



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(2): 116-124 (2016)  
*The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(2): 116-124 (2016)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

## **PEM Yakıt Hücrelerinde Geometrik Boyutların Hücre Performansı Üzerine Etkilerinin Sayısal İncelenmesi**

Muhammet ÖZDOĞAN<sup>1\*</sup>, Lütfü NAMLI<sup>1</sup>, Aydın DURMUŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Samsun

*Geliş Tarihi (Received): 05.04.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 20.05.2016*

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author)\*: muhammet.ozdogan@omu.edu.tr*

☎ +90 362 3121919 📠 +90 362 4576035

### **ÖZ**

Bu çalışmada, farklı çalışma basınçlarında, kanal genişliğinin ve akım toplama plakası omuz genişliğinin, tek hücreli yakıt hücresinin performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Oluşturulan modelin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla, modelden elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Hücre boyutlarının etkisinin incelenmesi amacıyla toplam beş farklı hücre geometrisi oluşturulmuş ve üç farklı çalışma basıncı için analizler yapılmıştır. Tüm bulgular değerlendirildiğinde, kanal genişliğinin artmasıyla hidrojenin gaz difüzyon tabakasındaki difüzyonun ve pillerin aktif yüzey alanının artmasından dolayı hücre performansının arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, akım toplama plakası (ATP) omuz genişliğinin artmasıyla, akım direncinin azalmasından ve hücrenin aktif yüzey alanının artmasından dolayı hücre performansı artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** PEM yakıt hücresi, hücre boyutlarının etkisi, farklı çalışma basınçları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD)

## **Numerical Investigation of the Effects of Geometrical Dimensions on Its Performance in the PEM Fuel Cells**

### **ABSTRACT**

In this study, the effects of the channel and the current collector shoulder width on the performance of single PEM fuel cell were numerically investigated in the different working pressures. The results obtained from the model were compared with the experimental results in the literature so as to verify the validity of the model. Five different cell geometries were created to investigate effects of the cell dimensions and simulations were carried out at three different operating pressures. When all the findings were evaluated, the increase of the cell performance was identified as a result of the increase of the cell's active surface area and of the diffusion on the gas diffusion plate (layer) of the hydrogen with the increase in the channel width. Likewise, the cell performance raised due to the increase in the current collector shoulder width and in the cell's active surface area and the decrease in the current resistance.

**Keywords:** PEM fuel cell, cell dimension effects, different operating pressures, computational fluid dynamics (CFD)

## GİRİŞ

İnsanlığın karşılaşmış olduğu enerjinin ucuz ve sürdürülebilir tedariki sorunları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan yakıt hücreleri; yüksek verimli, ekonomik, çevre dostu, sessiz çalışabiliyor ve taşınabilir olmaları nedeniyle son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedirler. Yakıt hücreleri içerisinde ise, düşük sıcaklıklarda çalışmaları ve yüksek verimleri sebebiyle, PEM (Polimer Elektrolit Membran) yakıt hücreleri ön plana çıkmaktadırlar. PEM yakıt hücrelerinin performansını etkileyen çalışma koşulları ve kullanılan malzemenin özellikleri gibi birçok parametre vardır. PEM yakıt hücrelerinin geometrik tasarımı, hücre performansını etkileyen önemli parametrelere sahiptir. Geometrik tasarımda, hücre elemanlarının boyutları, tek hücre veya hücre yığını olması, akış kanalının tasarlanması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Akış kanalının genişliğinin ve akım toplama plakası omuz genişliğinin değişmesi ile birlikte reaktant gazların transferi ve elektrik akımının geçişi etkileneceğinden hücre performansı da değişmektedir.

Literatürde, yakıt pili geometrisinin hücre performansına etkilerini araştırmak amacıyla yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar arasında; (He ve ark., 2000), PEM yakıt pilinin hava katot performansı üzerindeki, gaz ve sıvı su hidrodinamik etkilerini araştırmak için iki boyutlu ve çift fazlı model geliştirmişlerdir. Oluşturdukları bu model ile basınç farkı, elektrot kalınlığı, kanal sayısının değişimi, kanal-plaka oranı değişimi gibi parametrelerin yakıt hücresinin performansına etkilerini araştırmışlardır. Berning ve Djilali (2003) çalışmalarında, basıncın, sıcaklığın, gaz difüzyon elektrotunun kalınlığının, reaktant konsantrasyonunun, ve gözenek yapısının ve akış kanalının kalınlığının hücre performansına etkisini incelemişlerdir. Liu ve ark. (2006) yapmış oldukları çalışmada, gittikçe daralan akış kanallı yakıt hücresi performansı ile reaktant gazlarının transferini incelemişlerdir. Shimpalee ve Zee (2007) serpantin tipi çift kutuplu plakada kanal boyutlarının hücre performansına etkisini değerlendirebilmek için sayısal model geliştirmişlerdir. Hücrenin hareketli olması veya durgun olmasına göre ayrı ayrı inceleme yapılmışlardır. Manso ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada, hücre kanal kesiti yükseklik-genişlik oranının, serpantin akış kanalına sahip yakıt hücresi performansına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. On farklı kanal kesitinin yükseklik genişlik oranı için akım yoğunluğunun, membrandaki su konsantrasyonlarının, hidrojen ve oksijen konsantrasyonlarının ve sıcaklığın dağılımları incelenmiştir. Eker ve Taymaz (2013) kanal genişliğinin, işletme sıcaklığının PEM yakıt hücresinin performansına etkisini incelemek için, hücreyi FLUENT pa-

ket programının PEMFC modülünü kullanarak üç boyutlu modellemişlerdir. Khazaei (2015a), Khazaei (2015b), Wang ve ark. (2012) ve Ahmed ve Sung (2006) yapmış oldukları çalışmada, PEM yakıt hücresinde kanal kesiti geometrisinin (dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel vb.) hücre performansına etkisini incelemişlerdir. Khazaei ve Ghazikhani (2012), tek hücreli dikdörtgen kesitli yakıt hücresinde kanal derinliğinin hücre performansına etkisini incelemek için üç boyutlu model oluşturmuşlardır. Değişken parametre olarak dört farklı kanal boyutunu ve üç farklı hava stokiyometri oranını kullanmışlardır. Muthukumar ve ark. (2014) çalışmalarında, kare kesitli akış kanalına sahip tek hücreli yapıya sahip yakıt hücresi boyutlarının hücre performansına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, hücre uzunluğunu ve membran elektron çifti kalınlığını sabit almışlardır. Değişken parametre olarak ise kanalın kenar uzunluğu (a) ve membran genişliği (3a) kullanılmıştır. Kanalın kenar uzunluğu ve membran genişliği ise aynı oranda arttırılmıştır. Wang ve ark. (2008) paralel ve yönlendirmesiz akış yapısına sahip yakıt hücresi yığınınındaki kanal geometrisinin hücre performansına etkisini incelemek için üç boyutlu model geliştirmişlerdir. Geometrinin etkisini incelemek için, farklı en-yükseklik oranlarına ve alan büyüklüğüne sahip kanalları ele alınmışlardır. Kumar ve Kolar (2010) geliştirmiş oldukları üç boyutlu model ile yakıt hücresinin katot kanal boyutlarının hücre potansiyeline etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, akım dağılımlarını, tür dağılımlarını, oksijen kütle transfer katsayısı ve su transfer katsayısı değişimlerini vermişlerdir.

Bu çalışmada, farklı çalışma basınçlarındaki, kanal genişliğinin ve akım toplama plakası (ATP) omuz genişliğinin hücre performansına etkisinin incelenmesi amacıyla, tek hücreli yapıya sahip üç boyutlu model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, kanal genişliği veya ATP omuz genişliğinden biri değiştirilirken diğeri sabit (1 mm) alınarak analizler yapılmıştır. Model oluşturulurken, malzeme özellikleri, sınır koşulları ve elektrokimyasal parametreler tanımlanmıştır. Her bir durumda; hücre potansiyeli, 0.4 V ila 0.9 V arasında 0.05 V arttırılarak toplamda 11 farklı hücre potansiyeli ile 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa çalışma basınçları için çözümler yapılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

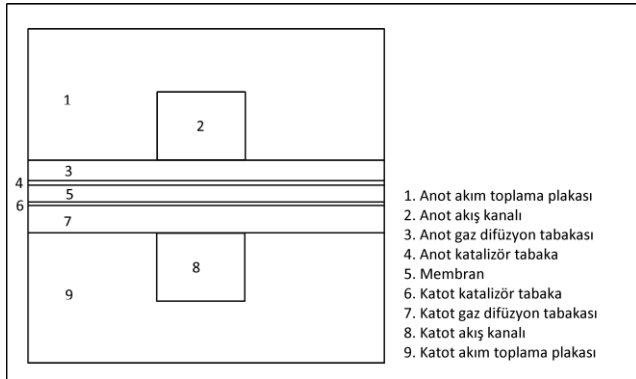
Yapılan çalışmada, PEM yakıt hücresi, FUEENT 6.3 programının PEM modülü kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Model oluşturmanın ilk aşaması olarak, GAMBIT programında geometri oluşturulup daha sonra çözüm bölgesi sonlu hacimlere bölünmüştür. Ardından FLUENT 6.3 paket programında gerekli kabuller ile birlikte fiziksel büyüklükler, sınır ve başlangıç koşulları tanımlandıktan sonra program koşturulmuştur. Oluşturulmuş olan modelde yapılan kabuller aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Yakıt hücresinin kararlı olarak çalıştığı varsayılmıştır.
- Reaktant gazları ideal gaz olarak kabul edilmiştir.
- Faz değişiminin olmadığı düşünülmüştür.
- Membranın gaz geçirgenliğinin olmadığı düşünülmüş ve gazların çapraz geçişi ihmal edilmiştir.
- Gaz difüzyon tabakasının, katalizör tabakanın ve membranın izotropik olduğu kabul edilmiştir.

Sayısal modellerde, yapılan kabullerden dolayı kesin doğru sonuç beklenmemelidir. Siedel (2008) yapmış olduğu çalışmada, yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımları ile ilgili genel bilgi vermiştir. Adı geçen yazar, sayısal modellerin her zaman hesaplanan miktar için kesin doğru sonuç vermesi gerektiğini, daha çok çalışma koşullarının geniş bir aralığı üzerinde eğilimlerini vermesi gerektiğini belirtmiştir.

### Modelin Fiziksel Yapısı

Bu çalışmada, önden görünüşü Şekil 1'de verilmiş olan tek hücreli 50 mm uzunluğa sahip hücre yapısı ele alınmıştır. Akış kanalının genişliğinin ve akım toplama plakası (ATP) omuz genişliğinin hücre performansına etkisini incelemek için beş farklı hücre geometrisi oluşturulmuştur. Kanal genişliğinin etkisinin incelenmesi amacıyla; 1.0 mm ATP omuz genişliğine sahip, 0.5 mm, 1.0 mm ve 1.5 mm kanal genişliği olan üç geometri oluşturulmuştur. ATP omuz genişliğinin etkisinin incelenmesi için ise, akış kanalının genişliği 1.0 mm olan, 0.5 mm ve 1.5 mm ATP omuz genişliğine sahip iki adet geometri oluşturulmuştur. Oluşturulan hücre geometrilerinin eleman boyutları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yakıt hücresinin geometrik yapısının önden görünüşü

Tablo 1. Yakıt hücresi bileşenlerinin boyutları

| Bileşenin Adı                        | Birim | Değerler      |
|--------------------------------------|-------|---------------|
| Kanal uzunluğu                       | mm    | 50            |
| Kanal yüksekliği                     | mm    | 1             |
| Kanal genişliği                      | mm    | 0.5, 1.0, 1.5 |
| Akım toplama plakası (ATP) kalınlığı | mm    | 2             |
| Gaz difüzyon tabakası kalınlığı      | mm    | 0.3           |
| Katalizör tabakası kalınlığı         | mm    | 0.01          |
| Membran kalınlığı                    | mm    | 0.05          |
| ATP omuz genişliği                   | mm    | 0.5, 1.0, 1.5 |

### Korunum Denklemleri

PEM yakıt hücresinin analizi için, kütle, momentum ve enerji korunum denklemlerinin ve elektrokimyasal denklemlerin, sınır ve başlangıç koşulları kullanılarak çözülmesi gerekmektedir. Kütle korunum denklemi (Denklem 1) ve momentum korunum denklemi (Denklem 2) aşağıda verildiği gibidir:

$$\nabla \cdot (\epsilon \rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon \rho \vec{u} \vec{u}) = -\epsilon \nabla p + \nabla \cdot (\epsilon \mu \nabla \vec{u}) + S_u \quad (2)$$

Momentum korunum denklemindeki  $S_u$ , kaynak terimi, dış kuvvetleri sembolize etmektedir ve Tablo 2'de tanımlanmıştır.

PEM yakıt pili için enerjinin korunum denklemi (Denklem 3), aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\nabla \cdot (\epsilon \rho \vec{u} h) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h \quad (3)$$

Burada,  $h$ ; entalpi,  $k$ ; ısı iletim katsayısı büyüklükleridir.  $S_h$  terimi ise, termal kaynak terimidir ve her bir çözüm bölgesi için Tablo 2'de tanımlanmıştır.

Türlerin konsantrasyonunun hesaplanması için kullanılan tür konsantrasyon denklemi (Denklem 4) aşağıdaki eşitlikteki gibidir.

$$\nabla \cdot (\epsilon \vec{u} C_k) = \nabla \cdot (D_k^{eff} \nabla C_k) + S_k \quad (4)$$

Eşitlikte,  $S_k$ ; kaynak terimidir ve Tablo 2'de verilmiştir. Eşitlikteki gaz tür diffüzyon katsayısı  $D_k^{eff}$ , aşağıdaki eşitlikte (Denklem 5) tanımlanmıştır.

$$D_k^{eff} = \epsilon^{1.5} D_k \quad (5)$$

Proton transfer denklemi (Denklem 6) ve elektron transfer denklemi (Denklem 7) aşağıda tanımlanmıştır.

$$\nabla \cdot (\sigma_m \nabla \phi_m) = S_i \quad (6)$$

$$\nabla \cdot (\sigma_s \nabla \phi_s) = S_e \quad (7)$$

Denklem 6'daki,  $\sigma_m$ ; iyonik iletkenlik,  $\phi_m$ ; membran potansiyeli ve  $S_i$ ; iyonik kaynak terimleridir. Denklem

7'de,  $\sigma_s$ ; elektriksel iletkenlik,  $\phi_s$ ; elektriksel potansiyel ve  $S_e$ ; elektriksel kaynak terimidir. Denklemlerdeki kaynak terimleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Kaynak terimleri

| Bileşen / Kaynak terim | $S_u$ (Momentum)                       | $S_h$ (Enerji)  | $S_k$ (Tür)  | $S_e$ (Potansiyel) | $S_i$ (Potansiyel) |
|------------------------|--|---|--|--------------------|--------------------|
| Akım toplama plakası   | 0                                      | 0   | 0  | 0                  | 0                  |
| Gaz kanalı             | 0                                      | 0   | 0  | 0                  | 0                  |
| Gaz difüzyon tabakası  | $-\frac{\mu}{K} \varepsilon^2 \bar{u}$ | 0   | 0  | 0                  | 0                  |
| Katalizör tabaka       | $-\frac{\mu}{K} \varepsilon^2 \bar{u}$ | $h_{reaksiyon} - j_{a,c} n_{a,c} + \frac{i_s^2}{\sigma_s^{eff}} + \frac{j_m^2}{\sigma_m^{eff}} + h_{jac}$ | $H_2: -\frac{M_{H_2}}{2F} j_a$<br>$O_2: \frac{M_{O_2}}{4F} j_c$<br>$H_2O: -\frac{M_{H_2O}}{2F} j_c - \frac{n_d M_{H_2O}}{F} j_c$ | $j$                | $j$                |
| Membran                | $-\frac{\mu}{K} \varepsilon^2 \bar{u}$ | 0   | 0  | 0                  | 0                  |

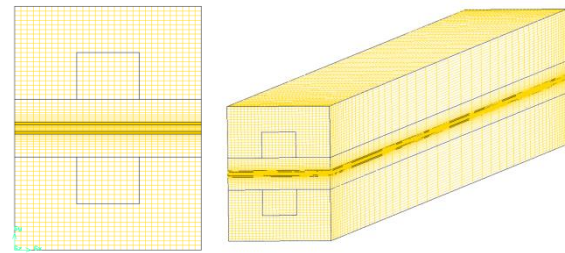
### Sınır Şartları

Sayısal çalışmalarda, çözümün yapılabilmesi için sınır şartlarının ve başlangıç koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Oluşturulan modelde, hücreye kütle giriş çıkışı gaz kanallarından olduğundan gaz kanallarının giriş yüzeylerinde kütle giriş şartı tanımlanmıştır. Bu sınır şartında, kanallara giren reaksiyon gazları ve bu gazların toplam kütledebisi, sıcaklıkları ve kaynak terimleri tayin edilmiştir. Anot tarafındaki akışkanların, toplam kütledebisi,  $3 \times 10^{-7} \text{ kg.s}^{-1}$ , sıcaklığı, 343 K olarak tanımlanmıştır. Türlerin konsantrasyonları ise;  $H_2$ : 0.8,  $H_2O$ : 0.2 olarak alınmıştır. Katot tarafı reaktant gazların, toplam kütledebisi,  $4.46 \times 10^{-5} \text{ kg.s}^{-1}$ , sıcaklığı, 343 K olarak ve türlerin kütle kesirleri  $O_2$ : 0.2,  $H_2O$ : 0.1 olarak alınmıştır. Anot ve katot tarafı gaz kanalı çıkışlarında basınç tanımlı çıkış sınır şartı tanımlanmıştır. Akım toplama plakası dışındaki çözüm bölgeleri, akışkan olarak tanımlanmış, akım toplama plakası ise katı olarak tanımlanmıştır. Anot tarafı akım toplayıcı plakanın üst yüzeyinde ve katot tarafı akım toplayıcı plakanın alt yüzeyinde hücre potansiyeli için kaynak terimi ve sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı tanımlanmıştır. Başlangıç koşulu olarak ise 343 K hücre sıcaklığı tanımlanmıştır. Ayrıca, çalışma basıncının etkisinin incelenmesi için, 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa çalışma basınçlarında analizler yapılmıştır.

### Çözüm Yöntemi

Sayısal çözüm yapılırken, çözüm bölgesinin sonlu hacimlere bölünüp her bir hacim için denklem takımları çözülmektedir. Bu nedenle, GAMBIT paket programı kullanılarak çözüm bölgesinin geometrisi oluşturulmuş ve oluşturulan çözüm bölgesi sonlu hacimlere bölünmüştür. Çözüm bölgesinin sonlu hacimlere bö-

lünmesi sonucu oluşan ağ yapısının önden ve eğik perspektif görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Çözüm bölgesinin örgü yapısı

PEM yakıt hücresinin denklem takımlarının analiz edilmesinde, FLUENT 6.3 paket programı kullanılmıştır. Analizlerde, basınç eşitliklerinin ayrıştırılmasında "Standard" şema, diğer eşitliklerin ayrıştırılmasında ise, "Birinci Dereceden Upwind" şema kullanılmıştır. Çözümde basınç-hız eşleşmesi olarak ise SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Model oluşturulurken kullanılan elektrokimyasal ve transfer özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Elektrokimyasal ve transfer özelliklerinin değerleri

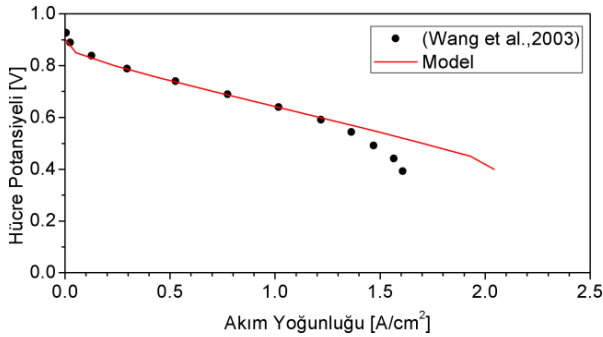
| Parametre [Birim]                                    | Value              |
|--|--------------------|
| Anot referans akım yoğunluğu [ $A.m^{-3}$ ]          | $1.5 \times 10^9$  |
| Anot referans akım konsantrasyonu [ $kmol.m^{-3}$ ]  | 1                  |
| Anot konsantrasyon üssü                              | 0.5                |
| Anot transfer katsayısı                              | 2                  |
| Gaz difüzyon tabakası gözenekliliği                  | 0.5                |
| Katot referans akım yoğunluğu [ $A.m^{-3}$ ]         | $4 \times 10^6$    |
| Katot referans akım konsantrasyonu [ $kmol.m^{-3}$ ] | 1                  |
| Katot konsantrasyon üssü                             | 1                  |
| Katot transfer katsayısı                             | 2                  |
| Katalizör tabakası gözenekliliği                     | 0.5                |
| Açık devre voltajı [V]                               | 0.95               |
| Hidrojen referans diffüzivitesi [ $m^2.s^{-1}$ ]     | $3 \times 10^{-5}$ |
| Oksijen referans diffüzivitesi [ $m^2.s^{-1}$ ]      | $3 \times 10^{-5}$ |
| Su buharı referans diffüzivitesi [ $m^2.s^{-1}$ ]    | $3 \times 10^{-5}$ |

Oluşturulan modelde, çözümün eleman sayısından bağımsızlığı kontrol edildikten sonra, sonuçlar deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Oluşturulan modelin doğruluğunu kontrol etmek için (Wang ve ark., 2003)'nin yapmış oldukları deneysel çalışmanın sonuçlarından yararlanılmıştır. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için, referans çalışmada kullanmış olan hücre yapısı ve parametreler kullanılmıştır. Referans çalışmada kullanılmış olan, yakıt hücresinin boyutları Tablo 4'te verilmiştir. Analizler yapılırken, reaktant gazların ve hücrenin sıcaklığı 70 °C olarak alınmıştır.

**Tablo 4.** Referans çalışmadaki yakıt hücresi bileşenlerinin boyutları

| Bileşenin Adı                   | Birim | Değer  |
|---------------------------------|-------|--------|
| Kanalın uzunluğu                | mm    | 70     |
| Kanal yüksekliği                | mm    | 1      |
| Kanal genişliği                 | mm    | 1      |
| Akım toplama plakası kalınlığı  | mm    | 2      |
| Gaz difüzyon tabakası kalınlığı | mm    | 0.3    |
| Katalizör tabakası kalınlığı    | mm    | 0.0129 |
| Membran kalınlığı               | mm    | 0.108  |
| Yakıt pili genişliği            | mm    | 3      |

Oluşturulan model ile referans çalışma sonuçlarının karşılaştırılması için oluşturulan polarizasyon eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi model sonuçlarının deneysel sonuçlarla büyük oranda uyum içinde olduğu görülmektedir. 1.3 A/cm<sup>2</sup>'nin üstündeki akım yoğunluklarında ise sonuçlar farklılık göstermektedir. Yüksek akım yoğunluklarında yakıt pilinin katot tarafında su taşkınları oluşmaktadır (Bergin ve Djilali, 2003). Oluşan su taşkınları reaktant gazlarının transferini güçleştirmekte ve bu da hücre performansını azaltmaktadır. Oluşturulan model tek fazlı olduğundan su taşkınlarını göz ardı etmektedir ve bu nedenle yüksek akım yoğunluklarında deneysel sonuçlara nazaran daha yüksek hücre potansiyeli elde edilmektedir.



**Şekil 3.** Polarizasyon eğrilerinin literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılması

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan analizler sonucu; üç farklı çalışma basıncı için, kanal genişliğinin, akım toplama plakası (ATP) omuz genişliğinin ve çalışma basıncının hücre performansına etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda, polarizasyon eğrileri ve 0.7 V'luk hücre potansiyeli için akım yoğunluğu dağılımları verilmiştir.

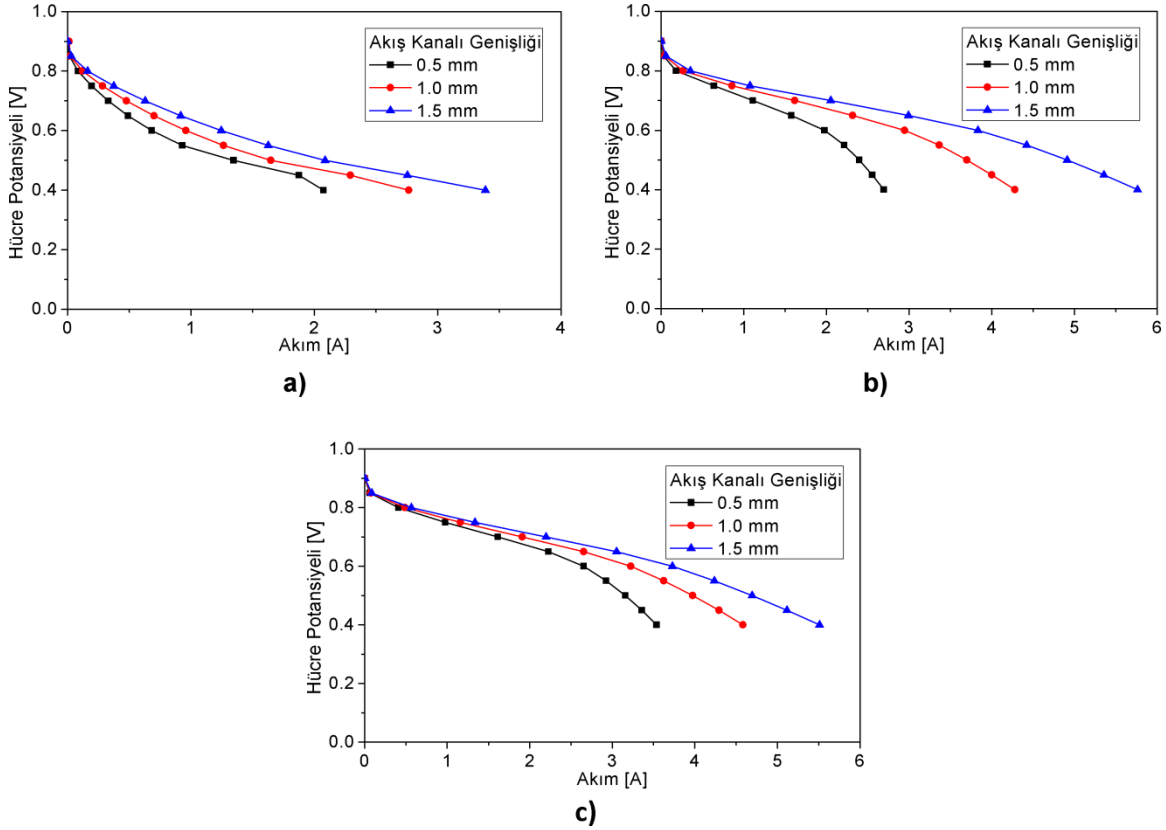
Kanal genişliğinin hücre potansiyeline etkisinin incelenmesi amacıyla, üç farklı kanal genişliğinde üç adet geometri oluşturulmuş ve analizler yapılmıştır. Çalışma basıncının etkisinin incelenmesi için 100kPa, 200kPa ve 300kPa çalışma basınçlarında, 11'er farklı hücre potansiyeli için oluşan akımlar hesaplanmıştır. Toplamda; üç kanal genişliği, üç çalışma basıncı ve 11 hücre potansiyeli için toplam 99 analiz yapılmış ve elde edilen bulgularla polarizasyon eğrileri oluşturulmuştur. Analizler sonucunda üç farklı basınç değerleri için elde edilen hücre potansiyelinin akım ile değişimini gösteren polarizasyon eğrileri Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de de görüldüğü gibi; kanal genişliğinin ve çalışma basıncının artması ile elde edilen hücre potansiyeli miktarı da artmaktadır. Tüm eğrilerde, akım miktarının artmasıyla, hücre potansiyeli azalmakta, kanal genişliğinin ve çalışma basıncının etkileri de artmaktadır. Şekil 4b ve 4c'de görüldüğü gibi; 200 kPa ve 300 kPa çalışma basınçları için verilen eğriler, 0.5 mm akış kanalı genişliği hariç benzer eğilimler göstermiş ve sonuçlar yakın çıkmıştır. Şekil 4a'da görüldüğü gibi; 100 kPa çalışma basıncında elde edilen sonuçlar ise, diğer iki çalışma basıncında elde edilen sonuçlara göre farklılık göstermektedir. Şekil 4a'da görüldüğü gibi; 100 kPa basınç değerinde elde edilen hücre potansiyel değerlerinin, tüm akım değerleri için, diğer basınç değerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da basınç artışının hücre performansını artırdığı ancak basınç artışına devam edildikçe bu performans artışının sürekli olmadığını göstermektedir.

Yakıt hücrelerinde oluşan yüksek akım yoğunlukları, hücrede su taşkınlarına neden olacağından, yakıt pillerinde yüksek akım yoğunluğu tercih edilmemektedir. Bu durum göz önüne alınarak akım yoğunluğu dağılımları incelenmiştir. Üç kanal genişliği, üç çalışma basıncı ve 0.7 V hücre potansiyeli için, katot akım toplama plakası ile katot gaz difüzyon tabakası arasındaki yüzey boyunca oluşan akım yoğunluğu dağılımları, kontur grafik olarak Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi; akım toplama plakası omuzlarının iç köşelerinde daha yüksek miktarda akım yoğunluğu dağılımları oluşmaktadır. Bu durum, elektronların direncin en düşük olduğu yoldan tamamlamak istemesinden kaynaklanmaktadır. Akış kanallarının genişlemesi ve çalışma basıncının artması, bölgesel akım yoğunluklarını arttırmıştır.

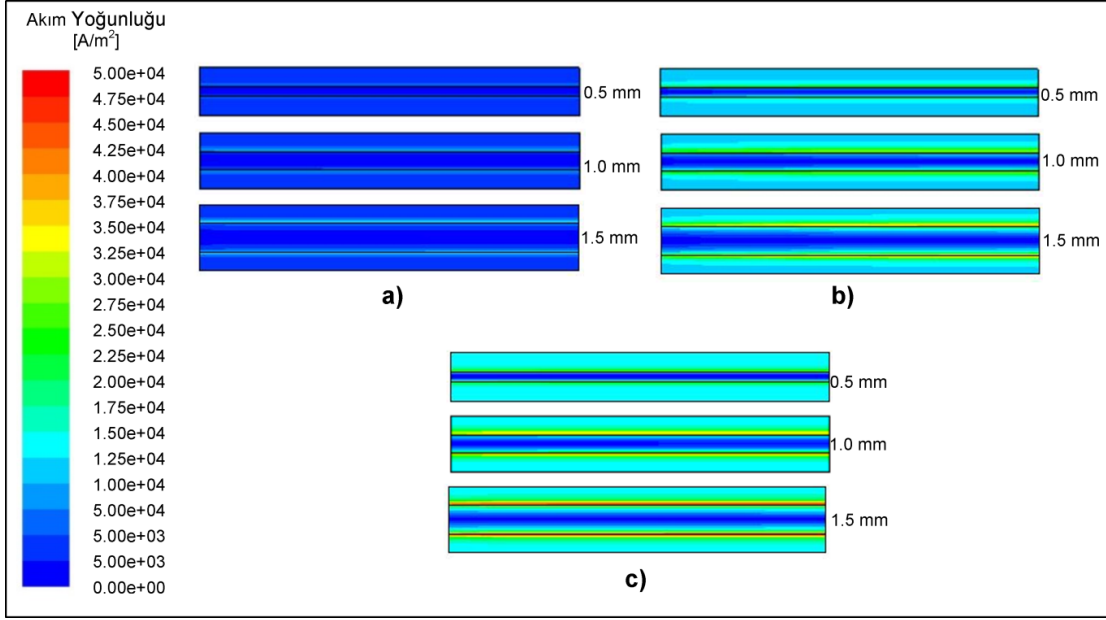
ATP omuz genişliğinin değişmesi ile birlikte temas dirençleri ve reaktant gaz dağılımları değişeceğinden dolayı

hücre performansı da değişmektedir. Üç farklı ATP omuz genişliği kullanılarak hücre performansının değişimini incelemek amacıyla, 11 farklı hücre potansiyeli için toplam 99 analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgularla oluşturulan polarizasyon eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, ATP omuz genişliğinin ve çalışma basıncını artması ile hücre performansının arttığı söylenebilir. Şekil 6a ve 6b'de görüldüğü gibi; 100 kPa ile 200 kPa çalışma basınçlarında elde edilen sonuçların arasındaki fark, Şekil 6b ve 6c'de görüldüğü gibi; 200 kPa ile 300 kPa çalışma

basınçlarında elde edilen sonuçlar arasındaki farktan fazla çıkmıştır. Şekil 6b ve 6c'de görüldüğü gibi; 200 kPa ve 300 kPa çalışma basınçlarında, 1.0 mm ve 1.5 mm omuz genişliği için elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmış iken 0.5 mm omuz genişliği için elde edilen sonuçlar bunlardan ayrılmaktadır. Şekil 6a'da görüldüğü gibi; 100 kPa çalışma basıncında ATP omuz genişliğinin hücre performansına etkisi artmakta ve 1.0 mm ATP omuz genişliği ile 1.5 mm ATP omuz genişliği için elde edilen sonuçlar arasındaki fark belirginleşmektedir.



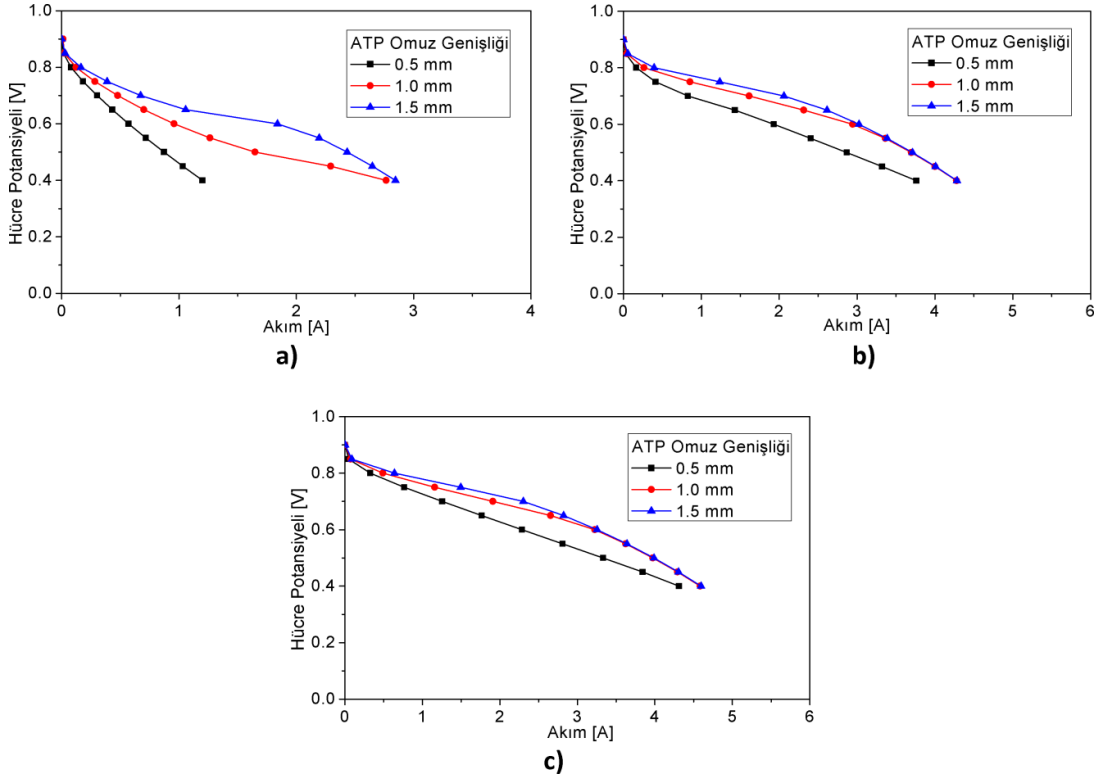
**Şekil 4.** Akış kanalı genişliğinin hücre potansiyeline etkisi; a) 100 kPa, b) 200 kPa, c) 300 kPa



Şekil 5. Farklı akış kanalı genişlikleri için akım yoğunluğu dağılımları; a) 100 kPa, b) 200 kPa, c) 300 kPa

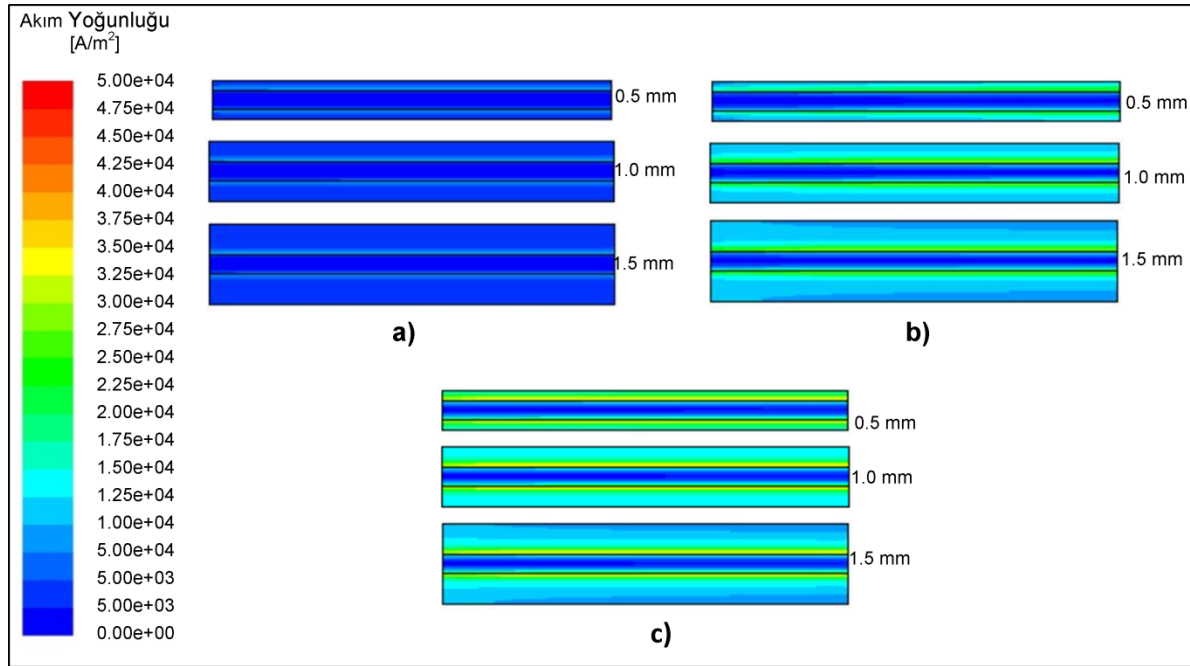
ATP omuz genişliğinin akım yoğunluğu dağılımına etkisinin incelenmesi amacıyla, 0.7 V hücre potansiyeli için elde edilen, akım yoğunluğunun katot akım toplama plakası ile katot gaz difüzyon tabakası arasındaki yüzeyi boyunca dağılımları kontur grafik olarak Şekil 7'de

verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi; akış kanallarının genişlemesi ile akım toplama plakasındaki akım yoğunluğunun arttığı söylenebilir. Yüksek çalışma basınçlarında elde edilen akım yoğunluğu dağılımları yüksek olmakta ve ATP omuz genişliğinin etkisi de artmaktadır.



Şekil 6. Akım toplama plakası omuz genişliğinin hücre potansiyeline etkisi; a) 100 kPa, b) 200 kPa, c) 300 kPa





Şekil 7. Akım toplama plakasının farklı omuz genişlikleri için akım yoğunluğu dağılımları; a) 100 kPa, b) 200 kPa, c) 300 kPa

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, PEM yakıt hücresi, 5 farklı geometri için FLUENT 6.3 programında bulunan PEMFC modülü kullanılarak modellenmiştir. Model oluşturulurken, malzeme özellikleri, sınır koşulları ve elektrokimyasal parametreler tanımlanmıştır. Her bir durumda; hücre potansiyeli, 0.4 V ila 0.9 V arasında 0.05 V arttırılarak toplamda 11 farklı hücre potansiyeli ile 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa çalışma basınçları için çözümler yapılmış. Elde edilen bulgular, polarizasyon eğrileri ve akım yoğunluğu dağılımları şeklinde verilmiştir. Beklenildiği gibi, tüm durumlar için elde edilen hücre potansiyelinin, akım miktarının artması ile azaldığı görülmüştür.

Kanal genişliğinin artması ile elde edilen akımın arttığı ve düşük hücre potansiyellerinde kanal kesitinin etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Kanal genişliğinin büyümesi ile daha fazla akım elde edilmesine karşın daha düzensiz akım yoğunluğu dağılımı meydana gelmiştir. Tüm bulgular değerlendirildiğinde, kanal genişliğinin artmasıyla hidrojenin gaz difüzyon tabakasındaki difüzyonun ve hücrenin aktif yüzey alanının artmasından dolayı hücre performansının arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde ATP (akım toplama plakası) omuz genişliğinin artmasıyla, akım direncinin azalmasından ve hücrenin aktif yüzey alanının artmasından dolayı hücre performansı artmaktadır. Hücre performansı üzerine etkileri değerlendirildiğinde, hücre genişliğinin etkisi 200 kPa çalışma basıncında, ATP omuz genişliğinin etkisi

ise 100 kPa çalışma basıncında maksimum olmaktadır. Diğer taraftan, çalışma basıncının artmasının hücre performansını arttırdığı belirlenmiştir. Ancak basınç artışına devam edildikçe bu performans artışının sürekli olmadığı görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Berning, T., Djilali, N. (2003). Three-dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell—a parametric study. *Journal of Power Sources* 124: 440-452.
- Eker, E., Taymaz, İ. (2013). Akış kanalı genişliğinin pem tipi yakıt hücresi performansına etkisinin incelenmesi. *SAÜ. Fen Bil. Der.* 17: 195-200.
- He, W., Yi, J.S., Nguyen, T.V. (2000). Two-phase flow model of the cathode of pem fuel cells using interdigitated flow fields. *AIChE Journal* 46: 2053-2064.
- Khazaei, I. (2015a). Improvement the equation of polarization curve of a proton exchange membrane fuel cell at different channel geometry. *Heat and Mass Transfer* 51: 1981-1689.
- Khazaei, I. (2015b). Experimental investigation and numerical comparison of the performance of a proton exchange membrane fuel cell at different channel geometry. *Heat and Mass Transfer* 51: 1177-1187.
- Khazaei, I., Ghazikhani, M. (2012). Numerical simulation and experimental comparison of channel geometry on performance of a PEM fuel cell. *Arab J Sci Eng* 37: 2297-2309.
- Kumar, P.M., Kolar, A.K. (2010). Effect of cathode channel dimensions on the performance of an air-breathing PEM fuel cell. *International Journal of Thermal Sciences* 49: 844-857.



- Liu, H., Li, P., Wang, K. (2013). Optimization of PEM fuel cell flow channel dimensions-Mathematic modeling analysis and experimental verification. *International Journal of Hydrogen Energy* 38: 9835-9846.
- Liu, H.C., Yan, W.M., Soong, C.Y., Chen, F., Chu, H.S. (2006). Reactant gas transport and cell performance of proton exchange membrane fuel cells with tapered flow field design. *Journal of Power Sources* 158: 78-87.
- Manso, A.P., Marzo, F.F., Mujika, M.G., Barranco, J., Lorenzo, A. (2011). Numerical analysis of the influence of the channel cross-section aspect ratio on the performance of a PEM fuel cell with serpentin flow field design. *International Journal of Hydrogen Energy* 36: 6795-6808.
- Muthukumar, M., Kartikeyan, P., Vairavel, M., Loganathan, C., Praveenkumar, S., Kumar, A.P.S. (2014). Numerical studies on PEM fuel cell with different landing to channel with of flow channel. *Procedia Engineering* 97: 1534-1542.
- Shimpalee, S., Zee, L.W.V. (2007). Numerical studies on rib&channel dimension of flow-field on PEMFC performance. *International Journal of Hydrogen Energy* 32: 842-856.
- Siegel, C. (2008). Review of computational heat and mass transfer modeling in polymer-electrolyte-membrane (PEM) fuel cells. *Energy* 33: 1331-1352.
- Wang, L., Husar, A., Zhou, T., Liu, H. (2003). A parametric study of PEM fuel cell performances. *International Journal of Hydrogen Energy* 28: 1263-1277.
- Wang, X., Duan, Y., Yan, W., Peng, X. (2008). Effects of flow channel geometry on cell performance for PEM fuel cells with parallel and interdigitated flow fields. *Electrochemical Acta* 53: 5334-5343.
- Wang, X., Lu, G., Duan, Y., Lee, D. (2012). Numerical analysis on performances of polymer electrolyte membrane fuel cells with various cathode flow channel geometries. *International Journal of Hydrogen Energy* 37: 15778-15786.
-