

# Yakıt Pili Kojenerasyon Sistemlerinin Evsel ve Ticari Binalarda Uygulamaları (\*)

Hakan F. ÖZTOP \*, Aydın ÇITLAK \*\*

## Özet

Son yıllarda, gerek evsel uygulamalarda ve gerekse ticari binalarda birleşik ısı ve güç üretimi (kojenerasyon) bir arada yapan sistemler oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada, yakıt pili destekli kojenerasyon sistemlerinin evsel ve ticari binalardaki uygulamaları incelenmiştir. Yakıt pili kojenerasyon sistemleri, yakıt işleme, güç düzenleme ünitesi, hava sağlama, ısı ve su işletme ünitelerini ihtiva eder. Çalışmada, ilk olarak yakıt pili kojenerasyon çevrimi ve alt elemanları tanımlanmış, yakıt pilleri ile diğer güç üretim sistemleri karşılaştırılmıştır. Bu sistemlerin çevresel etkilerinin minimum düzeyde olması, enerji kaynaklarının daha iyi kullanılması ve diğer güç üretim sistemlerine göre verimlerinin yüksek oluşu, sistemi cazip kılmaktadır. Yakıt pili kojenerasyon sistemlerinin elektriksel dönüşüm verimleri %45'i aşmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Yakıt pillerinin, teorik verimlerinin Carnot çevrim verimi ile karşılaştırıldığında daha yüksek olması, gerek düşük emisyon oranlarına sahip olması ve gerekse gürültü probleminin olmayışı gibi avantajları, onları oldukça ilgi çekici bir hale getirmektedir.

Kojenerasyon sistemleri eş zamanlı olarak hem elektrik hem de ısı enerjisi üretirler. Bu sistemler motorlar, gaz türbinleri ve buhar türbinleri gibi bilinen üretim teknolojilerini esas alırlar ve endüstriyel uygulamalarda uzaktan ısıtma sistemlerinde ve büyük ticari binalarda uygulanırlar. Konvansiyonel elektrik güç santrallerinde yalnızca yakıt enerjisinin %30-40'ı elektrik enerjisine dönüşür, arta kalan enerji ısı olarak çevreye atılır. Kojenerasyon sistemlerinde bu ısının bir kısmı geri kazanılabilir. Bunun sonucunda, %30-40'lık ilave bir yakıt kullanıma çevrilir ki bu da birincil enerjiden bu oranda daha az kullanılmaktadır. Son yıllarda, yakıt pili kojenerasyon sistemleri, özellikle Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve bazı Avrupa Birliği ülkelerinde başarı ile uygulanmaktadır. Yakıt pilleri diğer santrallere göre çok daha iyi verimliliğe sahiptirler ve kapasiteleri 5kW' dan 2

MW' a kadar çıkmaktadır. Verimliliklerinin yüksek oluşu ise enerji maliyetlerini düşürür. Böylece, çoğu binanın enerji ihtiyacını karşılayacak kapasiteye sahiptir. Bir yakıt pili ile CO<sub>2</sub> emisyonu % 49, NO<sub>x</sub> emisyonu %91, CO emisyonu ise % 68 ve buharlaşabilen bileşenler % 93 oranında azaltılabilmektedir. Ayrıca, yakıt pillerinin yerleşimi oldukça kolay olduğundan ilave iletim hatlarına ve dağıtım şebekesine de gerek yoktur.

Yakıt pilleri, yakıt ve oksitleyicinin bileşimine, yakıtın dolaylı veya doğrudan beslenmesine, kullanılan elektrot ve elektrolit cinsine, operasyon sıcaklığına bağlı olarak çeşitli şekillerde oluşturulabilir. Kojenerasyon uygulamalarında fosforik asit yakıt pili, proton değişim membranlı yakıt pili, katı oksit yakıt pili ve erimiş karbonat yakıt pili tipleri kullanılırlar. Üreticiler kojenerasyon uygulamalarında bugüne kadar çoğunlukla fosforik asitli ve proton değişim membranlı yakıt pillerini kullanmışlardır. Krist ve Wright (2004), evsel uygulamalar için katı oksit yakıt pili'nin kullanılabilirliğini tartışarak, bu tip yakıt pillerinin, proton değişim membranlı yakıt pilleri göre avantaj ve dezavantajlarını ifade ettiler. So

\* Fırat Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü.

nuç olarak, katı oksit yakıt pillerinin, proton değişim membranlı yakıt pillerine göre elektriksel dönüşüm verimliliğinin daha yüksek, nemlendirme ve CO problemi olmayışından dolayı evsel uygulamalar için daha uygun olduğunu belirttiler. Yakıt pillerinin diğer bilinen enerji üretim sistemlerine göre en önemli avantajı verimliliklerinin yüksek olmasıdır. Bununla ilgili olarak yakıt pilleri ve ısı motorlarının potansiyel performanslarının karşılaştırılması Wright (2004) tarafından yapılmıştır.

Ferguson ve Ugursal (2002), proton değişim membranlı yakıt pili sistemlerinin bina kojenerasyon sistemlerinde kullanımı için bir model geliştirdiler. Bu model, yakıt pili sistemlerinde kullanılan yakıt miktarını, bina yüklerini karşılayacak elektriksel ve ısı enerji üretimini tahmin etmektedir. Özellikle evsel amaçlı kullanılan sistemlerde kontrol üniteleri oldukça önemlidir. Entchev (2003) 'in yaptığı çalışmada, yakıt pili enerji sistemlerinin optimum performansını sağlamak amacıyla, bir kontrol programlama geliştirilmiştir. Çalışmada, bulanık mantık kontrol sistemi kullanılarak, güç sağlama ve ısı yüklerin uygun optimum bir yolla sağlanacağı tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yakıt pili ile çalışan kojenerasyon sistemlerini ve alt bileşenlerini incelemek, bu sistemlerin mevcut enerji dönüşüm sistemleri ile bir kar-

şılaştırmasını yapmak ve bazı uygulama alanları ile ilgili sonuçları sunmaktır.

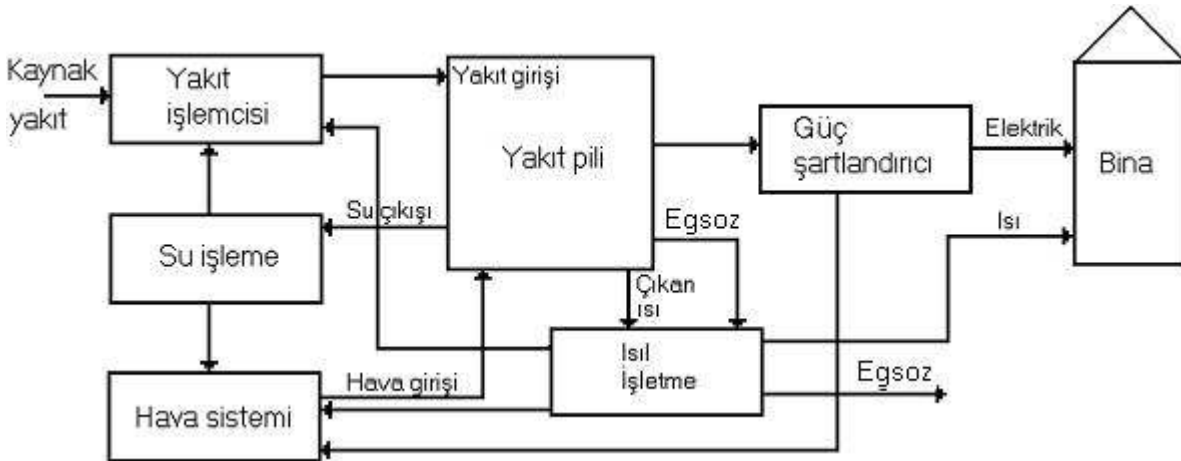
## 2. YAKIT PİLLİ KOJENERASYON SİSTEMLERİ

Şekil 1'de yakıt pilli kojenerasyon sisteminin alt sistemleri görülmektedir. Alt sistemler yakıt pilinin tipine ve uygulamasına göre değişir. Yakıttaki kimyasal enerjiyi elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren alt sistemler genelde aşağıdaki kısımlardan oluşur.

- Yakıttaki kimyasal enerjiyi elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren yakıt pili yığını,
- Hidrokarbon yakıtları hidrojene dönüştüren yakıt işleme ünitesi,
- Yığının güç çıkısını ayarlamak, gerekli olduğunda gücü alternatif akıma dönüştüren güç düzenleyicisi,
- Şartlandırılmış havayı yakıt pili ve yakıt işlemesine sağlayan hava sağlama alt sistemi,
- Yakıt pili yığınının ısıyı uzaklaştırmak, çeşitli sistem bileşenleri arasında ısı transferi yapmak, dış ısı yükleri sağlamak için ısı işlem alt ünitesi,
- Su işleme alt ünitesi,

Yakıt pilli kojenerasyon sistemleri daha çok evsel uygulamalar için tercih edilmektedir. Bunların en önemli avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [5].

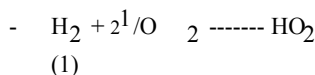
- Gürültü ve titreşim problemi yoktur.
- Apartmanlarda, hastanelerde, iş yerlerinde ve otellerde kolaylıkla uygulanabilirler ve çok az yer kap-



Şekil 1. Yakıt pilli kojenerasyon sisteminin alt sistemlerinin şematik olarak gösterimi [1].

larlar.

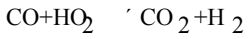
- Verimlilikleri yüksektir. Bu sistemleri kullanan şirketlerin enerji harcamalarında %20- 40 arasında bir





metanı ısıtmak için ısıya ihtiyaç duyulur. Isı ise egzozdan temin edilir, bu da verimi artırır. Çok yüksek sıcaklıklarda ağır hidrokarbonları oluşturabilmek için kısmi oksidasyon işlemi uygulanır. Temel dönüşüm reaksiyonu denklem (1) ile aynıdır. Fakat kısmi oksidasyonda reaksiyon için gerekli olan ısı, reaktörde oksijen veya hava ile yanarak sağlanır. Reaktörde yanma ile sağlanan reaksiyon ısısı 1300 °C ile 1500 °C aralığındadır. Çok yüksek işletme sıcaklıklarında boru cidarları boyunca ısı transferi oluşur ve kısmi oksitlenme reaksiyonu katalizör kullanılmaksızın ilerler. Yakıtın bir kısmının hava ile yanması ve sonuçta CO, nitrojen ve amonyak oluşması kısmi oksitlenmenin dezavantajları arasında sayılabilir.

Ototermal oluşum, katalizörün içerisinde yakıt buharının kısmi oksitlenmesini kullanır. Kısmi hidrokarbon besleme için, ototermal oluşum kısmi oksitlenmeden daha düşük, fakat oluşan buhardan daha yüksek bir sıcaklıkta işlem görecektir. Değişim konverteri(dönüşürücüleri) CO seviyesini indirir ve su gazı değişim reaksiyonu boyunca yeniden oluşan yakıt buharının H<sub>2</sub> seviyesini artırır.



Bu reaksiyon ekzotermiktir. Bu işlem genellikle iki sıcaklık adımında yapılır. Yüksek sıcaklık dönüştürücüsü 330 °C ile 530 °C arasında çalışır ve %1 ile %2 arasında CO oluşur. Bu gaz soğutulabilir ve 200 °C ile 250 °C aralığında çalışan düşük sıcaklıklı bir konvertörü besler (dönüşüm işlemi sağlanır). Gazın CO içeriği düşük sıcaklıkta ayrılabilir. CO'in bu seviyesi proton değişim membranlı yakıt pili hariç tüm yakıt

42

mum çalışma basıncı bir denge gösterir. Hava kompresörüne ilave olarak, hava sağlama sistemi bir ısı değiştirgeci ve nemlendirici (proton değişim membranlı pil için) içerecektir. Çünkü hava akımı uygun şartlarda yığına gelmelidir.

#### e) Isıl İşlem ünitesi:

Yakıt pili reaksiyonu sürecinde açığa çıkan ısı miktarı genellikle üretilen elektrik miktarından daha fazladır. Bu ısının bir kısmı yakıt işleme ünitesinde kullanılır. Geri kalanı ise kojenerasyon sisteminin ısı ihtiyacıyla karşılamada kullanılabilir. Proton değişim membranlı yakıt pili için, ototermal oluşum

pili kojenerasyon sisteminin uygulanmasına bağlıdır.

- Yakıt pili güç uygulamalarının dört esas tipi vardır.
- 
- Şebekeden bağımsız uygulamalar. Bu uygulamada yakıt pili tek başına gücü karşılar.
- Geri besleme güç uygulamaları. Elektrik kalitesini artırmak için iki güç kaynağı gereklidir.
- Paralel güç uygulamaları. Yakıt pilleri ve ulusal güç kaynağı, gereksinimi karşılamak için aynı anda çalışırlar.
- İç bağlantı uygulamaları, burada yakıt pili sadece uygulamaya güç sağlamakla kalmaz aynı zamanda ulusal şebekeye de güç sağlar.

Yukarıda verilen bu uygulamaların hepsinde güç düzenleme ünitesi aşağıdaki işlemleri yapar.

- a) Yakıt pili tarafından sağlanan voltajı düzenlemek.
- b) Yakıt pilindeki doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek
- c) Uygulamanın güç faktörüne eşlemek için reaktif güç sağlamak.
- d) Yakıt pili yardımcı cihazları için güç sağlamak.
- e) Elektrik yükü ve yakıt pili sistem kontrolü arasında ara yüzey oluşturmak.

- (3) Tam yükte, güç düzenleme ünitesi gerçek güç olarak giriş gücünün yaklaşık % 95'i sağlar.

#### d) Hava Sağlama (Tedarik) Ünitesi:

Yakıt pili yığını ve yakıt işlemcisi için havaya ihtiyaç duyulur. Hava genel olarak, pil teknolojisine bağlı olarak 2-10 atmosfer basınçta bir kompresör tarafından sağlanır. Genelde yığın performansı artan basınç ile artar. Bununla birlikte, kompresörü çalıştırmak için ihtiyaç duyulan güç artar ve bu iki etki arasında opti

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 82,2004

### DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

- Bir yakıt pilinde kimyasal enerjiden elektrığe dönüşüm doğrudan meydana gelir. Oysa ki, konvansiyonel enerji dönüşüm sistemlerinde bir çok ara basamak vardır. İlk olarak yanma ile kimyasal enerji ısı enerjisine, daha sonra ısı enerjisi buhar, gaz türbini veya içten yanmalı motor yardımı ile mekanik enerjiye dönüşür ve son olarak bir jeneratör ile mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilir. Tablo 1'de katkı oksit yakıt pili ile SR ve POX tipli proton değişim membranlı yakıt pilleri karşılaştırılmıştır. Bu tabloda

ranlı ve fosforik asitli yakıt pili yığınlarında, enerji yılının içerisinde dolaşan akışkandan elde edilir. Erimiş karbon ve katı oksit yakıt pili sistemlerinde ise ısı, anot ve katottaki ekzos buharından elde edilir. Genellikle, kojenerasyon sistemlerinin verimi yakıt pili sistemleri ile birlikte % 80'lere kadar ulaşılabilir. Tekrar geri alınan ısının kullanılabilirliği sıcaklığa bağlıdır.

#### f) Su İşleme Ünitesi

Tüm yakıt pili sistemlerinde yakıt işleme ünitesi için ve aynı zamanda proton değişim membranlı yakıt pili rinde reaksiyona giren gazları nemlendirmek için suya ihtiyaç duyulur. Sistem için ihtiyaç duyulan su, genellikle egsoz buharından yoğunlaştırılarak elde edilebilir. Eğer, yoğunlaşan su ihtiyacı karşılamazsa, ilave su yüksek saflıkta bir kaynaktan temin edilmelidir.

### 3. YAKIT PİLLERİNİN MEVCUT ENERJİ

- yakıt kullanımının proton değişim membranlı yakıt pili rinde daha yüksek olduğu, ancak yatırım maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir.
- Tablo 2 'den de görüleceği gibi yakıt pillerinin uygulanabilirlik aralıklarının düşük ve maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, tam yükte ve yarı yükte elektriksel verimlilikleri yüksek buna rağmen emisyon oranları oldukça düşüktür.

#### 4. YAKIT PİLİ SİSTEMİNİN VERİMİ

- Bir yakıt pili sisteminin toplam elektriksel verimi,  $h_E$
  - elektrik gücünün kimyasal enerjiye oranı olarak tanımlanır. Bu verim pil verimi  $h_C$  ve sistem verimi  $h_S$  çarpımına eşittir.
- $$h_E = W_{s/N} / i_{LHV} = h_C \cdot h_S \quad (4)$$

Bu eşitlikte;  $W_s$  elektriği gücü,  $N$  yakıt debisi ve  $i_{LHV}$  yakıtın alt ısı değeridir. Pil verimi, tipi ve çalışma şartlarına bağlı olarak %45-55 aralığında değir.

**Tablo 1.** Evsel uygulamalar için yakıt pili sistemlerinin karşılaştırılması [1].

Yakıt Pili Sistemi	Katı Oksit Yakıt Pili	SR-PEM	POX-PEM
Sistem verimliliği	45%	40%	35.8%
Aynı elektrik çıktısı için bağlı yakıt kullanımı	1.0	1.12	1.25
Elektrik maliyetine yakıt katkısı	3.04 c/kWh	3.41c/kWh	3.82 c/kWh
Hesaba katılabilir sermaye ve maliyetler (Enerji depolama dahil)	3.376 \$	3.150\$	2.900\$

**Tablo 2.** Yakıt pili karakteristiklerinin konvansiyonel üretim sistemleri karakteristikleri ile karşılaştırılması [1].

Karakteristik	Proton Değişim Membranlı Y.Pili	Fosforik Asit Y.Pili	Erimeş Karbon Y.Pili	Katı Oksit Y.Pili	İçten Yanmalı Motor	Mikro Türbin-Jeneratör	Gaz Türbini	Buhar Türbin-Jeneratör
Uygulanabilirlik aralığı (kWe)	1-250	100-1,000	100-2,000	5-2,000	25-5,000	25-100	500-25,000	25-25,000
5-yıl, projelendirilen maliyet (\$/kWe)	1,000-2,000 700-900	800-1,000	3,000	2,000-3,000		2,000-3,000		300-1,300
Boyut			0.6-4.0		0.22-0.31	0.15-1.5	0.002-0.61	<0.1
Elektriksel verim (%)	40	45	45-50	45	25-45	25-30	Basit 25-40 Karma	30-42
Yarı yükte elektriksel verim (%)	40	45	45-50	45	23-40	20-25	40-60 20-35	28-40
Isı çıkışı (g/	40	35	30-35	35	35-45	50-55	40-55	Düşük

Kullanılabilirlik yüzdesi olarak	50-90	140-200	600-650	800-1000	80-480	200-340	260-600	Düşük
Kullanılabilirlik sıcaklık (°C)								
İşletme maliyeti (\$/kWh)	0.005-0.0		0.007-0.015		0.002-0.01	0.002-0.008		0.004
Kullanılabilirlik (%)	90-95				92-97	90-98	90-98	>95
Ekipman ömrü (yıl)	5 yıl	5 yıl	3 yıl	5 yıl	4-20	20	30	30
NO <sub>x</sub> emisyon	<0.02				2.2-2.8	0.4-2.2	0.4-4.0	1.8

şir.

Sistem verimi, yardımcı ekipmanları çalıştırmak için harcanan gücün, güç düzenleme ünitesinin ve yığın eksoz buharından üretilen gücü ifade eden yakıt işleme ünitesinin bir ifadesidir.

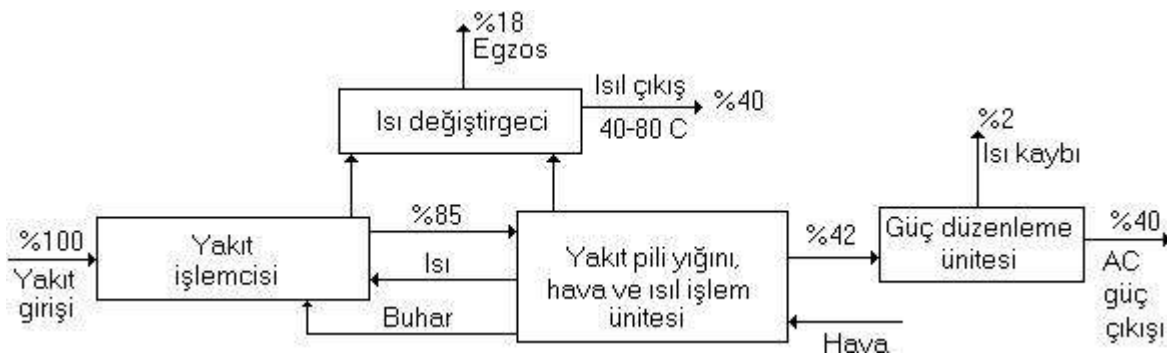
Fan, pompa ve kontrol ünitelerini içeren yardımcı cihazlar, çalışma basıncı ve sisteminin dizaynına bağlı olarak tam yükte brüt sistem gücünün yaklaşık %5-10 kadarına gereksinim duyarlar. Elektriksel çıkış gücünün girişteki elektriksel güce oranı olarak tanımlanan dönüştürücü verimi %94-97 arasında değişir. Yedek sistemlerin önemi kısmi yüklerde artar. Şekil 3'de fosforik asitli yakıt pili sistemine ait enerji akış şeması görülmektedir. Bu örnekte yakıt işleme ünitesinin ve

rimi yaklaşık %85'dir. Yakıt pili yığını %53'lük bir verimle çalışmakta ve dönüştürücü %90'lık bir verime sahiptir. Toplam elektriksel dönüşüm verimi %40'dır. Giriş enerjisinin yaklaşık %40'ı 40-80 °C sıcaklık aralığında ısı enerjisi olarak kullanılabilir. Sonuçta, giriş enerjisinin %18'i eksoz gazından kullanılmadan dışarı atılır ve ayrıca güç düzenleyicide de %2'lik bir ısı kaybı olur. Bu santralde kojenerasyon sisteminin toplam verimi %80'dir.

### 5. YAKIT PİLİ SİSTEMLERİNİN ÖZELİKLERİ

#### a) Emisyon:

Yakıt pili yığınları, H<sub>2</sub> ihtiva eden yakıt buharını ve çoğu durumlarda da partikülleri temizlenmiş olan sülfürü kullanır. Yığınla dışarıya atılan ürünler HO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> (eğer yakıt CO içeriyorsa) dir. Böylece, sade



Şekil 3. Fosforik asitli yakıt pili sistemine ait enerji akış şeması.

ce yakıt pili yığımında değil bir yakıt işleme ünitesi olan yakıt pili sisteminde de bu ürünler emisyonların birincil kaynağıdır. Yakıt işleme ünitesi ve yakıt kaynağının tipine bağlı olarak, yakıt işleme ünitesinde düzenlenmiş kirlenmelerin emisyonları genellikle konvansiyonel yanma sistemlerinden çok daha düşüktür. Ayrıca yakıt pilleri yüksek verimlerinden dolayı daha az yakıt kullanırlar ve netice olarak konvansiyonel teknolojilerden daha az CO<sub>2</sub> üretimi sağlarlar.

#### c) Bakım ve Kullanılabilirlik:

Yakıt pili yığımının hareketli parçaları yoktur, sabit sıcaklık ve basınçta çalışırlar. Bundan dolayı, yığın minimum bakım gereksinimlerine ihtiyaç duyar. Diğer taraftan 5 yıllık aralıklarla yığın değiştirildiğinden sistem içinde bakımı yoktur veya yok denecek kadar azdır. Santraldaki fan, pompa, borular ve kontrol ünitelerinin belirli aralıklarla bakımı ve işlemi yapılır. Yakıt pili sisteminin bakım maliyeti 0.003 ile 0.015 \$/kWh arasında değişir. Bu maliyet değişikliği motorların mil

## b) Ortalama Ömür:

Yakıt pilleri ile çalışan sistemlerin 20 yıl veya daha fazla bir çalışma ömrüne sahip oldukları tahmin edilir. Bu ömür fan, pompa ve ısı eşanjörleri gibi ana elemanlardan oluşan diğer sistemlerle kıyaslanabilir. Yakıt pili yığınının ömrü bundan çok daha az olacaktır. Yakıt pili yığınının performansı katalizörler bozulurken zamanla azalır, elektrot ve elektrolitler kirlenir ve aşınır. Performansı, değiştirilmesi gerekli olan noktaya kadar düşer. Birçok yakıt pili üreticisi sabit uygulamalar için 40.000 saati (yaklaşık 5 yıl) minimum yığın ömrü olarak kabul ederler. Erimiş karbon yakıt pili hariç, diğer tüm yakıt pili teknolojileri için bu amaç ulaşılabilir gözükmemektedir. Bu aynı zamanda, yığın ömrünün araştırma ve geliştirme çabalarına bağlıdır. Pilin ömrü bittiğinde yığın sistemden uzaklaştırılır ve yerine yeni yığın yerleştirilir. Gaz temizleme cihazı ve yakıt oluşturma katalizörünü içeren diğer aksamların periyodik olarak değiştirilmeleri gerekir.

arasında değişir. Bu maliyet doğalgaz motorları, mikro türbinler gibi diğer küçük üretim sistemlerinin maliyetleri ile rekabet edebilir seviyedir.

## d) Maliyet:

Günümüzde, yakıt pilleri ticari olarak kullanılabilen sistemlerden biridir. 200kWe'lık sülfürik asitli yakıt pili sistemi 5500 \$/kWe'lik maliyeti ile halen kullanışlıdır. Diğer yakıt pillerinin maliyetleri projeksiyon ve hedeflere bağlıdır. Sabit uygulamalarda maliyetler daha ekonomik olabilir. Yakıt pili ile ilgili olarak malzemenin geliştirilmesi, üretim işlemleri ve sistem tasarımlarını geliştirmek için çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Gelecek birkaç yıl içerisinde maliyetlerin 1500-500 \$/kWe değerlerine kadar düşeceği öngörülmektedir.

## 6. EVSEL BİNALARDA KOJENERASYON UYGULAMALARI

Evsel enerji kullanımı, düşük elektrik yük faktörü ve elektrik oranına göre nispeten yüksek ısı enerjisi ile

karakterize edilir. Isıl kullanım faktörü mevsimler ile değişir. Isıtma mevsiminde, yakıt pilinden elde edilen ısı enerjisinin tamamı gerçekte ısıtma için kullanılabilir. Yaz aylarında, elektrik kullanımı yüksek ve ısıtma ihtiyaçları düşüktür. Sistem tarafından üretilen ısı enerjisinin yalnızca bir kısmı ısıtma için kullanılır. Elektriksel ve ısı gereksinimleri sürekli olarak değişkenlik gösterirler. Evsel sistemleri daha ekonomik hale getirmek için bazı ısı depolama tipleri uygundur.

Şekil 4 'de kuzey ikliminde bir kış gününde Şekil 5 'de yaz gününde bir evin elektrik ve ısı yük profilleri görülmektedir. Yaz aylarında soğutmadan dolayı ısı yük yüksek ve elektriksel yük HVAC' dan dolayı kış ayından daha büyüktür.

Evlerde ısı enerjisinin elektrik enerjisine oranı (I /E) aşağıdaki sınırlar arasında olabilir. Kış aylarında büyük ısıtma alanlarında bu oran 9'a kadar yükselebilir. Yaz aylarında klimadan dolayı, elektrik yükleri ve yalnızca sıcak su için ısı yükleri olduğu zaman 0.2'ye kadar azalabilir. Evsel elektrik yükleri (klima dahil değil) ile sıcak su yükleri yaklaşık olarak aynı seviyededirler. Bu oran 0.6-1 arasında değişir. Yakıt pilleri evsel uygulamalarında (I /E) oranı yaklaşık 1 dir. Yakıt pilleri, evsel uygulamaların esas yük gereksinimleri ile çok

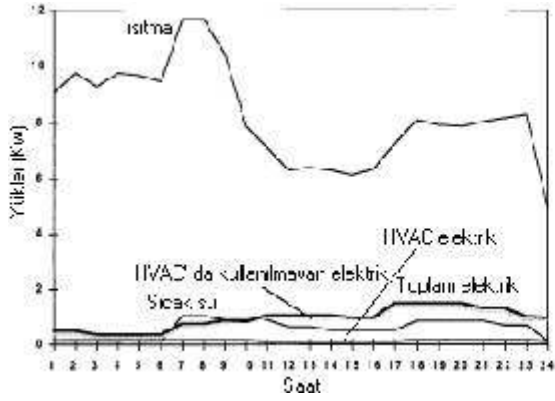
Archer ve Wimer tarafından büyük ofis binalarında fosforik asit birleşik ısı ve güç sistemleri için bir uygulama yapılmıştır(6). Uygulama için Pittsburg şehir merkezinde bulunan CNG kulesi seçilmiştir. CNG kulesinde 32 ofis odası bulunmakta ve günlük çalışma saatleri boyunca yaklaşık 3000 insan çalışmaktadır.

Figueroa ve Otahal (1998) San Diego Miramar'da NAS' da birleşik ısı ve güç sistemi olarak kurulu San Diego Gaz ve Elektrik (SDG&E) tarafından işletilen bir santral hakkında detaylı bilgiler vermektedirler. Santal 250 kW güç üretmekte olup erimiş karbonat yakıt pilli kojenerasyon sistemli bir santraldir.

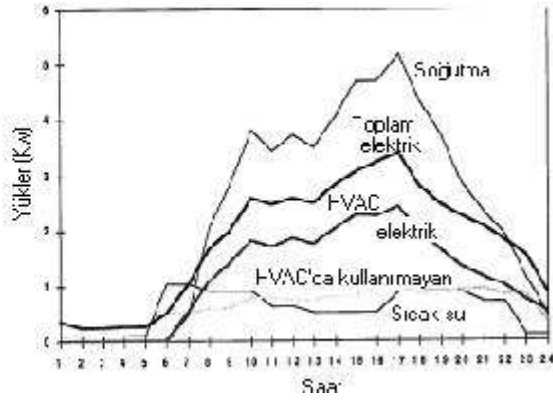
Erimiş karbonat yakıt pili kullanan bir birleşik ısı ve güç santralinin enerji, ekserji ve ekonomik analizi (Silviera ve ark., 2001) tarafından yapılmıştır. Sistem elektrik ve soğuk su üretimi için kurulmuş olup global verimi % 86' dır. Soğutma sistemi için, absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanılmaktadır. Yapılan analizler hem yakıt pili ünitesinde hem de absorpsiyonlu soğutma ünitesinde önemli ölçüde ekserjetik kayıpların olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, sistemin kilowatt başına ABD doları olarak 3 ya da 5 yılda geri ödemesini tamamladığı görülmektedir. Şekil 6'de gaz türbinli basınçlandırılmış katı oksit yakıt pili sistemi

benzerdirler.

görülmektedir. Jeneratör ve yakıt pilinde üretilen güç düzenlenir ve alternatif akıma dönüştürülür. Türbini



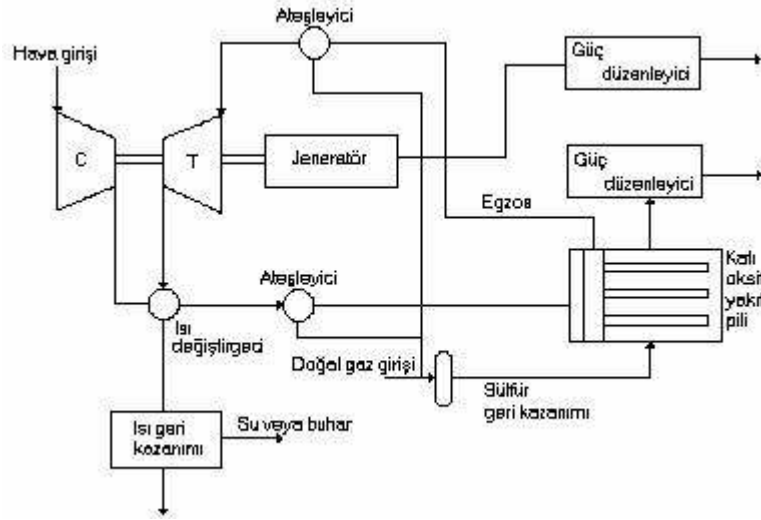
Şekil 4. Kuzey ikliminde kış günü için ısı ve elektrik yük profilleri



Şekil 5. Kuzey ikliminde yaz günü için ısı ve elektrik yük profilleri

46

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 82,2004



Şekil 6. Gaz türbinli basıncı artırılmış katı oksit yakıt pili sistemi.

terke eden eksoz gazı yakıt yığına giren havayı ön ısıtma yapmak için kullanılır. Isı eşanjörünü terkeden eksoz gazları yaklaşık 200 °C sıcaklıktadır ve hala sıcak su olarak kullanılabilir. Yığından güç çıkışı 200 kWe'dir. Türbinden güç çıkışı 50 kWe'dir. Böylece sistemin brüt gücü 250 kWe'dir. Birleştirilmiş bu sistem için elektriksiz dönüşüm verimi % 60'dır.

Ticari binalarda elektrik kullanımı binanın faaliyet alanı ile değişir. Yük faktörleri, toplantı yerleri için 0.09 gibi küçük bir değerden market uygulamaları için 0.5 değerleri arasında değişir. Market uygulamaları için ısı elektrik oranları (I/E) soğutma cihazları önemli bir miktarda enerji kullandığı için 0.2', toplantı yeri için kışın her tarafın ısıtılması gerektiği ve az

üretim uygulamalarında yakın gelecekte yoğunlukla kullanılmaya başlanacaktır.

## 7. SONUÇ

- Yakıt pili sistemlerinin, kojenerasyon sistemlerine dahil edilip birleştirilmesi ile bir bölgede cazibeli üretim teknolojisi olarak ortaya çıkmaktadır. Yakıt pilleri yüksek verim sağlarlar, minimum çevre etkisi ve boyut olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Binalarda yakıt pilli kojenerasyon sistemlerinin tatbiki, bina düzenlemelerine uygun olarak, ekonomik yararlılığının değerlendirilmesi, bölgesel faydanın belirlenmesi gibi bir takım çalışma stratejilerin seçimini zorunlu kılar. Ticari ve evsel uygulamalar için ekonomik analizler, başlangıç maliyetlerinin 1000\$-1500\$ aralığına



miktarda elektrik gücü kullanıldığından dolayı 2.59 aralığında değişir. Bu alanda gelecek vadeden uygun lamalar pansiyonlar için görülmektedir. Sağlıkla ilgili uygulamaların yük faktörleri 0.25-0.35 aralığında değişir. Bu uygulamalar, aynı zamanda aydınlatma ve ameliyat aletlerini çalıştırmak için geri beslemeli güç sistemlerini de gerektirir. Yakıt pilli kojenerasyon sistemleri elektrik, ısı enerjisi ve geri besleme güç sistemleri ile ekonomik bina uygulamalarından biri olarak görülmektedir. Ticari alanda yakıt pili teknolojisi, veri işleme, telekomünikasyon ve yüksek teknoloji

kadar düşürülürse, yakıt pilli kojenerasyon sistemlerinin ekonomik açıdan cazibeli olduğunu gösterir. Son maliyet projeksiyonları, proton değişim membranlı yakıt pili teknolojisinde sağlanan gelişmeler sayesinde bu rakamlara kadar düşülebileceğini göstermektedir.

- Bu alanda yapılacak işlemler, yakıt teknolojisini, sistemin bütün kısımlarını, üretim metotlarının gelişmesi ve pil teknolojisini kolaylaştırmak yönünde olmalıdır. Bu yeni teknolojinin yayılmasında imalatçıların büyük

katkısı olacaktır. Yakıt pili ve kojenerasyon sistemleri öğrenilerek, tasarımcılar ekonomik ve çevresel faydaları olan uygun uygulamalar yapabileceklerdir.

#### KAYNAKLAR

1. Ellis, M.W., Gunes, M.B., Status of Fuel Cell Systems for Combined Heat and Power Applications in Building, ASHRAE Transactions, pp. 1032-1044, 2002.
2. Larminie, J., Dicks, A., Fuel Cell Systems Explained, John&Wiley & Sons, LTD., 2000.
3. Ferguson, A., Ugursal, V.I., A Fuel Cell Model for Building Cogeneration Applications, eSIM2002, Montreal, Que., 11-13 Sept., 2002.
4. Ferguson, A., Ugursal, V.I., The Modelling of Fuel Cell Cogeneration Systems, IEEEES-1, Proceedings of the First Exergy, Energy and Environment Symposium, pp. 623-628, 2003.
5. Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., Yakıt Pilleri, Teşisat Mühendisliği,
6. Archer, D.H., Wimer, J.G., A Phosporic Acid Fuel Cell Cogeneration System Retrofit to a Large Office Building, (<http://www.fetc.doe.gov>), 1997.
7. Wright, S.E., Comparison of the Theoretical Performance potential of Fuel Cells and Heat Engines, Renewable Energy, 29, pp. 179-195, 2004.
8. Güneş, B., Investigation of a Fuel Cell Based Total Energy System for Residential Applications, MsC Thesis, Virginia Polytechnique Institute and State University, 2001.
9. [www.fuelcells.org](http://www.fuelcells.org)
10. Holcomb F. H., M. J. Binder, W. R. Taylor, Cogeneration Case Studies of the DoD Fuel Cell Demonstration Program, Presented at the IQPC F-CELLS Stationary Conference, UK, 2000.
11. Entchev E., Residential fuel cell energy systems performance optimization using 'soft computing' techniques, Journal of Power Sources, 118, 212-217, 2003.
12. Figueroa R.A., J. Otahal, Utility experience with a 250-kW molten carbonate fuel cell cogeneration power plant at NAS Miramar, San Diego, J. Power Sources, 71, 100-104, 1998.
13. Silveira J. L., L.A. Gomes, Fuel cell cogeneration system: a case of technoeconomic analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 3, 233-242, 1999.
14. Silveira J.L., E. M. Leal, L. F. R., Analysis of a molten carbonate fuel cell: cogeneration to produce electricity and cold water, Energy, 26, 891- 904, 2001.
15. Fuel Cells Bulletin, Elsevier, Mitsubishi cogen PEM system hits 83% efficiency, April 2004.

