

**20 KW ÇIKIŞLI, DOĞAL GAZ YAKITLI, KATI OKSİTLİ YAKIT PİLİ SİSTEMİ
DİZAYN PARAMETRELERİNİN OLUŞTURULMASI VE SİSTEM
PERFORMANSLARININ HESABI
Yard. Doç. Dr. M. Turhan ÇOBAN**

**EGE Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
turhan.coban@ege.edu.tr**

ÖZET

Bir evin elektrik ihtiyacını şehir şebekesinden gelen doğal gazı kullanarak karşılayabilecek olan 20 KW kapasiteli bir katı oksitli yakıt pili sistemi dizayn parametreleri incelenmiş, optimum değerler saptanmaya çalışılmıştır, sistemin son dizaynı ısı ve elektrik tasarımı burada oluşturduğumuz dizayn parametreleri kullanılarak oluşturulacaktır.

Anahtar Kelimeler: yakıt pili, SOFC, doğal gaz, elektrik santrali, enerji

1. GİRİŞ

Bu projede bir evin elektrik ihtiyacını şehir şebekesinden gelen doğalgazı kullanarak karşılayabilecek olan 20 KW kapasiteli katı oksitli yakıt pili (SOFC) sisteminin dizayn şartları belirlenecektir. Bu amaçla öncelikli olan dizayn parametreleri oluşturulduktan sonra bu parametreler için akış kimyasal dönüşüm ve enerji dengeleri irdelenecektir.

Yakıt pilleri, fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiminde hem yeni, hem de verimli dönüşüm gösterdiğinden gelecek vaat etmektedir. Yakıt pilleri, kimyasal reaksiyonun enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren aygıtlardır. Temel bir yakıt hücresinde, gaz yakıtlar anottan (negatif elektrodan) devamlı olarak beslenirken, oksitleyici (Hava veya oksijen) gazlarda katoddan (pozitif elektrodan) devamlı olarak gönderilir. Elektrik akımını oluşturmak için elektronlarda elektro kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bir yakıt pili, bilinen bataryalardan bazı yönleri ile farklılıklar gösterir. Batarya bir tür enerji depolama aygıtı olup, kendisinde depolanmış kimyasal enerjinin miktarı ile belirlenen maksimum enerjiyi depolar. Bu nedenle batarya depolanmış kimyasal enerji bitene kadar (deşarj) elektrik enerjisi üretmeye devam edecektir. Yakıt pili yakıt ve yakıcının elektrodalarda bulunduğu süre boyunca elektrik enerjisini üretme yeteneğine teorik olarak sahip olan enerji dönüşüm aygıtıdır.

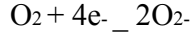
Birtakım yakıt hücreleri halen geliştirilmektedir. Bunlar genellikle hücrelerinde kullanılan elektrolitlere göre sınıflandırılmaktadır. Şu anda üzerinde çalışılan başlıca yakıt pilleri türleri şunlardır :

1. Proton değişim membranlı (PEM) veya katı polimer elektrolitli yakıt pili (SPEFC)
2. Alkali yakıt pili (AFC)
3. Fosforik asit yakıt pili (PAFC)
4. Erimiş karbonat yakıt pili (MCFC)
5. Katı oksitli yakıt pili (SOFC)

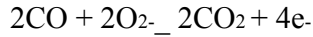
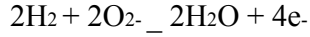
Bu dizaynda biz katı oksitli yakıt pili (SOFC) sistemi kullanacağız.

Bu yakıt pilindeki elektrolit genellikle Zirkonyumoksit (ZrO_2) ile kararlı kılınmış yitriyum oksit (Y_2O_3) gibi katı bir metal oksittir. Bu tür metal oksitlere seramik denildiğinden katı oksitli yakıt pilleri seramik yakıt pilleri olarak da bilinir. Anot elektrik aktivasyonunu sağlayan nikel karıştırılmış zirkonyum seramiğinden

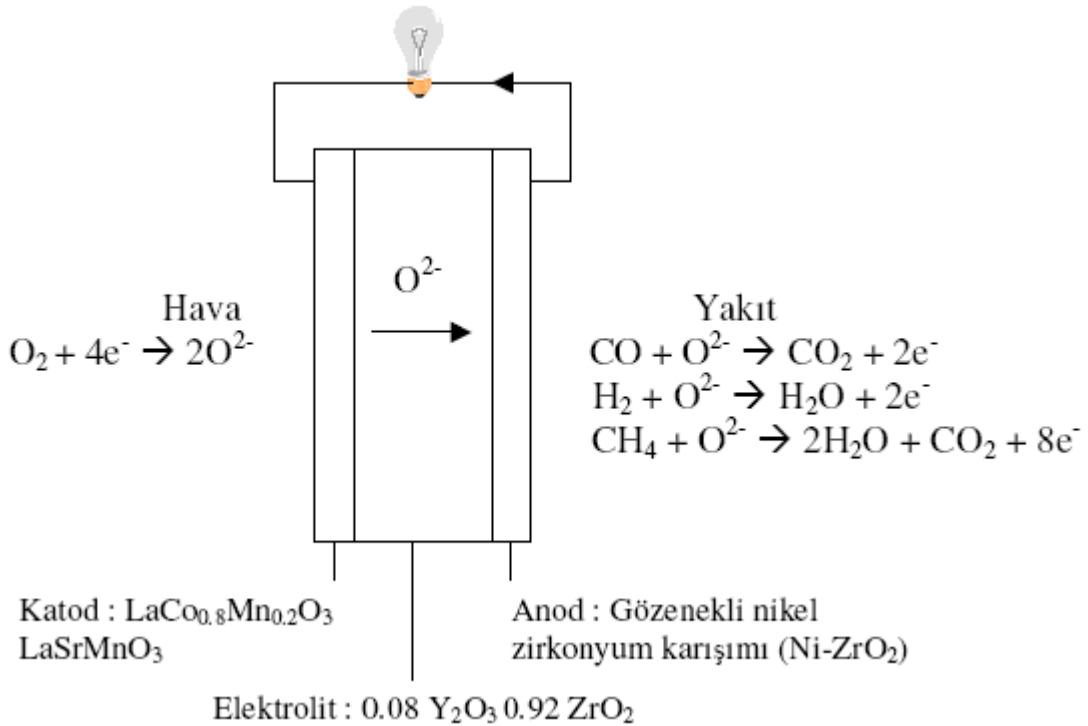
yapılır. Katod da $\text{LaCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$, $x = 0.2-0.3$ veya LaSrMnO_3 gibi seramik yapılardan oluşur. Elektrotlar seramik yüzeye ya mürekkep şeklinde uygulanıp, yüksek sıcaklıklarda fırınlanarak, ya da plazma (çok yüksek sıcaklıklı maddenin dördüncü hali) spreyi şeklinde püskürtülerek uygulanır. Ana levha anotveya katod da olabilir, budurumda elektrolit ince bir levha halinde ana levhanın üzerine kaplama teknikleriyle kaplanır. Bu yakıt pilinde oksijen iyonu (negatif yüklü) elektrolitten geçmektedir. İyonize olan oksijen atomu olduğundan dolayı anod tarafında herhangi bir hidrokarbon yakıtı kullanılabilir. Katodda dış devreden gelen elektronla Oksijen iyonlaştırılır.



Oksijen iyonu seramik elektrolitten anot tarafına iletilir. Anotta yakıt oksijen iyonuyla birleşir, yanma gazları ve elektron açığa çıkar.



Elektron dış devreden katot tarafına aktarılır. Şekil 1 de bu çalışma prensibi şematik olarak da gösterilmektedir.



Şekil 1 Katı oksitli yakıt pilinin çalışma prensibi

SOFC türü yakıt pilleri göreceli olarak yüksek sıcaklıklarda çalışır. Çalışma sıcaklıkları 600-1000 °C arasındadır. Bunun temel nedeni göreceli olarak daha büyük olan oksijen iyonunun katı seramikten yapılmış bir elektrolitten geçirme zorunluluğudur. Geçişini kolaylaştırmak için elektrolit levha mümkün olduğu kadar ince olarak dizayn edilir (50-70 mikron). Çalışma basınçları düşük (atmosferik) veya yüksek olabilir. Bu dizayn şartlarında yakıt pili 0.78 V da santimetrekare başına 600 miliamper civarında elektrik enerjisi üretebilir.

Yakıt pilleri gerekli elektrik çıktısını vermek için seri ve paralel bağlanan dizilerden oluşur. Bu dizilere gerekli yakıtı, havayı sağlama, çıkan elektriği (doğru akım) evlerimizde kullanacağımız alternatif akım elektriğe çevirme gibi işlemler için yan sistemler gereklidir, bu sistemlerin neler olduğunu ve 20 KW doğal gaz yakıt pili sistemi için mühendislik girdi parametrelerinin nasıl oluştuğunu daha detaylı olarak inceleyeceğiz.

2. SİSTEM DİZAYNI VE DİZAYN PARAMETRELERİNİN OLUŞTURULMASI

Şekil 2 de doğal gaz yakıtlı SOFC yakıt pili sistemi akış diyagramı verilmiştir. Bu diyagram üzerinden önce sistem bileşenlerinin ne olduğuna bir göz atalım. Temel olarak sistemimizi hava tarafı, yakıt tarafı, su tarafı ve elektrik tarafı alt kısımlarına ayırabiliriz. Sistem girişinde temel olarak hava, doğal gaz, hidrojen, süpürme gazı (%5 hidrojen-%95 azot) ve azot gazları bulunmaktadır, bu gazlardan doğal gaz ve hava dışındakiler sadece başlatma prosesini oluşturmak için kullanılırlar. Doğal gaz yakıt alt sistemine girdiğinde sistemden basınçlı girdiğinden ek basınç vermeye gerek kalmaz. Ülkemizde kullanılan doğal gaz şartları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 17/08/2004 tarihli toplantısında; 26 Ekim 2002 tarih ve 24918 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Doğal Gaz Piyasası İletim Şebekesi İşleyiş Yönetmeliği Geçici 1 inci maddesi gereğince hazırlanan “BOTAŞ İletim Şebekesi İşleyiş Düzenlemelerine İlişkin Esaslar” başlıklı raporun “Ek-1 Doğal Gaz Kalite Şartnamesine” göre belirlenmiştir. Bu şartnameye göre ülkemizde kullanılan doğal gazın bileşimi şöyledir:

Kimyasal Kompozisyon (Mol Yüzdesi Olarak)

Metan	(C ₁)	Min. % 82
Etan	(C ₂)	Maks. % 12
Propan	(C ₃)	Maks. % 4
Bütan	(C ₄)	Maks. % 2.5
Pentan ve Diğer Ağır Karbonlar	(C ₅₊)	Maks. % 1
Karbondioksit	(CO ₂)	Maks. % 3
Oksijen	(O ₂)	Maks. % 0.5
Azot	(N ₂)	Maks. % 5.5

Kükürt

Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	Maks.	5.10 mg/m ³
Merkaptan Kükürt	Maks.	15.30 mg/m ³
Toplam Kükürt	Maks.	110.00 mg/m ³

Buradaki miktarlar tam olarak belirli olmadığından hesaplarımızda temel parametre olarak doğal gaz formülü

Metan CH₄ 0.82

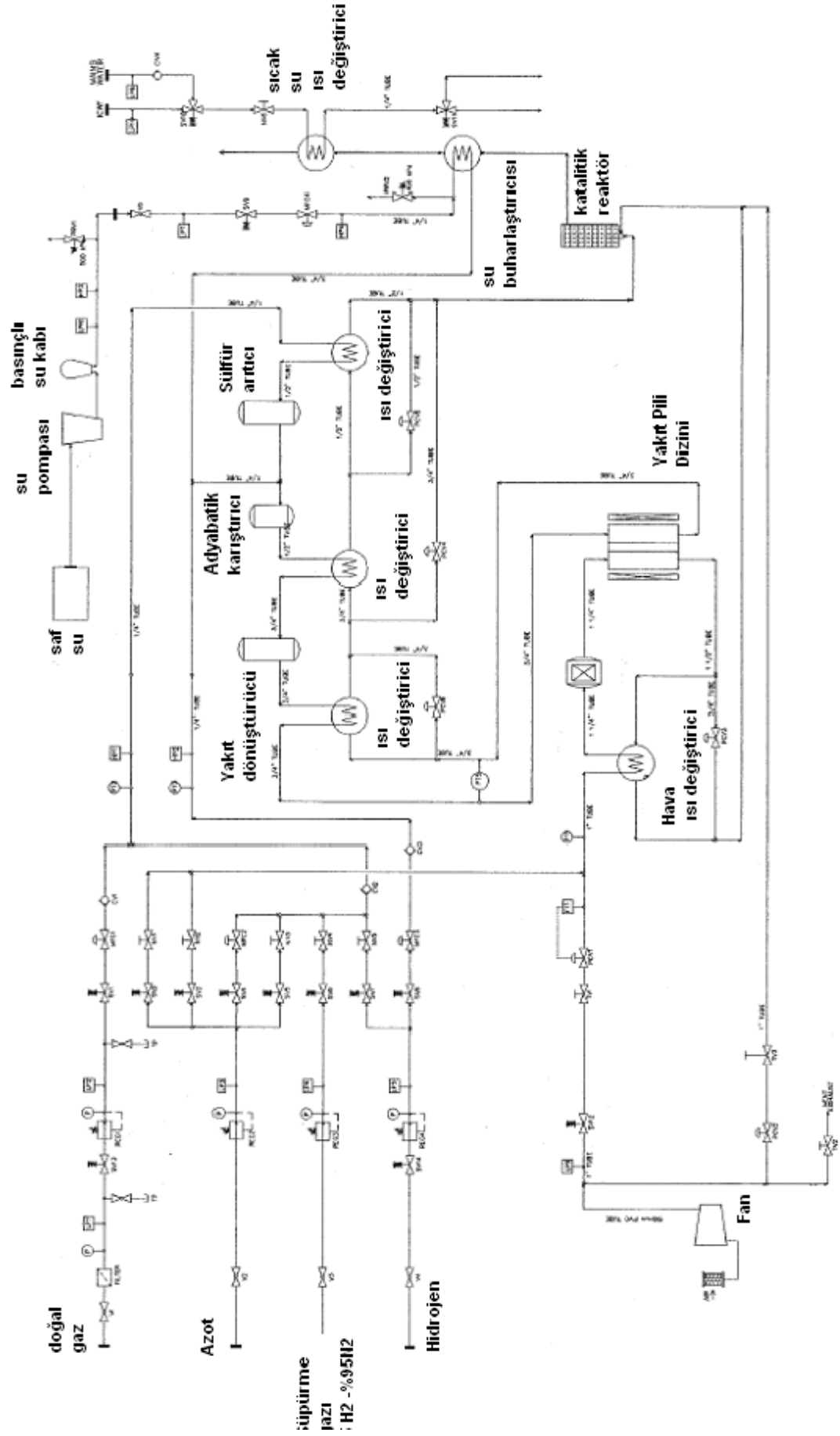
Etan C₂H₆ 0.12

Propan C₃H₈ 0.04

Bütan C₄H₁₀ 0.02

Olarak kabul edilmiştir.

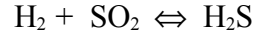
Doğal gaz sisteme girdiğinde ilk proses kükürt arıtma prosesidir. Orijinal olarak doğal gazda kükürt bulunmamakla beraber, üstteki standart da görüldüğü gibi hidrojen sülfür ve koku verici aromatik sülfür bileşenleri(merkaptanlar) doğal gaza eklenmiştir. Şehir şebekesinden gelen doğal gazın bileşiminde kükürt bulunmaktadır. Kükürt, herhangi bir sızıntısı sırasında gazın koku yaymasını sağlayacak bir güvenlik önlemi olarak doğal gaza sonradan ilave edilir. Fakat kükürtün yakıt piline gelmeden önce arıtılması gerekmektedir. Sisteme giren doğal gaz ilk ısı değiştiricisine girerek 400 C civarına ısıtılır. Isıtılan doğal gaz kükürt arıtma sistemine girer. Sistemde yakıt pilinin arıtılması için iki aşamalı bir arıtma uygulanmaktadır. Bunlar :



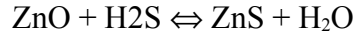
Şekil 2 Doğal gaz yakıt pili sistemi akış diyagramı

1. H₂(g) ile katalist ortamda kimyasal tepkime
2. Kataliste tutunma işlemleridir.

İlk aşamada gelen saf H₂(g) ile SO₂(g) tepkimeye girer ve



bileşiği oluşur. Daha sonra bu bileşik çinko oksit türü içerisinde metal bir kataliste tepkimeye girerek katalist üzerinde kalır. Sonuçta



açığa çıkar. Kükürtü alınmış doğal gaz yaklaşık 400 C de kükürt arıtma prosesini terkeder, Doğal gaza aynı sıcaklıklara kadar ısıtılmış buhar eklenir. Buhar miktarı doğal gazdaki carbon miktarının 2.5-3.0 katı civarındadır. Yukarda kabul ettiğimiz doğal gaz bileşiminde carbon sayısı 1.26 dır. Buhar karbon oranını 2.62 olarak alırsa, her kmol doğal gaz için 3.3 kmol su buharına ihtiyacımız olacaktır Karışım ikinci bir ısı değiştirgecinde 700 C ye kadar ısıtılır. Karışım Özel katalistle doldurulmuş yakıt dönüştürücü dediğimiz sisteme gönderildiğinde sıcaklık 443 C ye kadar düşer ve katalist tarafından karışım kimyasal denge durumunda sistemden çıkar.

Tablo 1 ısı değiştirgeci artı adyabatik yakıt dönüştürücüsü

Sıcaklık (giriş) 973.15K (700 C)
 Sıcaklık (çıkış) 716.15K (443 C)
 Basınç 1.013 bar
 Reaksiyon entalpisi 0 kJ

	Giriş kmol	çıkış kmol	çıkış %
H ₂ O(g)	3.30E+00	2.61E+00	5.23E-01
H ₂ (g)	0.00E+00	1.20E+00	2.41E-01
CH ₄ (g)	8.20E-01	8.25E-01	1.65E-01
CO ₂ (g)	0.00E+00	3.36E-01	6.74E-02
CO(g)	0.00E+00	1.89E-02	3.79E-03
C ₂ H ₆ (g)	1.20E-01	3.77E-06	7.55E-07
C ₃ H ₈ (g)	4.00E-02	6.46E-11	1.29E-11
Total :	4.28E+00	4.99E+00	1.00E+00

Isı değiştirgeci ve adyabatik yakıt dönüştürücüsüne bir alternatif olarak kısmi yanma ile birlikte yakıt dönüşümü kullanabiliriz. Bu durumda sıcaklığı sabit olarak koruyabiliriz. Toplam hidrojen performansı sıcaklığı sabit tuttuğumuzdan çok daha verimli sonuçlar vermiştir. Bu durumda da toplam reaksiyon entalpisi 0 olmasına rağmen bir ısı veren reaksiyonla(yanma) bir ısı alan reaksiyon(buharlı yakıt dönüşümü) bir arada kullanılmaktadır.

Tablo 2 kısmi yanma artı yakıt dönüştürücüsü (ototermal yakıt dönüşümü)

Sıcaklık (giriş) 973.15K (700 C)
 Sıcaklık (çıkış) 973.15K (700 C)
 Basınç 1.013 bar
 Reaksiyon entalpisi 0 kJ

	giriş kmol	çıkış kmol	çıkış %
H2(g)	0.00E+00	3.07E+00	3.69E-01
H2O(g)	3.30E+00	2.38E+00	2.86E-01
N2(g)	1.69E+00	1.69E+00	2.04E-01
CO2(g)	0.00E+00	6.52E-01	7.84E-02
CO(g)	0.00E+00	5.21E-01	6.26E-02
CH4(g)	8.20E-01	7.53E-03	9.05E-04
C2H6(g)	1.20E-01	2.97E-09	3.57E-10
C3H8(g)	4.00E-02	3.16E-15	3.80E-16
O2(g)	4.50E-01	7.22E-21	8.68E-22
Toplam :	6.42E+00	8.32E+00	1.00E+00

üçüncü alternatif sistem olarak karşımıza ısı değiştiricisiyle bir arada dizayn edilmiş ve yakıt dönüşüm prosesini ısı transferi prosesiyle kombine etmiş bir sistemin giriş ve çıkışını tablo 3 de görmekteyiz. Veriden de görülebildiği gibi verim açısından en iyi alternatifimiz bu çözümdür. Ancak Dizayn açısından ısı değiştiricisini yakıt dönüşüm sistemi ile entegre etmek göreceli olarak daha zor bir mühendislik problemidir. Son dizayn parametreleri oluşturulurken bu alternatif te ciddi olarak incelenecektir.

Tablo 3 ısı değiştirgeci ile entegre yakıt dönüştürücüsü

Sıcaklık (giriş) 973.15K (700 C)
Sıcaklık (çıkış) 973.15K (700 C)
Basınç 1.013 bar
Reaksiyon entalpisi 2.259E+02 kJ

	giriş kmol	çıkış kmol	çıkış %
H2(g)	0.00E+00	3.71E+00	5.65E-01
H2O(g)	3.30E+00	1.68E+00	2.55E-01
CO(g)	0.00E+00	6.60E-01	1.01E-01
CO2(g)	0.00E+00	4.82E-01	7.35E-02
CH4(g)	8.20E-01	3.83E-02	5.83E-03
C2H6(g)	1.20E-01	6.36E-08	9.68E-09
C3H8(g)	4.00E-02	2.84E-13	4.33E-14
Toplam :	4.28E+00	6.56E+00	1.00E+00

Yakıt dönüştürücüsünden sonra son bir sıcaklık ayarından sonra eğer gerekiyorsa son bir ısıtma prosesinden sonra (ısı değiştirgeci) yakıt karışımı yakıt piline gönderilir. Yakıt pilinde yakıt şekil 1 de gösterildiği şekilde katot tarafından elektrolitten geçerek gelen oksijen iyonu ile birleşir ve elektrokimyasal yanma reaksiyonunu tamamlar. Tam sistem performansını bilebilmek için sistem performans verilerine ihtiyaç vardır bu veriler olduğunda gelen kimyasal enerjinin ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürüldüğü tam olarak hesaplanabilir. Tersinmezlikleri hesaba katmazsak sistem verilerini deneysel sonuçlar olmadan da irdeleyebiliriz. Gerçek yakıt pilinde konsantrasyon kayıpları elektriksel dirençler gibi tersinmezlik kaynakları mevcuttur. Tersinmezlikler elektrik enerjisine dönüşemedikleri için ısı enerjisi formunda ortaya çıkar. bu net ısı çıkışı çeşitli proseslerde kullanılabilir. Şekil 2 deki akış diyagramında bu ısının gelen yakıt ve havayı ısıtmada kullanıldığını görebiliriz. Bunun için ısı değiştiricileri kullanılmıştır. Ayrıca kütle transferinin mükemmel olmamasından dolayı yakıtın tamamının reaksiyona girmesi mümkün olmaz. Yaklaşık yakıtın %15 kadarı reaksiyona girmeden kalır. Bu yanmamış yakıt katalitik bir yanma odasında veya klasik bir yanma odasında yakılabilir. Katalitik yanma ünitesinin avantajı çok düşük miktarda

yakıtları yakabilmesidir, dezavantajı ise yaklaşık 800 C den yüksek sıcaklıklara çıkamamasıdır.

Hava alt sisteminde hava bir fan tarafından basınçlandırılarak sisteme verilir. Isı değiştiricisinde ısıtıldıktan sonra hava yakıt piline girer. Tüm yanma sistemlerinde olduğu gibi burada da toplam hava miktarı gerekli olan miktarın çok üstündedir. Bu yüzden yakıt pilinden çıkan havada hala çok miktarda oksijen bulunmaktadır. Bu oksijen yine yakıt pilinden çıkan kullanılmış yakıtın içerisindeki hidrojen ve hidrokarbonların yakılması için kullanılır. Katalitik yanma ünitesinden çıkan enerji, su baharlaştırılması için kullanıldıktan sonra geri kalan enerji sıcak su üretimi için kullanılır.

SONUÇLAR

20 kW'lık katı oksitli yakıt pillerinin sistem bileşenleri ve parametrelerinin bir kısmına kısaca bir göz attık. Burada bahsedilen sistem parametreleri genel parametreler olup, sistem dizaynının tamamlanması ısı transferi, malzeme bilimi gibi bir çok alandaki bilgilerin birleşmesiyle oluşur. Örneęin yüksek sıcaklıklarda metal korozyonu çok ciddi bir problemdir. Bunların yanında katı oksitli yakıt pillerinin en önemli problemi zaman içinde performanslarında düşmeler oluşmasıdır. Bu tür sistemlerin pratik olarak kullanılabilmeleri için zaman içindeki performans kaydı probleminin çözülmesi elzemdir.

3. Referanslar

- Energy recovery systems in solid oxide fuel cell systems, International Symposium on Transport Phenomena, Istanbul, Turkey, July 16-20 2000, Istanbul, Turkey
- Finite difference simulation of water-exhaust gases evaporator in solid oxide fuel cell systems, International Symposium on Transport Phenomena, Istanbul, Turkey, July 16-20 2000, Istanbul, Turkey
- Fuel Cells and their applications, Karl Kordesch, Günter Simader, VCH 1996i ISBN 3-527-28579-2