

SAVAŞ GEMİSİNDE YAKIT PİLİ SİSTEMİ İÇİN KİNETİK MODELLEMeye DAYALI OTOTERMAL REAKTÖRÜN OPTİMİZASYONU

Yrd.Doç.Dr. M.Turhan ÇOBAN, Y.Müh. Cüneyt EZGİ
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Telefon: (232) 388 85 62/5387, Fax: (232) 388 85 62
e-mail: turhan.coban@ege.edu.tr, cuneytezgi2002@yahoo.com
35100-Bornova/İzmir

ÖZET

Yakıt pilleri, savaş gemilerinde elektrik gücü üretimi için büyük potansiyel sağlar. Ototermlal reaktör, yakıt dönüşüm sisteminin çekirdeğini oluşturur. Günümüzde savaş gemileri, NATO F-76 dizel yakıtı kullanmaktadır. Bu çalışmada, NATO F-76 dizel yakıtlı katı oksitli yakıt pili sisteminde kullanılan ototermlal reaktörün kimyasal kinetik modellemeye dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Termodinamik hesaplamalar, ticari hesaplama aracı Comsol Reaction Engineering Lab. programı kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ototermlal yakıt dönüşümü, NATO F-76, Yakıt Pili, Kinetik Modelleme, CSTR, Optimizasyon

ABSTRACT

Fuel cells provide great potential for electric power generation on-board surface ships. Autothermal reformer (ATR) is the core of the fuel processing system. Today naval ships use F-76 marine diesel fuel. In this study, ATR in NATO F-76 diesel fuelled solid oxide fuel cell system was optimized based on chemical kinetic modeling. Our analysis determined reactor or catalyst volume based on chemical kinetic modeling of NATO F-76 for naval fuel cells. The thermodynamic calculations were made with a commercial calculation tool (Comsol Reaction Engineering Lab.) using $C_{14}H_{30}$ as model fuel and an enhanced set of considered species and thermodynamic data.

Keywords: Autothermal reforming, NATO F-76, Fuel cell, Kinetic Modeling, Optimization

1. GİRİŞ

Ekonomik ve çevresel faktörler, kara tipi uygulamalarda olduğu gibi gemilerde de güç üretimini iyileştirmeyi zorunlu kılmaktadır. Yakıt pili sistemleri en ümit verici enerji dönüşüm cihazları olarak dikkat çekmektedir.

Çeşitli tip yakıt pilleri içerisinde katı oksitli yakıt pillerinin verimi en yüksektir. Hidrojen, yakıt pilleri için ideal bir yakıttır. Ancak, yüksek depolama hacimleri gerektirmesi ve maliyetinin yüksek olması nedeniyle hidrojen elde edilebilecek yakıtlara ve yakıt dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Dizel, çok yüksek hidrojen hacimsel yoğunluğu ($100 \text{ kgH}_2\text{m}^{-2}$) ve gravimetrik yoğunluk (%15 H_2) nedeniyle en iyi hidrojen depolama sistemlerinden birisidir (Inyong ve Joongmyeon, 2006). Günümüzde NATO ülkelerinin savaş gemilerinde F-76 dizel yakıtı (en az % 12,5 H_2) kullanılmaktadır. NATO F-76 dizel yakıtı, toplam kükürt oranı (en fazla % 0,7) ve son kaynama noktası (en fazla $385 \text{ }^\circ\text{C}$) ile ifade edilir (TS 5996).

Ototermlal yakıt dönüştürücüde F-76 dizel yakıtın kinetik modellemesi için referans yakıt olarak tetradecane ($C_{14}H_{30}$) kullanılmıştır. Tetradecane, ağır hidrokarbona sahip oluşu ve mol kütlelerinin NATO F-76 dizel yakıtı çok yakın olması nedeni ile dizel yakıtı referans olarak kullanılmak üzere iyi bir seçimdir (Tablo 1).

Tablo 1. Lojistik yakıt özellikleri (*Steinfeld,2000)

Yakıt	Molekül Formülü	Mol kütlesi (g/mol)
NATO F-76 Dizel	$C_{14,8}H_{26,9}$ (*ortalama)	205
Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	198.39

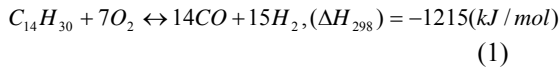
Tepkimenin gerçekleştiği tanka reaktör adı verilir. Tasarım denklemlerinin en önemli uygulamalarından birisi reaktör hacminin belirlenmesidir. Kimyasal reaktör tasarımında kimyasal termodinamik ve kimyasal kinetikten yararlanılır. Verilen bir reaksiyon kinetiği bilgisi ile reaktör ve/veya katalizör hacimlerini hesaplamak için arzu edilen molar akış debileri kullanılabilir. Ototermlal dönüşüm, kısmi oksidasyon ve buharlı dönüştürücünün bir kombinasyonudur. Hidrojen

üretimi için yakıtın, oksijen ve su buharı ile reaksiyonu **gerçekleşmelidir**. Ayrıca, yakıt oksidasyonu ve su-gaz dönüşüm reaksiyonlarının toplam mekanizma içerisinde önemli rol oynadığı kabul edilmektedir. (Lucas, 2008)

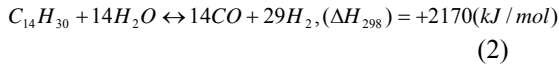
Bir ototermal dönüştürücü içindeki toplam ısı dengesi, ekzotermik ve endotermik reaksiyonların derecesini değiştirerek kontrol edilebilir. Böylece, ototermal dönüştürücü, buharlı dönüştürücüden farklı olarak dış ısı kaynağına ihtiyaç duymaz.

Ototermal dönüşümün avantajları, göreceli olarak yüksek verimli basit ve küçük reaktörler olmasıdır. Ayrıca, dizeli dönüştürmek için su ile oksijenin bulunması düşük kok oluşumu ihtimalini yaratır. Oksijen, hızlı bir ototermal reaksiyonunu kolaylaştırır. Ototermal reaksiyon ile üretilen hidrojen konsantrasyonu, kısmi oksidasyondan daha yüksektir.

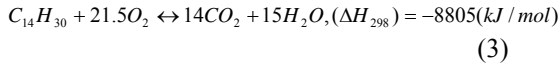
Kısmi oksidasyon reaksiyonu:



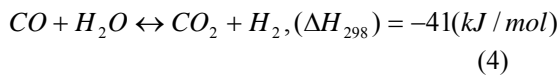
Buharlı yakıt dönüşüm reaksiyonu:



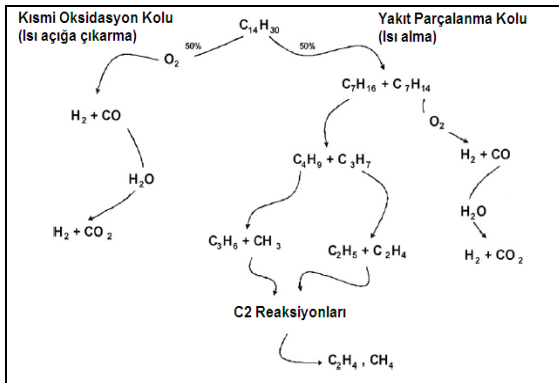
Yakıt oksidasyonu reaksiyonu



Su-gaz dönüşüm reaksiyonu



Reaksiyonların sırası Şekil 1.' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ototermal yakıt dönüşüm prosesinde ana reaksiyon yolları(Lucas, 2008)

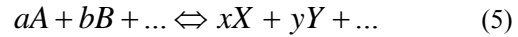
2. KİNETİK PARAMETRELER

Reaksiyonların nasıl, ne kadar hızlı ve hangi mekanizma ile yürüdüğü hakkında bilgi almak için reaksiyonların kinetiğini incelemek gerekmektedir. Toplam tepkime hızını, hız belirleyen basamak adı verilen en yavaş basamak belirler. Başka bir deyişle, bir zincir nasıl en zayıf halkası kadar sağlam ise bir karmaşık tepkime de en yavaş basamağı kadar hızlıdır. Bir tepkimenin başlayabilmesi için tepkimeye giren bileşenlerin sahip olmaları gereken en düşük enerjiye aktivasyon (etkinleşme) enerjisi denir. Aktivasyon enerjisi tepkimeye giren maddelerin iç enerjisini yükselterek onları daha aktif hale getirmektedir. Aktivasyon enerjisi verilmedikçe bir tepkime yürümez. Aktivasyon enerjisi ancak bir katalizör kullanılarak düşürülebilir. Bir tepkimenin sabit sıcaklıkta hızını arttırmak için uygulanan işleme kataliz, bu işlem için kullanılan maddelere katalizör adı verilir.

Katalizörün tepkime karışımı ile aynı fazda olduğu işleme homojen kataliz, ayrı fazda olduğu işleme ise heterojen kataliz denir. Basamak tepkimelerinde yer alabilen bir katalizör toplam tepkimede yer almadığından tepkime sonunda kimyasal bir değişikliğe uğramadan yeniden ortaya çıkmaktadır. Tepkime mekanizmasını değiştirerek hızın yükseltilmesine yol açan katalizörler toplam stoykiyometrik tepkimenin termodinamik niceliklerini değiştirmezler.

Reaksiyon hızı; reaksiyona giren maddelerden veya reaksiyon sonucu oluşan ürünlerden birinin (birim hacim, kütle vs. başına) birim zamandaki mol değişimidir. Reaksiyon hızı, tepkimeye giren bileşen cinsinden ifade edilirse harcanma hızı, tepkimeden çıkan bileşen cinsinden ifade edilirse oluşum hızı olarak da adlandırılır. Eğer reaksiyon sabit bir hacim içinde gerçekleşiyorsa reaksiyon hızı bileşenlerden herhangi birinin birim zamandaki konsantrasyonunun değişimi olacaktır.

j adet reaksiyon ve i adet madde içeren genel reaksiyon denklemi ve reaksiyon hızı;



$$r_j = -k_j^f \prod_{i \in \text{reaktan}} c_i^{v_{ij}^r} + k_j^r \prod_{i \in \text{ürün}} c_i^{v_{ij}^p} \quad (6)$$

Burada;

k_j^f , ileri, k_j^r ise geri hız sabitlerini,

c_i , i maddesinin konsantrasyonunu,

v_{ij}^r , reaktant, v_{ij}^p ürün konsantrasyonlarını ifade eder.

k, reaksiyon hız sabiti olup modifiye edilmiş Arrhenius bağıntısı ile verilmektedir.

$$k = A.T^n \exp\left(-\frac{E}{R_g T}\right) \quad (7)$$

k, reaksiyon hız sabiti (s^{-1})
 A, frekans faktörü (s^{-1})
 E, molar aktivasyon enerjisi (J/mol)
 R_g , **üniversal** gaz sabiti, 8,314 (J/molK)
 T, sıcaklık (K)
 T^n , sıcaklık faktörü
 n, sıcaklık üssü

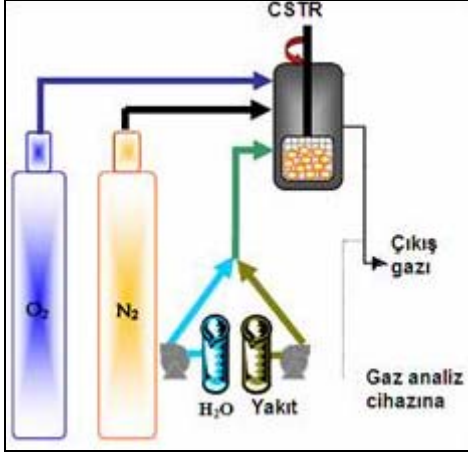
Ototermal reaktörde tüm mekanizma, toplam 58 adet reaksiyon ve 30 adet madde içermektedir. Reaktör, parçacıklı alüminyum oksit üzerine desteklenmiş platin katalizör içermektedir. Katalizör, reaksiyon mekanizmasını hızlandırmaktadır. Ototermal yakıt dönüşüm reaksiyon mekanizması Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Ototermal yakıt dönüşümü (Lucas, 2008)

S. No	Reaksiyonlar
1	$C_{14}H_{30} + 7O_2 \Leftrightarrow 15H_2 + 14CO$
2	$C_{14}H_{30} + 21.5O_2 \Leftrightarrow 15H_2O + 14CO_2$
3	$C_{14}H_{30} \Leftrightarrow C_7H_{16} + C_7H_{14}$
4	$C_{14}H_{30} + 14H_2O \Leftrightarrow 29H_2 + 14CO$
5	$C_7H_{16} + 7H_2O \Leftrightarrow 15H_2 + 7CO$
6	$C_7H_{14} + 7H_2O \Leftrightarrow 14H_2 + 7CO$
7	$C_2H_4 + 2H_2O \Leftrightarrow 4H_2 + 2CO$
8	$C_3H_6 + 3H_2O \Leftrightarrow 6H_2 + 3CO$
9	$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow 3H_2 + CO$
10	$CO + H_2O \Leftrightarrow CO_2 + H_2$
11	$C_7H_{14} + 3.5O_2 \Leftrightarrow 7H_2 + 7CO$
12	$C_7H_{14} + 10.5O_2 \Leftrightarrow 7H_2O + 7CO_2$
13	$C_7H_{16} + 3.5O_2 \Leftrightarrow 8H_2 + 7CO$
14	$C_7H_{16} + 11O_2 \Leftrightarrow 8H_2O + 7CO_2$
15	$C_7H_{16} \Rightarrow C_4H_9 + C_3H_7$
16	$C_7H_{14} + H \Rightarrow C_7H_{13} + H_2$
17	$C_7H_{13} \Rightarrow C_4H_7 + C_3H_6$
18	$C_4H_7 \Rightarrow C_2H_4 + C_2H_3$
19	$C_4H_9 \Leftrightarrow C_3H_6 + CH_3$
20	$C_4H_9 \Leftrightarrow C_2H_5 + C_2H_4$

21	$C_4H_9 \Leftrightarrow C_4H_8 + H$
22	$C_4H_8 \Leftrightarrow C_2H_3 + C_2H_5$
23	$C_3H_7 \Leftrightarrow CH_3 + C_2H_4$
24	$C_3H_7 \Leftrightarrow H + C_3H_6$
25	$C_3H_7 + O_2 \Leftrightarrow C_3H_6 + HO_2$
26	$CH_3 + H_2 \Leftrightarrow CH_4 + H$
27	$C_2H_5 + H \Leftrightarrow 2CH_3$
28	$CH_3 + H_2O \Leftrightarrow CH_4 + OH$
29	$CH_3 + C_2H_5 \Leftrightarrow CH_4 + C_2H_4$
30	$CH_3 + H_2 \Leftrightarrow CH_4 + H$
31	$CH_3 + HCO \Leftrightarrow C_2H_4 + O$
32	$O + H_2 \Leftrightarrow H + OH$
33	$CH_3 + OH \Leftrightarrow CH_4 + O$
34	$CH_3 + O \Leftrightarrow CH_2O + H$
35	$CH_2O + H_2 \Leftrightarrow CH_3 + OH$
36	$CH_2O + OH \Leftrightarrow HCO + H_2O$
37	$HCO + OH \Leftrightarrow CO + H_2O$
38	$HCO + H \Leftrightarrow CO + H_2$
39	$HCO + CH_3 \Leftrightarrow CH_4 + CO$
40	$HCO + O \Leftrightarrow CO_2 + H$
41	$C_2H_3 + H_2O \Leftrightarrow C_2H_4 + OH$
42	$HO_2 + H \Leftrightarrow OH + OH$
43	$HO_2 + O \Leftrightarrow OH + O_2$
44	$CH_3 + HO_2 \Leftrightarrow CH_4 + O_2$
45	$H_2 \Leftrightarrow H + H$
46	$C_2H_4 + H \Leftrightarrow CH + CH_4$
47	$C_2H_4 + OH \Leftrightarrow C_2H_3 + H_2O$
48	$C_2H_4 + CH_3 \Leftrightarrow C_3H_6 + H$
49	$C_2H_4 + O_2 \Leftrightarrow C_2H_3 + HO_2$
50	$C_2H_4 + H \Leftrightarrow C_2H_3 + H_2$
51	$C_2H_4 \Leftrightarrow C_2H_2 + H_2$
52	$C_2H_4 + HO_2 \Leftrightarrow C_2H_5 + O_2$
53	$C_2H_4 \Leftrightarrow C_2H_3 + H$
54	$C_2H_4 + OH \Leftrightarrow C_2H_4OH$
55	$C_2H_4 + C_2H_3 \Leftrightarrow C_4H_7$
56	$C_2H_4 + H_2 \Leftrightarrow 2CH_3$
57	$C_2H_4 + H \Leftrightarrow CH_2(S) + CH_3$
58	$C_2H_4 + CO \Leftrightarrow CH_2(S) + CH_2CO$

Ototermal dönüşüm sistemi şeması Şekil 2.'de gösterilmiştir.

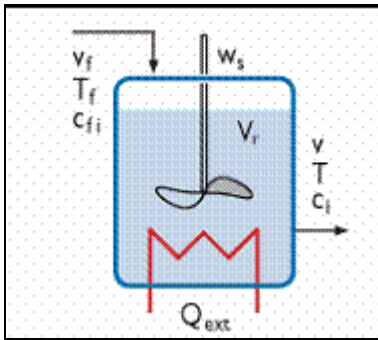


Şekil 2. Ototermal dönüşüm sistem şeması

3. REAKTÖR TASARIMI

Katı oksitli yakıt pil sisteminde yer alan ototermal yakıt reaktörü (ATR), yakıt dönüşüm sisteminin çekirdeğini oluşturur ve boyutlandırması önem arz etmektedir. Reaktör tasarımının temel amacı, en uygun ve ekonomik reaktör tipini seçmek ve reaktör hacmini belirlemektir. Katalitik reaksiyonda, reaktör hacmi katalizör hacmi ile ifade edilir (Robert, 1997).

Reaktör tipi, sürekli karıştırılmalı tank reaktörü (CSTR)'dir (Şekil 3). CSTR reaktörü, kararlı hal akış cihazıdır. Reaktör, kararlı halde çalıştığından içerisinde birikme olmaz. İdeal CSTR mükemmel karışım gösterdiğinden çıkış kompozisyonu, reaktörün herhangi bir noktasındaki kompozisyonla aynıdır. Modelde; CSTR, mükemmel karışimli, izotermal, adyabatik ve sabit hacimli bir reaktör olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Sürekli karıştırılmalı tank reaktörü

Maddelerin kütleli dengesi :

$$\frac{d(c_i V_r)}{dt} = v_{f,i} c_{f,i} - v c_i + R_i V_r \quad (8)$$

Burada,

c_i , molar konsantrasyon (mol/m^3)

V_r , reaktör hacmi (m^3)

v_f , giren akışkanın hacimsel akış debisi (m^3/s)

v , çıkan akışkanın hacimsel akış debisi (m^3/s)

R_i , i maddesinin hızı ($\text{mol}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)

Q_{ext} , sisteme **birim zamanda** eklenen ısı (J/s)

Reaktör hacmi sabit olduğundan:

$$\frac{dV_r}{dt} = 0 \quad (9)$$

yazılabilir.

Hacimsel akış debisi:

$$v = \sum v_{f,i} + v_p \quad (10)$$

v_p (m^3/s), reaksiyondan dolayı oluşan hacimsel üretim hızını göstermektedir.

$$v_p = \frac{R_g T}{p} \sum_j \sum_i v_{ij} r_j V_r \quad (11)$$

Burada;

v_{ij} , j reaksiyonunda i maddesinin stoykiyometrik katsayısı,

M_i , i maddesinin mol kütlesi (kg/mol),

ρ_i , i maddesinin yoğunluğu (kg/m^3),

r_j , j reaksiyonunun hızı ($\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$)

Örneğin; 1 ve 2 numaralı reaksiyonlar için hız ve stoykiyometrik katsayılar sırasıyla,

$$r_1 = k_{f1} (c_{C_{14}H_{30}})(c_{O_2})^7$$

$$r_2 = k_{f2} (c_{C_{14}H_{30}})(c_{O_2})^{21.5}$$

$$v_{i1} = (-1) + (-7) + (15) + (14) = 21$$

$$v_{i2} = (-1) + (-21.5) + (15) + (14) = 6.5$$

olmaktadır. İdeal bir gaz için, maddelerin molar hacmi (m^3/mol) bütün maddeler için aynıdır.

$$\frac{M_i}{\rho_i} = \frac{R_g T}{p} \quad (12)$$

Denklem, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_r \frac{dc_i}{dt} = v_{f,i} c_{f,i} - \left(\sum v_{f,i} + v_p \right) c_i + R_i V_r \quad (13)$$

Örneğin; C₁₄H₃₀ ve O₂ için hız ifadeleri sırasıyla,

$$R_{C_{14}H_{30}} = -r_1 - r_2 - r_3 - r_4$$

$$R_{O_2} = -7(r_1) - 21.5(r_2) - 3.5(r_{11}) - 10.5(r_{12}) - 3.5(r_{13}) - 11(r_{14}) - r_{25} + r_{43} + r_{44} - r_{49} + r_{52}$$

olmaktadır. Ototermal reaktörün performansını etkileyen bağımsız parametreler, giriş besleme sıcaklığı, Buhar/karbon (S/C), Oksijen/karbon (O₂/C) ve basınçtır (Bijan, 2003). 120 kW güç üreten katı oksitli yakıt pili sistemi için reaktör parametreleri Tablo 3.'de verilmiştir (Çoban ve Ezgi, 2008)

Tablo 3. ATR reaktör parametreleri

Sıcaklık	973.15 K
S/C	3.5
O ₂ /C	0.3
Qext	0
Basınç	1.2 bar

Katı oksitli yakıt pili sisteminde 120 kW elektrik güç üretimi için giriş ve çıkış maddeleri akış oranları Tablo 4 ve 5'de verilmiştir (Çoban ve Ezgi, 2008)

Tablo 4. ATR giriş gaz akış oranları

BİLEŞEN	kg/h	m ³ /h	mol/h
DİZEL	30	12,29	146
O ₂	17,79	45	554
N ₂	58,55	169,71	2086
H ₂ O	119,36	542,54	6615

Dizel yakıtın ototermal yakıt dönüştürücüdeki termodinamiği HSC Chemistry programı kullanılarak hesaplanmıştır. Programdan alınan oranlar Tablo 5.'te verilmiştir. Tablo 5'te görülen H₂ konsantrasyonu, reaktör çıkışında elde edilmiştir.

Tablo 5. ATR çıkış gaz akış oranları

Dönüşen gaz	kmol/kmoldizel	mol/m ³
Hidrojen	26,086	3.60

Karbonmonoksit	4,3922	0.65
Azot	14,290	2.11
Su	31,413	4.64
Karbondioksit	8,5549	1.26

Yakıt dönüştürme işleminde bir diğer önemli parametre boşluk hızıdır (SV). Endüstride yaygın olarak kullanılan iki hız kavramı vardır. Bunlar, saatlik sıvı boşluk hızı (LHSV) ve saatlik gaz boşluk hızlarıdır (GHSV).

$$SV = \frac{v_o}{V} \quad (14)$$

Burada;

SV, boşluk hızı (h⁻¹)

v_o, hacimsel akış debisi (m³/h)

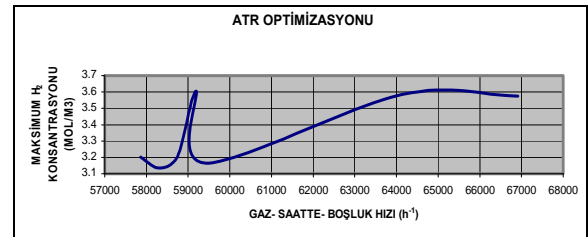
V, reaktör (katalizör) hacmi (m³)

4. SONUÇLAR

Model hesaplamaları, ticari yazılım COMSOL Reaction Engineering Lab® ile yapılmıştır. 120 kW güç üreten katı oksitli yakıt pili sisteminde maksimum hidrojen konsantrasyonu için optimum ototermal reaktör hacmi 14 litre bulunmuştur. Bilgisayar destekli ATR reaktörü optimizasyon sonuçları, Tablo 6 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Maksimum ürün konsantrasyonu, reaktantlar reaktöre girdikten 0.5 saniye sonra oluşmaktadır.

Tablo 6. ATR reaktörü optimizasyonu

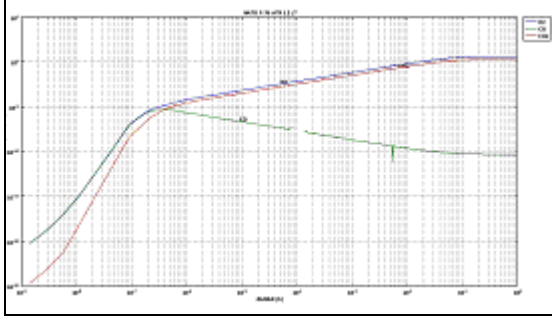
Reaktör hacmi (litre)	Gaz boşluk hızı, GHSV (h ⁻¹)	Konsantrasyon H ₂ (mol/m ³)	Reaktörde kalma süresi t (s)
11.5	66916	3.575	0.30
12	64128	3.585	0.31
12.95	59423	3.165	0.34
13	59195	3.605	0.5
13.1	58743	3.205	0.45
13.2	58298	3.135	0.41
13.3	57860	3.201	0.43



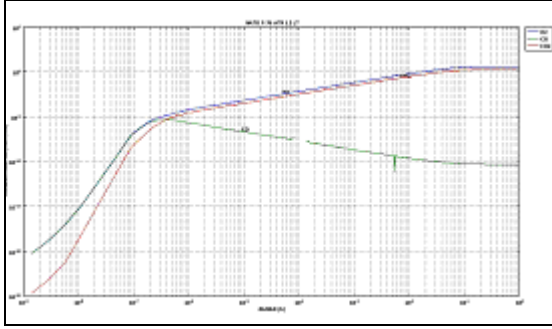
Şekil 4. Maksimum H₂ konsantrasyonu- GHSV

Giriş ve ürün konsantrasyonları için model tarafından üretilen maddelerin konsantrasyon profili,

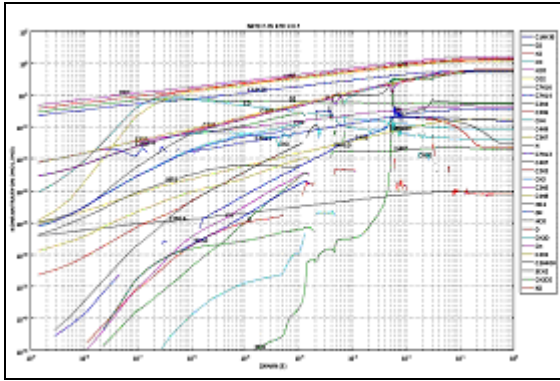
700 °C sabit sıcaklıkta ve 13 litre reaktör hacmi için Şekil 5-8'de gösterilmiştir.



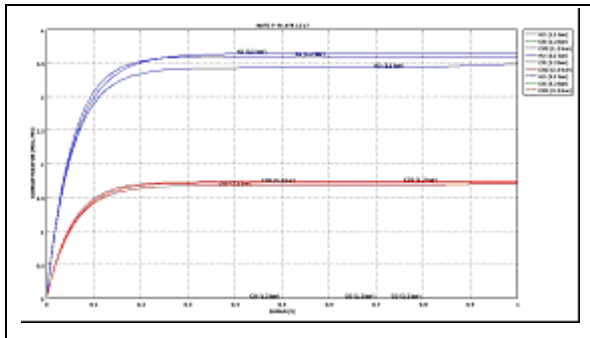
Şekil 5. Reaktant konsantrasyonu-zaman eğrisi



Şekil 6. Ana ürün konsantrasyonu-zaman eğrisi



Şekil 7. Tüm gaz konsantrasyonu-zaman eğrisi



Şekil 8. Ana ürün konsantrasyonu-zaman eğrisi (farklı basınçlarda)

5. KAYNAKLAR

A. Cuttillo, S. Specchia, M. Antonini, G. Saracco, V. Specchia, Diesel fuel processor for PEM fuel cells: Two possible alternatives (ATR versus SR), Journal of Power Sources 154 (2006) 379–385

B. Todd, J.B. Young, Thermodynamic and transport properties of gases for use in solid oxide fuel cell modelling, Journal of Power Sources 110 (2002) 186–200

Bijan F. Hagh, Optimization of autothermal reactor for maximum hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy 28 (2003) 1369 – 1377

COMSOL Reaction Engineering Lab User's Guide © COPYRIGHT 1994–2006 by COMSOL AB

Çoban, M., Turhan, Ezgi, Cuneyt, Suüstü savaş gemisinde yardımcı makina olarak dizel yakıtlı SOFC tasarımı ve termodinamik analizi, IV. Ege Enerji Sempozyumu ,İzmir, (2008) 491-501

Inyong Kang, Joongmyeon Bae, Autothermal reforming study of diesel for fuel cell application, Journal of Power Sources 159 (2006) 1283–1290

Lucas Dorazio, Marco J. Castaldi, Autothermal reforming of tetradecane (C14H30): A mechanistic approach, Catalysis Today 136 (2008) 273–280

Marco J. Castaldia, Rene LaPierreb, Maxim Lyubovskib, William Pfefferleb, Subir Roychoudhury, Effect of water on performance and sizing of fuel-processing reactors, Catalysis Today 99 (2005) 339–346

MIL-DTL-16884L, Detail Specification Fuel, Naval Distillate, 23 October 2006,

NATO Standardization Agreement (STANAG) Stanag No:1385 (Edition 3), Guide Specifications (Minimum Quality Standards) For Naval Distillate Fuels, 20 April 2006

Robert J.Farrauto, Calvin H.Bartholomew, Fundamentals of Industrial Catalytic Processes, Blackie Academic & Professional, 1997

Steinfeld G, Sanderson R, Ghezal-Ayagh H, Abens S, Cervi MC. Distillate fuel processing for marine fuel cell applications. AICHE spring 2000 meeting, 5–9 March 2000, Atlanta, GA, USA.

TS 5996, Askerî Yakıtlar - Dizel Yakıtı - F-76 – Askerî Deniz Araçları İçin, Nisan 2007