



Akış kanalı genişliğinin pem tipi yakıt hücresi performansına etkisinin incelenmesi

Elif Eker^{1*}, İmdat Taymaz¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya

14.05.2012 Geliş/Received, 13.12.2012 Kabul/Accepted

ÖZET

Bu çalışmada farklı kanal genişliklerinin, PEM tipi yakıt hücresi performansına etkisi incelenmiştir. Akım yoğunluğu, 25 cm² aktif alana sahip paralel akışlı plakanın tek bir hücresi için üç farklı kanal genişliğinde ölçüldü. Hücre genişliği ve kanal yüksekliği sabit tutuldu. Sonuçlar, hücre genişliği sabit tutularak kanal genişliği arttıkça akım yoğunluğunun azaldığını gösterdi.

Anahtar Kelimeler: PEM yakıt hücresi, kanal genişliği, akım yoğunluğu

Analysis of the effect of flow channel width on the performance of pemfc

ABSTRACT

In this work, it was analysed the effect of different channel width on performance of PEM fuel cell. Current density were measured on the single cells of parallel flow fields that has 25 cm² active layer, using three different kinds of channel width. The cell width and the channel height remain constant. The results show that increasing the channel width while the cell width remains constant decreases the current density.

Keywords: PEM fuel cell, channel width, current density

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yakıt hücreleri, kesintisiz olarak dışarıdan sağlanan yakıtta ait enerji ile reaksiyonların gerçekleşmesi için yine dışarıdan devamlı olarak beslenen oksitleyiciye ait enerjinin elektrokimyasal reaksiyonlar neticesinde elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. [1]

Yakıt hücresinde hidrojen sisteme verildiği sürece elektrik üretimi devam eder. Kullanılacak hidrojen

doğrudan doğalgaz ve benzeri yakıtlardan elde edilebilir. Atık olarak sadece su buharı ürettiğinden çevre kirliliği yapmaması avantaj olarak görülürken, maliyetinin yüksek olması başlıca dezavantajdır.

Özellikle son 10 yıldır PEM tipi yakıt hücreleri üzerine çalışmalar hızla artmıştır. Dolayısıyla, yakıt hücresinin performansını etkileyen işletme parametrelerinden (basınç, sıcaklık, bağıl nem, debi vb.), tasarım parametrelerine (akış kanalı tipi, geometrisi, membran, katalizör, gaz difüzyon tabakası kalınlıkları, malzemeleri, yakıt hücresi yığını tipi, sayısı vb.) kadar birçok parametrenin gerçekte ne gibi sonuçlara neden olacağı bilgisayar ortamında simülasyonu yapılabilmekte ve bu sonuçlar deney verileriyle kıyaslanabilmektedir. [2]

Bu çalışmada yakıt hücresi performansını etkileyen tasarım parametrelerinden kanal geometrisi incelenmiştir. Literatürde yakıt hücreleri, özellikle PEMYH ile ilgili olarak kanal geometrisinin incelendiği; bir boyuttan üç boyuta, tek fazdan çift faza kadar, farklı işletme parametrelerinde çok sayıda çalışma vardır.

He ve arkadaşları oluşturdukları iki boyutlu iki fazlı modelde difüzyon tabakası ve membran kalınlığının, giriş gazları basıncının ve farklı kanal geometrilerinin hücre performansına etkisini incelemiştir. [3]

Yoon ve arkadaşları akış kanalı genişliğini sabit tutarak kanal çubuklarının genişliğinin PEM tipi yakıt hücresi performansına etkisini incelemiştir. Çubuk genişliği 0,5 mm ile 3 mm arasında seçmiş ve sonuç olarak dar çubukların düşük hücre potansiyelinde performansını iyileştirdiğini göstermiştir. [4]

Güvenlioğlu ve arkadaşları zamanla değişmeyen izotermal iki boyutlu bir model geliştirmiştir. Modelinde kanal genişliğinin, akım toplayıcı plaka boyutlarının, gaz difüzyon tabakası geçirgenliğinin ve giriş gazları bağıl neminin hücre performansına etkisini incelemiştir. Sonuç olarak da küçük genişlikte kanallardan daha yüksek akım yoğunluğu elde edildiğini göstermiştir. [5]

Shimplee ve arkadaşları serpantin akış kanalı tipi için kanal genişliği-uzunluğu-derinliğini değiştirerek, akım yoğunluğu, sıcaklık ve oluşan su gibi etkenlerin oluşturduğu gerilimleri incelemiştir. Çalışmasında ayrıca otomotiv ve yerleşik uygulamalar için kullanılan pem hücresinde farklı kanal-kanal çubuğu oranlarının yakıt hücresi performansını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Sonuç olarak dar kanal-geniş kanal çubuğu oranlarının yerleşik uygulamalar için daha yüksek performans gösterdiğini elde etmiştir. [6]

Wang ve arkadaşları paralel ve içiçe geçmiş kanallarda katot tarafı akış kanalının genişlik-yükseklik değişiminin hücre performansına etkisini incelemiştir. Hücre potansiyelinin 0,7 V değerinden büyük olduğu durumlarda akış kanalı genişlik-derinlik oranının hücre performansına çok az etkisi olduğunu, 0,7 V 'dan küçük değerlerde ise performansta olan etkisini arttığını gösterdi. Çalışmasında uzun ve dar, geniş ve kısa, farklı sayılarda kanal tasarımlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda en iyi performans değerlerinin paralel akışlı kanal tasarımı için 0,3mm x0,3mm, içiçe geçmiş kanal için ise 1 mmx1 mm olan genişlik ve derinlik ölçülerinde olduğunu göstermiştir. [7]

Bu çalışmada hücre boyutu ve kanal derinliği sabit tutularak, kanal genişliği 0,6 mm, 0,7 mm ve 0,8 mm olan üç ayrı model hazırlandı. Modellerin 333K ve 353K işletme sıcaklığında hücre performansına etkisi incelendi.

2. SAYISAL MODELLEME (NUMERICAL MODEL)

Bu çalışmada FLUENT' in PEM Yakıt Hücresi (PEMFC) modülü kullanıldı. Modelde kütle, momentum, enerji ve elektrokimyasal eşitlikler çözüldü. Elektriksel yük dengesini ve PEM yakıt hücresindeki potansiyel dağılımını tanımlamak için yüklerin korunumu denklemi kullanıldı. PEM tipi yakıt hücresi için temel 3 boyutlu gaz iletim denklemleri aşağıda verilmiştir:

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi:

$$\varepsilon_{eff} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\varepsilon_{eff}}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \varepsilon_{eff} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + S_u \quad (2)$$

$$\varepsilon_{eff} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\varepsilon_{eff}}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + v \varepsilon_{eff} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + S_v \quad (3)$$

$$\varepsilon_{eff} \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\varepsilon_{eff}}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \varepsilon_{eff} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + S_w \quad (4)$$

Enerji denklemi:

$$\varepsilon_{eff} C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{k \varepsilon_{eff}}{\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S_e \quad (5)$$

Yüklerin korunumu denklemi:

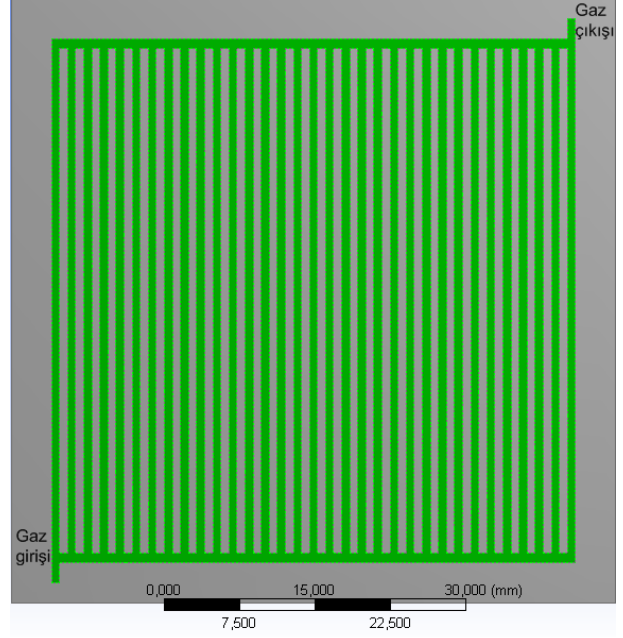
$$\varepsilon_{eff} \left(u \frac{\partial \phi_e}{\partial x} + v \frac{\partial \phi_e}{\partial y} + w \frac{\partial \phi_e}{\partial z} \right) = -S_\phi \quad (6)$$

Yukarıdaki formüllerde S_u, S_v, S_w, S_e, S_c ve S_ϕ kaynak terimleri, ε gözeneklilik, ϕ oluşan potansiyeldir.

3. MODEL ANALİZİ (MODEL ANALYSIS)

Modelde, üç boyutlu kararlı halde çalışan bir yakıt hücresi modeli kurularak kanal geometrisinin ve işletme sıcaklığının yakıt hücresi performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir.

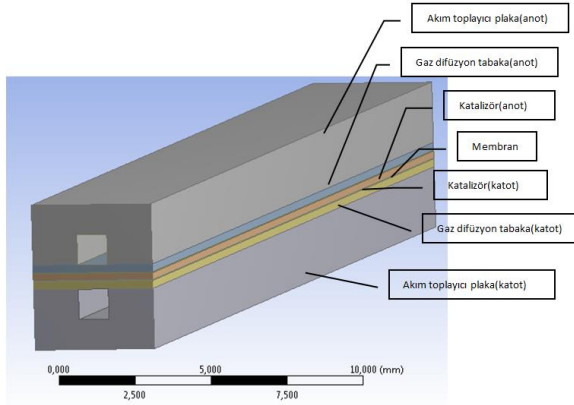
Analiz için kullanılacak katı model ve sonlu eleman modeli Gambit programı kullanılarak hazırlanmıştır. Simülasyon sonuçları FLUENT' in PEM Yakıt Hücresi (PEMFC) modelinde çalıştırılarak elde edilmiştir. Yakıt hücresi, eleman sayısının fazla olmasından dolayı, düz bir kanal şeklinde modellenmiştir. Şekil 1' de orijinal modele ait paralel akışlı akım toplayıcı plaka, Şekil 2' de ise düz bir kanal halinde modellenmiş yakıt hücre modeli görülmektedir. Şekil 3' de ise analizde kullanılan tek kanallı paralel- karşıt akışlı yakıt hücresi kesitine ait sonlu elemanlar yapısı verilmiştir. Özellikle sınır tabakalardaki sonuçları daha iyi gözlemlemek için gaz girişi ve çıkışlarında daha sık elemanlar kullanılmıştır.



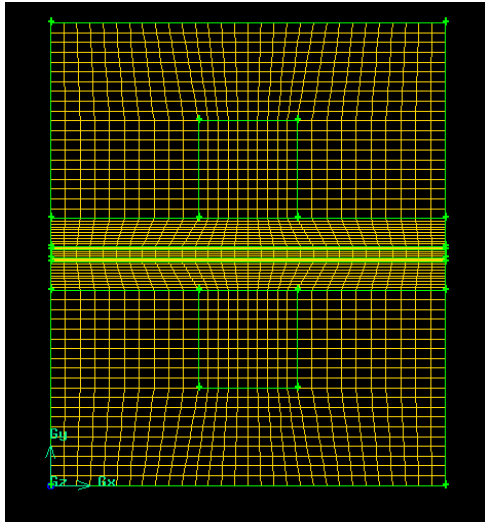
Şekil 1. Paralel akışlı akım toplayıcı plaka (Parallel-flow current collector plate)

Modellemede aşağıdaki kabuller göz önüne alınmıştır.

- Üç boyutlu inceleme yapılmıştır.
- Reaktan gazlar karşıt akışlıdır.
- Model yedi bölgeden oluşmaktadır: akım toplayıcı plaka (anot ve katot), katalizör (anot ve katot), gaz difüzyon tabaka (anot ve katot) ve membran.
- Sabit kütleli debi ve basınçta hidrojen anot girişine, sabit kütleli debi ve basınçta hava katot girişine verilmiştir.
- Sistem kararlı halde çalışmaktadır
- Tek faz da inceleme yapılmıştır.
- Gazlar için ideal gaz kanunları uygulanmıştır.
- Akışın laminar olduğu kabul edilmiştir.
- Akım toplayıcıları, gaz kanalları, katalizörler ve membran izotropik kabul edilmiştir.



Şekil 2. Örnek tek kanallı paralel akışlı yakıt hücresi modeli (Sample single-channel parallel flow fuel cell model)



Şekil 3. Modelde kullanılan yakıt hücresi kesitine ait sonlu elemanlar yapısı (Finite element structure of fuel cell section that used in the model)

Modellemede kullanılan geometrik özellikler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Modele ait geometrik özellikler (Geometrical model specifications)

Büyüklik	Değer(mm)
Akış kanalı derinliği	0.6
Akış kanalı genişliği	0.6, 0.7 ve 0.8
Akış kanalı uzunluğu	50
Gaz difüzyon tabakası kalınlığı	0.175
Katalizör tabakası kalınlığı	0.02
Membran kalınlığı	0.05

Modellemede kullanılan fiziksel ve elektrokimyasal özellikler ise Tablo 2 ' de verilmiştir.

Tablo 2. Modele ait fiziksel ve elektrokimyasal özellikler (Physical and electrochemical specifications of the model)

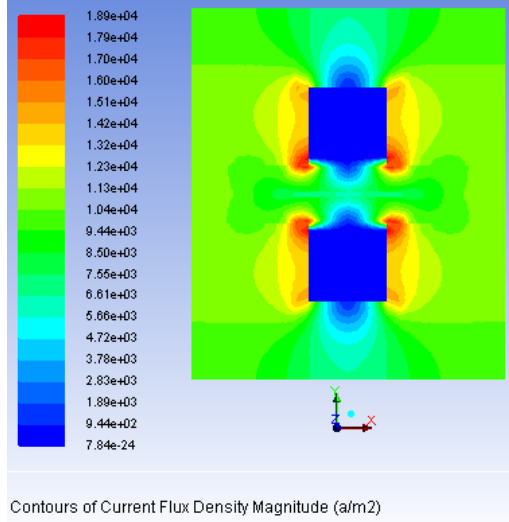
Gaz difüzyon tabakası gözenekliliği	0.5
Gaz difüzyon tabakası viskoz direnci	$1e+12$ 1/m ²
Katalizör tabakası gözenekliliği	0.5
Katalizör tabakası viskoz direnci	$1e+12$ 1/m ²
Katalizör tabakası yüzey /hacim oranı	200000 1/m
Referans H₂ yayınımı	3e-05 m ² /s
Referans O₂ yayınımı	3e-05 m ² /s
Referans H₂O yayınımı	3e-05 m ² /s
Referans akım yoğunluğu (anot)	7500 A/ m ²
Referans akım yoğunluğu (katot)	20 A/ m ²
Hesaplanan elektrolit alanı	0.003 m ²
Açık devre voltajı	0.95 V
İşletme basıncı	2 atm.
İşletme sıcaklığı	333K, 353 K
Hava giriş debisi	5.0e-6 kg/s
Yakıt giriş debisi	6.0e-7 kg/s

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Analizlerde anot gerilimi 0, katot gerilimi 0.45V, 0.50V, 0.55V, 0.60V, 0.65V, 0.70V, 0.75V, 0.80V, 0.85V ve 0.90 V değişken değerlerinde alındı. Her bir gerilim için 333K ve 353 K sıcaklıklarında, 0.6 mm, 0.7 mm ve 0.8 mm kanal genişliğine sahip yakıt hücresi modellerinde akım yoğunluğu ölçüldü. Anotta reaktan gazın yani hidrojenin kütleli debisi 0.8 hidrojen-0.2 su kütle kesri ile 6.0e-7 kg/s, katotta reaktan gazın yani havanın kütleli debisi 0.2 oksijen-0.1 su kütle kesri ile 5.0e-6 kg/s olarak alındı. Açık devre voltajı ise 0.95 V kabul edildi. Sınır şartları olarak kanal girişi sabit kütleli debi, çıkış şartı olarak sabit basınç alındı.

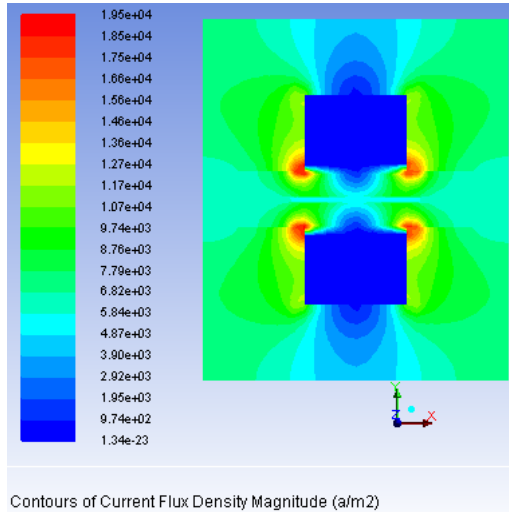
4.1. Kanal Genişliklerinin Hücre Performansına Etkisi (The effect of the channel width to cell performance)

Şekil 4'de T =353 K, P =2 atm. çalışma şartlarında 0.6 mm kanal genişliğindeki tek hücre modelinin orta noktasındaki (25mm) kesitte, akım yoğunluğunun kesit boyunca değişimi verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere anottan ayrılan elektronların yoğunluğu akım toplayıcı plaka kanal köşelerinde fazladır. Sebebi ise elektronlar en yakın yoldan devreyi tamamlamak istemektedir. Kanal kesiti üzerinde ise elektronların transferi için gerekli alan geniş olduğu için buralarda akım yoğunlukları daha az, gaz kanallarının iki yan bölgelerinde ise yine elektron transferi için alan dar olduğu için akım yoğunluğu buralarda biraz daha fazladır.



Şekil 4. T =353 K, P =2 atm, 0.6 mm kanal genişliğindeki hücrenin 0.65V potansiyelinde, verilen kesitte akım yoğunluğunun değişimi(T =353 K, P =2 atm, cell with 0.6 mm channel width and 0.65V potential, change of the density of the cross section)

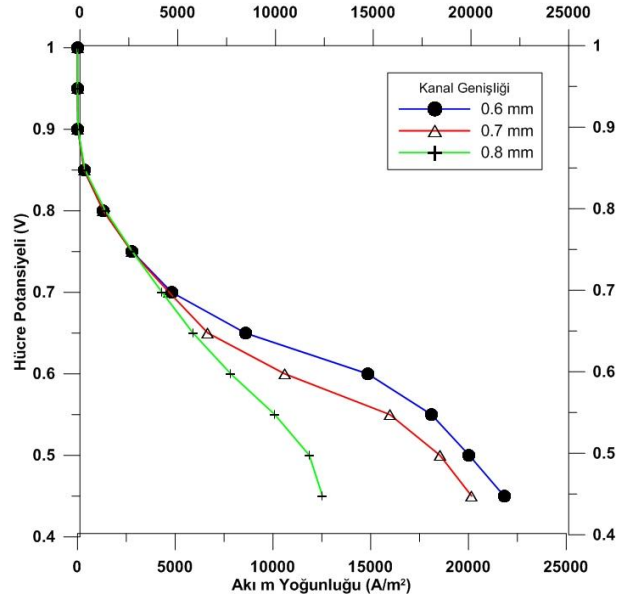
Şekil 5’de T =353 K, P =2 atm. çalışma şartlarında 0.8 mm kanal genişliğindeki tek hücre modelinin orta noktasındaki (25mm) kesitte, akım yoğunluğunun kesit boyunca değişimi verilmiştir. Yine şekilden de görüleceği üzere anottan ayrılan elektronların yoğunluğu akım toplayıcı plaka kanal köşelerinde fazladır. Ancak artan kanal genişliğinin, gaz kanallarının iki yan bölgelerindeki çubuk alanının daraltması sebebiyle daha düşük akım yoğunluğu elde edilmiştir.



Şekil 5. T =353 K, P =2 atm, 0.8 mm kanal genişliğindeki hücrenin 0.65V potansiyelinde verilen kesitte akım yoğunluğunun değişimi(T =353 K, P =2 atm, cell with 0.8 mm channel width and 0.65V potential, change of the density of the cross section)

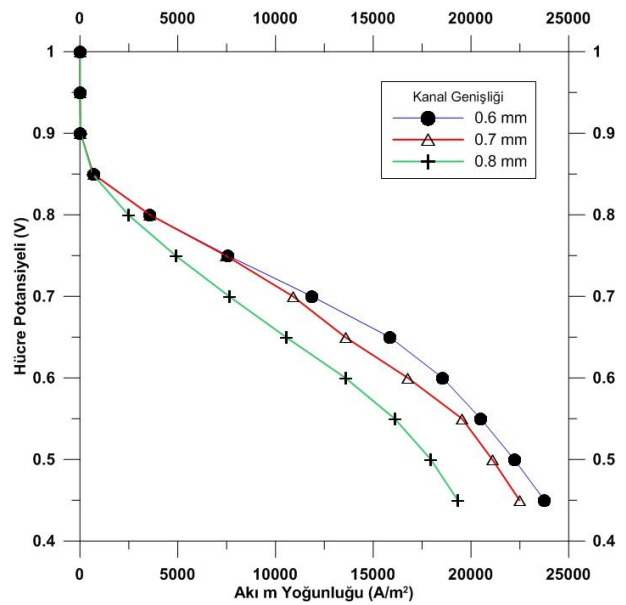
Şekil 6’da T =333 K, P =2 atm. çalışma şartlarında kanal derinliği sabit tutularak, 0.6 mm, 0.7 mm ve 0.8 mm kanal genişliklerinin değişen hücre potansiyeli

değerlerinden elde edilen akım yoğunlukları verilmiştir. Kanal genişliği azaldıkça gaz kanallarının yan bölgelerinin alanı arttığından elde edilen akım yoğunluğu artmıştır.



Şekil 6. T =333 K, P =2 atm çalışma şartları ve farklı kanal genişliklerinde V-I eğrisi(T =333 K, P =2 atm VI curve in working conditions and different channel width)

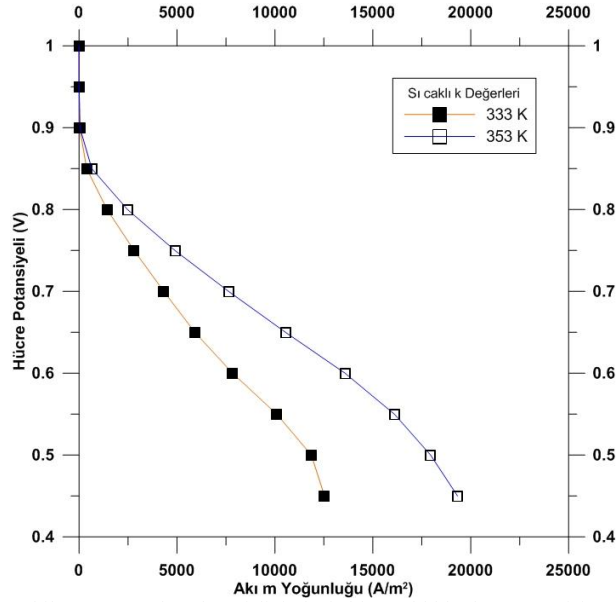
Şekil 7’de ise T =353 K, P =2 atm. çalışma şartlarında kanal derinliği sabit tutularak, 0.6 mm, 0.7 mm ve 0.8 mm kanal genişliklerinin değişen hücre potansiyeli değerlerinden elde edilen akım yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 7. T =353 K, P =2 atm çalışma şartları ve farklı kanal genişliklerinde V-I eğrisi(T =333 K, P =2 atm VI curve in working conditions and different channel width)

4.2. Sıcaklığın Hücre Performansına Etkisi (The effects of temperature to cell performance)

Şekil 8’ de $P = 2$ atm. çalışma şartında, $T = 333$ K ve $T = 353$ K olmak üzere iki farklı sıcaklık değerlerinde V-I eğrisi verilmiştir. Düşük akım yoğunluklarında sıcaklığın etkisi çok fazla değil iken yüksek sıcaklıklarda daha fazladır. Artan sıcaklıkla birlikte elektrokimyasal reaksiyonlar ve dolayısıyla akım yoğunluğu ve hücre performansı da artar. Ayrıca sıcaklık arttıkça limit akım değeri de artar. [8]



Şekil 8. 0.8 mm kanal genişliğinde farklı sıcaklıklarda V-I eğrisi (VI curve in 0.8 mm channel width and different temperature)

Yapılan modelleme sonucunda kanal genişliğinin artmasıyla birlikte sabit basınç ve verilen sıcaklık değerlerinde elde edilen akım yoğunluğu azalmıştır. Çalışma sıcaklığı $T = 333$ K ve $T = 353$ K değerlerinde iki ayrı analiz yapılmış, sonuçlar kıyaslanmıştır. Grafiklerden de görüleceği yüksek sıcaklıkta daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gevorkian, P., Sustainable Energy Systems Engineering, Mc Graw Hill, Usa, 233-234, 2007.
- [2] Taymaz, I., Benli, M., Numerical Study Of Assembly Pressure Effect On The Performance Of Proton Exchange Membran Fuel Cell, Energy, 35, 2134-2140, 2010.
- [3] He, W., Yi, J.S., Nguyen, T.V., Two Phase Flow Model Of The Cathode Of Pem Fuel Cells Using Interdigitated Flow Fields, Aiche Journal, 46, 2053-2064, 2000.

- [4] Yoon, Y.-G., Lee, W.-Y., Park, G.-G., Yang, T.-H., Kim, C.-S., Effects Of Channel Configurations Of Flow Field Plates On The Performance Of A Pemfc, Electrochimica Acta, 50, 709-712, 2004.
- [5] Güvenlioğlu, G.H., Stenger, H.G., Computational Fluid Dynamics Modeling Of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, Journal Of Power Sources, 147, 95-106, 2005.
- [6] Shimpalee, S., Van Zee, J.W., Numerical Studies On Rib&Channel Dimension Of Flow-Field On Pemfc Performance” International Journal Of Hydrogen Energy, 2006.
- [7] Wang, X.-D., Duan, Y.-Y., Yan, W.-M., Peng, X.-F., Effects Of Flow Channel Geometry On Cell Performance For Pem Fuel Cells With Parallel And Interdigitated Flow Fields, Electrochimica Acta, 53, 5334-5343, 2008.
- [8] Yuan, W., Tang, Y., Pan, M., Li, Z., Tang, B., Model Prediction Of Effects Of Operating Parameters On Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance, Renewable Energy, 35, 656-666, 2010.