



**Muhammet Özdoğan
Aydın Durmuş**

Ondokuz Mayıs University, Samsun-Turkey
muhammet.ozdogan@omu.edu.tr; adurmus@omu.edu.tr

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0148	
ORCID ID	0000-0002-3523-6035	0000-0002-0281-365X
CORRESPONDING AUTHOR	Muhammet Özdoğan	

KANAL KESİT GEOMETRİSİ ÜÇGEN OLAN PEM YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, kanal kesit geometrisi üçgen yapıda olan tek hücreli PEM yakıt hücresi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Model oluşturulurken, hücrenin, kararlı, tek fazlı olduğu kabul edilmiştir. Farklı çalışma basınçları ve farklı sıcaklıklar için hücre performansı incelenmiştir. Sıcaklığın ve çalışma basıncının hücre performansına etkisini incelemek amacıyla üç farklı sıcaklık ve üç farklı çalışma basıncı için analizler yapılmıştır. Sonuç olarak hücre potansiyelinin ve güç miktarının akım yoğunluğuna göre değişim grafikleri, akım yoğunluğu dağılımının ve reaktant dağılımlarının kontur grafikleri verilmiştir. Hücre potansiyeli akım yoğunluğunun artmasıyla azalmaktadır. Akım yoğununun artmasıyla güç miktarını önce artış göstermiş ardından azalmıştır. Güç miktarı, akım yoğunluğunun yaklaşık olarak 1.6 A/cm² olduğu değerinde maksimum olmaktadır. Hücrenin verimi, hücre potansiyelinin artmasıyla artmaktadır. Kanal içindeki akım yoğunluğunun ve hidrojen oranının dağılımları incelendiğinde, hücre çıkışına doğru her iki büyüklüğün azaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: PEM Yakıt Pili, Üçgen Kanal Geometrisi, Üç Boyutlu Modelleme, Çalışma Koşulları, Kanal Kesit Geometrisi

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF THE PEM FUEL CELL WITH TRIANGLE CHANNEL CROSS SECTION GEOMETRY

ABSTRACT

In this study, a single-cell PEM fuel cell with triangular channel cross-section geometry is modeled as a three-dimensional. It was assumed that the cell is working single-phase and steady-state conditions. Cell performance was investigated for different operating pressures and different temperatures. Analyzes were conducted for three different temperatures and three different working pressures to investigate the effect of temperature and working pressure on cell performance. As a result, the change curves of cell potential and the amount of power with respect to current density, contour plots of current density distribution and reactant distributions were given. Cell potential decreases with increasing current density. The amount of power first increased, and then decreased with increasing the current density. The amount of power is maximum at which the current density is approximately 1.6 A/cm². Cell efficiency is increased by increasing cell potential. When the distributions of current density and hydrogen ratio in the channel are examined, it appears to decrease towards the outlet of the cell.

Keywords: PEM Fuel Cell, Triangular Channel Geometry, Three Dimensional Modeling, Operating Parameters,

How to Cite:

Özdoğan, M. ve Durmuş, A., (2018). Kanal Kesit Geometrisi Üçgen Olan PEM Yakıt Hücresinin Performansının İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(2):180-190, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0148.



Channel Section Geometry

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan nüfus ve teknolojik gelişmelerden dolayı dünyadaki enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Tüketilen enerjinin sadece %9'luk kısmı yenilenebilir kaynaklardan üretilmektedir. (%7 hidrolik ve %2 diğer yenilenebilir) [1]. Enerji kaynağının kısıtlı olması mevcut kaynakların verimli kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yakıt hücreleri, yanma olmaksızın doğrudan elektrik enerjisi üreten elektrokimyasal dönüştürücülerdir. Elektrik enerjisi doğrudan üretildiğinden dolayı yakıt hücrelerinin verimi konvansiyonel sistemlerin veriminden yüksektir. Yakıt hücreleri, kullanılan elektrolite göre sınıflandırılabilir. PEM yakıt hücrelerinde, elektrolit olarak polimer elektrolit membran kullanılmaktadır. PEM yakıt hücresi, yüksek verimlilik ve düşük çalışma sıcaklıkları nedeniyle, yakıt hücreleri içinde ön plana çıkmaktadır [2]. PEM yakıt hücresi, akım toplama plakası (ATP), gaz difüzyon tabakası (GDT), katalizör tabakası, membran ve akış kanalından oluşmaktadır. Akış kanalları reaksiyon gazlarının hücreye girdiği ve reaksiyon ürünlerinin hücreden uzaklaştırıldığı yer olduğundan akış kanallarının yapısı hücre performansı için önemlidir. Ayrıca akış kanallarının tasarımı, ATP omuz genişliğini ve gazların GDT'deki difüzyonunu etkilediğinden hücre performansı da etkilenmektedir. Akış kanalının tasarımı hücre performansını etkilediğinden akış kanalının düzgün bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kullanılan kanal yapısı, kanal boyutları, kanal kesit geometrisi gibi parametreler kanalın tasarım parametrelerindedir.

Bilim insanları son zamanlarda PEM kanal tasarımıyla ilgili çalışmalara yoğunlaşmışlardır. Khazae, üçgen, dikdörtgen ve elips kanal kesit geometrilerine sahip serpantin yapıları PEM yakıt hücrelerinin performansını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak polarizasyon ve akım yoğunluğu dağılımı eğrilerini vermiştir [3]. Maksimum hücre performansını dikdörtgen kanal kesitine sahip yakıt hücresinde elde etmiştir. Wang ve ark., dörtgen anot akış kanalı kesit geometrisine sahip PEM yakıt hücresinde katot akış kanalı kesit geometrisinin hücre performansına etkisini incelemek için, yakıt hücresini üç boyutlu olarak modellediler [4]. Dikdörtgen, üçgen, trapez ve yarım daire kesit geometrili ve paralel akışlı kanal yapısına sahip yakıt hücresinin performansını incelemiştirler. Yüksek hücre potansiyellerinde dört kanal kesit geometrisi için hücre yakın performansı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Düşük hücre potansiyellerinde ise en yüksek performans üçgen kanal kesit geometrisi için, ikinci olarak yarım dairesel kanal kesit geometrisi için, üçüncü olarak trapez kanal geometrisi için en düşük performans ise dörtgen kanal geometrisi için elde edilmiştir. Khazae ve ark., üçgen kanal kesit geometrisine sahip PEM yakıt hücresini farklı çalışma parametreleri için deneysel ve teorik olarak incelemiştirler [5]. Çalışma parametresi olarak hidrojen, oksijen ve hücre sıcaklıklarını, hidrojen ile oksijen debilerini ve basıncı ele almışlardır. Sonuç olarak tersinmezliğin ve ekserji veriminin akım yoğunluğuna göre değişimini verdiler. Elde ettikleri sonuçlara göre; akım yoğunluğunun artmasıyla tersinmezlik artmış ve ekserji verimi azalmıştır. Hidrojen, oksijen ve hücre sıcaklıklarının ve basıncın artmasıyla ise ekserji verimini artmıştır. Ahmed ve Sung, yapmış oldukları çalışmada, yüksek akım yoğunluklarında, kanal kesit geometrisinin ve bipolar plakanın omuz genişliğinin yakıt hücresinin performansına olan etkisini incelemek amacıyla tek hücreli ve düz akış kanallı yakıt hücresini üç boyutlu olarak modellemiştirler [6]. Akış kanalı kesit geometrisi olarak, dikdörtgen, yamuk ve paralelkenar yapıya sahip geometrileri incelemiştirler. Hücrenin kanal yüksekliği,

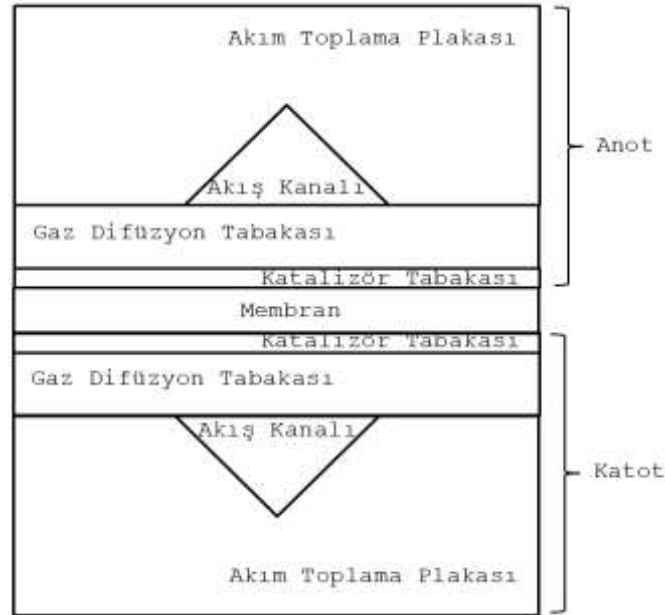
kesit alanı ve reaksiyon alanı sabit olacak şekilde, dikdörtgen, yamuk ve paralelkenar kanal kesit geometrileri için analizler yaptılar. Elde ettikleri bulgulara göre, maksimum hücre potansiyeli, dikdörtgen kesit alanına sahip hücrede, minimum hücre potansiyelini ise paralel kenarlı kesit alanına sahip hücrede oluşturmuştur. Yamuk kesit alanına sahip hücrede düzgün reaktant gazlar dağılımları ve akım yoğunluğu dağılımları elde etmişlerdir. Akım toplama plakasının omuz genişliğinin azalması ohmik kayıpları arttırmıştır. Chavan ve Talange, MATLAB SIMULING modelini kullanarak PEM yakıt hücresinin farklı çalışma koşullarındaki davranışını incelemişlerdir [7].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, üçgen akış kanalı kesit geometrisine sahip yakıt hücresi, üç boyutlu olarak modellenmiş ve çalışma basıncı ile çalışma sıcaklığının hücre performansına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, polarizasyon ile güç eğrileri, akım yoğunluğu dağılımı, kanal kesitindeki hidrojen oranının dağılımı ve enerji veriminin hücre potansiyeline göre değişim eğrisi verilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

Kesitin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiş olan üçgen akış kanalı kesit geometrisine sahip tek hücreli PEM yakıt hücresi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelin eleman boyutları Tablo 1'de verilmiştir. FLUENT 6.3 paket programının PEM modülü kullanılarak hücre modellenmiş ve analizler yapılmıştır. Yakıt hücresi modellenirken, hücrenin kararlı olarak çalıştığı, reaktant gazlarının ideal gaz olduğu, faz değişiminin olmadığı, gaz difüzyon tabakasının, katalizör tabakanın ve membranın izotropik olduğu kabul edilmiş, membranın gaz geçirgenliği ve gazların çapraz geçişi ihmal edilmiştir.



Şekil 1. Yakıt hücresinin kesitinin şematik gösterimi
(Figure 1. Schematically view of the cross section of the fuel cell)

Fluent programında, PEM yakıt pilinin analiz edilmesi için, kütle, momentum ile enerji korunum denklemlerinin ve elektrokimyasal denklemlerin sınır koşulları kullanılarak çözülmesi gerekmektedir [8].

Fluent programında, kütle korunum denklemi;



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

olarak tanımlanmıştır.

Momentum korunum denklemi;

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

şeklinde ifade edilmiştir. Eşitlik 2'de, S_u terimi, dış kuvvetleri sembolize etmektedir ve Tablo 2'de tanımlanmıştır.

Tablo 1. Yakıt hücresinin bileşenlerinin boyutları
(Table 1. Dimensions of fuel cell components)

Bileşenin Adı	Birim	Değer
Kanal Uzunluğu	mm	50
Kanal Kenar Uzunluğu (Eşkenar) Üçgen	mm	1
Akım Toplama Plakası Kalınlığı	mm	2
Gaz Difüzyon Tabakası Kalınlığı	mm	0.3
Katalizör Tabakası Kalınlığı	mm	0.01
Membran Kalınlığı	mm	0.05
Hücre Eni	mm	3

Enerji korunum denklemi;

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

şeklinde tanımlanmıştır. Eşitlikte, h , entalpi, k , ısı iletim katsayısıdır. S_h terimi ise ısı kaynak terimidir ve her bir çözüm bölgesi için Tablo 2'de tanımlanmıştır.

Tür konsantrasyon denklemi;

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

şeklinde dir. Eşitlikte, S_k , kaynak terimidir ve Tablo 2'de verilmiştir. D_k^{eff} ise gaz tür diffüzyon katsayısıdır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

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

Proton ve elektron transfer denklemi;

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

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

olarak ifade edilmiştir. Eşitlik 6'daki σ_m , iyonik iletkenlik, ϕ_m , membran potansiyeli ve S_i iyonik kaynak terimleridir. Eşitlik 7'de σ_s , elektriksel iletkenlik, ϕ_s , elektriksel potansiyel ve S_e , elektriksel kaynak terimidir. Eşitliklerdeki kaynak terimleri Tablo 2'de ifade edilmiştir.

Tablo 2. Kaynak terimleri
(Table 2. Source terms)

Bileşen/Kaynak Terim	Akım Toplama Plakası	Gaz Kanalı	Gaz Difüzyon Tabakası	Katalizör Tabaka	Membran
s_u (Momentum)	0	0	$-\frac{\mu}{K} \epsilon^2 \vec{u}$	$-\frac{\mu}{K} \epsilon^2 \vec{u}$	$-\frac{\mu}{K} \epsilon^2 \vec{u}$
s_h (Enerji)	0	0	0	$h_{reaksiyon} + j_{a,c} n_{a,c} + \frac{j_s^2}{\sigma_s^{eff}} + \frac{j_m^2}{\sigma_m^{eff}} + h_{faz}$	0
s_k (Tür)	0	0	0	$H_2: -\frac{M_{H_2}}{2F} j_a$ $O_2: -\frac{M_{O_2}}{4F} j_c$ $H_2O: \frac{M_{H_2O}}{2F} j_c - \frac{n_d M_{H_2O}}{2F} j_c$	0
s_e (Potansiyel)	0	0	0	j	0



s_i (Potansiyel)	0	0	0	j	0
--------------------	---	---	---	-----	---

Enerji verimi, yakıt hücresinin üretmiş olduğu elektrik gücünün, birim zamanda sisteme giren enerjiye oranı olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır. Reaktant gazlarının bir kısmı hücrede kullanılmadan egzoz gazlarıyla birlikte hücreden çıkmaktadır. Enerji analizi yapılırken sisteme giren enerji miktarı olarak, anot ve katot gaz kanallarında kütle geçişi ile hücreye giren enerji miktarı ile hücreden çıkan enerji miktarı arasındaki fark alınmıştır. Kütle geçişiyle olan enerji geçişlerinin hesaplamaları yapılırken, yakıt hücresinin girişi ile çıkışındaki potansiyel ve kinetik enerji değişimleri gözardı edilmiştir. Hücre boyunca sıcaklık değişimleri düşük olduğundan sıcaklık farkından dolayı olan enerji değişimleri de ihmal edilmiştir.

$$\eta(I) = \frac{\dot{W}_e}{\dot{E}_G} \quad (8)$$

Eşitlikte; \dot{W}_e , üretilen elektrik gücü ve \dot{E}_G , birim zamanda sisteme giren net enerji miktarıdır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{IN} = \dot{E}_R - \dot{E}_E \quad (9)$$

Burada; \dot{E}_R , kütle girişinden dolayı sisteme birim zamanda giren enerji miktarı, \dot{E}_E ise kütle çıkışından dolayı sistemden birim zamanda çıkan enerji miktarıdır. Kütle geçişlerle hücreye birim zamanda giren ve çıkan enerji miktarları aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{E} = \dot{n} \cdot e \quad (10)$$

Eşitlikte; \dot{n} , molar debi ve e , birim mol başına düşen enerji miktarıdır ve kimyasal ve fiziksel enerjinin toplamı olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$e = e^{CH} + e^{PH} \quad (11)$$

Tablo 3. Elektrokimyasal ve transfer özellikleri
(Table 3. Electrochemical and transfer properties)

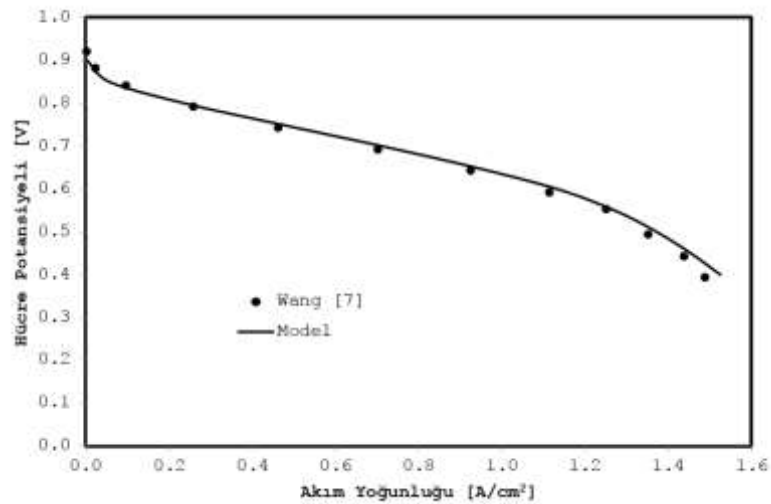
Parametre (Birim)	Value
Anot Referans Akım Yoğunluğu ($A.m^{-3}$)	1.5×10^9
Anot Referans Akım Konsantrasyonu ($kmol.m^{-3}$)	1
Anot Konsantrasyon Üssü	0.5
Anot Transfer Katsayısı	2
Gaz Difüzyon Tabakası Gözenekliliği	0.5
Katot Referans Akım Yoğunluğu ($A.m^{-3}$)	4×10^6
Katot Referans Akım Konsantrasyonu ($kmol.m^{-3}$)	1
Katot Konsantrasyon Üssü	1
Katot Transfer Katsayısı	2
Katalizör Tabakası Gözenekliliği	0.5
Açık Devre Voltajı (V)	0.95
Hidrojen Referans Diffüzivitesi ($m^2.s^{-1}$)	3×10^{-5}
Oksijen Referans Diffüzivitesi ($m^2.s^{-1}$)	3×10^{-5}
Su Buharı Referans Diffüzivitesi ($m^2.s^{-1}$)	3×10^{-5}

Yakıt hücresinin anot gaz akış kanalının girişinden doymuş hidrojenin girdiği, katot gaz akış kanalının girişinden doymuş havanın girdiği düşünülmüştür. Reaktantların giriş sıcaklıkları olarak üç farklı sıcaklık tanımlanmış ve bu üç farklı sıcaklık değerleri için analizler yapılmıştır. Hidrojenin debisi, $5.87 \times 10^{-8} kg.s^{-1}$, havanın debisi $1.56 \times 10^{-6} kg.s^{-1}$ olarak tanımlanmıştır. Çalışma basıncı olarak incelemenin yapıldığı üç farklı çalışma basıncı tanımlanmıştır.

Çözümün başlangıç koşulu olarak, tüm hücrenin sıcaklığının reaktant sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Modelde kullanılan elektrokimyasal ve transfer özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Elektrokimyasal ve transfer özellikleri tanımlandıktan sonra program koşturulmuştur ve çözüm 10^{-5} değerine yakınsayınca iterasyona devam edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Üçken kesitli kanalın davranışını incelemek için üç farklı sıcaklık ve üç farklı çalışma basıncı için analizler yapılmıştır. Analizler yapılırken hücre sıcaklığı ve reaktant sıcaklıkları eşit alınmıştır. Analizlerden elde edilen bulgulardan yararlanılarak, polarizasyon ve güç eğrileri, akım yoğunluğu dağılımının kontur grafiği ve reaktant dağılımının kontur grafiği elde edilmiştir. Oluşturulan modelin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla, Wang ve ark.'nın yapmış olduğu deneysel çalışmada bulmuş oldukları sonuçlarla modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [9]. Karşılaştırmada, 333K reaktant ve hücre sıcaklığı, 300kPa çalışma basıncı için elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Wang ve ark.'nın arkadaşlarının elde sonuçlarla modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılması için oluşturulan polarizasyon eğrileri Şekil 2'de verilmiştir [7]. Şekle bakıldığında model sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyduğu söylenebilir.



Şekil 2. Model sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması
(Figure 2. Comparison of model results with experimental results)

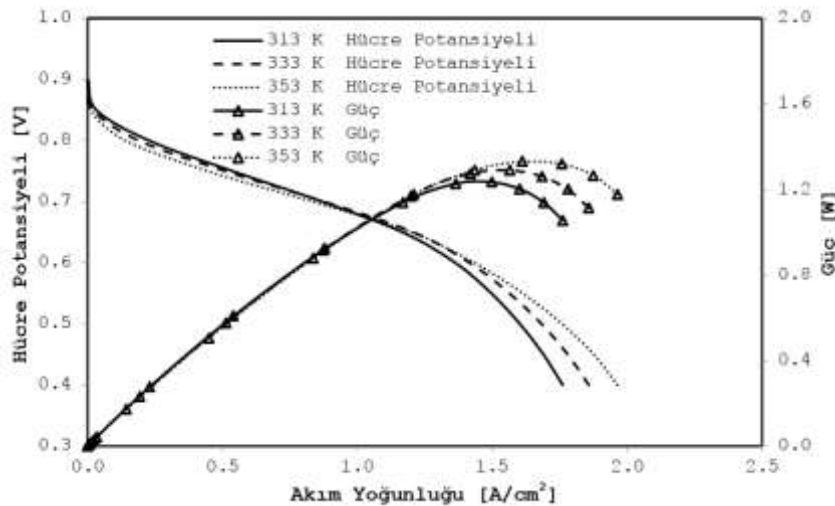
Doğrulamanın yapıldığı çalışmada akış kanalları kare kesitli olduğundan üçken kanal kesit geometrisine sahip yakıt hücresi için eleman sayısından bağımsızlık testinin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, dört farklı ağ yapısı için analizler yapılmış, elde edilen akım yoğunluğu miktarları ve eleman sayıları Tablo 4'de verilmiştir. Tabloya bakıldığında, çözümün eleman sayısından bağımsız olduğu söylenebilir. Yapılan analizlerde Ağ-3 ağ yapısı kullanılmıştır. 313K, 333K ve 353K sıcaklığında, 100kPa, 200kPa ve 300kPa çalışma basınçlarında on bir farklı hücre potansiyeli için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen, hücre potansiyelinin ve elektriksel gücün akım yoğunluğuna göre değişim grafikleri oluşturulmuştur. Hücre potansiyelinin ve elektriksel gücün akım yoğunluğuna göre değişim eğrileri, 100kPa, 200kPa ve 300kPa çalışma basınçları için sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de

verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, tüm koşullar için polarizasyon ve güç eğrileri benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. Hücre potansiyeli, akım yoğunluğunun artmasıyla azalmakta ve yüksek akım yoğunluklarında akım yoğunluğunun etkisi daha fazla olmaktadır. Sıcaklığının akım yoğunluğuna ve güç yoğunluğuna etkisi yüksek akım yoğunluklarında daha belirgin olmaktadır. Yüksek akım yoğunluklarında sıcaklığın artmasıyla hücre potansiyeli ve elde edilen güç miktarı artmıştır. Çalışma basıncının hücre potansiyeline ve elde edilen elektriksel güç miktarına etkisi incelendiğinde, 0.4V hücre potansiyeli hariç tüm hücre potansiyellerinde, çalışma basıncının artması akım yoğunluğu ve güç miktarını arttırmıştır. 0.4V hücre potansiyelinde ise farklı çalışma basınçları için sonuçlar yakın çıkmıştır.

Tablo 4. Farklı eleman sayıları için elde edilen akım yoğunluğu değerleri

(Table 4. The current density values for different element numbers)

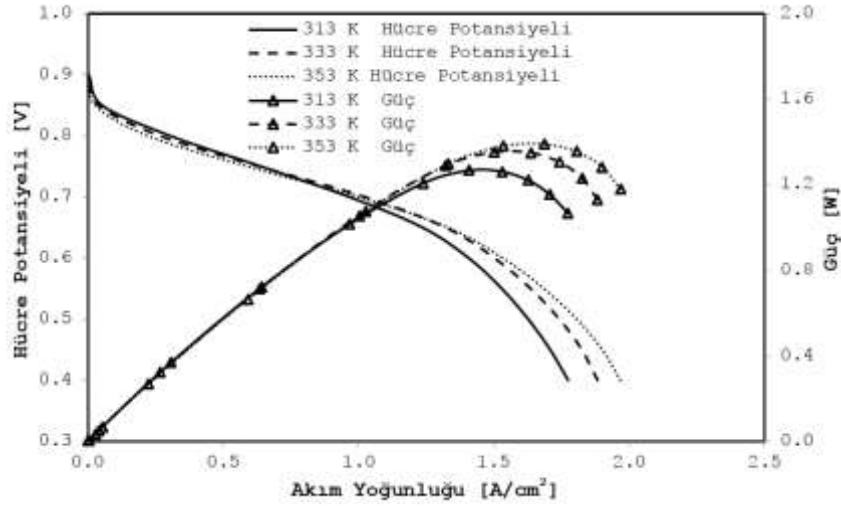
Ağ Yapısı	Eleman Sayısı	Akım Yoğunluğu (A/cm ²)
Ağ-1	38480	2.030
Ağ-2	117200	2.045
Ağ-3	201100	2.050
Ağ-4	579110	2.052



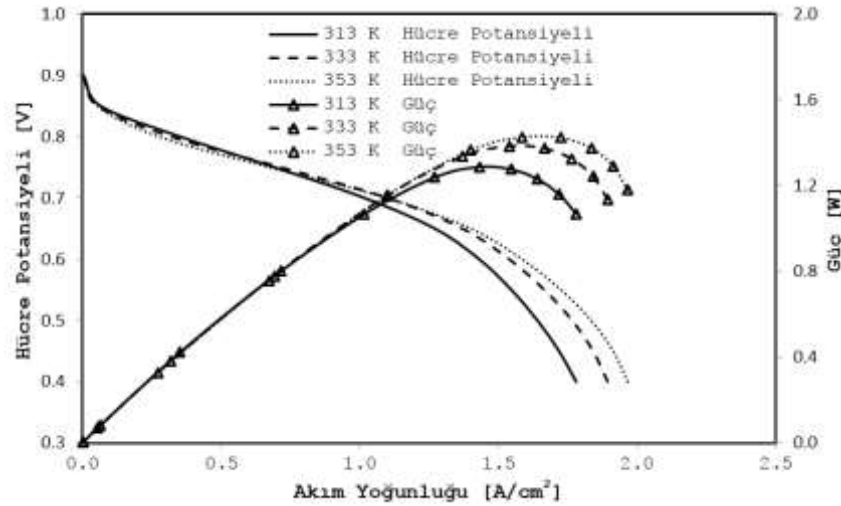
Şekil 3. 100 kPa çalışma basıncında, farklı sıcaklıklardaki hücre potansiyelinin ve gücün, akım yoğunluğuna göre değişimi
(Figure 3. At 100 kPa working pressure, change of cell potential and power according to current density at different temperatures)

Akım yoğunluğu dağılımını incelemek için 353 sıcaklığında ve 300kPa çalışma basıncında, 0.5V hücre potansiyeli için hücrede oluşan akım yoğunluğu dağılımı incelenmiştir. Hücrenin giriş kesitinde (z=0), hücrenin ortasındaki kesitte (z=25mm) ve çıkış kesitinde (z=50mm) oluşan akım yoğunluğu dağılımı kontur grafik olarak Şekil 6'da verilmiştir. Şekle bakıldığında akım toplama plakası omuzlarıyla kanalın kesiştiği köşelerde yüksek akım yoğunlukları oluşmaktadır. Gaz akış yönündeki akım yoğunluğunun dağılımı incelendiğinde, Hücrenin giriş kesitinden çıkış kesitine doğru gidildikçe oluşan akım yoğunluğu azalmıştır. 353 sıcaklığı, 300kPa çalışma basıncı ve 0.5V hücre potansiyeli için z=0, z=25mm ve z=50mm düzlemlerindeki hız ve hidrojen kütle oranının dağılımı sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Kanal cidarlarındaki sürtünmeden dolayı kanal kesitlerinin merkezinde

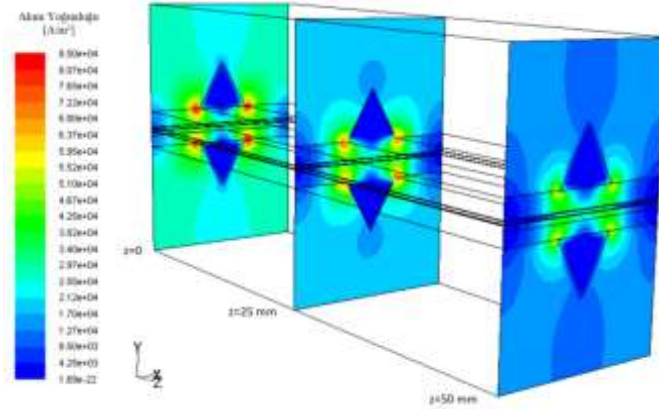
hız maksimum olmaktadır. Yakıt hücresinde hidrojen ve su buharı anot kanallarından katot kanallarına geçtiğinden dolayı çıkış kesitine doğru gazların hızı, anot kanalında azalırken katot kanalında artmaktadır. Hidrojen dağılımı incelendiğinde, hücrenin çıkış kesitine doğru hidrojenin oranı azalmaktadır. Bu azalma gaz difüzyon tabakasında belirgin olmaktadır. Gaz difüzyon tabakasının ortasında hidrojen oranı anot kanalındaki hidrojen oranına yakın iken, gaz difüzyon tabakasının dış yan yüzeylerine doğru hidrojen oranı azalmaktadır.



Şekil 4. 200kPa çalışma basıncında, farklı sıcaklıklardaki ve hücre potansiyelinin ve gücün akım yoğunluğuna göre değişimi (Figure 4. At 200kPa working pressure, change of cell potential and power according to current density at different temperatures)

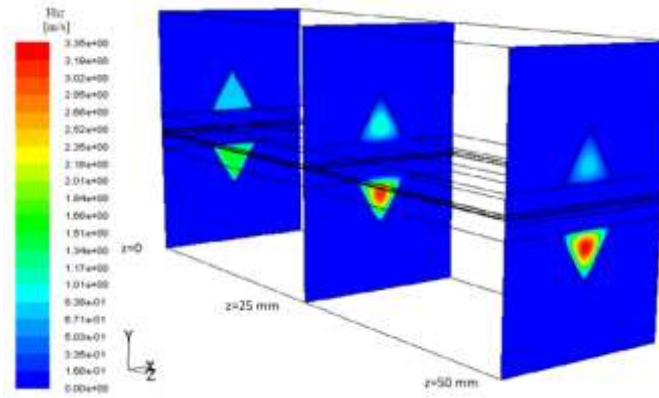


Şekil 5. 300kPa çalışma basıncında, farklı sıcaklıklardaki ve hücre potansiyelinin ve gücün akım yoğunluğuna göre değişimi (Figure 1. At 300kPa working pressure, change of cell potential and power according to current density at different temperatures)

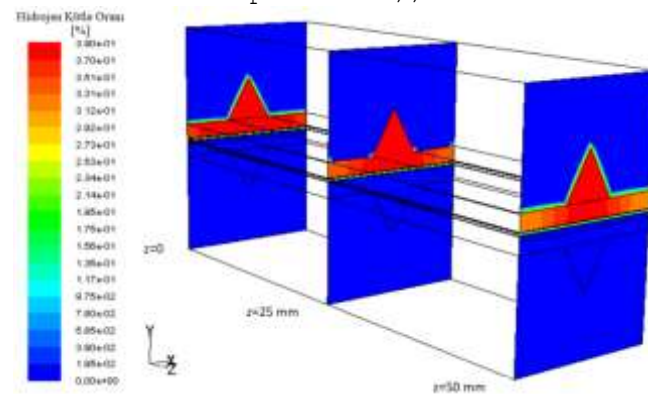


Şekil 6. Akım yoğunluğunun $z=0$, $z=25\text{mm}$ ve $z=50\text{mm}$ düzlemlerindeki dağılımı (353K sıcaklığı, 300kPa çalışma basıncı ve 5.0V hücre potansiyeli için)

(Figure 6. The distribution of current density in the $z=0$, $z=25\text{mm}$ and $z=50\text{mm}$ planes (at a temperature of 353K, 300kPa working pressure and 5.0V cell potential))



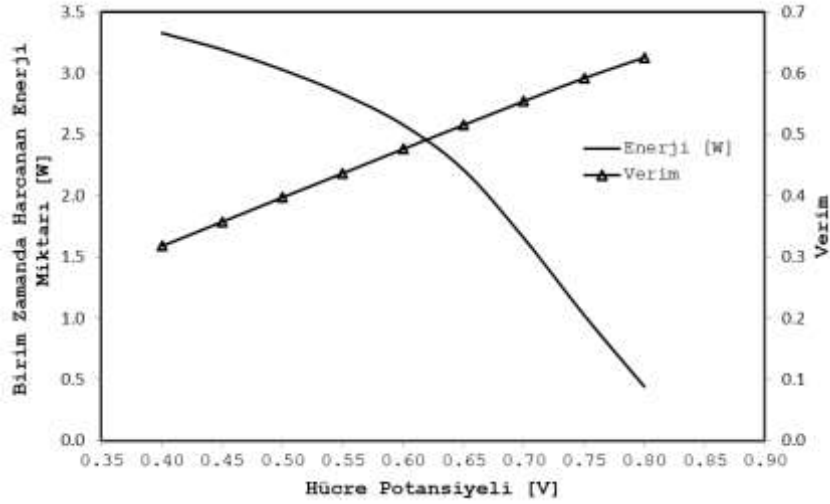
Şekil 7. $z=0$, $z=25\text{mm}$ ve $z=50\text{mm}$ düzlemlerindeki hız dağılımı (353K sıcaklığı, 300kPa çalışma basıncı ve 5.0V hücre potansiyeli için)
(Figure 7. Velocity distribution in the $z=0$, $z=25\text{mm}$ and $z=50\text{mm}$ planes (for 353K temperature, 300kPa working pressure and 5.0V cell potential))



Şekil 8. Hidrojen kütle oranının $z=0$, $z=25\text{mm}$ ve $z=50\text{mm}$ düzlemlerindeki dağılımı (353K sıcaklığı, 300kPa çalışma basıncı ve 5.0V hücre potansiyeli için)

(Figure 8. The distribution of hydrogen mass ratios in the $z=0$, $z=25\text{mm}$ and $z=50\text{mm}$ planes (for 353K temperature, 300kPa working pressure and 5.0V cell potential))

Yakıt hücresinin enerji veriminin incelenmesi amacıyla 100kPa çalışma basıncında, 333K sıcaklıkta birim zamanda harcanan enerjinin ve verimin hücre potansiyeline göre değişim eğrileri, Şekil 9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, hücre potansiyelinin artmasıyla birlikte harcanan enerji miktarının azaldığı verimin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 9. 100kPa çalışma basıncında, 333K sıcaklıkta harcanan enerjinin ve verimin hücre potansiyeline göre değişimi
(Figure 9. Variation of energy consumption and efficiency according to cell potential at 100kPa working pressure and 333K temperature)

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Üçgen kanal kesit geometrisine sahip tek hücreli PEM yakıt hücresi, üç boyutlu ve kararlı olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak model doğrulanmıştır. Çözümün eleman sayısından bağımsızlığı kontrol edilmiş ve üç farklı çalışma basıncında üç farklı sıcaklık değeri (toplam dokuz parametre) için analizler yapılmıştır. Sonuç olarak polarizasyon ve güç eğrileri, akım yoğunluğu dağılımının, hidrojen kütle oranının dağılımının ve hız dağılımının kontur grafikleri verilmiştir. Ayrıca 100kPa çalışma basıncı ve 333K sıcaklık için sistemin enerji veriminin hücre potansiyeline göre değişimi incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, akım yoğunluğunun artmasıyla hücre potansiyelinin azaldığı, elde edilen güç ise önce arttığı ve akım yoğunluğunun 2.0A/cm² değerine yaklaşmasıyla azaldığı söylenebilir. Akım yoğunluğu ve hidrojen miktarlarının kanal içindeki dağılımı incelendiğinde, bu iki değer de kanal çıkışına doğru azaldığı görülmektedir. Hücrenin enerji verimi değerlendirildiğinde, hücre potansiyelinin artmasıyla, hücrenin enerji veriminin arttığı söylenebilir.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.



KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sungur, B., Özdoğan, M., Topaloğlu, B. ve Namlı, L., (2017). Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, Cilt:58, Sayı:686, ss:1-20.
- [2] Ding, Y., Bi, X., and Wilkinson, D.P., (2013). Numerical Analysis on Performance of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Chemical Engineering Science*, Volume:100, pp:445-455.
- [3] Khazaei, I., (2015). Experimental Investigation and Numerical Comparison of The Performance of A Proton Exchange Membrane Fuel Cell at Different Channel Geometry. *Heat and Mass Transfer*, Volume:51, Number:8, pp:1177-1188.
- [4] Khazaei, I., Ghazikhani, M., and Mohammadiun, M., (2012). Experimental and Thermodynamic Investigation of A Triangular Channel Geometry PEM Fuel Cell at Different Operating Conditions. *Scientia Iranica*, Volume:19, Number:3, pp:585-593.
- [5] Wang, X.D., Lu, G., Duan, Y.Y., and Lee, D.J., (2012) Numerical Analysis on Performances of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells With Various Cathode Flow Channel Geometries. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume:37, pp:15778-15786.
- [6] Ahmed, D.H. and Sung, H.J., (2006). Effects of Channel Geometrical Configuration and Shoulder With on PEMFC Performance At High Current Density. *Journal of Power Sources*, Volume:162, pp:327-339.
- [7] Chavan, S.L. and Talange, D.B., (2017). Modeling and Performance Evaluation of PEM Fuel Cell by Controlling Its Input Parameters. *Energy*, Volume:138, pp:437-445.
- [8] FLUENT, (2006). *Fluent User's Guide*. Fluent Incorporated, Lebanon, NH.
- [9] Wang, L., Husar, A., Zhou, T., and Liu, H, (2003). A Parametric Study of PEM Fuel Cell Performances. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume:28, pp:1263-1277.