

YAKIT DÖNÜŞTÜRÜCÜDE DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ DOĞALGAZ YAKITLI KATI OKSİTLİ YAKIT PİLİ DİZİNİ MODELLEMESİ

Mustafa Turhan ÇOBAN
Semih YILMAZ

ÖZET

Bu çalışmada yakıt dönüştürücüde dönüştürülmüş doğalgaz yakıtlı katı oksitli yakıt pili dizini modellenmiştir. Birim hücre baz alınarak analizler yapılmıştır.

Dönüştürülmüş doğalgaz ile çalışan üç boyutlu, düzlemsel, karşıt akışlı bir model dizayn edilmiştir. Modelde, katı oksitli yakıt pili dizinin akım yoğunluğu dağılımı, anot ve katot kütle gazları kütle dengesi, gaz kanalları momentum dengesi, gözenekli elektrotlardaki gaz geçişi, elektronik akım dengesi incelenmiştir.

Ayrıca anot ve katottaki gaz dağılımları, hız dağılımı, polarizasyon eğrisi, güç-voltaj ve güç akım yoğunluğu eğrileri incelenmiştir. Model, sonlu elemanlar yöntemiyle COMSOL 3.5a ticari yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Katı Oksitli Yakıt Pili, Doğalgaz Yakıtlı Yakıt Pilleri, 3 boyutlu CFD Analizi, 3 boyutlu yakıt pili analizi.

ABSTRACT

In this study , solid oxide fuel cell stack is modeled with prereformed natural gas. Analysis has been made, which is based on unit cell.

A model designed which is working with prereformed natural gas, 3D, planar and co-flow. At the model, range of the current density of solid oxide fuel cell stack, mass balance of anode and cathode gases, momentum equilibrium of gas channels, the gas transition in porous electrodes, electronic current balance are examined.

Further, gas dispersion in anode and cathode, velocity distribution, polarization curve, power-voltage and power-current curves are examined. The model performed by finite element method with support of COMSOL 3.5a commercial software.

Key Words: Fuel cell, Solid Oxide Fuel Cell, Natural Gas Fuel Cell, 3D CFD Analysis, 3D Fuel Cell Analysis

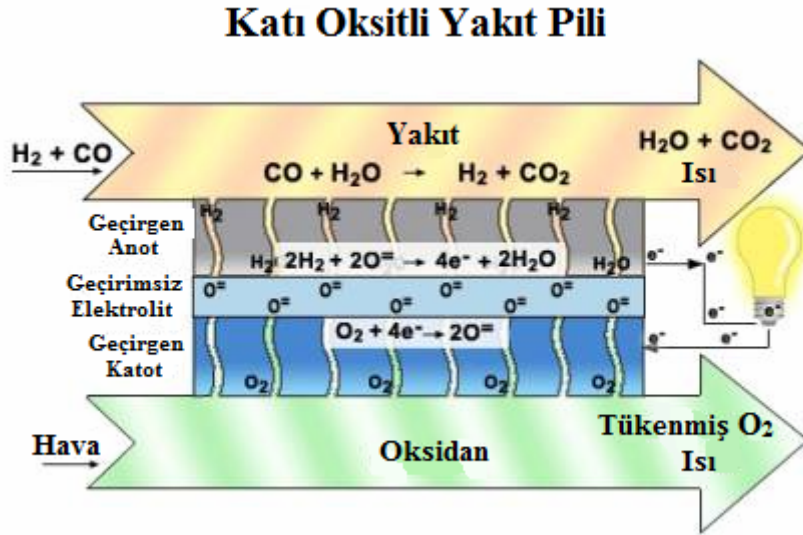
GİRİŞ

İnsanlık varoluşundan bu yana enerjiye ve onu üretecek araçlara ihtiyacı olmuştur. Ateşin bulunmasıyla başlayan süreçte enerji kaynağı olarak odun, kömür gibi katı yakıtlar, daha sonraları ise petrol ve doğalgaz kullanılmaya başlanmıştır. Elektriğin keşfi ile enerji kavramı daha farklı bir boyuta

taşınmıştır. Bu noktada yakıt pillerinin ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Çünkü dünyanın giderek daha fazla kirlendiği bilinmektedir ve bunun sonucunda da çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalınmaktadır. Eğer dünya üzerinde fosil yakıt tüketimi bu hızla devam edecek olursa çok yakın bir zamanda dünya aşırı ısınma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır. Bu yüzden fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve daha düşük emisyon değerlerine ulaşılması gerekmektedir. Bu da ancak yakıt pillerinin daha yaygın olarak kullanılmasıyla gerçekleşecektir.

Yakıt pilleri, verimli, ekonomik, sessiz ve çevre ile uyumlu enerji üretiminde kullanılan, gelecek kuşaklarda çok daha yaygın olarak kullanılacağı tahmin edilen önemli enerji üretim araçlarından biridir. Yakıt pilinde, yakıt gazlarındaki kimyasal enerji, düşük enerjili, minimum hareketli parçalar içeren ve hava kirliliğine sebep olmayan elektrokimyasal bir işlemde elektrik enerjisine dönüştürülür. Yakıt pilleri, bir enerji çevrim aracıdır. Gaz yakıtlardan elektrokimyasal tepkimelerle elektrik üretirler. Yakıt pili tipleri, Polimer Elektrolit Yakıt Pili (PEYP), Fosforik Asitli Yakıt Pili (FAYP), Molten Karbonatlı Yakıt Pili (MKYP), Katı Oksitli Yakıt Pili (KOYP) dir. Katı oksit yakıt pilleri ~1000 °C sıcaklıkta çalışırlar ve sıvı bir elektrolit yerine sert, seramik bir elektrolit kullanırlar. Katı elektrolitin her iki tarafı geçirgen özel elektrot maddeyle kaplanmıştır.

KOYP çalışma prensibi Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Katı Oksitli Yakıt Pili Çalışma Prensibi

Bu çalışmadaki amaç ise doğalgazı yakıt olarak kullanan düzlemsel bir katı oksitli yakıt pilini dizinini ele alıp, sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu olarak analiz etmektir. Bu maksatla, gerekli ön parametreler belirlenip, uygun olanlar çalışmada kullanılacaktır.

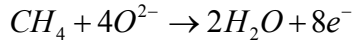
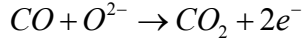
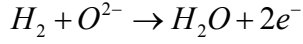
2. DOĞALGAZ YAKITLI KATI OKSİTLİ YAKIT PİLİ DİZİNİ MODELLEMESİ

Model bir katı oksitli yakıt pilindeki akım yoğunluğu dağılımıyla çalışır. Model, anot ve katottaki kütle dengesinin, gaz kanallarındaki momentum dengesinin, gözenekli elektrotlardaki gaz akışının, oksit iyon tarafından taşınan iyonik akım dengesinin birleşimini içerir.

2.1. Modelin Açıklanması

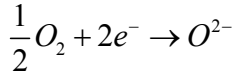
Bir KOYP ortasında bir elektrolit bulunan iki gözenekli gaz difüzyon elektrotundan (GDE) meydana gelir (Şekil 2) Burada yakıt girişi anottan yapılır. Anot ve katot birbirine göre ters akışlıdır. Anot tarafında yakıt dönüştürücüde dönüştürülmüş doğalgaz, katot tarafından ise hava geçmektedir. Pil içindeki kimyasal reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:

Anot:

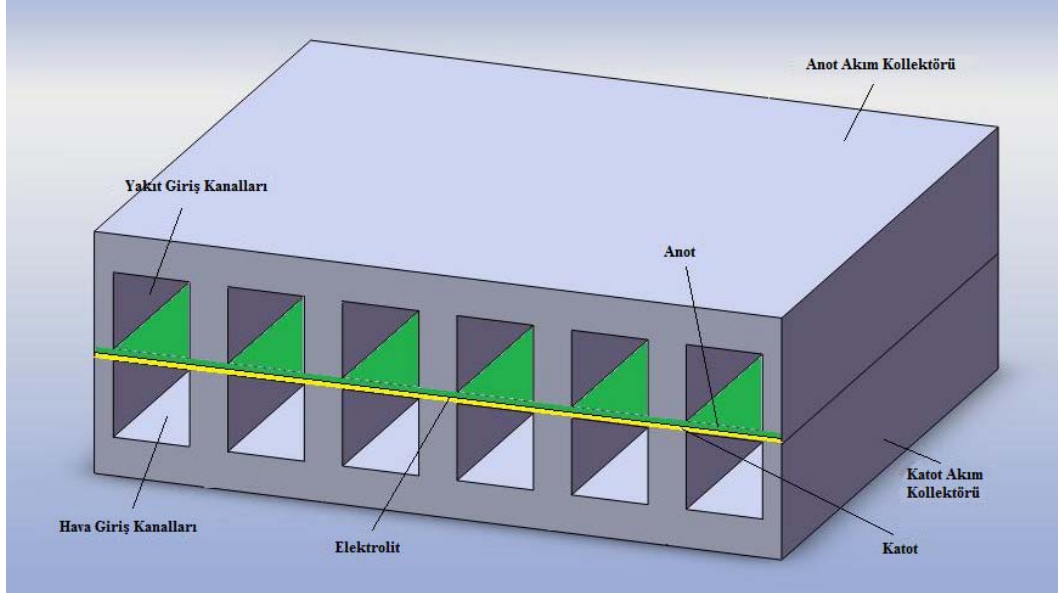


(1)

Katot:



(2)



Şekil 2. KOYP Birim Hücre Geometrisi.

CO elektrokimyasal reaksiyonu ihmal edilmiştir. Çünkü CO, su-gaz shift reaksiyonuna (Dussan Reaksiyonu) katılır. Bu yüzden de CO'ya nispeten daha çok H₂ ve CO₂ üretilir [1]. Ayrıca sadece H₂ yakıtlı yakıt pili ile %25 CO- %75 H₂ yakıt karışımı yakıt pili arasında performans farklılığı görülmemiştir [2],[3].

Model aşağıdaki süreçleri içerir:

- Elektronik yük dengesi (Ohm Kanunu)
- İyonik yük dengesi (Ohm Kanunu)
- Butler-Volmer yük transfer kinetikleri
- Gaz kanallarındaki akış dağılımı (Navier-Stokes)
- Gözenekli GDE'lerindeki akış (Brinkman denklemleri)
- Gaz kanallarındaki ve gözenekli elektrotlardaki gaz faz kütle dengesi (Maxwell-Stefan Diffusion and Convection)

2.2. Yük Dengeleri

Anot ve katot akım besleyicilerindeki elektronik yük dengesi şu şekilde verilir: [3],[4],[5]

$$\nabla \cdot (-\sigma_1 \nabla \phi_{elektronik}) = 0 \quad (3)$$

Denlemdaki σ_1 , akım besleyicisinin elektronik iletkenliğini ve $\phi_{elektronik}$, besleyicinin elektronik potansiyelini ifade eder. Benzer şekilde, iyonik iletkenlikte geçerli iyonik yük denkliği;

$$\nabla \cdot (-\sigma_2 \nabla \phi_{iyonik}) = 0 \quad (4)$$

şekindedir. Bu denlemdaki " σ_2 ", iyonik iletkenlik ve " ϕ_{iyonik} ", iyonik potansiyeldir. Anot ve katot GDE'unda elektronlar, iyonik iletim elektrolit fazı ve elektronik iletim fazı arasında iletilir. Bu, yük dengesi denklemlerinin akım kaynağı terimlerini aşağıdaki gibi içerdiğini gösterir: (Prinkey et al.,2004)

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (-\sigma_1 \nabla \phi_{elektronik}) &= S_a i_{ict} \\ \nabla \cdot (-\sigma_2 \nabla \phi_{iyonik}) &= S_a i_{ict} \end{aligned} \quad (5)$$

Denlemdaki " $S_a i_{ict}$ ", spesifik yüzey alanı olan " S_a "nın yük transfer yoğunluğu olan " i_{ict} " ile çarpımıyla gösterilir. Butler-Volmer yük transfer kinetiklerinin, yük transfer akım yoğunluğunu tanımladığını farz edelim. Anotta, hidrojen ve metan suya indirgenir ve aşağıdaki yük transfer kinetikleri denklemi şu şekilde uygulanır:

$$i_{a,ct} = i_{0,a} x_{h_2} \frac{c_t}{c_{h_2,ref}} + i_{0,a} x_{ch_4} \frac{4c_t}{c_{ch_4,ref}} \left(\left[\exp\left(\frac{0,5F}{RT} \eta\right) - \exp\left(\frac{-0,5F}{RT} \eta\right) \right] \right) \quad (6)$$

Bu denlemdaki " $i_{0,a}$ ", anot değişen akım yoğunluğu, (A/m^2), " x_{h_2} ", hidrojenin molar kesri, " x_{ch_4} ", metanın molar kesri, " c_t ", türlerin toplam konsantrasyonu, (mol/m^3) ve " $c_{h_2,ref}, c_{ch_4,ref}$ ", referans konsantrasyonudur (mol/m^3). Ayrıca "F", Faraday sabiti (C/mol), "R", gaz sabiti ($J/(mol \cdot K)$), "T", sıcaklık (K), ve " η " aşırı gerilimdir (V). Katot için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$i_{c,ct} = i_{0,c} \left[\exp\left(\frac{0,5F}{RT} \eta\right) - x_{o_2} \frac{c_t}{c_{o_2,ref}} \exp\left(\frac{-0,5F}{RT} \eta\right) \right] \quad (7)$$

Denlemdaki " $i_{0,c}$ ", katot değişim akım yoğunluğu (A/m^2) ve " x_{o_2} ", oksijen molar kesridir. Aşırı Gerilim şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \phi_{elektronik} - \phi_{iyonik} - \Delta\phi_{eq} \quad (8)$$

Burada " $\Delta\phi_{eq}$ ", denge potansiyel farkıdır (V). Anodun giriş sınırında potansiyel, sıfır referans potansiyeline sabitlenir. Katodun giriş sınırında, potansiyel hücre voltajına ayarlanır, " V_{cell} ". Denklemin şu şekildedir:

$$V_{cell} = \Delta\phi_{eq,c} - \Delta\phi_{eq,a} - V_{pol} \quad (9)$$

Denklem 9 deki “ V_{pol} ”, polarizasyondur. Bu modelde, anot ve katot başlangıç voltajları $\Delta\phi_{eq,a} = 0 V$ ve $\Delta\phi_{eq,c} = 0,95 V$ olarak kabul edilir. Yakıt pili voltaj aralığını ($0,2 V \leq V_{cell} \leq 0,9$), parametrik çözücü için polarizasyon voltaj aralığını $0,05 V$ ve $0,85 V$ olarak modelin çözümüne başlanır. İyonik yük denge denklemleri için, bütün dış sınırlara yalıtım sınır koşulu uygulanır. İç sınırlarda ise, akımda ve potansiyelde süreklilik varsayılan olarak ayarlanır.

2.3. Çok Bileşenli Taşınım

KOYP birçok farklı yakıtlarda çalışabilir. Bu model doğalgaz ve hava üzerinde çalışan bir birimi tanımlar. Anotta yakıt dönüştürücüde dönüştürülmüş doğalgaz yakıt olarak belirlenir. Burada doğalgaz beş bileşenden oluşur: metan, su buharı, hidrojen, karbon monoksit, karbon dioksit. Katotta ise oksijen ve nitrojen gibi iki bileşenden oluşan hava kabul edilir.

Bu çalışmadaki modelde bileşen taşınımı Maxwell-Stefan difüzyonu ve taşınım denklemleri ile tanımlanır. i türlerinin ağırlık oranlarının “ ω_i ” olmasına izin verelim. Sabit durumda kütle dengesi şu şekilde kullanılır: [4]

$$\nabla \cdot \left(\omega_i \rho u - \rho \omega_i \sum_{j=1}^k \bar{D}_{ij} \left(\frac{M}{M_j} \left(\nabla \omega_j + \omega_j \frac{\nabla M}{M} \right) + (x_j - w_j) \frac{\nabla p}{p} \right) \right) = R_i \quad (10)$$

Denklemdaki “ \bar{D}_{ij} ” Maxwell-Stefan dağılımından elde edilen ölçülen çok bileşenli Fick difüzyonunun “ ij ” bileşenini temsil ederken “ ρ ” akışkanın yoğunluğunu, “ p ” basıncı ve “ R_i ” i türleri için tepki kaynak terimini ve “ x_j ” j türlerinin molar kesrini temsil eder. Fick difüzyonu, kinetik gaz teorisi temel alınarak basitleştirilebilir: [6]

$$D_{ij} = k \frac{T^{1,75}}{p(v_i^{1/3} + v_j^{1/3})} \left[\frac{1}{M_i} + \frac{1}{M_j} \right]^{1/2} \quad (11)$$

Denklem 11 deki; $k = 3,16 \cdot 10^{-8} m^2 / s$ olarak alınır. “ M_i ”, i türlerinin molar kütlelerini, “ M_j ”, j türlerinin molar kütlelerini verir. Molar difüzyon katsayısı ile Fuller metodu ile belirlenir: [7]

$$D_{AB} = \frac{0,00143T^{1,75}}{pM_{AB}^{1/2}[(\sum_v)_B]^{1/3}} \quad (12)$$

Tablo 1. Hücre Gazları Molar Difüzyon Hacimleri

Hücre Gazı	Molar Difüzyon Hacmi (m^2/s)
CH ₄	25,14x10 ⁻⁶
H ₂ O	13,1x10 ⁻⁶
H ₂	6,12x10 ⁻⁶
CO	18,0x10 ⁻⁶
CO ₂	26,9x10 ⁻⁶
O ₂	16,3x10 ⁻⁶
N ₂	18,5x10 ⁻⁶

Ortalama mol kütlesi şu şekilde ölçülür:

$$M = \sum_{j=1}^k x_j M_j \quad (13)$$

Gazın ideal bir gaz olduğunu varsayarsak yoğunluk:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (14)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Açık kanallarda tepkime kaynağı terimi sıfıra ayarlanır. Ama GDE'lerinde kaynak terimi elektrokimyasal tepkime oranıyla verilir. Faraday'ın kanununa göre, yük transfer akım yoğunluğundan ölçülür:

$$R_i = V_i \frac{i_{ct,i} M_i}{n_i F} \quad (15)$$

Denklemden " V_i ", stokiyometrik katsayıdır ve " n_i " tepkimedeki elektronların sayısıdır. Gözenekli elektrotlarda efektif difüzyon hızı ise Bruggeman bağıntısı ile bulunur [7];

$$D_{i,eff} = D_i \varepsilon^{1,5} \quad (16)$$

Gaz kanallarının duvarlarındaki ve GDE'undaki sınır koşulları "sıfır kütle akımıdır" (Yalıtım durumu). Girişte, çıkış koşulu "konvektif akım" iken bileşim tayin edilir. Bu varsayım ile konvektif terimi bu sınıra dikey olarak taşınım olduğunu ifade eder. Bileşimdeki ve akımdaki devamlılık GDE ve kanallar arasında olan ara yüzeylerindeki bütün kütle denklemleri için uygulanır.

2.4. Gaz akış denklemleri

2.4.1 Açık hücre kanallarında akış

Açık kanallardaki akış analizlerinin gerçekleştirilmesinde Zayıfça sıkıştırılabilir Navier-Stokes denkliği kullanılmıştır: [8]

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[-pI + \mu \left((\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot u) I \right) \right] \quad (17)$$

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0$$

Denklemden " μ " dinamik viskozitedir (Pa·s).

Geçirgen tabakaların içindeki akış için Brinkman denkliği akış hızı tanımı:

$$\left(\frac{\mu}{\kappa} + Q \right) u = \nabla \cdot \left[-pI + \frac{\mu}{\varepsilon} \left(\nabla u + (\nabla u)^T - \frac{2}{3} (\nabla \cdot u) I \right) \right] \quad (18)$$

$$\nabla \cdot (\rho u) = Q$$

Formunu alır. Burada " ε " ve " κ " sırasıyla ortamın gözenekliliği ve geçirgenliğidir ve " Q ", kütle kaynak terimidir ve bu yük akım yoğunluğuyla aşağıdaki gibi ilişkilidir: [9]

$$Q = \sum_i S_a \frac{i_{ct,i} M_i}{\eta_i F} \quad (19)$$

Girişte ve çıkışta, akışkanı hareket ettirmek için girişte çıkışa oranla hafif bir basınç farkı belirlenir. (2 Pa anotta ve 4 Pa katotta).

2.5. Model Parametreleri ve Kabuller

Modeldeki katı yakıt oksit pili hücre modeli düzlemsel, karşıt akışlı ve anot destekli olarak belirlenmiştir. Anot tarafında akışkan olarak yakıt dönüştürücüde dönüştürülmüş doğalgaz, katot tarafında akışkan olarak hava kullanılmıştır. Anot akışkanı hücreye soldan, katot akışkanı ise sağdan girmektedir. Kabul edilen anot ve katot akışkanları mol oranları Tablo 2. ve Tablo 3.'de belirtilmiştir [9].

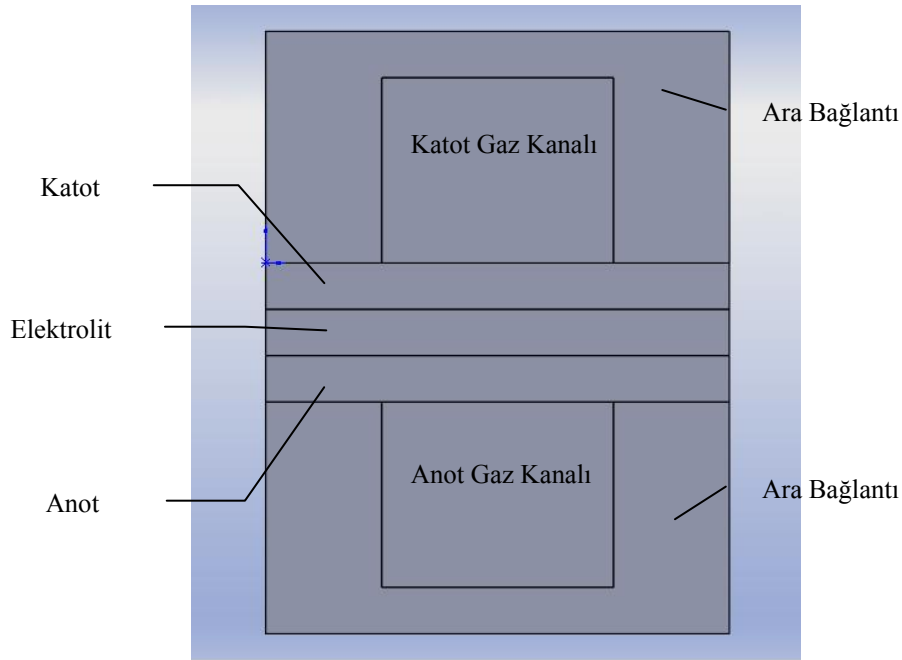
Tablo 2. Anot Tarafı Gazları Mol Oranları

Anot tarafı gazları	Mol oranı
CH ₄	0,171
H ₂ O	0,493
H ₂	0,263
CO	0,029
CO ₂	0,044

Tablo 3. Katot Tarafı Gazları Mol Oranları

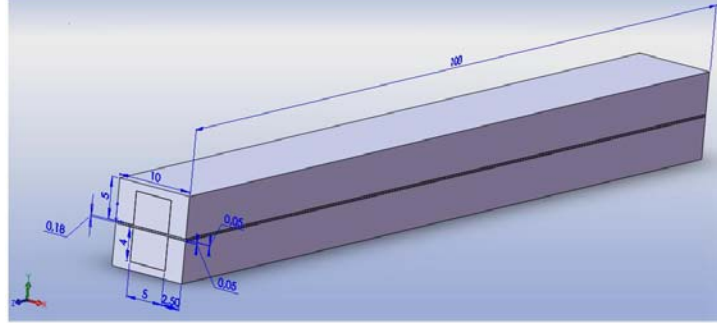
Katot tarafı gazları	Mol oranı
O ₂	0,21
N ₂	0,79

KOYP modelleri genellikle anot destekli, katot destekli ve elektrolit destekli olarak üç farklı biçimde tasarlanmaktadır. Burada 1000 °C ve altında çalışmaya uygun olması açısından elektrolit destekli tasarım düşünülmüştür [4]. Anot ve katot görece olarak çok daha ince seçilmiştir. Katı oksitli yakıt pili model çizimi ve ölçüleri Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de ayrıntılı bir biçimde belirtilmiştir.

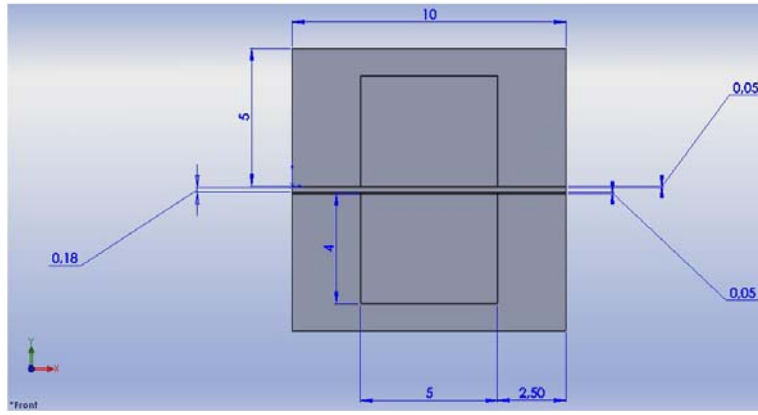


Şekil 3. Yakıt Pili Hücre Modeli Ön Görünüş

Yakıt pili hücresinde ara bağlantıları, anot, katot ve elektrolitin dış kısımları dış etkenlerden izole olduğu kabulü yapılmıştır. Bileşenler arası temas direnci ihmal edilmiştir. Kanallardaki akış laminar ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir. Işınım yoluyla ısı transferi ve kanallardaki yakıt kaçakları ihmal edilmiştir.



Şekil 4. Yakıt Pili Hücre Modeli Genel Görünüş Ölçüler



Şekil 5. Yakıt Pili Hücre Modeli Ön Görünüş Ölçüler

Anot, katot ve elektrolitin fiziksel ve elektrokimyasal özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4’de ayrıntıları ile gösterilmiştir [1],[4],[10].

Tablo 4. Anot, Katot ve Elektrolitin Fiziksel ve Elektrokimyasal Özellikleri

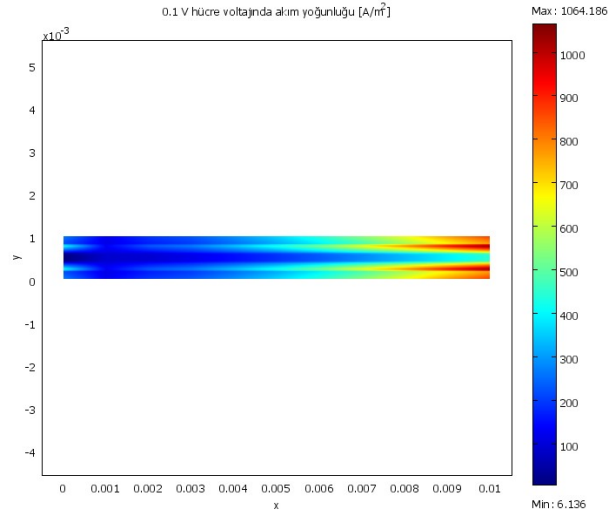
Hücre Bileşeni	Özellik	Değer
Anot	Malzeme	Ni/YSZ
	Elektriksel iletkenlik [S/m]	$\sigma_{anot} = \frac{9,5 \cdot 10^7}{T} \exp\left(\frac{-1150}{T}\right)$
	Geçirgenlik [m ² /Pa.s]	1,7.10 ⁻¹⁰
	Isıl İletkenlik [W/m.K]	6,2
	Yoğunluk [kg/m ³]	6200
	C _p [kJ/kg.K]	0,65
	Gözeneklilik, ε	0,4
	Spesifik Yüzey Alanı, Sa _a [1/m]	5e ⁵
	Denge Voltajı, Δφ _{eq,a} [V]	0
	Değişken Akım Başlangıç Değeri, i _{0,a} [A/m ²]	5300
Katot	Malzeme	Sr-dolgu Lu LaMnO ₃
	Elektriksel iletkenlik [S/m]	$\sigma_{katot} = \frac{4,2 \cdot 10^7}{T} \exp\left(\frac{-1200}{T}\right)$
	Geçirgenlik [m ² /Pa.s]	1,7.10 ⁻¹⁰
	Isıl iletkenlik [W/m.K]	9,6
	Yoğunluk[kg/m ³]	6000
	C _p [kJ/kg.K]	0,9
	Gözeneklilik, ε	0,4
	Spesifik Yüzey Alanı, Sa _a [1/m]	e ⁵
	Denge Voltajı, Δφ _{eq,c} [V]	0,85
	Değişken Akım Başlangıç Değeri, i _{0,c} [A/m ²]	2000
Elektrolit	Malzeme	Y ₂ O ₃ -dengeli ZrO ₂
	Elektriksel İletkenlik [S/m]	$\sigma_{elektrolit} = 3,34 \cdot 10^4 \exp\left(\frac{-10300}{T}\right)$
	Geçirgenlik [m ² /Pa.s]	-
	Isıl İletkenlik [W/m.K]	2,7
	Yoğunluk [kg/m ³]	5560
	C _p [kJ/kg.K]	0,3
Ara Bağlantı	Malzeme	LSC kaplı Haynes 230 alaşımlı çelik
	Elektriksel İletkenlik [S/m]	$\sigma_{ara\ bağlanti} = 9,3 \cdot 10^6 \exp\left(\frac{-1100}{T}\right)$
	Isıl İletkenlik [W/m.K]	9,6
	Yoğunluk [kg/m ³]	7700
	C _p [kJ/kg.K]	0,8

3. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

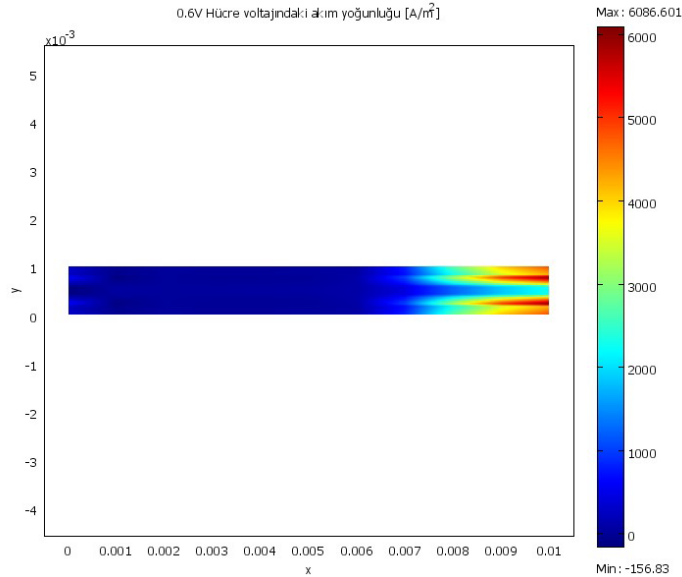
Çağımızda modern toplumların ilk ihtiyacı her zaman enerji olmuştur. Fakat enerji sürekli ve temiz olduğu zaman bir anlam kazanmaktadır. Bu manada konvansiyonel enerji üretimine karşı, katı oksitli yakıt pillerinin önemli avantajları olduğu açıktır. Bu çalışmada yakıt dönüştürücüde dönüştürülmüş doğalgaz yakıtlı katı oksitli yakıt pili dizini modellenmiştir. Birim hücre temel alınarak analizler

yapılmıştır. Model ise sonlu elemanlar yöntemiyle COMSOL 3.5a ticari yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

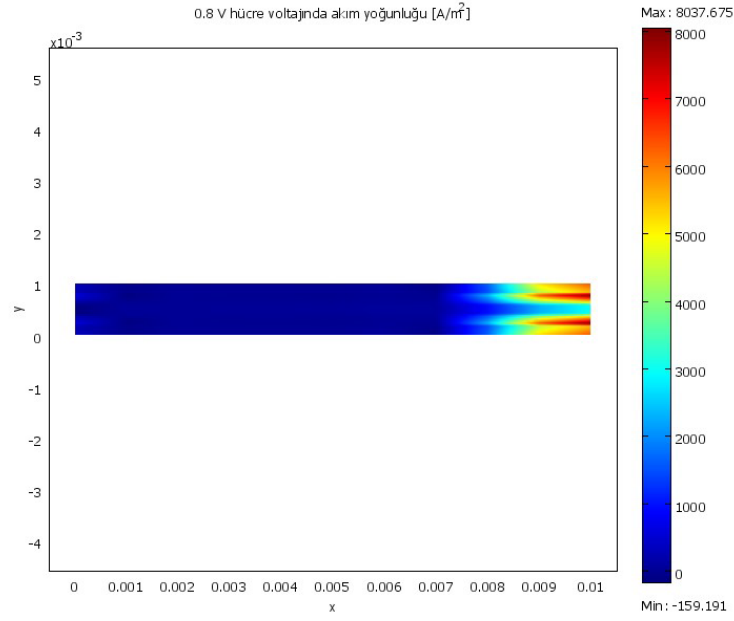
Dünyadaki uygulamalarından referans alınarak birim hücre geometrisi tasarlanmıştır. Anot tarafı akışkanı olarak dönüştürülmüş doğalgaz, katot tarafı akışkanı olarak hava düşünülmüştür. Anot ve katot tarafı gazlarının giriş ve çıkış kütle oranları incelenmiştir. Akım yoğunluğu dağılımı, 0,1 V, 0,6 V ve 0,8 V hücre voltajlarındaki Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'deki gibi oluşmuştur. Hücre voltajı arttıkça akım yoğunluğunda bir artış görülmekle birlikte, yoğunluk dağılımı da şekillerdeki gibi yer değiştirmektedir.



Şekil 6. 0,1 V Hücre Voltajında Akım Yoğunluğu

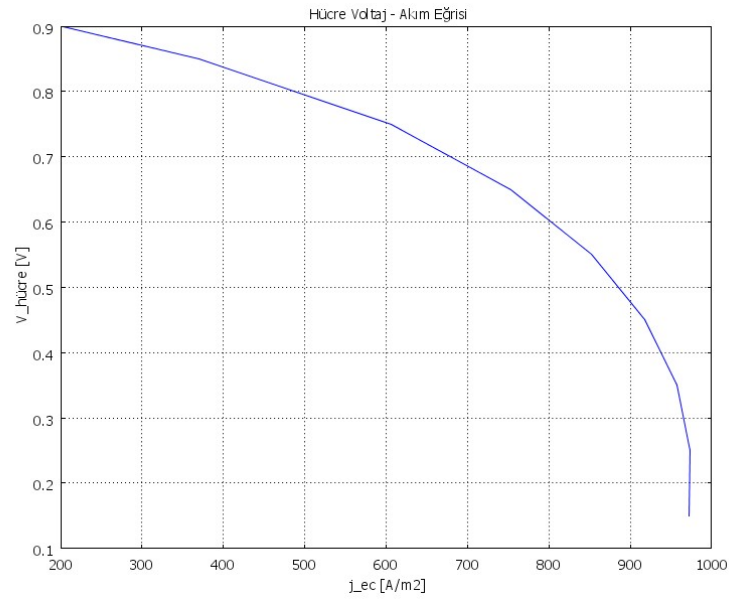


Şekil 7. 0,6 V Hücre Voltajında Akım Yoğunluğu

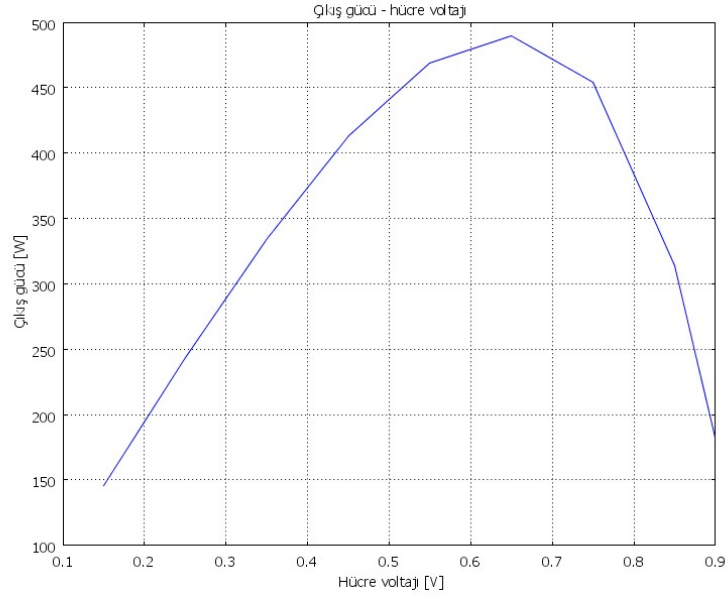


Şekil 8. 0,8 V Hücre Voltajında Akım Yoğunluğu

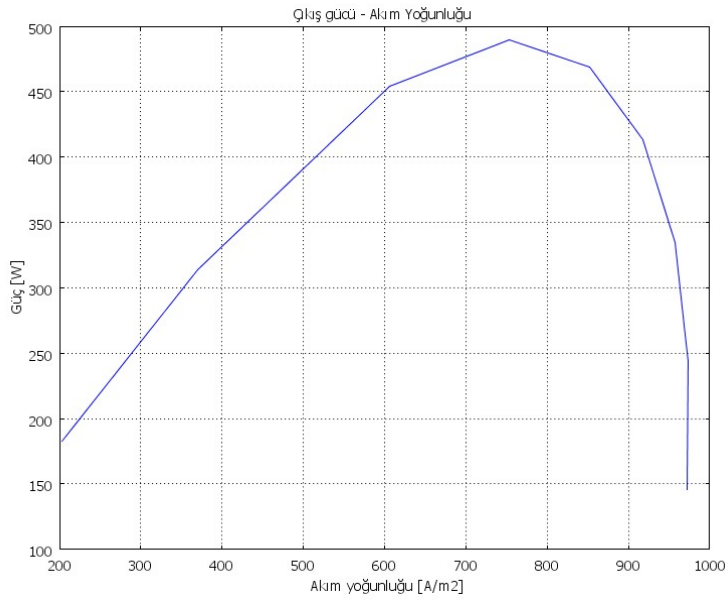
Polarizasyon eğrisi incelendiğinde, akım yoğunluğu arttıkça hücre voltajında bir düşüş olduğu gözlemlendi. (Şekil 4.43) çıkış gücü - hücre voltajı ve çıkış gücü - akım yoğunluğu eğrileri Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 9. KOYP Modeli Hücre Voltajı - Akım Eğrisi Grafiği



Şekil 10. KOYP Modeli Çıkış Gücü- Hücre Voltajı Grafiği



Şekil 11. KOYP Modeli Çıkış Gücü- Akım Yoğunluğu Grafiği

Maksimum güç çıkışının olduğu 0,65 V hücre voltajında, 650 A/m² akım yoğunluğuna ulaşıldığı ve güç çıkışı olarak 500 W değerinin elde edildiği simülasyon sonuçlarından görülmektedir. Katı oksitli yakıt pili teknolojileri henüz gelişme aşamasındadır. Doğalgaz yakıtlı KOYP'lerinin verimini tasarım geometrisi, boyutları, sıcaklık, anot-katot- elektrolit malzeme yapısı, yalıtım gibi faktörler değiştirmektedir. Malzeme bilimi ve nano-teknoloji geliştikçe, KOYP'leri hayatımızda daha çok yer alacaklardır.

KAYNAKLAR

- [1] Holtappels, P., DeHaart, L.G.J., Stimming, U., Vinke, I.C., Mogensen, M., “Reaction of CO/CO₂ gas mixtures on Ni-YSZ cermet electrodes, Journal of Applied Electrochemistry” 29(5):561–568pp., 1999.
- [2] Yakabe, H., Ogiwara, T., Hishinuma, M. and Yasuda, I. , 3D model calculation for planar SOFC. Journal of Power Sources 102:144–54pp, 2001.
- [3] Zhang, X., Li, G., Li, J., Feng, Z., “Numerical study on electric characteristics of solid oxide fuel cells, Energy Conversion and Management”, 48:977–989pp, 2007.
- [4] Kakaç S., Pramuanjaroenkij A., and Zhou X.Y., “A review of numerical modeling of solid oxide fuel cells”, International Journal of Hydrogen Energy 32:761 – 786pp, 2007.
- [5] Bove, R., and Ubertini, S., “Modeling solid oxide fuel cell operation: Approaches, techniques and results”, Journal of Power Sources 159:543–559pp, 2005.
- [6] Perry H.R., and Green W.D., “Perry’s Chemical Engineering Handbook, eighth edition, Mc-Graw Hill”, New York, 2735 p, 2008.
- [7] Poling B.E, Prausnitz M.J. and Reid R.C., “The Properties of Gases and Liquids fourth edition, Mc-Graw Hill”, New York, 753 p, 1987.
- [8] Janardhanan, V.M., and Deutschmann. O., “CFD analysis of a solid oxide fuel cell with internal reforming: coupled interactions of transport, heterogeneous catalysis and electrochemical processes”, Journal of Power Sources 162:1192–202pp, 2006.
- [9] Danilov, A.V. and Tade, O.M., “A CFD-based model of a planar SOFC for anode flow field design”, International Journal of Hydrogen Energy, 9p, 2009.
- [10] Huang, C.M., Shy, S.S., Lee, C.H., “On flow uniformity in various interconnects and its influence to cell performance of planar SOFC”, Journal of Power Sources 183:205–213pp, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Turhan ÇOBAN

1957 yılı seben, Bolu doğumludur. 1978 yılında Ege Üniversitesi Makine Fakültesi, Makine bölümünü bitirmiş, 1982 Yılında Michigan Teknik Üniversitesi (A.B.D.) Makine Mühendisliği ve Mühendislik Mekaniği bölümünden Yüksek lisans derecesi, 1986 Yılında Utah Üniversitesi (A.B.D.), Mühendislik fakültesi, makine mühendisliği bölümünden Doktora derecesi, 1995 Yılında Victoria Teknik Üniversitesi (Avustralya), Matematik Fakültesi, bilgisayar bölümünden Bilgisayar Mühendisliği Yüksek lisans derecesi almıştır. ARAS kompresör, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeotermal bölümü, Imperial Chemical Industries (Avustralya), Ceramic Fuel Cells Limited (Avustralya), TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde, Utah Üniversitesi (ABD) Makine mühendisliği, Ballarat Üniversitesi Mühendislik bölümü (Avustralya), Victoria Teknik Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü (Avustralya), Nebraska Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü(A.B.D.), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümlerinde çalışmıştır, Halen Ege Üniversitesi Makine Mühendisliğinde enerji konularında çalışmaktadır

Semih YILMAZ

23 Eylül 1985’te Ankara’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da yapmış, 2003 yılında Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’nden mezun olmuştur. Yükseköğrenimini 2003- 2007 yıllarında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde yapmış, 2007 yılında Erasmus bursu ile Rovira i Virgili Üniversitesi, Tarragona/İSPANYA’DA değişimli öğrenci olarak öğrenim görmüştür. Aynı yıl bölüm birincisi olarak mezun olmuştur. 2008 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başlamıştır. 2007–2008 yılları arasında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yrd. Doç. Dr. M. Turhan Çoban tarafından yürütülmekte olan “Doğalgaz Yakıtlı Katı Oksitli Yakıt Pili Sisteminin Geliştirilmesi” adlı DPT projesinde çalışmıştır. 2008 yılında SENKA ENERJİ LTD. ŞTİ. bünyesinde proje ve geliştirme mühendisi olarak işe başlamıştır, halen bu firmada iş hayatına devam etmektedir.