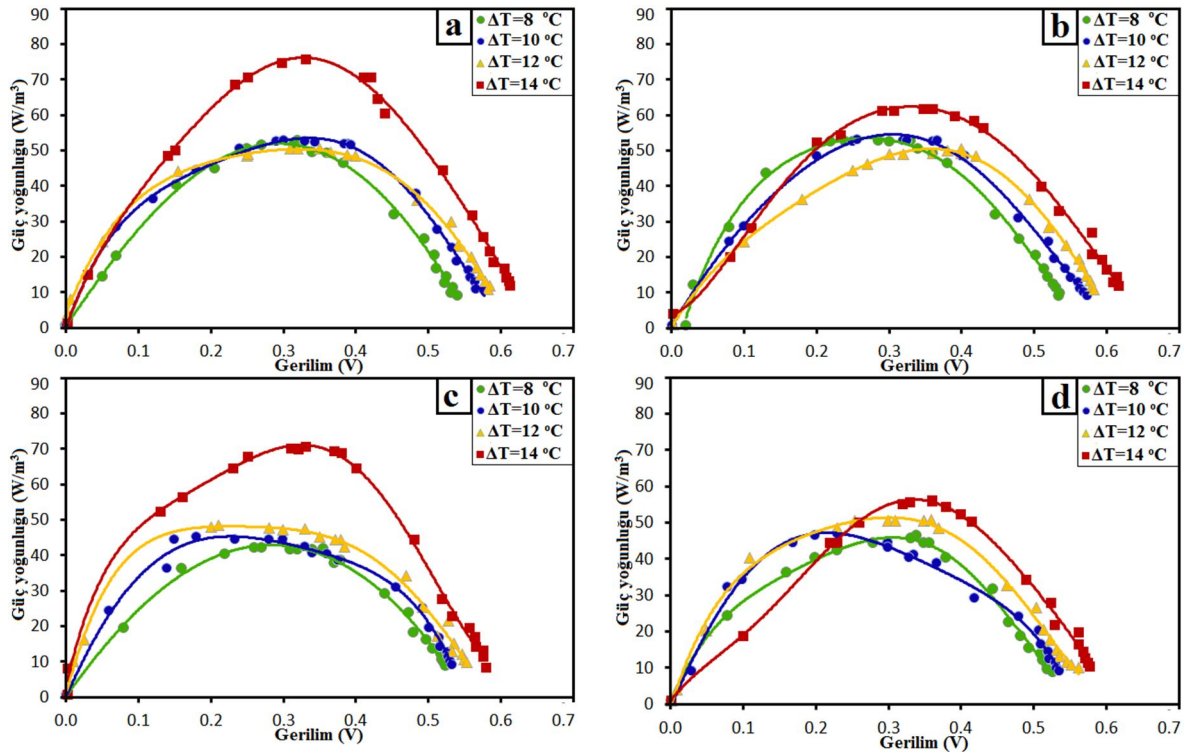
- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.535 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $58.1 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $400 \Omega$  ve gerilim 0.230 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.556 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $61.16 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.320 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.571 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $59.4 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.330 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.588 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $65.54 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve gerilim 0.350 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.21 d'nin analizi** ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.536 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $62.6 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $400 \Omega$  ve gerilim 0.250 (V)'ta bulunmuştur.

- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.557 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $67.28 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.320 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.572 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $62.72 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.336 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.589 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $71.52 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.340 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.21 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu ;  $\Delta T= (8, 10, 12, 14)$  °C sıcaklığındaki  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, MYH'nin güç yoğunluğunun gerilime göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =  $79.38 \text{ W/m}^3$ , #AÇMYH'de, 1 lt/dak'da ki debide,  $\Delta T=10$  °C, dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.320 (V)'ta bulunmuştur.**



**Şekil 5.22.**  $(11 \times 11) \text{ cm}^2$ 'lik aktif ve çökeltme çamur için güç yoğunluğunun ( $\text{W/m}^3$ ) Gerilime (V)göre değişimi iki farklı debide ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Şekil 5.22 a'nın analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> aktif çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0 (V)'tan, 0.540 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.6 W/m<sup>3</sup> dış direnç 700  $\Omega$  ve gerilim 0.320 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.577 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.82 W/m<sup>3</sup> dış direnç 500  $\Omega$  ve gerilim 0.300 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.582 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 50.41 W/m<sup>3</sup> dış direnç 700  $\Omega$  ve gerilim 0.350 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.612 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 75.64 W/m<sup>3</sup> dış direnç 600  $\Omega$  ve gerilim 0.330 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.22 b'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> aktif çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.020 (V)'tan, 0.534 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.6 W/m<sup>3</sup> dış direnç 500  $\Omega$  ve gerilim 0.285 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.573 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 52.80 W/m<sup>3</sup> dış direnç 800  $\Omega$  ve gerilim 0.367 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.583 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 50 W/m<sup>3</sup> dış direnç 700  $\Omega$  ve gerilim 0.380 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.616 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri 61.88 W/m<sup>3</sup> dış direnç 700  $\Omega$  ve gerilim 0.360 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.22 c'nin analizi** (11x11 cm<sup>2</sup> çökeltme çamur düşük debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.524 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $41.8 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $800 \Omega$  ve gerilim 0.355 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.533 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $45.15 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve gerilim 0.180 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.554 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $48.3 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $300 \Omega$  ve gerilim 0.210 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.580 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $70.58 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $700 \Omega$  ve gerilim 0.330 (V)'ta bulunmuştur.

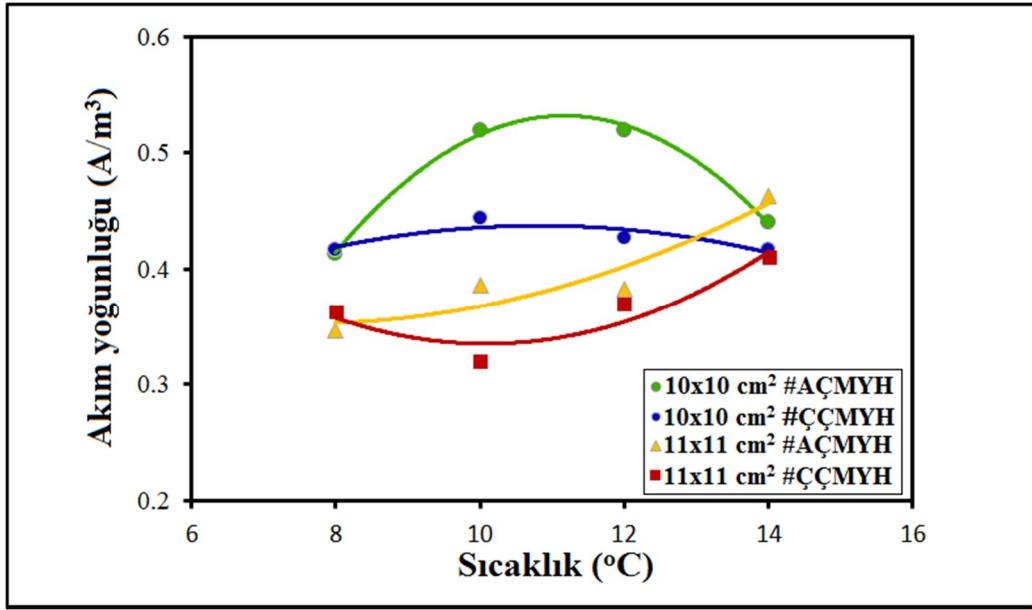
**Şekil 5.22 d'nin analizi** ( $11 \times 11 \text{ cm}^2$  çökeltme çamur yüksek debi etkisinde);

- $\Delta T=8$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.528 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $46.4 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.340 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=10$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.537 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $46.81 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $500 \Omega$  ve gerilim 0.230 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=12$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.001 (V)'tan, 0.563 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $50.41 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $800 \Omega$  ve gerilim 0.350 (V)'ta bulunmuştur.
- $\Delta T=14$  °C'da gerilim yoğunluğu değeri 0.002 (V)'tan, 0.578 (V)'a yükselmiştir. Güç yoğunluğunun maks. değeri  $56 \text{ W/m}^3$  dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.360 (V)'ta bulunmuştur.

**Şekil 5.22 (a, b, c, ve d)'nin analiz sonucu;**  $\Delta T= (8, 10, 12, 14)$  °C sıcaklığındaki  $11 \times 11 \text{ cm}^2$ 'lik #AÇMYH ve #ÇÇMYH 'nin 1 lt/dak ve 1.5 lt/dak'lık debilerde yapılan çalışmalarda, MYH'nin güç yoğunluğunun gerilime göre değişimin performansları incelenmiştir. Maksimum güç yoğunluğu =  $75.64 \text{ W/m}^3$ , #AÇMYH'de, 1 lt/dak'da ki debide,  $\Delta T=14$  °C, dış direnç  $600 \Omega$  ve gerilim 0.330 (V)'ta bulunmuştur.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlık MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debide), karşılaştırmalar yapılmıştır. Maksimum akım yoğunluğunun sıcaklık farklılıkları  $\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ }^{\circ}\text{C})$ 'na göre değişimleri Şekil 6.1'de, maksimum güç yoğunluğunun sıcaklıklara göre değişimi Şekil 6.2'de, ve gerilimin sıcaklığa göre değişimi ise Şekil 6.3'de sunulmuştur.



Şekil 6.1. Maks. akım yoğunlukların sıcaklık değişikliklerine göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlık MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), sıcaklık farklılıkları  $\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ }^{\circ}\text{C})$ 'lerde yapılan çalışmalarda maks. akım yoğunluğu değişimleri (Şekil 6.1)'de sunulmuştur.

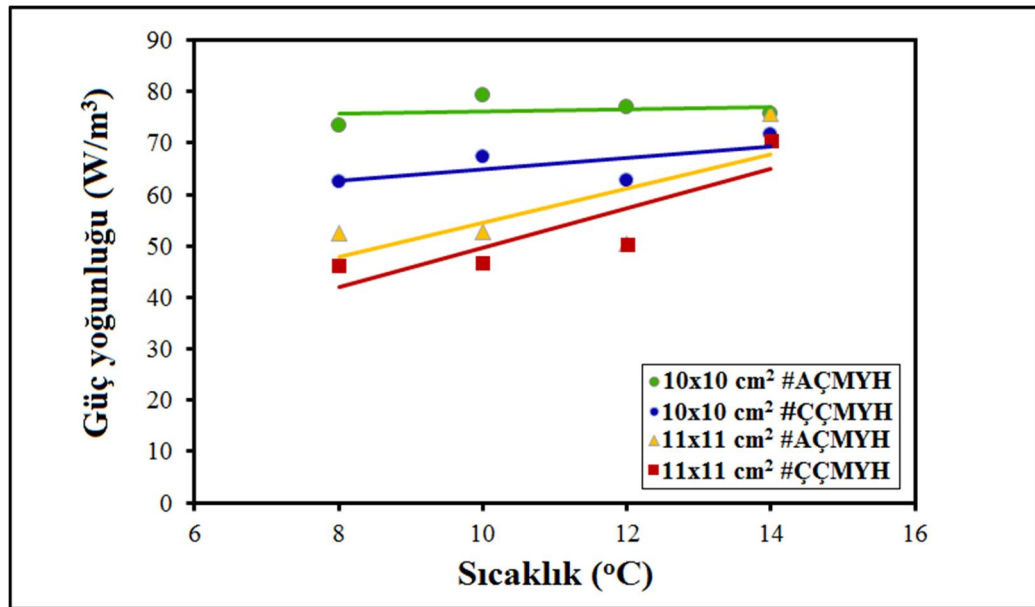
Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirdiğimizde;

- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.413 A/m<sup>3</sup>,  $\Delta T=8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ve maks. değeri =0.52 A/m<sup>3</sup>  $\Delta T=12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  bulunmuştur.

- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.416 A/m<sup>3</sup>, ΔT=8 °C ve maks. değeri =0.443 A/m<sup>3</sup> ΔT=10 °C bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.346 A/m<sup>3</sup>, ΔT=8 °C ve maks. değeri =0.463 A/m<sup>3</sup> ΔT =14 °C bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.320 A/m<sup>3</sup>, ΔT=10 °C ve maks. değeri =0.410 A/m<sup>3</sup> ΔT=14 °C bulunmuştur.

Şekil 6.1'in analiz sonucu:

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlık MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debide), sıcaklık farklılıkları ΔT=(8, 10, 12, 14 °C)'lerde yapılan çalışmalarda maks. akım yoğunluğu değeri =0.52 A/m<sup>3</sup> 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH ΔT=12'de bulunmuştur.



Şekil 6.2. Maks. güç yoğunlukların sıcaklığa göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), sıcaklık farklılıkları



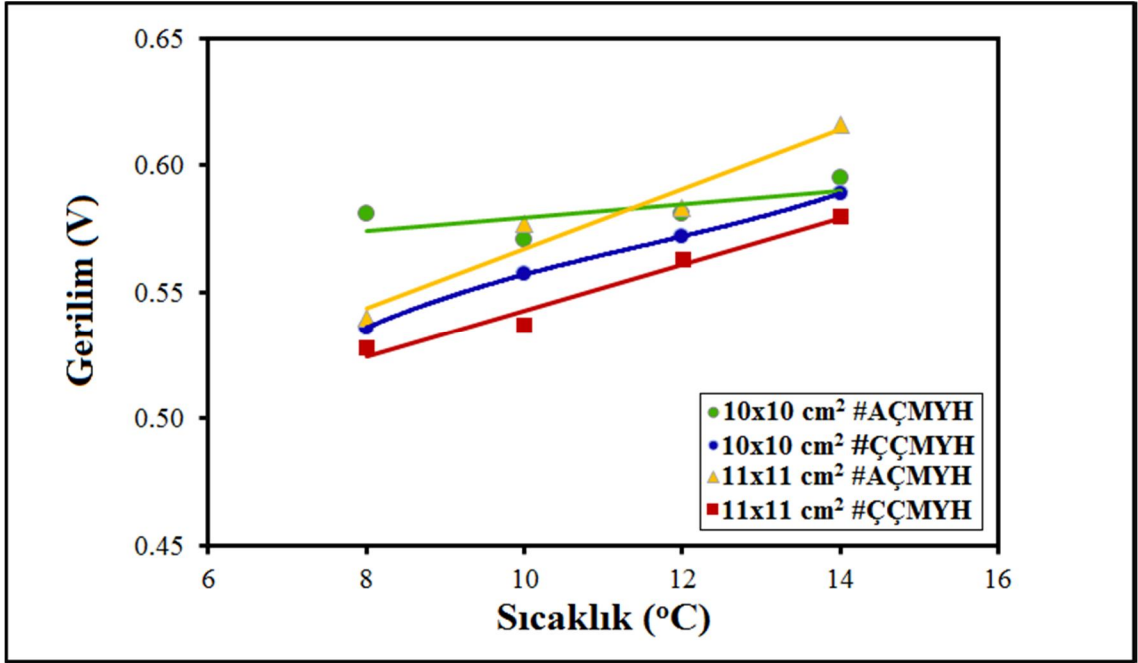
$\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ }^\circ\text{C})$ 'lerde yapılan çalışmalarda maks. güç yoğunluğu  $\text{W/m}^3$  değerleri (Şekil 6.2)'de sunulmuştur.

Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirdiğimizde;

- Şekildeki  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  #AÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri =  $73.3 \text{ W/m}^3$ ,  $\Delta T=8^\circ\text{C}$  ve maks. değeri =  $79.4 \text{ W/m}^3$   $\Delta T=10 \text{ }^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  #ÇÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri =  $62.6 \text{ W/m}^3$ ,  $\Delta T=8 \text{ }^\circ\text{C}$  ve maks. değeri =  $71.52 \text{ W/m}^3$   $\Delta T=14 \text{ }^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki  $11 \times 11 \text{ cm}^2$  #AÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri =  $50.41 \text{ W/m}^3$ ,  $\Delta T=12 \text{ }^\circ\text{C}$  ve maks. değeri =  $75.64 \text{ W/m}^3$   $\Delta T=14 \text{ }^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki  $11 \times 11 \text{ cm}^2$  #ÇÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri =  $46.4 \text{ W/m}^3$ ,  $\Delta T=8 \text{ }^\circ\text{C}$  ve maks. değeri =  $70.58 \text{ W/m}^3$   $\Delta T=14 \text{ }^\circ\text{C}$  bulunmuştur.

Şekil 6.2'nin analiz sonucu:

$10 \times 10$  ve  $11 \times 11$  membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökelme çamurlarda düşük ve yüksek debide), sıcaklık farklılıkları  $\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ }^\circ\text{C})$ 'lerde yapılan çalışmalarda maks. güç yoğunluğu değeri =  $79.4 \text{ W/m}^3$   $10 \times 10 \text{ cm}^2$  #AÇMYH  $\Delta T=10$ 'da bulunmuştur.



Şekil 6.3. Maks. gerilimin sıcaklığa göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), sıcaklık farklılıkları  $\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ } ^\circ\text{C})$ 'lerde yapılan çalışmalarda maks. gerilim (V) değerleri (Şekil 6.3)'te sunulmuştur.

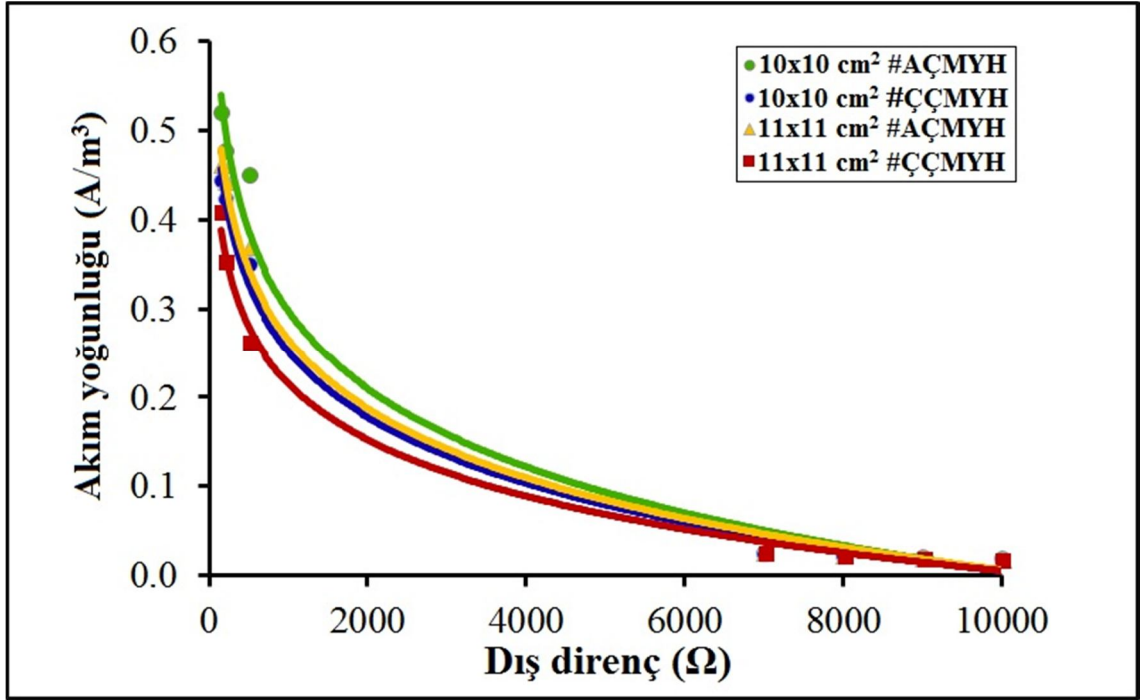
Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirmişiz;

- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.571 V,  $\Delta T=10 \text{ } ^\circ\text{C}$  ve maks. değeri = 0.595 V,  $\Delta T=14 \text{ } ^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.536 V,  $\Delta T=8 \text{ } ^\circ\text{C}$  ve maks. değeri = 0.589 V,  $\Delta T=14 \text{ } ^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.540 V,  $\Delta T=8 \text{ } ^\circ\text{C}$  ve maks. değeri = 0.616 V,  $\Delta T=14 \text{ } ^\circ\text{C}$  bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.528 V,  $\Delta T=8 \text{ } ^\circ\text{C}$  ve maks. değeri = 0.580 V,  $\Delta T=14 \text{ } ^\circ\text{C}$  bulunmuştur.

Şekil 6.3'in analiz sonucu:

10x10 ve 11x11 membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökelme çamurlarda düşük ve yüksek debide), sıcaklık farklılıkları  $\Delta T=(8, 10, 12, 14 \text{ } ^\circ\text{C})$ 'lerde yapılan çalışmalarda maks. gerilim değeri = 0.616 V, 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH  $\Delta T=14$ 'da bulunmuştur.

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), değişik dış direnç uygulandığında maks. akım yoğunluğu değişimleri (Şekil 6.4)'te sunulmuştur.



Şekil 6.4. Akım yoğunluğunun dış dirence göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirdiğimizde;

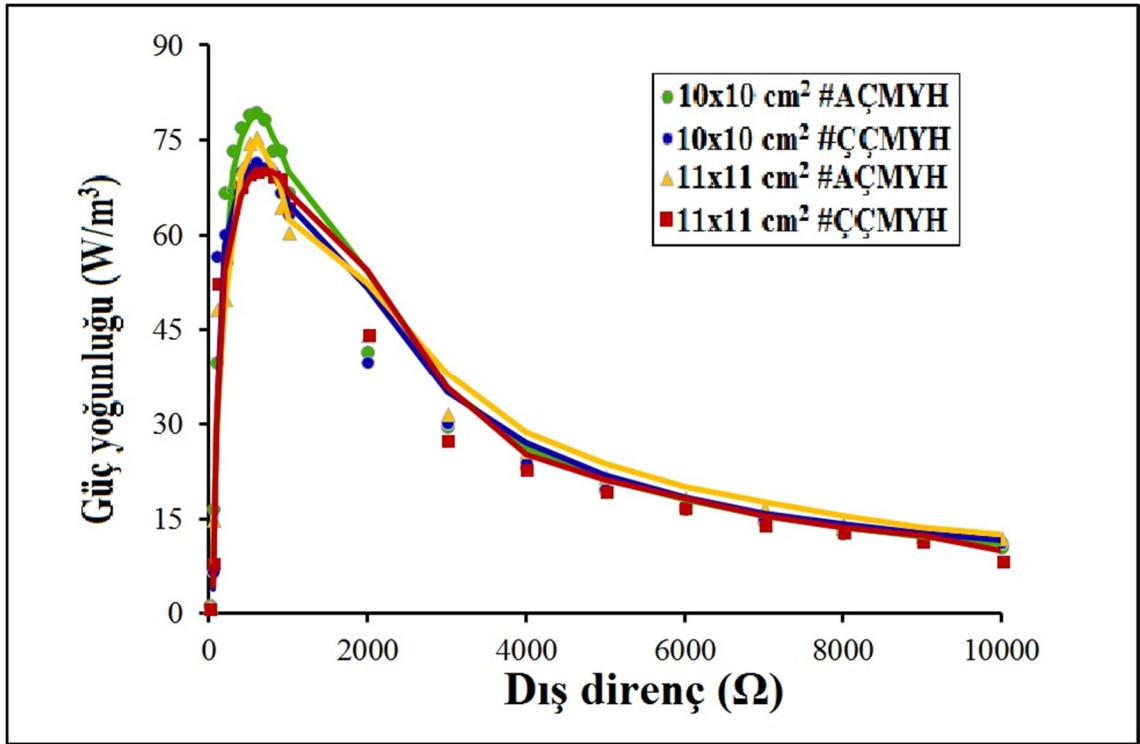
- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.019 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>=10000 Ω ve maks. değeri =0.52 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω, ΔT=12 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.018 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>=10000 Ω ve maks. değeri =0.443 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω, ΔT=10 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.02 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>=10000 Ω ve maks. değeri =0.463 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω, ΔT=14 °C ve düşük debi etkisinde bulunmuştur.

- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre akım yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.018 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>=10000 Ω ve maks. değeri =0.410 A/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω, ΔT=14 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.

Şekil 6.4'ün analiz sonucu:

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debide), değişik dış direnç uygulandığında maks. akım yoğunluğu değeri =0.52 A/m<sup>3</sup> 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH R<sub>dış</sub>= 2 Ω, ΔT=12 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), değişik dış direnç uygulandığında maks. güç yoğunluğu W/m<sup>3</sup> değerleri (Şekil 6.5)'de sunulmuştur.



Şekil 6.5. Güç yoğunluğunun dış dirence göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

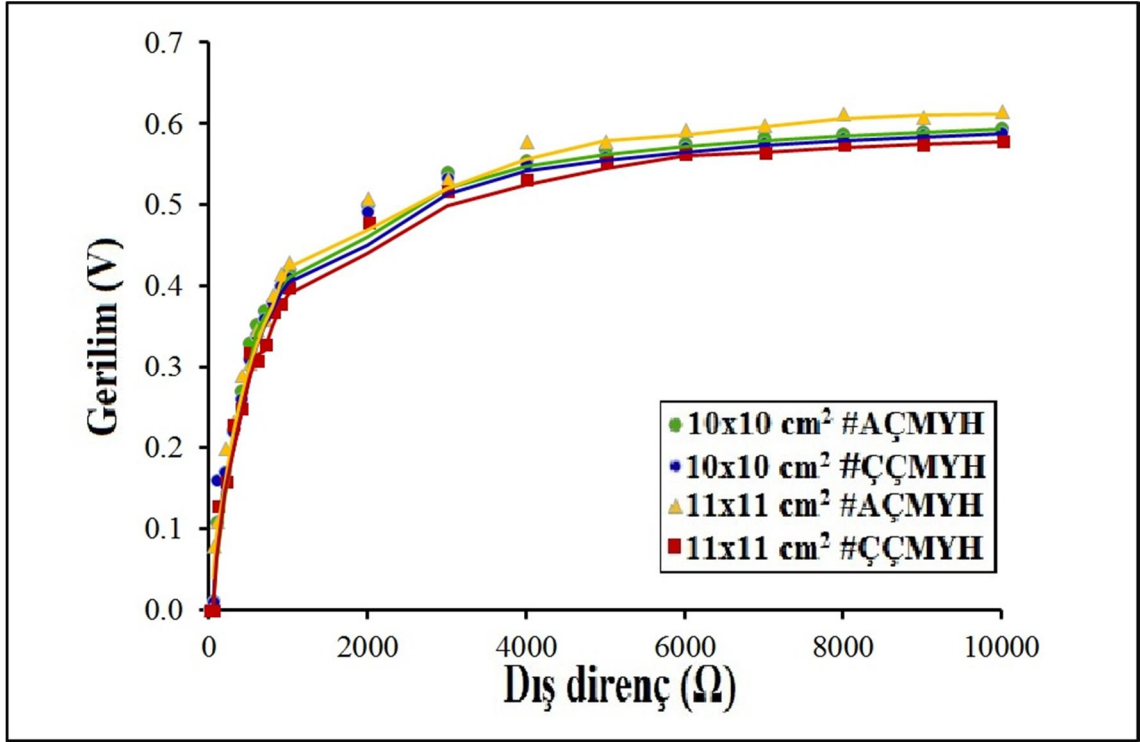
Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirdiğimizde;

- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 1.38 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω ve maks. değeri =79.4 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 600 Ω, ΔT=10 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 1 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω ve maks. değeri =71.52 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 600 Ω, ΔT=14 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 1.28 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω ve maks. değeri =75.64 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 600 Ω, ΔT=14 °C ve düşük debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre güç yoğunluğunun düşük çıkmış min. değeri = 0.8 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 2 Ω ve maks. değeri =70.58 W/m<sup>3</sup>, R<sub>dış</sub>= 700 Ω, ΔT=14 °C ve düşük debi etkisinde bulunmuştur.

Şekil 6.5'in analiz sonucu:

10x10 ve 11x11 membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debide), değişik dış direnç uygulandığında maks. güç yoğunluğu değeri = 79.4 W/m<sup>3</sup> 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH R<sub>dış</sub>= 600 Ω, ΔT=10 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.

10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membranlı MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökeltme çamurlarda düşük ve yüksek debilerde), değişik dış direnç uygulandığında maks. gerilim (V) değerleri (Şekil 6.6)'da sunulmuştur.



Şekil 6.6. Gerilimin dış dirence göre değişimi (10x10 ve 11x11 cm<sup>2</sup> membran aktif ve çökeltme çamurları için)

Şekildeki maksimum değerleri belikte değerlendirmişiz;

- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.0019 V,  $R_{dış} = 2 \Omega$  ve maks. değeri = 0.595 V,  $R_{dış} = 10000 \Omega$ ,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 10x10 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.0020 V,  $R_{dış} = 2 \Omega$  ve maks. değeri = 0.589 V,  $R_{dış} = 10000 \Omega$ ,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #AÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.0019 V,  $R_{dış} = 2 \Omega$  ve maks. değeri = 0.616 V,  $R_{dış} = 10000 \Omega$ ,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.
- Şekildeki 11x11 cm<sup>2</sup> #ÇÇMYH'e göre gerilimin düşük çıkmış min. değeri = 0.0015 V,  $R_{dış} = 2 \Omega$  ve maks. değeri = 0.580 V,  $R_{dış} = 10000 \Omega$ ,  $\Delta T = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.

Şekil 6.6'nın analiz sonucu:

10x10 ve 11x11 membranlık MYH'lerde yapılan deneysel çalışma sonuçları için (aktif ve çökelleme çamurlarda düşük ve yüksek debide), değişik dış direnç uygulandığında maks. gerilim değeri = 0.616 V, 11x11 cm<sup>2</sup> #AMYH R<sub>dış</sub>= 10000 Ω, ΔT=14 °C ve yüksek debi etkisinde bulunmuştur.

Bu çalışmanın literatürdeki mevcut çalışmalarla mukayesesi Çizilge 6.1'de sunulmuştur. Çizelge 6.1 incelendiğinde, bu çalışmanın literatürdeki çalışmalarla (örneğin: Yang ve ark., 2017; Jiang ve ark., 2006; Zheng ve ark., 2017; Manickam ve ark., 2013) uyumlu olduğu görülecektir.



Çizilge 6.1 Literatürdeki sonuçlarla bu çalışmanın mukayesesi

Yazar	Yıl	DeneySEL, Teorik, Sayısal	Aşama yada stratejiler	Dış Direnç ( $R_{dış}$ )	Medyatör bileşenleri	Süre H, W, M, Y	Gerilim	Akım	Literatürdeki DeneySEL Akım $A/m^3$ yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması	Güç, $mW m^{-2}$	Literatürdeki DeneySEL Güç $W/m^3$ değerleri yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #AÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.581 V)		Bu çalışma (10x10 #AÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.413 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 74 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.571 V)		Bu çalışma (10X10 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.52 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 79,4 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.582 V)		Bu çalışma (10X10 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.52 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 77 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.595 V)		Bu çalışma (10X10 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0,44 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 77 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #ÇÇMYH $\Delta T= 8$ °C, 0.536 V)		Bu çalışma (10X10 #ÇÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.416 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #ÇÇMYH $\Delta T= 8$ °C, 62.6 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #ÇÇMYH $\Delta T= 10$ °C, 0.557 V)		Bu çalışma (10X10 #ÇÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.443 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #ÇÇMYH $\Delta T= 10$ °C, 67.28 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #ÇÇMYH $\Delta T= 12$ °C, 0.572 V)		Bu çalışma (10X10 #ÇÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.442 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #ÇÇMYH $\Delta T= 12$ °C, 62.72 W/m <sup>3</sup> )
	2017	DeneySEL		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (10x10 #ÇÇMYH $\Delta T= 14$ °C, 0.589 V)		Bu çalışma (10X10 #ÇÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.416 A/m <sup>3</sup> )		(10X10 #ÇÇMYH $\Delta T= 14$ °C, 71.52 W/m <sup>3</sup> )

	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.540 V)		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.46 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #AÇMYH $\Delta T=8$ °C, 52.64 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.577 V)		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.387 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #AÇMYH $\Delta T=10$ °C, 52.92 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.583 V)		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.383 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #AÇMYH $\Delta T=12$ °C, 50.41 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Aktif çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.616 V)		Bu çalışma (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.463 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #AÇMYH $\Delta T=14$ °C, 75.64 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.528 V)		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=8$ °C, 0.362 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=8$ °C, 46.4 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.537 V)		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=10$ °C, 0.32 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=10$ °C, 46.81 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.563 V)		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=12$ °C, 0.369 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=12$ °C, 50.41 W/m <sup>3</sup> )
	2017	Deneyisel		2-10000 $\Omega$	Çökeltme çamuru kullanılmıştır		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.580 V)		Bu çalışma (11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=14$ °C, 0.37 A/m <sup>3</sup> )		(11x11 #ÇÇMYH $\Delta T=14$ °C, 70.58 W/m <sup>3</sup> )
1	(Çatal, 2008)	Deneyisel	monosakkaritler	1k $\Omega$ dan 50 $\Omega$ 'a	glukoz		0.39 V	0.7 mA cm <sup>-2</sup>	0.00047	2164 mW m <sup>-2</sup>	1.44
					Ksiloz		0.38 V	0.74 mA cm <sup>-2</sup>	0.00049	2331 mW m <sup>-2</sup>	1.55
					Glukuronik asit		0.44 V	1.18 mA cm <sup>-2</sup>	0.00079	2801 mW m <sup>-2</sup>	1.87
			disakkaritler	1k $\Omega$	Maltoz			0.44 mA cm <sup>-2</sup>	0.00029)	1893±67 mW m <sup>-2</sup>	1.26
					Cellobiose			0.66 mA	0.00044	1262	0.84

							cm <sup>2</sup>		mW m <sup>-2</sup>	
			polialkoller	50 den lk Ω'a	galaktitoldur	0.34 V			2650	1.77
					Ribitol	0.32			2347	1.56
					Ksilitol	0.29			2107	1.40
					Arabitol	0.26			2027	1.35
					Sorbitol	0.26	0.78 mA cm <sup>-2</sup>	0.00052	1691	1.13
					Mannitol	0.24	0.55 mA cm <sup>-2</sup>	0.00037	1488	0.99
2	(Özpe k, 2012)	deneyisel	12.saat Ti- TiO2 elektrodu	500-1000 Ω	5 mM glikoz		0.025 mA	0.000008	3.11 mW/m <sup>2</sup>	0.0000057
			24.saat				0.033 mA	0.000011	5.44 mW/m <sup>2</sup>	0.0000100
			36.saat			0.68 mV	0.065 mA	0.000022	21.96 mW/m <sup>2</sup>	0.0000403
			36.saat		10 mM glikoz	0.78 mV	0.076 mA	0.000025	29.51 mW/m <sup>2</sup>	0.0000541
			12.saat		25 mM glikoz		0.041 mA	0.000014	8.69 mW/m <sup>2</sup>	0.0000159
			24.saat				0.055 mA	0.000018	15.58 mW/m <sup>2</sup>	0.0000286
			36.saat						21.96 mW/m <sup>2</sup>	0.0000403
			36.saat		50 mM glikoz		0.073 mA	0.000024	27.79 mW/m <sup>2</sup>	0.0000509
			12.saat		5 mM asetat				7.356 mW/m <sup>2</sup>	0.0000135
			24.saat						30.682 mW/m <sup>2</sup>	0.0000563
			36.saat				0.091 mA	0.000030	49.782 mW/m <sup>2</sup>	0.0000913
			36.saat		10 mM asetat		0,0699 mA	0.000023	24.887 mW/m <sup>2</sup>	0.0000456
			12. saat		25 mM asetat				8.593 mW/m <sup>2</sup>	0.0000158
			24. saat						15.926 mW/m <sup>2</sup>	0.0000292
			36 saat				0,076 mA	0.000025	29.821 mW/m <sup>2</sup>	0.0000547
			36 saat		50 mM asetat	1.819 mV	0.178 mA	0.000059	162.296 mW/m <sup>2</sup>	0.0002975

Yazar	Yıl	Deneysel, Teorik, Sayısal	Aşama ya da stratejiler	Dış Direnç ( $R_{dış}$ )	Substrat	Süre H, W, M, Y	Gerilim	Akım	L iteratürdeki Deneysel Akım $A/m^3$ yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması	Güç,	L iteratürdeki Deneysel Güç $W/m^3$ değerleri yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması
3	(Park ve ark., 2017a)	Deneysel	Strateji 1	1000-91	asetat – glikoz - atıksu	0-30 30-50 50-80 d	Voltage düşüşü 10 mV 12- 13 h	0.6 4.1 1.4			
			Strateji 2	1000- 91	asetat- atıksu	0-50 50-80 d	7-8 h)	0.6 0.7			
			Strateji 3	1000- 91	atıksu	0-80 d		0.45			
4	(Karra ve ark., 2013)	Deneysel	ACNF (aktif karbon nano fiber)	46-1500	Atık suya Sodyum asiti ekleyerek	3-6-9 W				3.50 ± 0.46 $W/m^3$	0.146
			GAC (Tanecikli aktif karbon)	46-1500	=	3-6-9 W				3.09 ± 0.33	0.1287
			CC (karbon kloth)	46-1500	=	3-6-9 W				1.10 ± 0.21	0.046
5	(Park ve ark., 2017b)	Deneysel	düz panel hava katotlu MYH (FA-MFC)	1000-5	sentetik ortam	250 d	0.67 ± 0.02	401±13 $A/m^3$	20	121 ± 8	6
				45.3 ± 6.5 5-50= $R_{in}$					60 ± 33 $A/m^3$	3	12.9 ± 2.9
6	(Qin ve ark., 2017)	Deneysel	FO membranı kullanan ozmotik mikrobiyal yakıt hücresi (OsMFC)	10, 20, 40 ve yarı-sonsuz veya açık devre modu kullanılmıştır	anaerobik çamur *2 g $L^{-1}$ NaCl 10Ω *35 g $L^{-1}$ NaCl 88Ω	192 h	0.7	1.1 ± 0.1 $A/m^2$ 2.6 ± 0.1 $A m^{-2}$	3.59 8.49	0.8 $W/m^2$	2.61

Yazar	Yıl	DeneySEL, Teorik, Sayısal	Aşama yada stratijler	Dış Direnç ( $R_{ds}$ )	Substrat	Süre H,W,M,Y	Gerilim	Akım	Literatürdeki DeneySEL Akım $A/m^3$ yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması	Güç	Literatürdeki DeneySEL Güç $W/m^3$ değerleri yapmış olduğumuz deneyler sonuçları ile kıyaslaması
7	(Yang ve ark., 2017)	DeneySEL	Karbon klot (CC) ve Karbon keçesi (CF) İyonik sıvı polimer (ILP) kaplaması CC-ILP CF-ILP	( 0-200 ) 303 142 34 16	Anolit (45 mL N2 doymuş M9 + vitamin çözeltisi (12.5 mL L-1), mineral çözeltisi (12.5 mL L-1 + 18 mM laktat)'an oluşmaktadır		0.70 (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14^\circ C, 0,616 V$ bulubmuştur )	0.12 ± 0.01 0.23 ± 0.01 1.02 ± 0.02 2.30 ± 0.05 mA cm <sup>-2</sup>		*180 ± 10 *360 ± 20 *1700 ± 90 *4400 ± 170 mW m <sup>-2</sup>	
8	(Jiang ve ark., 2006)	deneySEL	ısıyla işlem görmüş grafit katot, GR-H	1000 $\Omega$	140 mg L-1 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kullanılmıştır	4 gün	0.4 V (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14^\circ C, 0,616 V$ bulubmuştur )			33.52 W. m <sup>3</sup>	33.52 W .m <sup>-3</sup> (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur)
				50 $\Omega$		1 hafta sonra	0.1 V (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14^\circ C, 0,616 V$ bulubmuştur )			16.97 W .m <sup>3</sup>	16.97 W .m <sup>-3</sup> (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur)
9	(Zhen g ve ark., 2017)	deneySEL	Sulak alan çökeltisi mikrobiyal yakıt hücresi	347.7 den 162.3 $\Omega/cm^2$ 'ye (RF) ve 295.6 $\Omega/cm^2$ 'ye NR kullanılmıştır	riboflavin (RF) ve natürel kırmızı (NR)					202.9 ± 18.1 mW/m <sup>2</sup>	0,676 (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur)
			Bir yukarı akış anaerobik atıksu arıtma reaktörü mikrobiyal yakıt hücresi	264.3 den 643.6 $\Omega/cm^2$ 'ye (RF) ve 2181 $\Omega/cm^2$ 'ye NR kullanılmıştır	riboflavin (RF) ve naturel kırmızı (NR)					158.2 ± 15.1 mW/m <sup>2</sup>	0,527 (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur)
10	(Mani ckam ve ark., 2013)	deneySEL	Anot olarak dokunan aktif karbon nanofiber (ACNFN)	15'ten 2940 $\Omega^2 a$			ACNFN (0.46 V) (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14^\circ C, 0,616 V$ bulubmuştur )	2714.646 A/m <sup>3</sup>	2714.646 A/m <sup>3</sup> (10x10 #AÇMYH $\Delta T=12^\circ C, 0,52 A/m^3$ bulunmuştur)	ACNFN 758 W/m <sup>3</sup>	ACNFN 758 W/m <sup>3</sup> (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur)
			granüler aktif karbon (GAC)	15'ten 2940 $\Omega^2 a$			GAC 0.41 V (11x11 #AÇMYH $\Delta T=14^\circ C, 0,616 V$ bulubmuştur )			GAC 3.4 W/m <sup>3</sup>	GAC 3.4 W/m <sup>3</sup> (10x10 #AÇMYH $\Delta T=10^\circ C, 79,4 W/m^3$ bulunmuştur )
			karbon kumaş (CC)	15'ten 2940 $\Omega^2 a$			CC 0.4 V (11x11 #AÇMYH			CC 161 W/m <sup>3</sup>	CC 161 W/m <sup>3</sup> , (10x10 #AÇMYH

							$\Delta T=14\text{ }^{\circ}\text{C}, 0,616\text{ V}$ bulunmuştur )				$\Delta T=10\text{ }^{\circ}\text{C}, 79,4\text{ W/m}^3$ bulunmuştur )
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

**Öneriler ;**

Farklı geometrik yapılarda, farklı membran türlerinde farklı membran kesitlerinde farklı çamurlarda farklı dirençlerde MYH performansın denenmesi önerilmektedir.

## EKLER

### EK 1 Voltaj Verimliliği

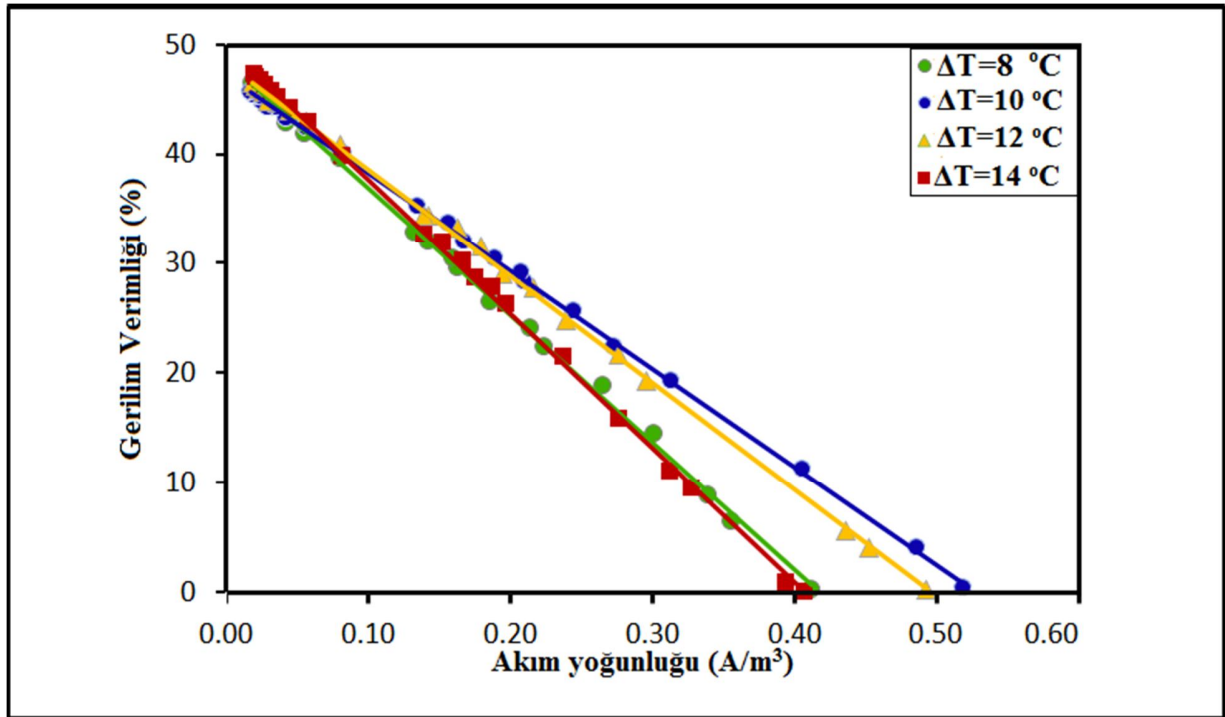
Voltaj Verimliliği; değerleri alttaki denklemden hesaplanmıştır (Kabza, 2015)

$$\eta_{el}; LHV = AveCell / 1,253 V$$

(Ek 1)

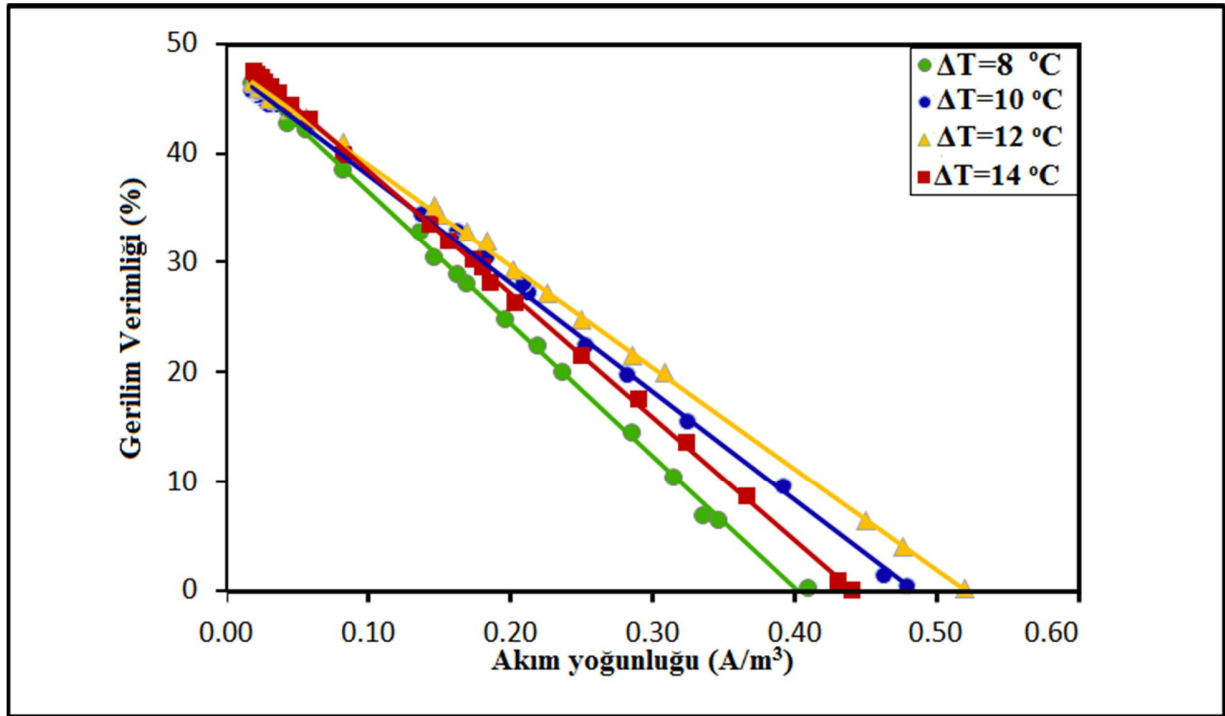
**Çizilge Ek 1.** Denklek Ek 1'e göre gerilim verimlilikleri (maksimum gerilim değerleri için)

MYH türü	$\eta_{el}$ %
10x10 MYH #AÇMYH ( $\Delta T=14, ^\circ C$ )	47,4
10x10 MYH #ÇÇMYH ( $\Delta T=14, ^\circ C$ )	47,0
11x11 MYH #AÇMYH ( $\Delta T=14, ^\circ C$ )	49,0
11x11 MYH #ÇÇMYH ( $\Delta T=14, ^\circ C$ )	46,2

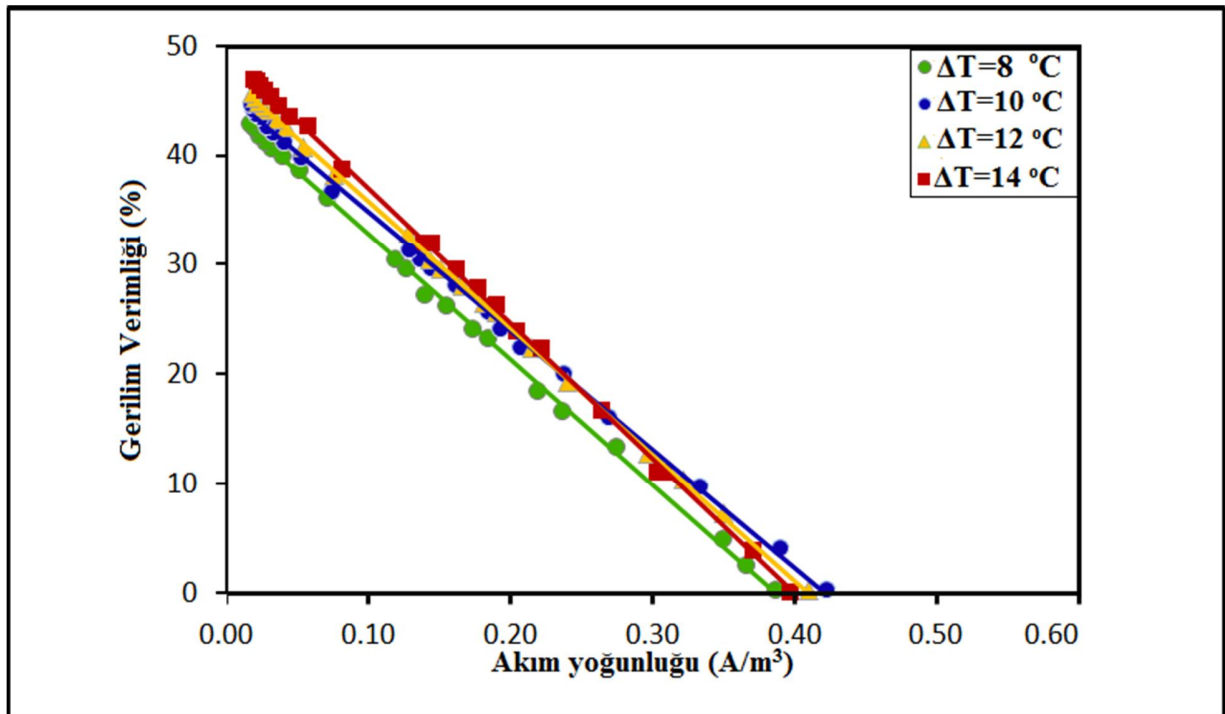


**Şekil Ek.1.** 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliliğın akım yoğunluğuna göre değışimi, aktif çamurun düşük debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

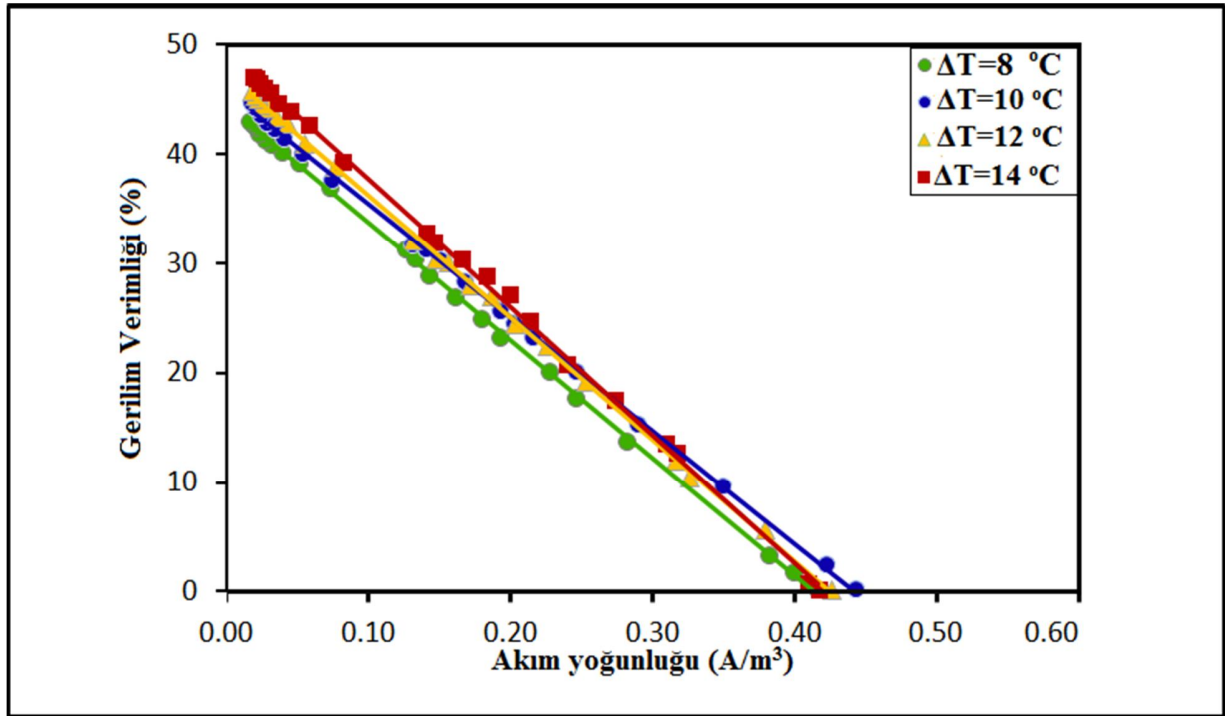




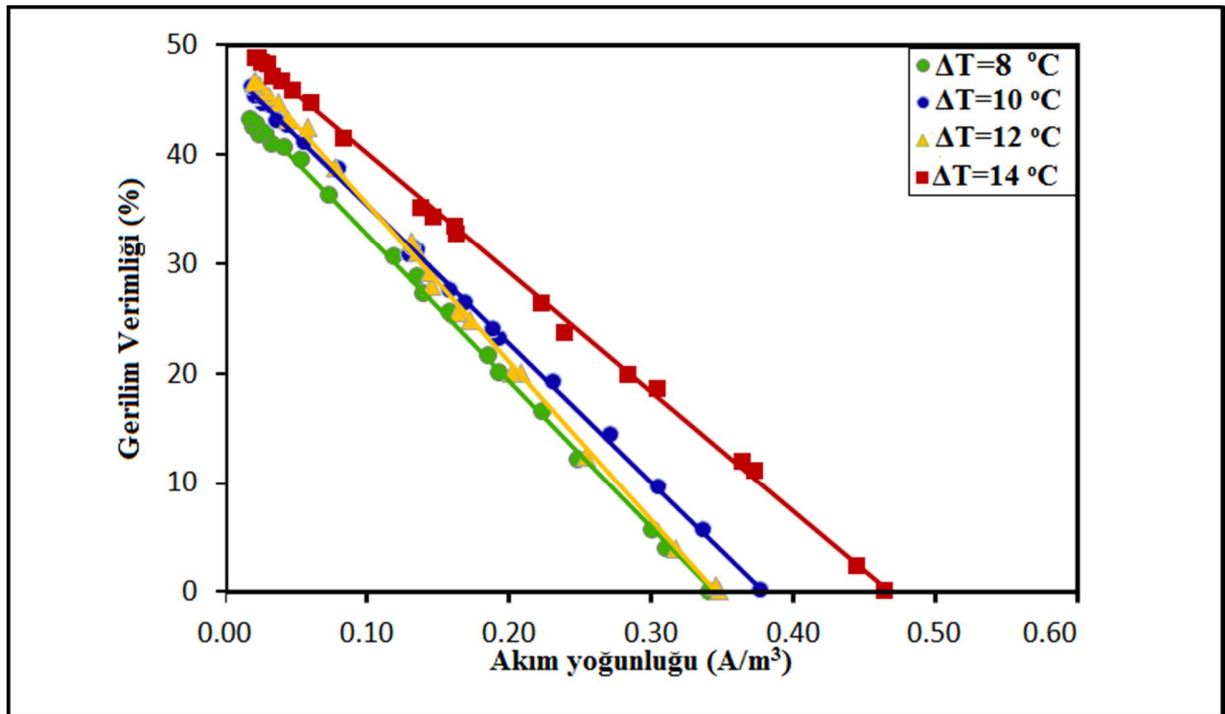
Şekil Ek.2. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliğinin akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun yüksek debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



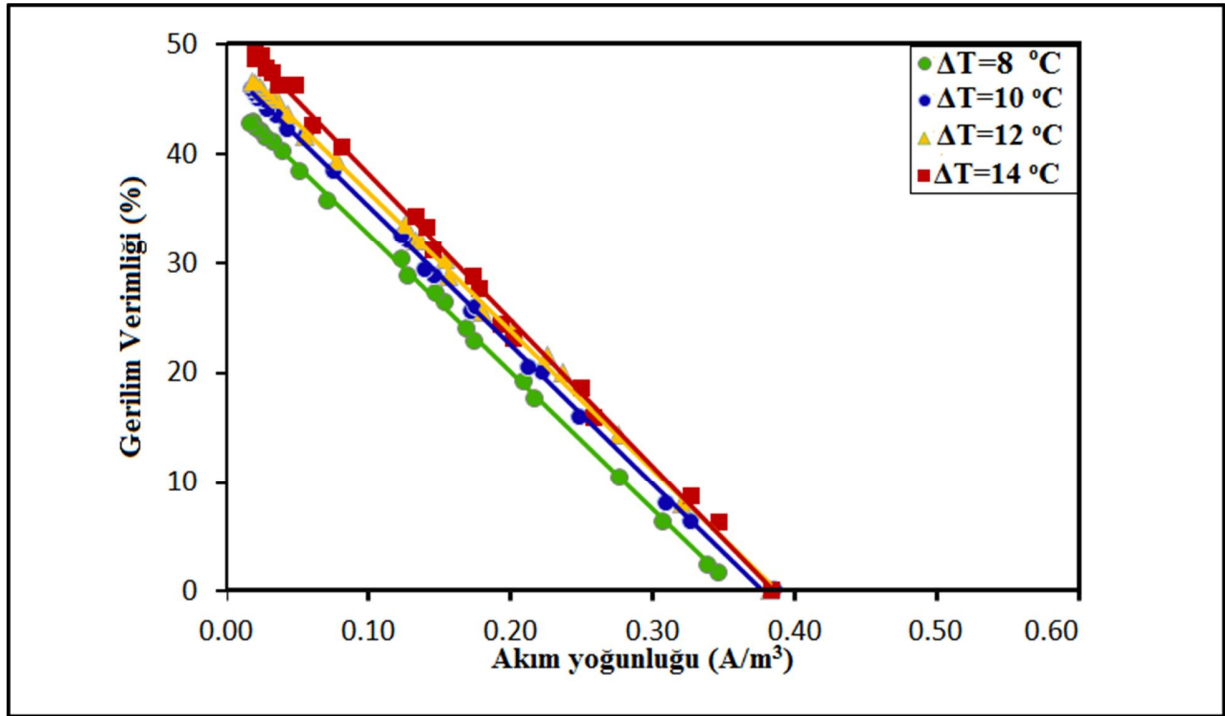
Şekil Ek.3. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliğinin akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun düşük debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



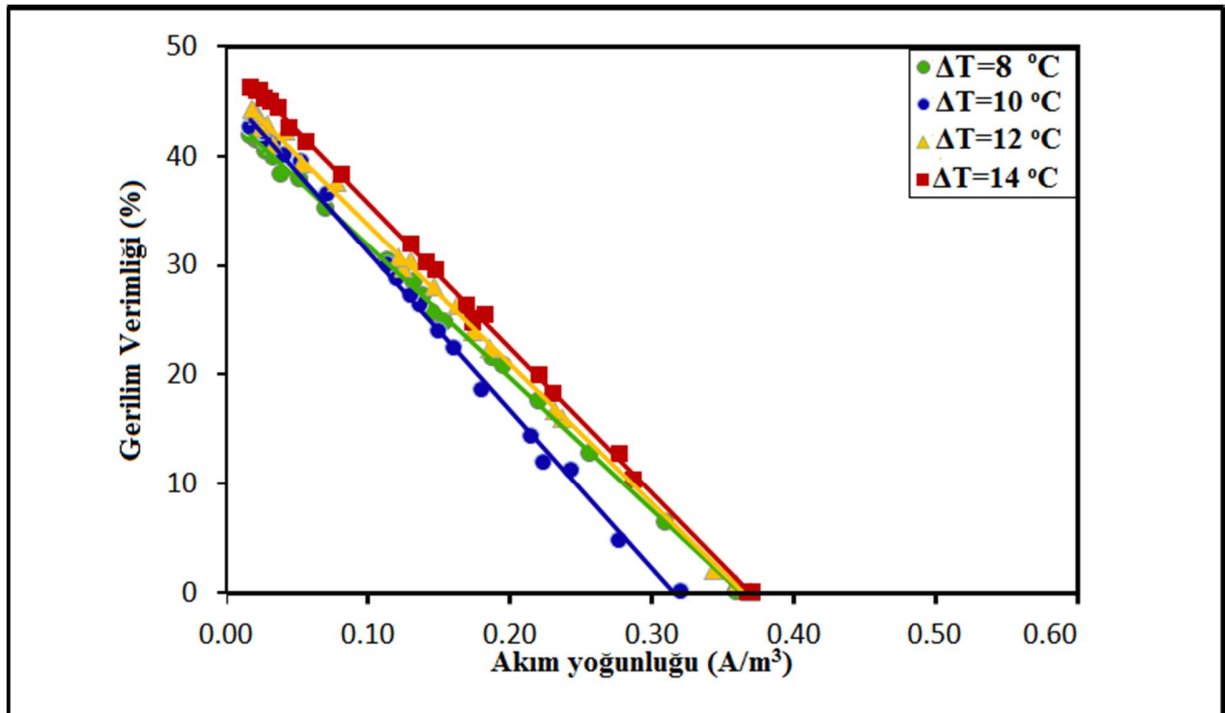
Şekil Ek.4. 10x10 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliliğinin akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun yüksek debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



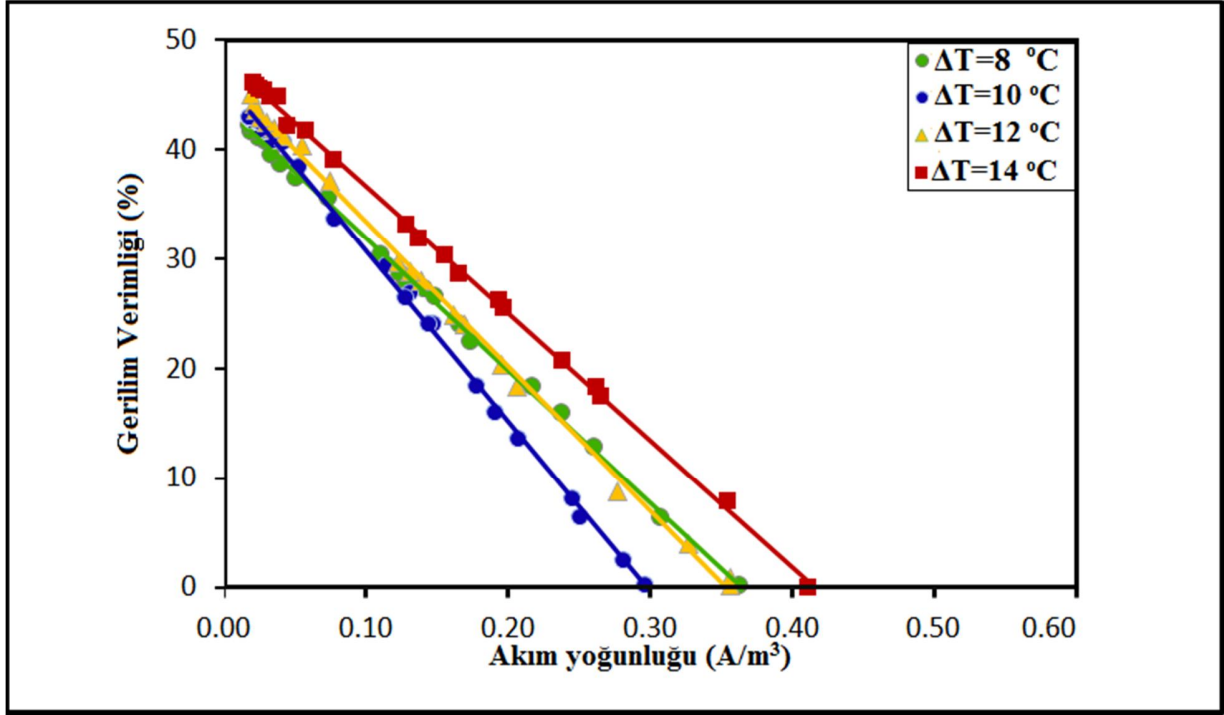
Şekil Ek.5. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliliğinin akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun düşük debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



Şekil Ek.6. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliliğin akım yoğunluğuna göre değişimi, aktif çamurun yüksek debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



Şekil Ek.7. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliliğin akım yoğunluğuna göre değişimi, çökelme çamurun düşük debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur



Şekil Ek.8. 11x11 cm<sup>2</sup>'lik membranlı MYH'nin, gerilim verimliğinin akım yoğunluğuna göre değişimi, çökeltme çamurun yüksek debi etkisinde ve dört farklı sıcaklıklarda sunulmuştur

**Çizelge Ek.2.** Aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  Nafion membran Aktif Çamur için) Çevre sıcaklığı  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , çamur sıcaklığı ise (34, 36, 38,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) olarak belirlenmiştir. Her dış direnç kademesi için deney sonuçları;

Dış Direnç ( $\Omega$ )	$\Delta T=8, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=10, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=12, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=14, \text{ }^\circ\text{C}$			
	Düşük Debide		Yüksek Debide		Düşük Debide		Yüksek Debide		Düşük Debide		Yüksek Debide		Düşük Debide		Yüksek Debide	
	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)
2	0.413	0.002	0.410	0.002	0.520	0.003	0.480	0.003	0.493	0.002	0.520	0.002	0.407	0.002	0.440	0.002
50	0.357	0.080	0.347	0.080	0.487	0.050	0.463	0.017	0.453	0.050	0.477	0.050	0.393	0.012	0.430	0.011
100	0.340	0.110	0.337	0.085	0.407	0.140	0.393	0.118	0.437	0.070	0.450	0.080	0.328	0.120	0.367	0.109
200	0.302	0.180	0.316	0.130	0.313	0.240	0.325	0.193	0.297	0.240	0.309	0.250	0.312	0.140	0.323	0.170
300	0.266	0.235	0.287	0.180	0.273	0.280	0.283	0.245	0.277	0.270	0.287	0.268	0.277	0.200	0.290	0.220
400	0.225	0.280	0.237	0.250	0.245	0.320	0.253	0.280	0.240	0.310	0.250	0.310	0.237	0.270	0.250	0.270
500	0.215	0.300	0.220	0.280	0.210	0.354	0.213	0.340	0.217	0.346	0.227	0.340	0.197	0.330	0.203	0.330
600	0.187	0.330	0.197	0.310	0.208	0.364	0.210	0.350	0.196	0.363	0.202	0.366	0.187	0.350	0.185	0.353
700	0.163	0.370	0.170	0.350	0.190	0.380	0.183	0.380	0.180	0.395	0.183	0.400	0.175	0.360	0.180	0.370
800	0.160	0.380	0.163	0.360	0.168	0.400	0.163	0.410	0.163	0.415	0.170	0.410	0.167	0.380	0.173	0.380
900	0.143	0.400	0.147	0.380	0.158	0.420	0.160	0.400	0.143	0.430	0.150	0.430	0.152	0.400	0.157	0.400
1000	0.133	0.410	0.137	0.410	0.135	0.440	0.138	0.430	0.140	0.430	0.147	0.440	0.139	0.410	0.143	0.420
2000	0.081	0.495	0.082	0.480	0.083	0.500	0.083	0.500	0.081	0.510	0.082	0.513	0.081	0.500	0.082	0.500
3000	0.056	0.524	0.057	0.526	0.057	0.530	0.057	0.533	0.057	0.537	0.057	0.540	0.058	0.538	0.058	0.540
4000	0.043	0.535	0.044	0.534	0.043	0.540	0.044	0.547	0.045	0.549	0.045	0.550	0.045	0.554	0.045	0.555
5000	0.036	0.554	0.036	0.557	0.036	0.553	0.036	0.554	0.036	0.558	0.036	0.560	0.036	0.567	0.037	0.569
6000	0.031	0.565	0.031	0.568	0.030	0.554	0.030	0.555	0.030	0.561	0.030	0.562	0.031	0.574	0.031	0.576
7000	0.026	0.568	0.027	0.570	0.026	0.560	0.026	0.561	0.026	0.570	0.027	0.572	0.027	0.581	0.027	0.583
8000	0.023	0.573	0.023	0.571	0.023	0.566	0.023	0.565	0.023	0.574	0.023	0.575	0.024	0.585	0.024	0.588
9000	0.021	0.578	0.021	0.579	0.020	0.568	0.021	0.569	0.021	0.578	0.021	0.579	0.021	0.589	0.021	0.591
10000	0.019	0.581	0.019	0.580	0.018	0.570	0.019	0.571	0.019	0.581	0.019	0.582	0.019	0.593	0.019	0.595

**Çizelge Ek.3.** Çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$  Nafion membran **Aktif Çamur** için) Çevre sıcaklığı  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , çamur sıcaklığı ise (34, 36, 38,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) olarak belirlenmiştir. Her dış direnç kademesi için deney sonuçları;

DışDirenç ( $\Omega$ )	$\Delta T=8, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=10, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=12, \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=14, \text{ }^\circ\text{C}$			
	Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite	
	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)
2	0.387	0.002	0.417	0.002	0.423	0.002	0.443	0.002	0.410	0.002	0.427	0.002	0.397	0.002	0.417	0.002
50	0.367	0.030	0.400	0.020	0.390	0.050	0.423	0.030	0.350	0.090	0.380	0.070	0.370	0.050	0.410	0.010
100	0.350	0.060	0.383	0.040	0.333	0.120	0.350	0.120	0.322	0.130	0.327	0.130	0.307	0.140	0.317	0.160
200	0.275	0.166	0.283	0.171	0.270	0.200	0.290	0.190	0.297	0.160	0.317	0.150	0.303	0.140	0.310	0.170
300	0.237	0.208	0.247	0.220	0.238	0.250	0.247	0.250	0.240	0.240	0.253	0.240	0.263	0.210	0.273	0.220
400	0.220	0.230	0.228	0.250	0.207	0.280	0.217	0.290	0.215	0.280	0.227	0.280	0.221	0.280	0.240	0.260
500	0.184	0.290	0.193	0.290	0.193	0.300	0.203	0.305	0.190	0.320	0.204	0.305	0.203	0.300	0.213	0.310
600	0.174	0.300	0.180	0.310	0.184	0.320	0.193	0.320	0.182	0.330	0.187	0.336	0.190	0.330	0.199	0.340
700	0.155	0.327	0.162	0.335	0.162	0.350	0.168	0.352	0.166	0.350	0.172	0.350	0.177	0.350	0.183	0.360
800	0.141	0.340	0.143	0.360	0.144	0.370	0.151	0.377	0.151	0.370	0.157	0.376	0.161	0.370	0.165	0.380
900	0.127	0.370	0.133	0.380	0.137	0.380	0.141	0.390	0.143	0.380	0.147	0.380	0.144	0.400	0.147	0.400
1000	0.120	0.380	0.127	0.390	0.129	0.391	0.132	0.396	0.128	0.410	0.132	0.400	0.139	0.400	0.141	0.410
2000	0.072	0.450	0.073	0.460	0.074	0.458	0.075	0.470	0.076	0.478	0.077	0.486	0.081	0.485	0.082	0.492
3000	0.052	0.483	0.052	0.488	0.053	0.496	0.054	0.500	0.054	0.509	0.055	0.511	0.057	0.534	0.058	0.534
4000	0.040	0.499	0.041	0.501	0.041	0.514	0.042	0.517	0.043	0.532	0.043	0.535	0.044	0.545	0.045	0.550
5000	0.033	0.508	0.033	0.510	0.034	0.525	0.034	0.527	0.035	0.540	0.036	0.542	0.036	0.558	0.036	0.559
6000	0.028	0.514	0.028	0.516	0.029	0.532	0.029	0.534	0.030	0.551	0.030	0.553	0.031	0.568	0.031	0.570
7000	0.024	0.521	0.024	0.523	0.025	0.542	0.025	0.543	0.026	0.555	0.026	0.556	0.027	0.575	0.027	0.576
8000	0.021	0.528	0.021	0.530	0.022	0.547	0.022	0.550	0.023	0.561	0.023	0.563	0.024	0.581	0.024	0.582
9000	0.019	0.532	0.019	0.533	0.020	0.552	0.020	0.553	0.020	0.566	0.021	0.567	0.021	0.585	0.021	0.586
10000	0.017	0.535	0.017	0.536	0.018	0.556	0.018	0.557	0.018	0.571	0.019	0.572	0.019	0.588	0.019	0.589

**Çizelge Ek.4.** Aktif çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde ( $11 \times 11 \text{ cm}^2$  Nafion membran Aktif Çamur için) Çevre sıcaklığı  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , çamur sıcaklığı ise (34, 36, 38,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) olarak belirlenmiştir. Her dış direnç kademesi için deney sonuçları;

Dış Direnç ( $\Omega$ )	$\Delta T=8 \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=10 \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=12 \text{ }^\circ\text{C}$				$\Delta T=14 \text{ }^\circ\text{C}$			
	Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite	
	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu $\text{A/m}^3$	Gerilim (V)
2	0.341	0.000	0.347	0.020	0.377	0.001	0.387	0.001	0.347	0.002	0.383	0.002	0.463	0.002	0.383	0.002
50	0.310	0.050	0.340	0.030	0.337	0.070	0.328	0.080	0.345	0.007	0.321	0.100	0.444	0.030	0.347	0.080
100	0.300	0.070	0.308	0.080	0.305	0.120	0.310	0.100	0.317	0.050	0.277	0.180	0.371	0.140	0.327	0.110
200	0.248	0.152	0.277	0.130	0.270	0.180	0.249	0.200	0.253	0.155	0.237	0.250	0.363	0.150	0.258	0.200
300	0.223	0.206	0.217	0.220	0.231	0.240	0.223	0.250	0.208	0.250	0.227	0.270	0.303	0.233	0.250	0.233
400	0.193	0.250	0.210	0.240	0.192	0.290	0.213	0.256	0.202	0.251	0.202	0.300	0.282	0.250	0.202	0.290
500	0.185	0.270	0.175	0.285	0.188	0.300	0.173	0.320	0.172	0.310	0.180	0.320	0.238	0.298	0.194	0.306
600	0.160	0.315	0.170	0.300	0.169	0.330	0.177	0.325	0.163	0.320	0.157	0.360	0.222	0.330	0.177	0.347
700	0.158	0.320	0.154	0.330	0.158	0.344	0.147	0.360	0.145	0.350	0.154	0.380	0.161	0.420	0.173	0.360
800	0.139	0.340	0.148	0.340	0.135	0.390	0.140	0.367	0.143	0.365	0.134	0.400	0.161	0.410	0.145	0.390
900	0.135	0.360	0.128	0.360	0.129	0.384	0.128	0.400	0.134	0.388	0.137	0.400	0.145	0.430	0.141	0.417
1000	0.118	0.383	0.124	0.380	0.131	0.393	0.124	0.405	0.130	0.400	0.126	0.420	0.137	0.440	0.133	0.430
2000	0.073	0.453	0.072	0.447	0.079	0.484	0.077	0.479	0.077	0.485	0.079	0.493	0.082	0.520	0.081	0.509
3000	0.053	0.495	0.052	0.480	0.055	0.513	0.057	0.520	0.058	0.532	0.056	0.520	0.059	0.560	0.061	0.533
4000	0.041	0.509	0.040	0.502	0.043	0.533	0.043	0.528	0.044	0.540	0.044	0.545	0.046	0.575	0.048	0.579
5000	0.033	0.511	0.033	0.514	0.035	0.539	0.036	0.543	0.036	0.560	0.036	0.562	0.038	0.585	0.036	0.579
6000	0.028	0.525	0.028	0.519	0.030	0.556	0.030	0.551	0.031	0.567	0.031	0.566	0.032	0.590	0.032	0.593
7000	0.024	0.523	0.025	0.526	0.026	0.558	0.026	0.561	0.027	0.572	0.026	0.572	0.028	0.605	0.028	0.599
8000	0.022	0.534	0.021	0.530	0.023	0.565	0.023	0.563	0.023	0.579	0.024	0.577	0.024	0.607	0.024	0.613
9000	0.019	0.532	0.019	0.536	0.020	0.566	0.021	0.569	0.021	0.585	0.021	0.580	0.022	0.611	0.020	0.609
10000	0.017	0.540	0.017	0.534	0.019	0.577	0.019	0.573	0.019	0.582	0.019	0.583	0.020	0.612	0.020	0.616

**Çizelge Ek.5.** Çökeltme çamurun düşük ve yüksek debi etkisinde (11x11 cm<sup>2</sup> Nafion membran çökeltme Çamur için) Çevre sıcaklığı 26 °C, çamur sıcaklığı ise (34, 36, 38, 40 °C) olarak belirlenmiştir. Her dış direnç kademesi için deney sonuçları;

Dış Direnç (Ω)	ΔT=8, °C				ΔT=10, °C				ΔT=12, °C				ΔT=14, °C			
	Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite		Düşük Debite		Yüksek Debite	
	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)	Akım yoğunluğu A/m <sup>3</sup>	Gerilim (V)
2	0.360	0.001	0.363	0.002	0.320	0.002	0.295	0.002	0.369	0.002	0.356	0.001	0.370	0.002	0.410	0.002
50	0.310	0.080	0.306	0.080	0.277	0.060	0.281	0.030	0.360	0.010	0.355	0.010	0.367	0.002	0.353	0.100
100	0.257	0.160	0.260	0.160	0.243	0.140	0.250	0.080	0.343	0.025	0.327	0.050	0.287	0.130	0.263	0.220
200	0.220	0.220	0.237	0.200	0.224	0.150	0.244	0.100	0.237	0.200	0.277	0.110	0.277	0.160	0.260	0.230
300	0.195	0.260	0.217	0.230	0.215	0.180	0.207	0.170	0.232	0.210	0.205	0.230	0.230	0.230	0.236	0.260
400	0.187	0.270	0.173	0.280	0.180	0.233	0.191	0.200	0.185	0.280	0.195	0.255	0.220	0.250	0.195	0.320
500	0.154	0.310	0.165	0.300	0.160	0.280	0.177	0.230	0.174	0.300	0.168	0.300	0.182	0.320	0.192	0.330
600	0.145	0.320	0.140	0.340	0.150	0.300	0.147	0.300	0.162	0.330	0.160	0.310	0.173	0.310	0.163	0.360
700	0.139	0.340	0.147	0.332	0.137	0.330	0.143	0.300	0.147	0.350	0.138	0.350	0.168	0.330	0.163	0.360
800	0.132	0.355	0.127	0.350	0.130	0.340	0.131	0.336	0.130	0.380	0.138	0.350	0.147	0.370	0.153	0.380
900	0.118	0.370	0.122	0.358	0.120	0.360	0.127	0.330	0.125	0.372	0.122	0.370	0.140	0.380	0.136	0.400
1000	0.113	0.380	0.110	0.380	0.113	0.376	0.114	0.368	0.122	0.384	0.130	0.360	0.130	0.400	0.127	0.415
2000	0.070	0.440	0.073	0.445	0.072	0.456	0.077	0.420	0.077	0.470	0.074	0.464	0.080	0.480	0.076	0.490
3000	0.051	0.474	0.050	0.467	0.053	0.493	0.052	0.480	0.053	0.492	0.054	0.505	0.055	0.518	0.056	0.524
4000	0.039	0.480	0.039	0.483	0.040	0.501	0.041	0.508	0.042	0.528	0.041	0.515	0.044	0.533	0.043	0.529
5000	0.033	0.498	0.032	0.495	0.033	0.515	0.033	0.511	0.034	0.513	0.034	0.524	0.036	0.556	0.036	0.562
6000	0.027	0.506	0.028	0.511	0.028	0.517	0.028	0.521	0.029	0.535	0.029	0.532	0.031	0.564	0.030	0.563
7000	0.024	0.518	0.024	0.514	0.024	0.527	0.024	0.523	0.025	0.533	0.025	0.536	0.026	0.566	0.026	0.569
8000	0.021	0.519	0.021	0.520	0.022	0.528	0.022	0.531	0.022	0.547	0.022	0.546	0.023	0.575	0.023	0.571
9000	0.019	0.522	0.019	0.520	0.019	0.530	0.019	0.533	0.020	0.550	0.020	0.553	0.021	0.575	0.021	0.575
10000	0.017	0.524	0.017	0.528	0.017	0.533	0.017	0.537	0.018	0.554	0.018	0.563	0.017	0.580	0.019	0.578



**KAYNAKLAR**

- Aktan, S., Çokgör, E. U. ve Gücin, F., 2011, Mikrobiyel yakıt hücresinde *Shewanella putrefaciens*, *ITU Journal Series E: Water Pollution Control*, 21 (2).
- Asghar, A., Raman, A. A. A. ve Daud, W. M. A. W., 2017, In situ production of hydrogen peroxide in a microbial fuel cell for recalcitrant wastewater treatment, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 92 (7), 1825-1840.
- Beliaev, A. S., Saffarini, D. A., McLaughlin, J. L. ve Hunnicutt, D., 2001, MtrC, an outer membrane decahaem c cytochrome required for metal reduction in *Shewanella putrefaciens* MR-1, *Molecular microbiology*, 39 (3), 722-730.
- Burkitt, R., Whiffen, T. ve Yu, E. H., 2016, Iron phthalocyanine and MnOx composite catalysts for microbial fuel cell applications, *Applied Catalysis B: Environmental*, 181, 279-288.
- Çatal, T., 2008, Effect of Various Carbonhydrates on Electricity Generation in Microbial Fuel Cells.
- Cavdar, P., 2009, Use of Microbial Fuel Cells (MFCs) in Organic Wastewater Treatment, *M. Sc. Thesis, Marmara University, Istanbul, Turkey*.
- Chen, S., Patil, S. A. ve Schröder, U., 2018, A high-performance rotating graphite fiber brush air-cathode for microbial fuel cells, *Applied Energy*, 211, 1089-1094.
- Demir, Ö. ve Gümüş, E., 2006, Mikrobiyal Yakıt Hücreleri ile Çamur Arıtımı ve Elektrik Üretimi.
- Dong, Y., Qu, Y., He, W., Du, Y., Liu, J., Han, X. ve Feng, Y., 2015, A 90-liter stackable baffled microbial fuel cell for brewery wastewater treatment based on energy self-sufficient mode, *Bioresource technology*, 195, 66-72.
- Du, Z., Li, H. ve Gu, T., 2007, A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy, *Biotechnology advances*, 25 (5), 464-482.
- Erdem, B., 2013, Mikrobiyal Sideroforlar ve Biyoteknolojideki Uygulama Alanları.
- Fredrickson, J. K., Romine, M. F., Beliaev, A. S., Auchtung, J. M., Driscoll, M. E., Gardner, T. S., Nealson, K. H., Osterman, A. L., Pinchuk, G. ve Reed, J. L., 2008, Towards environmental systems biology of *Shewanella*, *Nature reviews. Microbiology*, 6 (8), 592.
- Ge, Z., 2015, Energy-efficient Wastewater Treatment by Microbial Fuel Cells: Scaling Up and Optimization, *Virginia Polytechnic Institute and State University*.
- Gezginci-Oktayoglu, S., Sacan, O., Yanardag, R., Karatug, A. ve Bolkent, S., 2011, 4-Methylcatechol prevents NGF/p75 NTR-mediated apoptosis via NGF/TrkA system in pancreatic  $\beta$  cells, *Neuropeptides*, 45 (2), 143-150.

- Gezginci, M., Uysal, Y., Kılıç, A. ve Çınar, Ö., 2008, Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Ekstraselüler Elektron Transferleri.
- Gil, G.-C., Chang, I.-S., Kim, B. H., Kim, M., Jang, J.-K., Park, H. S. ve Kim, H. J., 2003, Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell, *Biosensors and Bioelectronics*, 18 (4), 327-334.
- Harnisch, F., Wirth, S. ve Schröder, U., 2009, Effects of substrate and metabolite crossover on the cathodic oxygen reduction reaction in microbial fuel cells: platinum vs. iron (II) phthalocyanine based electrodes, *Electrochemistry Communications*, 11 (11), 2253-2256.
- Holmberg, S., Perebikovskiy, A., Kulinsky, L. ve Madou, M., 2014, 3-D micro and nano technologies for improvements in electrochemical power devices, *Micromachines*, 5 (2), 171-203.
- Ieropoulos, I. A., Greenman, J., Melhuish, C. ve Hart, J., 2005, Comparative study of three types of microbial fuel cell, *Enzyme and microbial technology*, 37 (2), 238-245.
- Jiang, J., Hall, T. D., Tsagalis, L., Hill, D. A. ve Miller, A. E., 2006, Photographic production of metal nano-particles for fuel cell electrodes, *Journal of power sources*, 162 (2), 977-984.
- Kabza, A., 2015, Fuel cell formulary, A. Kabza, Ed.
- Karra, U., Manickam, S. S., McCutcheon, J. R., Patel, N. ve Li, B., 2013, Power generation and organics removal from wastewater using activated carbon nanofiber (ACNF) microbial fuel cells (MFCs), *international journal of hydrogen energy*, 38 (3), 1588-1597.
- Kılıç, A., Uysal, Y. ve Çınar, Ö., 2011, Laboratuvar Ölçekli Bir Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Sentetik Atıksudan Elektrik Üretimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (1), 43-49.
- Kim, J. R., Jung, S. H., Regan, J. M. ve Logan, B. E., 2007, Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells, *Bioresource technology*, 98 (13), 2568-2577.
- Koç, E. ve Şenel, M. C., 2013, Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54 (639), 32-44.
- Köroğlu, E. O., 2013, Mikrobiyal yakıt hücrelerinde evsel atıksulardan elektrik üretimi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kumar, R., Singh, L. ve Zularisam, A., 2016, Exoelectrogens: Recent advances in molecular drivers involved in extracellular electron transfer and strategies used to improve it for microbial fuel cell applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1322-1336.

- Lefèvre, M., Proietti, E., Jaouen, F. ve Dodelet, J.-P., 2009, Iron-based catalysts with improved oxygen reduction activity in polymer electrolyte fuel cells, *science*, 324 (5923), 71-74.
- Leong, J. X., Daud, W. R. W., Ghasemi, M., Liew, K. B. ve Ismail, M., 2013, Ion exchange membranes as separators in microbial fuel cells for bioenergy conversion: a comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 575-587.
- Li, J., Li, H., Zheng, J., Zhang, L., Fu, Q., Zhu, X. ve Liao, Q., 2017, Response of anodic biofilm and the performance of microbial fuel cells to different discharging current densities, *Bioresource technology*, 233, 1-6.
- Li, M., Zhou, S. ve Xu, M., 2017, Graphene oxide supported magnesium oxide as an efficient cathode catalyst for power generation and wastewater treatment in single chamber microbial fuel cells, *Chemical Engineering Journal*, 328, 106-116.
- Liang, Z., Chen, W., Liu, J., Wang, S., Zhou, Z., Li, W., Sun, G. ve Xin, Q., 2004, FT-IR study of the microstructure of Nafion® membrane, *Journal of membrane science*, 233 (1), 39-44.
- Liu, B., Williams, I., Li, Y., Wang, L., Bagtzoglou, A., McCutcheon, J. ve Li, B., 2016, Towards high power output of scaled-up benthic microbial fuel cells (BMFCs) using multiple electron collectors, *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 435-441.
- Liu, H. ve Logan, B. E., 2004, Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane, *Environmental science & technology*, 38 (14), 4040-4046.
- Liu, H., Ramnarayanan, R. ve Logan, B. E., 2004, Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell, *Environmental science & technology*, 38 (7), 2281-2285.
- Logan, B. E., Murano, C., Scott, K., Gray, N. D. ve Head, I. M., 2005, Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell, *Water Research*, 39 (5), 942-952.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W. ve Rabaey, K., 2006, Microbial fuel cells: methodology and technology, *Environmental science & technology*, 40 (17), 5181-5192.
- Logan, B. E., 2008, *Microbial fuel cells*, John Wiley & Sons, p.
- Manickam, S. S., Karra, U., Huang, L., Bui, N.-N., Li, B. ve McCutcheon, J. R., 2013, Activated carbon nanofiber anodes for microbial fuel cells, *Carbon*, 53, 19-28.
- Min, B., Cheng, S. ve Logan, B. E., 2005, Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells, *Water Research*, 39 (9), 1675-1686.

- Mohan, S. V., Raghavulu, S. V. ve Sarma, P., 2008, Influence of anodic biofilm growth on bioelectricity production in single chambered mediatorless microbial fuel cell using mixed anaerobic consortia, *Biosensors and Bioelectronics*, 24 (1), 41-47.
- Nagarale, R., Gohil, G. ve Shahi, V. K., 2006, Recent developments on ion-exchange membranes and electro-membrane processes, *Advances in colloid and interface science*, 119 (2), 97-130.
- Nevin, K. P. ve Lovley, D. R., 2000, Lack of production of electron-shuttling compounds or solubilization of Fe (III) during reduction of insoluble Fe (III) oxide by *Geobacter metallireducens*, *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (5), 2248-2251.
- Özpek, Ö., 2012, Atıksu kullanılarak mikrobiyal yakıt hücresi ile elektrik üretimi, *Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, 138 s.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O. ve Altınbaş, M., 2015, Kağıt Endüstrisi Atıksularına Uygun Arıtma Teknolojilerinin Belirlenmesi Ve Türkiye'deki Mevcut Durumun Analizi, *BAKANLIĞI, ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ, ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL*.
- Park, Y., Cho, H., Yu, J., Min, B., Kim, H. S., Kim, B. G. ve Lee, T., 2017a, Response of microbial community structure to pre-acclimation strategies in microbial fuel cells for domestic wastewater treatment, *Bioresource technology*, 233, 176-183.
- Park, Y., Park, S., Nguyen, V. K., Yu, J., Torres, C. I., Rittmann, B. E. ve Lee, T., 2017b, Complete nitrogen removal by simultaneous nitrification and denitrification in flat-panel air-cathode microbial fuel cells treating domestic wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 316, 673-679.
- Qin, M., Hynes, E. A., Abu-Reesh, I. M. ve He, Z., 2017, Ammonium removal from synthetic wastewater promoted by current generation and water flux in an osmotic microbial fuel cell, *Journal of Cleaner Production*, 149, 856-862.
- Rabaey, K., Lissens, G., Siciliano, S. D. ve Verstraete, W., 2003, A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency, *Biotechnology letters*, 25 (18), 1531-1535.
- Rabaey, K., Boon, N., Höfte, M. ve Verstraete, W., 2005, Microbial phenazine production enhances electron transfer in biofuel cells, *Environmental science & technology*, 39 (9), 3401-3408.
- Rabaey, K. ve Verstraete, W., 2005, Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation, *TRENDS in Biotechnology*, 23 (6), 291-298.
- Rozendal, R. A., Hamelers, H. V., Molenkamp, R. J. ve Buisman, C. J., 2007, Performance of single chamber biocatalyzed electrolysis with different types of ion exchange membranes, *Water Research*, 41 (9), 1984-1994.
- Sevda, S. ve Sreekrishnan, T., 2012, Effect of salt concentration and mediators in salt bridge microbial fuel cell for electricity generation from synthetic wastewater, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47 (6), 878-886.

- Ter Heijne, A., Hamelers, H. V., De Wilde, V., Rozendal, R. A. ve Buisman, C. J., 2006, A bipolar membrane combined with ferric iron reduction as an efficient cathode system in microbial fuel cells, *Environmental science & technology*, 40 (17), 5200-5205.
- Toczyłowska-Mamińska, R., Szymona, K., Król, P., Gliniewicz, K., Pielech-Przybylska, K., Kloch, M. ve Logan, B. E., 2018, Evolving Microbial Communities in Cellulose-Fed Microbial Fuel Cell, *Energies*, 11 (1), 124.
- Turick, C. E., Tisa, L. S. ve Caccavo Jr, F., 2002, Melanin production and use as a soluble electron shuttle for Fe (III) oxide reduction and as a terminal electron acceptor by *Shewanella* algae BrY, *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (5), 2436-2444.
- Uçar, D. ve Toprak, D., 2014, Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Anot ve Katot Bölmelerinin Birbirinden Ayrılmasında Kullanılan Bazı Yöntemler, *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 14 (1).
- Viridis, B., Rabaey, K., Yuan, Z. ve Keller, J., 2008, Microbial fuel cells for simultaneous carbon and nitrogen removal, *Water Research*, 42 (12), 3013-3024.
- Von Canstein, H., Ogawa, J., Shimizu, S. ve Lloyd, J. R., 2008, Secretion of flavins by *Shewanella* species and their role in extracellular electron transfer, *Applied and Environmental Microbiology*, 74 (3), 615-623.
- Xiao, L., Damien, J., Luo, J., Jang, H. D., Huang, J. ve He, Z., 2012, Crumpled graphene particles for microbial fuel cell electrodes, *Journal of power sources*, 208, 187-192.
- Yang, L., Deng, W., Zhang, Y., Tan, Y., Ma, M. ve Xie, Q., 2017, Boosting current generation in microbial fuel cells by an order of magnitude by coating an ionic liquid polymer on carbon anodes, *Biosensors and Bioelectronics*, 91, 644-649.
- Yang, W., Lee, K. K. ve Choi, S., 2017, A laminar-flow based microbial fuel cell array, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 243, 292-297.
- Zhang, X., Sun, H., Liang, P., Huang, X., Chen, X. ve Logan, B. E., 2011, Air-cathode structure optimization in separator-coupled microbial fuel cells, *Biosensors and Bioelectronics*, 30 (1), 267-271.
- Zhang, X., Xia, X., Ivanov, I., Huang, X. ve Logan, B. E., 2014, Enhanced activated carbon cathode performance for microbial fuel cell by blending carbon black, *Environmental science & technology*, 48 (3), 2075-2081.
- Zhao, N., Angelidaki, I. ve Zhang, Y., 2017, Electricity generation and microbial community in response to short-term changes in stack connection of self-stacked submersible microbial fuel cell powered by glycerol, *Water Research*, 109, 367-374.
- Zheng, W., Cai, T., Huang, M. ve Chen, D., 2017, Comparison of electrochemical performances and microbial community structures of two photosynthetic microbial fuel cells, *Journal of Bioscience and Bioengineering*.

- Zuo, Y., Cheng, S. ve Logan, B. E., 2008, Ion exchange membrane cathodes for scalable microbial fuel cells, *Environmental science & technology*, 42 (18), 6967-6972.
- Holmberg, S., Perebikovskiy, A., Kulinsky, L. ve Madou, M., 2014, 3-D micro and nano technologies for improvements in electrochemical power devices, *Micromachines*, 5 (2), 171-203.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O. ve Altınbaş, M., 2015, Kağıt Endüstrisi Atıksularına Uygun Arıtma Teknolojilerinin Belirlenmesi Ve Türkiye'deki Mevcut Durumun Analizi, *BAKANLIĞI, ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ, ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL*.
- Rabaey, K. ve Verstraete, W., 2005, Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation, *TRENDS in Biotechnology*, 23 (6), 291-298.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mustafa Akram Hayder HAYDER  
**Uyruğu** : IRAK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : IRAK-1992  
**Telefon** : 00905393000243  
**Faks** :  
**e-mail** : [mustafa2akram@gmail.com](mailto:mustafa2akram@gmail.com)

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Tuz Erkek Lisesi, Saladin, Irak	2010
Üniversite	: Kerkük Teknoloji Fakültesi, iklimlendirme ve havalandırma mühendisliği, Kerkük, Irak	2014
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Enerji Sistemleri Mühendisliği programı, Selçuklu, Konya	2015-Devam ediyor

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

Enerji Sistemleri ve Uygulamaları

### YABANCI DİLLER

İngilizce (YÖKDİL Fen Bilimleri :63,75, YDS: 61,25, TOEFL ITP: 525)  
Arapça

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

#### SERTİFİKALAR

1) IMECE Innovative Thinking and Entrepreneurship Workshop, girişimcilik programı, Konya 2016

**YAYINLAR**

Hayder, M., Goktepelı, I., Yagmur, S., Ozgoren, M., Kose, F. ve Kavurmacıoglu, L., 2018, Experimental Investigation of Flow Structures around a Torpedo-like Geometry Placed in a Boundary Layer Flow, *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 6 (1), 1-8.

**Uluslararası Konferans Makaleleri**

Hayder, M., Dincer, K., Experimental Investigation of 11x11 cm<sup>2</sup> Membrane Microbial Fuel Cell Performance, International Congress on Semiconductor Materials and Devices” (ICSMD-2017).

Hayder, M., Goktepelı, I., Yagmur, S., Ozgoren, M., Kose, F. ve Kavurmacıoglu, L., 2018, Experimental Investigation of Flow Structures around a Torpedo-like Geometry Placed in a Boundary Layer Flow, II.Global Conference On Innovation In Marine Technology And The Future Of Maritime Transportation, 2016