

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIT PİLLERİNİN ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI VE MEVCUT
SİSTEMLERLE MUKAYESE EDİLMESİ**

Göker ÇETİNER

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL,2008

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIT PİLLERİNİN ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI VE MEVCUT
SİSTEMLERLE MUKAYESE EDİLMESİ**

Göker ÇETİNER

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL,2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	1
1.3 Çalışmanın Getirdikleri	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Yakıt Pilinin Evlerde Kullanımı	3
2.2 Yakıt Pilinin Ticari Binalarda Kullanımı	4
3. YAKIT PİLİ ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ	6
3.1 Genel.....	6
3.2 Yakıt Pilinin Çalışma Prensibi	7
3.3 Yakıt Pili Çeşitleri	8
3.3.1 Polimer Elektrolit Yakıt Pili (PEFC).....	9
3.3.2 Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC).....	11
3.3.3 Direkt Metanol Yakıt Pili (DMFC)	11
3.3.4 Alkali Yakıt Pili (AFC)	12
3.3.5 Erimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC).....	13
3.3.6 Katı Oksit Yakıt Pili (SOFC).....	14
3.4 Yakıt Pili Kullanım Alanları.....	16
3.4.1 Yakıt Pilinin Otomobilde Kullanımı	16
3.4.2 Yakıt Pilinin Gaz Türbini Kombine Sistemlerinde Kullanımı	20
3.4.3 Yakıt Pilinin Evlerde Kullanımı	22
4. YAKIT PİLİNİN TİCARİ BİNALARDA KULLANIMININ EKONOMİK	

	ANALİZİ	26
4.1	Ekonomik Model	26
4.2	Model Sonuçları.....	28
4.3	Senaryo	30
4.4	Senaryo Sonuçları.....	31
5.	YAKIT PİLİNİN EVLERDE KULLANIMININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ	34
5.1	Model.....	34
5.2	Ekonomik Analiz	39
5.3	Emisyon Analizi	42
6.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	45
	KAYNAKLAR.....	46
	EKLER	48
	Ek 1 Elektrik tarifesi (2000-2008).....	49
	Ek 2 Hesaplamalar.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGE LİSTESİ

P_{FC}	Yakıt pili gücü
C_f	Yakıt maliyeti
η_1	Ortalama yıllık yakıt pili verimi
N_{cell}	Yakıt pili yığımındaki hücre sayısı
V	Hücre potansiyeli
i	Akım yoğunluğu
A_{cell}	Aktif yakıt pili alanı
n_y	Yakıt pili ömrü
i_r	Yıllık faiz oranı
C_{cell}	Yakıt pili hücre maliyeti
$S_{\text{çev}}$	Çevresel tasarruf
C_p	Fosil yakıt kullanımında, elde edilen birim enerji başına çevreye verilen zararın maliyeti
δ	Hidrojen yararlanma verimi ile fosil yakıt yararlanma veriminin oranı
ε	Hidrojen kullanımında çevreye verilen zarar ile fosil yakıt kullanımında çevreye verilen zararın oranı
PEM_{TM}	Elektrik ihtiyacının PEM yakıt pilinden temin edilmesi durumunda elektrik tüketim maliyeti
$\$_{TM}$	Elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden temin edilmesi durumunda yıllık tüketim maliyeti
r	Yük faktörü
E_e	Elektrik verimi
E_{top}	Toplam verim
E_t	Termik verim

KISALTMA LİSTESİ

ppm	Parts Per Million (Milyonda bir parçacık)
PEFC	Polimer Electrolyte Fuel Cell (Polimer Elektrolit yakıt pili)
PEMFC	Proton Exchange Membran Fuel Cell (Proton Değişim Membranlı yakıt pili)
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell (Fosforik Asit yakıt pili)
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell (Katı Oksit yakıt pili)
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell (Erimiş Karbonat yakıt pili)
AFC	Alkalın Fuel Cell (Alkali yakıt pili)
DC	Direct Current (Doğru akım)
AC	Alternative Current (Alternatif akım)
İYM	İçten Yanmalı Motor
GT	Gas Turbine (Gaz türbini)
PT	Power Turbine (Güç türbini)
IRSOFC	Internal Reforming Solid Oxide Fuel Cell (İç düzenlemeli Katı Oksit yakıt pili)
CHP	Combined Heat and Power (Kombine ısı ve güç)
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
SO ₂	Kükürtdioksit
AEP	Annual Electric Production (Yıllık elektrik üretimi)
AFC	Annual Fuel Cost (Yıllık yakıt maliyeti)
CRF	Capital Recovery Factor (Kapital Düzeltme Faktörü) (Amortisman katsayısı)
CFC	Cost of Fuel Cell (Yakıt pili maliyeti)
ACC	Annual Capital Cost (Yıllık yatırım maliyeti)
EC	Electrical Cost (Elektrik maliyeti)
COE	Cost of Electric (Çevresel tasarruf göz önünde bulundurularak elektrik maliyeti)
AMC	Annual Maintenance Cost (Yıllık bakım maliyeti)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Yakıt pili hücresi	7
Şekil 3.2 Yakıt pili hücresinin şematik gösterimi.....	8
Şekil 3.3 PEM yakıt pili	10
Şekil 3.4 Gözenekli elektrotlu polimer elektrolit tabaka.....	11
Şekil 3.5 Alkali yakıt pili.....	13
Şekil 3.6 Erimiş Karbonat yakıt pili	14
Şekil 3.7 Katı Oksit yakıt pili	15
Şekil 3.8 Yakıt pilli araç	18
Şekil 3.9 Şematik Katı Oksit yakıt pilli gaz türbini sistemi	21
Şekil 3.10 Yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemi çalışma prensibi	25
Şekil 4.1 Elektrik tarifesi projeksiyonu	31
Şekil 4.2 2008-2023 yıllarında tahmini yıllık elektrik tüketim maliyetleri.....	33
Şekil 5.1 Model alınan konut.....	34
Şekil 5.2 Akım yoğunluğuna bağlı olarak yük faktörünün değişim grafiği	36
Şekil 5.3 Yük faktörüne bağlı olarak verim değerlerinin değişim grafiği.....	37
Şekil 5.4 Yıllık enerji maliyet değerlerinin karşılaştırması.....	42
Şekil 5.5 Emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	43
Şekil 5.6 Net emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Yakıt pilli çeşitleri ve özellikleri	9
Çizelge 3.2 Prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli araçlar	19
Çizelge 3.3 Yakıt pilli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçların karşılaştırılması.....	20
Çizelge 4.1 Seçilen ticari binanın özellikleri.....	28
Çizelge 4.2 Seçilen yakıt pilinin özellikleri	29
Çizelge 4.3 Hesaplama kabul edilen değerler.....	29
Çizelge 4.4 Hesaplama sonuçları	30
Çizelge 4.5 2008-2023 yıllarında tahmini yıllık elektrik tüketim maliyetleri.....	32
Çizelge 5.1 Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi parametreleri	35
Çizelge 5.2 Hesaplama kabul edilen değerler.....	38
Çizelge 5.3 Isı ihtiyacının doğalgazdan, elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden sağlanması durumunda maliyet değerleri	39
Çizelge 5.4 1,5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılması durumunda maliyet değerleri	40
Çizelge 5.5 5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılması durumunda maliyet değerleri	41
Çizelge 5.6 Emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	43
Çizelge 5.7 Net emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	44

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla bana destek olan hocam Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI' ya, çalışmalarımda beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Ali Volkan AKKAYA' ya ve tüm Hidromekanik ve Hidrolik Makineler Anabilim Dalı öğretim ve araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

Ayrıca beni her zaman destekleyen arkadaşlarıma, aileme ve ablam Gökçe'ye sonsuz teşekkürler.

ÖZET

Dünya enerji tüketimi her geçen gün artmakta ve bu enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Petrol fiyatlarının arttığı, sera gazı oluşumu ve küresel ısınmanın kendini hissettirdiği bu günlerde yakıt pilleri yüksek verim ve düşük emisyon değerleri ile ön plana çıkmaktadır.

Dünya enerji tüketiminin büyük bir bölümünü evsel kullanım oluşturmaktadır. Çalışmamızda, yakıt pilinin evlerde ve ticari binalarda kullanımı irdelenmiş, ekonomik ve çevresel analiz yapılmıştır. Ticari bir binanın elektrik enerjisi ihtiyacının PEM yakıt pili ile karşılanması durumunda, yıllık elektrik tüketim maliyeti 979.000 YTL olurken, aynı binanın elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden karşılanması durumunda yıllık elektrik tüketim maliyeti 906.000 YTL olmaktadır.

Yakıt pilinin evlerde kullanımı incelendiğinde; bir evin tüm ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi tarafından karşılanması durumunda yıllık enerji tüketim maliyeti 2847 YTL olurken, aynı evin elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden, ısı enerjisi ihtiyacının ise doğalgazlı kazandan sağlanması durumunda yıllık enerji maliyeti 2405 YTL olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yakıt pili, kojenerasyon, konutsal uygulama

ABSTRACT

The world energy consumption is increasing daily and the most part of this energy is obtained from fossil fuels. Nowadays petrol prices are increasing, greenhouse gas forming and global warming are affecting the life. Fuel cells are coming into prominence with high efficiency and low emission values.

Residential usage is forming the most part of the world energy consumption. In this research, we have examined the fuel cell usage in the houses and commercial buildings and also have made economical and environmental analysis. If the commercial building's electrical demand is supplied with the PEM fuel cell, the annual electrical cost is 979.000 YTL. However, if the same building's electrical demand is supplied with the electric grid, the annual electric cost is 906.000 YTL.

When the usage of the fuel cell in the houses is investigated it's seen that; if the house's all heat and electrical demand is supplied with the Solid Oxide fuel cell cogeneration system, the annual energy cost is 2847 YTL. However, if the same house's electrical demand is supplied with the electric grid and the heat demand is supplied with the natural gas fed boiler, the annual energy cost is 2405 YTL.

Keywords: Fuel cell, cogeneration, residential

1. GİRİŞ

Dünyada enerji tüketimi her geçen gün artmakta ve bu enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. İnsan sağlığına ve çevreye zarar veren, rezervleri gün geçtikçe azalan fosil yakıtlara alternatif olacak yakıt kaynakları bilim adamları tarafından araştırılmaktadır. Petrol fiyatlarının arttığı, sera gazı oluşumu ve küresel ısınmanın kendini hissettirdiği bu günlerde yakıt pilleri yüksek verim ve düşük emisyon değerleri ile ön plana çıkmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Dünya enerji tüketiminin büyük bir bölümünü evsel kullanım oluşturmaktadır. Yaptığımız bu çalışmada, yakıt pillerinin evlerde ve iş merkezi, hastane, otel, alışveriş merkezi gibi ticari binalarda enerji kaynağı olarak kullanımı incelenmiştir. Yıllık enerji gereksinimlerinin yakıt pili ile karşılanması durumunda ortaya çıkan ekonomik ve çevresel faktörler analiz edilmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışmamızda yakıt pilinin ticari binalarda ve evlerde enerji kaynağı olarak kullanımı incelenmiştir. Öncelikle örnek bir ticari binada yıllık elektrik enerji gereksiniminin yakıt pilinden veya şehir şebekesinden karşılanması durumlarında ortaya çıkan ekonomik faktörler karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıca gelecek yıllar için bir senaryo oluşturularak, yıllık enerji tüketim maliyetlerinin önümüzdeki on beş sene içerisinde nasıl değişim göstereceği irdelenmiştir.

Daha sonra örnek bir evin ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının yakıt pilli kojenerasyon sistemi ile karşılanması durumu incelenmiştir. Yıllık enerji gereksiniminin; şehir şebekesinden, doğalgazdan ve yakıt pilinden karşılanması durumlarında ortaya çıkan ekonomik ve çevresel sonuçlar analiz edilmiştir.

1.3 Çalışmanın Getirdikleri

Çalışmamızda, Türkiye şartlarında bir ticari binanın ve bir evin enerji gereksinimlerinin yakıt pili ile karşılanması durumu incelenmiştir. Yıllık enerji tüketim maliyetleri ve emisyon değerleri bakımından mevcut sistemlerle mukayesesi yapılmış ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Günümüz şartlarında yakıt pili sisteminin ticari binalarda ve evlerde kullanımı, yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle diğer sistemlere göre pek avantajlı gözükmemektedir.

Yakıt pili teknolojisinin gelişmesi ile birlikte yatırım, bakım ve yakıt maliyetlerinde oluşacak azalma sonucunda sistem daha avantajlı hale gelecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Yakıt Pili Evlerde Kullanımı

Hawkes ve arkadaşları (2006) yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada İngiltere koşullarında, ortalama boyutlarda bir evin ısı ve elektrik ihtiyacının yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemi ile karşılanması durumunu irdelemişlerdir. Bu durumda evin enerji gereksiniminin iki farklı yöntem ile karşılanmasını mukayese etmiş, ekonomik ve çevresel analizler yapmışlardır. Birinci yöntem olarak; evin elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden, ısı ihtiyacının ise doğalgazdan sağlanması durumunu ele almışlar, yıllık enerji tüketim maliyeti ve emisyon değerlerini hesaplamışlardır. İkinci yöntem olarak; evin ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının, Katı Oksit yakıt pilli (SOFC) kojenerasyon sistemi ile sağlanması durumunu ele almışlar, yıllık enerji tüketim maliyeti ve emisyon değerlerini hesaplayarak birinci yöntem ile mukayese yapmışlardır. Sonuç olarak yakıt pilli kojenerasyon sisteminin, maliyet ve emisyon değerleri açısından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Paepe ve arkadaşları (2006) Belçika'da beş adet mikro kojenerasyon sisteminin (< 5 kW) konutsal kullanımı ile ilgili karşılaştırma yapmışlardır. Karşılaştırmaları, içinde dört kişilik bir ailenin yaşadığı (2 çocuk-2 yetişkin) teraslı müstakil ev ve iki katlı apartman dairesi arasında yapmışlardır. Öncelikle evin ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacını hesaplamışlar ve bu ihtiyacın farklı kojenerasyon sistemleri ile sağlanması durumunu incelemişlerdir.

Bu kojenerasyon uygulamaları;

- Senertec
- Ecopower
- Solo
- Whispertech
- Idatech

Senertec (Dachs HKA F 5.5) ve Ecopower (Minin-BHKW) sistemleri, doğalgaz ile çalışan motorlardır. Solo (Stirling 161 micro KWK) ve Whispertech sistemleri dıştan yanmalı motor olan Stirling motoru ile çalışmaktadır. Idatech sistemi ise doğalgazdan elde edilen hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili sistemidir. Her kojenerasyon sistemi için, enerji

kazançlarını, CO₂ emisyon değerlerini hesaplamışlardır. Tüm bu kojenerasyon sistemlerinin karşılaştırılmasında asıl olarak ısı ihtiyaçlarını dikkate almışlar, üretilen fazla elektrik enerjisinin şehir şebekesine verildiğini, anlık olarak elektrik ihtiyacının artması ve bu ihtiyacı kojenerasyon sisteminin karşılamaması durumunda ise gerekli olan elektrik enerjisinin şehir şebekesinden satın alındığını belirtmişlerdir. Enerji hesaplamalarında bu durumu göz önüne alıp, şehir şebekesine satılan elektrik enerjisi miktarını toplam miktardan düşmüşlerdir. Sonuç olarak bu beş ayrı kojenerasyon sistemi için karşılaştırma yapmışlar ve Whispertech ve Idatech sistemlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Osmanoğlu (2007) çalışmasında bir konutta PEM yakıt pilli mikro kojenerasyon sisteminin kullanılmasını incelemiştir. Kojenerasyon sistemi evin tüm elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. 90 m² büyüklüğünde ve ikinci katta bulunan bir apartman dairesini model olarak almıştır. Konut; oturma odası, mutfak, iki adet yatak odası ve banyodan oluşmaktadır ve evde dört kişinin yaşadığı kabul edilmektedir. Hava sıcaklığının, yaz aylarında 40°C, kış aylarında -31°C, nem oranının ise %55 olduğunu varsaymıştır, ev sıcaklığının yazın 24°C, kışın ise 21°C olduğunu kabul etmiştir. Bu doğrultuda konutun tüm elektrik ve ısınma ihtiyacının PEM yakıt pilli kojenerasyon sisteminden sağlanması durumu ile ilgili hesaplamalar yapmıştır.

Öz (2006) Bursa'da bulunan bir konutta yakıt pilli kojenerasyon sisteminin kullanımı konusunda bir çalışma yapmış, konutun ortalama enerji ihtiyacını hesaplamış ve bu enerji ihtiyacının yakıt pilli kojenerasyon sistemi ile karşılanması durumunu incelemiştir. Sonuç olarak kojenerasyon sisteminde Katı Oksit yakıt pilinin, PEM yakıt piline oranla daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda kojenerasyon sisteminin daha verimli çalışması için termal enerji deposu kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur.

2.2 Yakıt Pilinin Ticari Binalarda Kullanımı

Acar ve arkadaşları (2008) bir ticari binada ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin, PEM yakıt pili ile sağlanmasını incelemiş, konu ile ilgili ekonomik ve çevresel analiz yapmışlardır. Çalışmada ticari bir binada yaklaşık olarak 600 kişinin çalıştığını kabul etmişler, kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketim miktarını göz önüne alarak toplam yıllık enerji ihtiyacını belirlemişlerdir. Bu ihtiyacın PEM yakıt pilinden karşılanması ve şebeke elektrik enerjisinden karşılanması durumları için maliyet mukayesesi yapmışlardır.

Çalışma sonucunda, elektrik ihtiyacının PEM yakıt pilinden temin edilmesi durumunda yıllık enerji tüketim maliyetinin 244.754,4 YTL/yıl olduğunu, elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden temin edilmesi durumunda ise yıllık enerji tüketim maliyetinin ise 218.161,8 YTL/yıl olduğunu hesaplamışlardır.

3. YAKIT PİLİ ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Genel

Yakıt pilleri; temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verim değerine sahip enerji dönüşüm teknolojileridir. Bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal reaksiyon ile elektrik enerjisi üretilir. Hidrojen (H₂) ve oksijen (O₂) arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elektrik enerjisi elde edilen ve verim değerleri % 80'lere kadar ulaşabilen yakıt pilleri, sürekli çalışan piller veya elektrokimyasal makineler olarak da bilinir.

1839'da keşfedilen, 1932'de üzerinde gelişmeler sağlanan ve 1952 yılında NASA tarafından uzay çalışmalarında enerji sağlayıcı olarak kullanılan yakıt pilleri, 1960'lı yıllarda ilk yakıt pilli traktör yapımı ile kara ulaşımında kullanıma sunulmuş, 1980'li yıllarda yakıt pilli tren, 1990'lı yıllarda yakıt pilli denizaltı ve uçak ile gelişim göstermiş, son yıllarda kara araçlarında ve güç santrallerinde yaygın araştırma ve uygulama konusu olmuştur.

Atık olarak su ve ısı elde edilmesi ve özellikle minimum seviyedeki emisyon değerleri, yakıt pillerini avantajlı kılar. İçten yanmalı motorlarda, toplam kontrol edilemeyen emisyonlar 2370 ppm, gaz türbinli sistemlerde 120 ppm olduğu halde, yakıt pili sisteminde sadece 5 ppm dir.

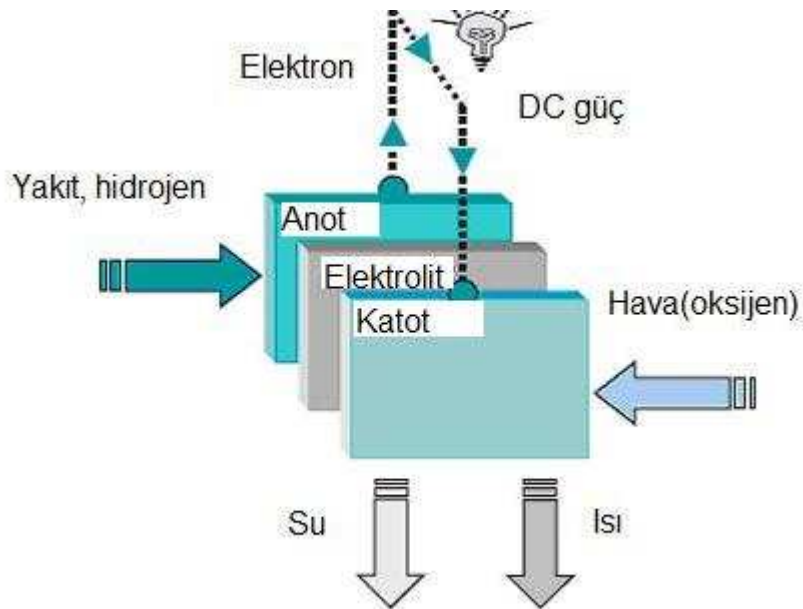
Yakıt pilleri, boyutlarının küçük olması, yüksek verimle çalışmaları ve atık ısılarının kullanılabilir olmasının yanı sıra aşağıdaki özellikleri nedeniyle de diğer güç sistemlerine göre daha üstündürler.

- Modüler olmaları
- Kullanıcıya yakın inşa edilebilmeleri
- Yakıt olarak saf hidrojenin yanı sıra doğal gaz, metanol veya kömür gazlarının kullanılabilmesi
- Sessiz çalışmaları
- Minimum seviyede kükürt oksit ve azot oksit emisyonları
- İnşa edilecek alanda çok az çevre kısıtlamaları gerektirmeleri ve kısa sürede inşa edilebilmeleri.
- Katı atık problemlerinin olmaması (<http://www.eie.gov.tr>).

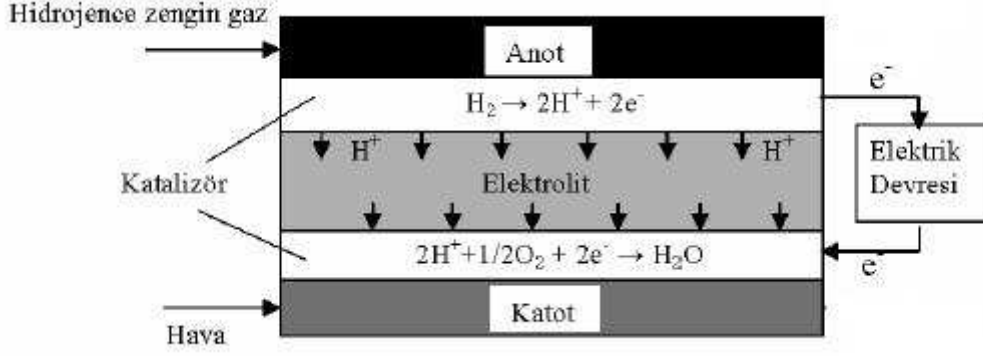
3.2 Yakıt Pili'nin Çalışma Prensibi

Yakıt pili, hidrojen (veya hidrojen zengin yakıt) ve oksijen kullanarak elektrokimyasal proses sonucunda elektrik enerjisi üreten bir ayardır. Yakıt pili iki elektrottan oluşur. Negatif elektrot (anot) ve pozitif elektrot (katot), elektrolit etrafına yerleştirilir (Şekil 3.1). Hidrojen anoda, oksijen katoda gönderilir. Katalizörün yardımıyla hidrojen atomları, proton ve elektrona ayrışır. Elektronlar dıştan geçerek elektrik akımını oluşturur (Şekil 3.2). Protonlar ise elektrolit üzerinden katoda doğru giderek oksijen ve elektronlarla buluşarak su ve ısı oluştururlar. Polimer Elektrolit yakıt pili ve Fosforik Asit yakıt pilinde; protonlar, elektrolit üzerinden katoda giderek oksijen ve elektronla buluşup su ve ısı oluşturur. Alkali, Erimiş Karbonat ve Katı Oksit yakıt pillerinde ise negatif iyonlar elektrolit üzerinden anoda doğru giderek hidrojenle buluşur, su ve elektron oluştururlar. Anot tarafındaki elektronlar, elektrolit üzerinden katoda ulaşamazlar. Bu elektronlar, yakıt pilinin diğer tarafına ulaşmak için elektrik çevrimini takip etmek zorundadır. Elektronların bu hareketi, elektrik akımını oluşturmaktadır.

Yanma işlemi olmadığı için yakıt pilleri çok düşük emisyon değerlerine sahiptir. Sistemde herhangi bir hareket eden parça bulunmadığı için yakıt pilleri sessiz ve güvenilirdir. Yakıt pilleri, binalarda elektrik üretimi ve ısınma amaçlı olarak ayrıca otomobillerde, otobüs ve trenlerde kullanılabilir.



Şekil 3.1 Yakıt pili hücresi (Haug vd.,2004)



Şekil 3.2 Yakıt pili hücresinin şematik gösterimi (İyidir, 2007)

Üzerinde araştırmalar ve çalışmalar yapılan altı tip yakıt pili çeşidi bulunmaktadır. Proton Değişim Membranlı yakıt pili (PEM), aynı zamanda Polimer Elektrolit yakıt pili (PEFC) olarak da bilinmektedir. Bu tip yakıt pili bina güç üretimlerinde, otomobil ve otobüslerde kullanılmak için en iyi verim değerlerine sahiptir. Katı Oksitli yakıt pili (SOFC), elektrik üretim tesislerinde kullanılmak için en uygun yakıt pili çeşididir. Gaz türbini ile birlikte kombine olarak kullanıldığında %70 elektrik verimine ulaşılır. Direkt Metanol yakıt pili (DMFC), cep telefonları ve laptoplarda batarya olarak kullanılmak için uygundur (Haug vd.,2004).

3.3 Yakıt Pili Çeşitleri

Yakıt pilleri, bünyesinde kullanılan elektrolitin cinsine göre çeşitli isimler alır.

- Fosforik Asit yakıt pili (PAFC)
- Katı Oksit yakıt pili (SOFC)
- Erimiş Karbonat yakıt pili (MCFC)
- Polimer Elektrolit yakıt pili (PEFC)
- Alkali yakıt pili (AFC)
- Direkt Metanol yakıt pili (DMFC)

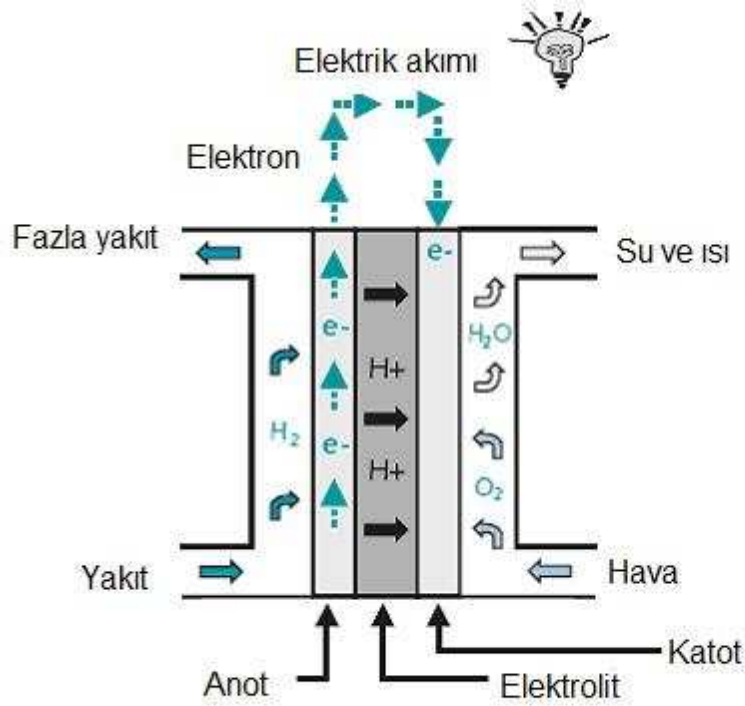
Her ne kadar çalışma prensipleri benzer olsa da, çalışma koşulları ve uygulama alanları farklılık göstermektedir. Çizelge 3.1'de yakıt pili çeşitlerinin temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri (www.eie.gov.tr)

	Fosforik Asit Yakıt Pili	Katı Oksit Yakıt Pili	Erimiş Karbonat Yakıt Pili	Polimer Elektrolit Yakıt Pili	Alkali Yakıt Pili
Elektrolit	Fosforik Asit	Çinko üzerine tutturulmuş Yttria	Karbonat	Polimer iyon değişim filmi	Potasyum hidroksit
Elektrolitteki Taşıyıcı	H ⁺	O ₂	CO ₃	H ⁺	OH ⁻
Hücre Materyali	Karbon	Seramik vb.	Nikel Paslanmaz çelik, vb.	Karbon	Karbon
Güç Yoğunluğu (W/kg)	120-180	15-20	30-40	350-1500	35-105
Yakıt Türü	H ₂ , Hidrokarbonlar, Fosil yakıtlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂
Sıcaklık	200°C	1000°C	600-700°C	80°C	80°C
Güç Üretim Verimi	% 37-42	% 60-70	% 45-60	% 60	% 42-73
Uygulama Alanları	Ticari uygulamalar (Oteller, hastaneler vs.)	Ticari uyg., Sanayi uyg., Elektrik santralleri	Elektrik santralleri	Ulaşım araçları, Askeri sistemler	Uzay çalışmaları

3.3.1 Polimer Elektrolit Yakıt Pili (PEFC)

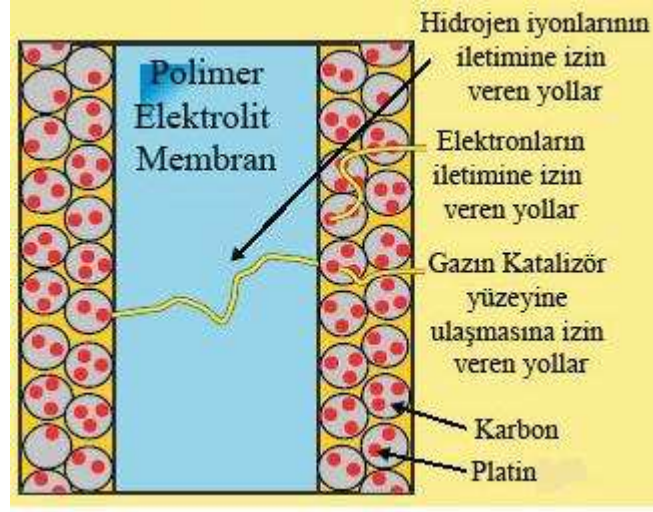
Polimer Elektrolit yakıt pilleri , aynı zamanda Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt pilleri olarak da anılır. Oluşan yüksek güç yoğunluğu, düşük ağırlık ve küçük hacim nedeniyle diğer yakıt pili çeşitlerine göre avantajlı durumdadır. PEM yakıt pilinde elektrolit olarak katı polimer, elektrot olarak gözenekli karbon ve katalizör olarak da platin kullanılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 PEM yakıt pili (Haug vd.,2004)

Genellikle hidrojen tanklarındaki saf hidrojen yakıt olarak kullanılır. PEM yakıt pilleri düşük sıcaklıkta çalışmaktadır. Çalışma sıcaklıkları $80^{\circ}C$ civarındadır. Düşük sıcaklıktaki operasyonlarda, hızlı başlangıç (kısa ısınma süresi) ve daha az aşınma vardır. Sistemin dayanıklılığı daha fazladır. Hidrojendeki proton ve elektronların ayrışması için metal soylu katalizör (genellikle platin) kullanılır, bu da sisteme ekstra bir maliyet getirir. Platin katalizör ayrıca karbon monoksit'e karşı hassastır. Bu sebeple alkolden yada hidrokarbonlu yakıttan elde edilen hidrojenin kullanılması durumunda yakıt gazındaki karbon monoksitin azaltılması gerekmektedir. Araştırmacılar genellikle katalizör olarak karbon monoksit'e daha dayanıklı olan platin/rutenyum karışımının kullanılmasını önerirler (Haug vd.,2004).

PEM yakıt pilinde her elektrot çok küçük platin parçacıkları ile bağlanmış olan gözenekli geçirgen karbon içerir (Şekil 3.4). Elektrot, oldukça gözenekli bir yapıda olup gazlar her elektrottan difüzyon ile katalizöre ulaşır. Platin ve karbonun her ikisi de elektronları iyi iletir, böylece elektronlar elektrot boyunca serbestçe hareket edebilir. Platin parçacıklarının boyutlarının küçük oluşu (yaklaşık 2 nanometre çapında) sonucu platinin toplam yüzey alanı oldukça geniştir. Platinin toplam kütesinin küçük olduğu durumda bile, küçük parçacık sayısının oldukça fazla olması nedeni ile toplam yüzey alanı çok geniştir. Bu geniş platin yüzey alanı elektrot reaksiyonlarına müsaade eder. Katalizördeki bu yüksek dağılım bir yakıt pilinde elektron akışının sağlanmasında önemlidir (Şenol vd.,2006).



Şekil 3.4 Gözenekli elektrotlu polimer elektrolit tabaka (Şenol vd.,2006)

3.3.2 Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)

160°C – 220°C sıcaklık aralığında çalışan Fosforik Asit yakıt pillerinde elektrolit olarak konsantre fosforik asit kullanılır. Düşük sıcaklıklarda fosforik asit zayıf bir iyon iletkenliğine sahiptir ve anottaki platin katalizörün CO ile kirlenme olasılığı fazladır. Diğer genel asitlerle karşılaştırıldığında konsantre fosforik asidin bağıl olarak dengesi yüksektir ve sonuç olarak 160°C - 220°C sıcaklık aralığının üst limitlerinde çalışabilir. Ayrıca yoğunlaştırılmış asit kullanımı su buharını azaltır, böylece hücrede su kontrolü kolaylaşır. Katalizör olarak platin kullanılır (Öz,2006).

3.3.3 Direkt Metanol Yakıt Pili (DMFC)

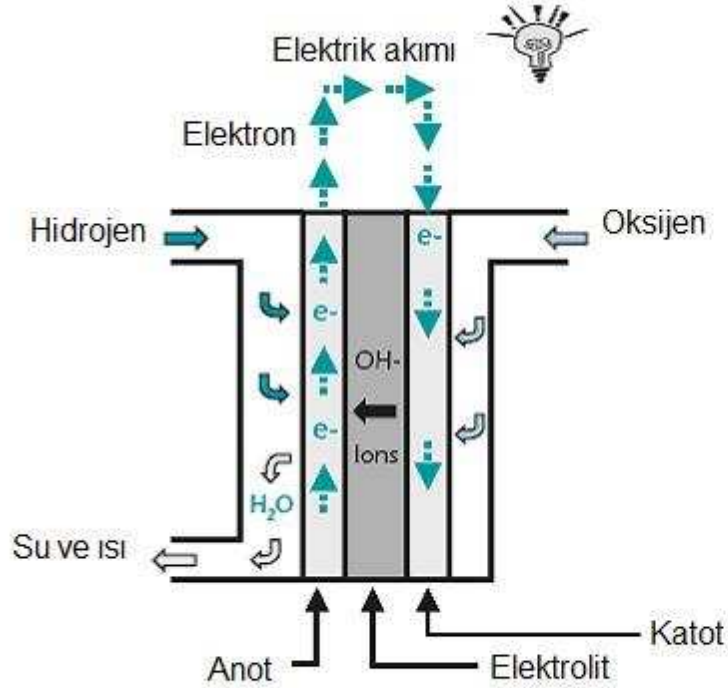
Yakıt pilinde direkt olarak hidrojen kullanımı durumunda çok yüksek verimler elde edilmektedir. Buna rağmen hidrojen gazının hacimsel enerji yoğunluğunun çok düşük olması bu gazın küçük elektronik cihazlarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Metanol direkt yakıt olarak kullanılabilir. Metanolun atmosferik koşullarda sıvı halde olması ve yüksek hacimsel enerji yoğunluğu hidrojenin depolama problemlerini ortadan kaldırmakta ve yakıt pillerinin uygulama alanlarının önemli ölçüde artmasına katkıda bulunmaktadır. Metanolun enerji yoğunluğu yüksektir. Kullanım kolaylığı ve sisteme çok hızlı bir şekilde tekrar kazandırılması önemli avantajlarındandır.

Metanol oksidasyonu için su gereklidir. Bu konu anot beslemesi için çok önemlidir. Sürekli bir yakıt beslemesi olabilmesi için orijinal yakıt olan saf metanolun yanında yakıt pili sistemi için su da bulunmalıdır. Ayrıca sistemde metanol konsantrasyonu arttıkça anottan katoda metanol geçişi artmaktadır ve metanolu seyreltmek için anotta devamlı su bulunmak zorundadır. Bu nedenlerle anotta devamlı yeteri derecede su bulunması için bir çok dizayn geliştirilmiştir. Metanol ve suyun karışması gerekliliği sistemi biraz kompleksleştirse de anottaki bazı problemleri azaltmaktadır. Öncelikle azalan metanol konsantrasyonu ile yakıt geçiş problemi iyileştirilmiş olmaktadır. Ayrıca elektrolit olarak kullanılan polimer membranların sulu ortamda iyonik iletkenlikleri artmaktadır.

Direkt Metanol yakıt pili reaksiyonunda su oluşmaktadır. Hava katot üzerinden geçerken, oluşan su da buharlaşmaktadır. Anodun ihtiyacı olan su miktarının toplanabilmesi için hava çıkışına bir kondansör konulmaktadır (Kurtcephe,2006).

3.3.4 Alkali Yakıt Pili (AFC)

Alkali yakıt pili, yakıt pili teknolojisinde geliştirilen ilk modellerden bir tanesidir. ABD'nin yaptığı uzay çalışmalarında, su ve elektrik enerjisi üretimi için ilk olarak Alkali yakıt pilleri kullanılmıştır (Şekil 3.5). Elektrolit olarak %85 konsantrasyonda potasyum hidroksit kullanılır ve çalışma sıcaklığı 250°C dır. %35-50 konsantrasyonda potasyum hidroksit kullanıldığında çalışma sıcaklığı 120°C nin altına düşer. Katalizör olarak nikel, gümüş, metal oksitler veya özel bazı metaller kullanılır (Oğuz,2006).



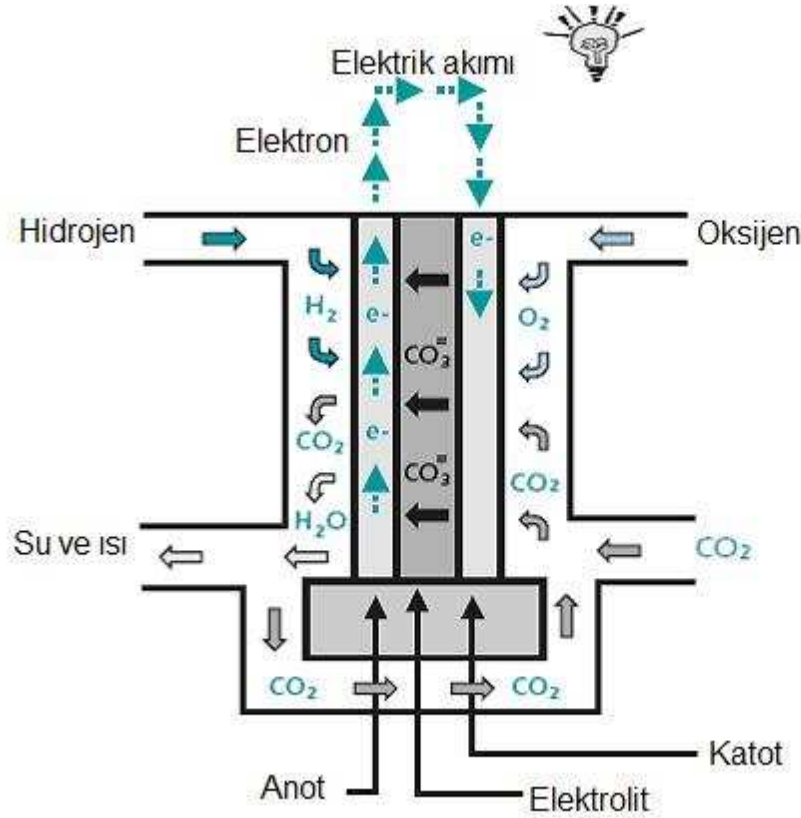
Şekil 3.5 Alkali yakıt pili (Haug vd.,2004)

Alkalin yakıt pilleri, pil içerisinde oluşan kimyasal reaksiyon göz önüne alındığında yüksek performanslı yakıt pilleri olarak değerlendirilirler. Yüksek verim değerlerine sahiptir, uzay çalışmalarında %60 verim değerine ulaşmıştır. Alkalin yakıt pilinin dezavantajı karbondioksit (CO₂) karşı çok hassas olması ve hemen özelliğinin bozulmasıdır. Eğer proses sırasında havada bulunan ufak miktardaki bir CO₂ proseste etki ederse, yakıt pili içerisindeki hidrojen ve oksijenin tamamen temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizleme işleminin maliyeti çok yüksektir. Ayrıca bu kirlenme yakıt pilinin mevcut ömrünü de azaltmaktadır (Haug vd.,2004).

3.3.5 Erimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC)

Erimiş Karbonat yakıt pilleri yüksek sıcaklık yakıt pilleridir, elektrolit olarak gözenekli erimiş karbonat karışımı kullanılmaktadır (Şekil 3.6). 650°C ve üzerindeki sıcaklıklarda çalışmaktadırlar ve katalizör olarak değersiz metaller kullanılmaktadır. Fosforik Asit yakıt piline oranla verim değerleri daha yüksektir. Fosforik Asit yakıt pili %37-42 verim değerine sahipken, Erimiş Karbonat yakıt pilleri %60 verim değerine ulaşabilmektedir. Eğer atık ısıdan, herhangi bir metot ile faydalanma yoluna gidilirse toplam verim %85 değerine ulaşabilir.

Alkali, Fosforik Asit ve PEM yakıt pilinden farklı olarak, Erimiş Karbonat yakıt pili yakıttan hidrojen elde edilmesi için ekstra bir işleme gerek duymaz. Erimiş Karbonat yakıt pilinin çalışma sıcaklığında yakıt, yakıt pili ile birlikte kendi kendine hidrojen üretir. Bu olay maliyeti büyük oranda azaltmaktadır.



Şekil 3.6 Erimiş Karbonat yakıt pili (Haug vd.,2004)

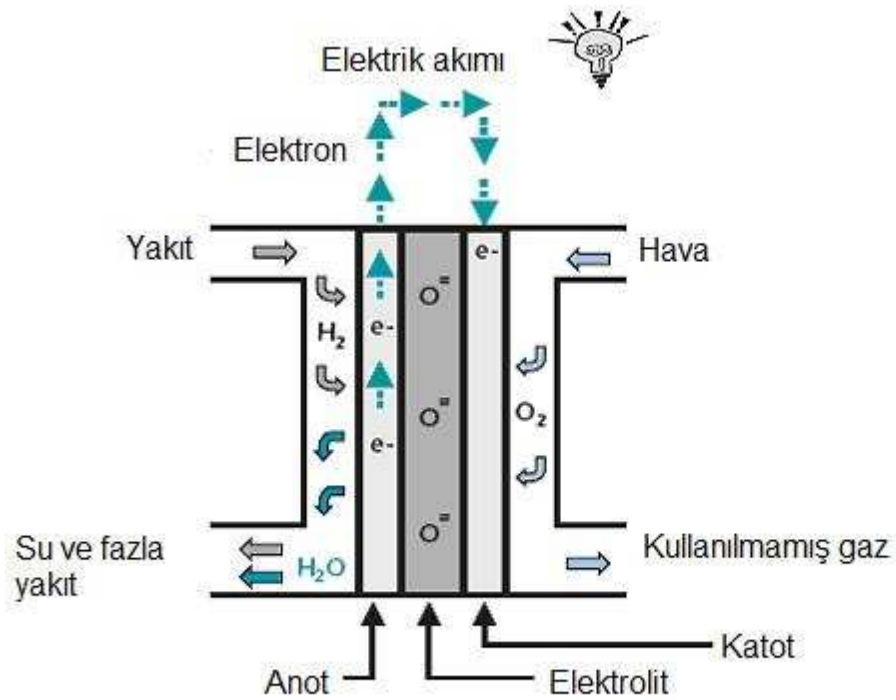
Erimiş Karbonat yakıt pilinin dezavantajı, dayanıklılığının düşük olmasıdır. Yakıt pilinin çalıştığı yüksek sıcaklıklar bileşenlerin bozulmasına ve korozyona sebep olur. Yakıt pilinin ömrünü azaltır. Bilim adamları, Erimiş Karbonat yakıt pili dizaynında korozyon direnci yüksek malzemeler kullanarak, performansı düşürmeden yakıt pilinin ömrünü arttırma çalışmaları yapmaktadır (Haug vd.,2004).

3.3.6 Katı Oksit Yakıt Pili (SOFC)

Katı Oksit yakıt pilinde elektrolit olarak sert, gözeneksiz seramik malzeme kullanılmaktadır. Elektrolit katı olduğu için, diğer tipteki yakıt pilleri gibi tabaka üzerine dizayn edilmezler (Şekil 3.7). Katı Oksit yakıt pilleri %50-60 verim değerine sahiptir. Hesaplamalarda %70

verim değerinin sağlanabileceği ortaya çıkmıştır. Atık ısıdan kojenerasyon ile faydalanılması durumunda toplam verim %80-85 değerlerine ulaşır.

Katı Oksit yakıt pilleri çok yüksek sıcaklıklarda (1000°C) çalışırlar. Yüksek sıcaklıkta çalışma, katalizör olarak değerli metal kullanma ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve bu da maliyeti azaltmaktadır. Katı Oksit yakıt pilleri, sülfüre karşı en dirençli yakıt pili çeşididir. Ayrıca karbon monoksit (CO) karşı da dayanıklıdır. Bu, Katı Oksit yakıt pillerinin kömür gazı ile çalışmasına olanak sağlar.



Şekil 3.7 Katı Oksit yakıt pili (Haug vd., 2004)

Yüksek sıcaklıktaki yakıt pillerinin bazı dezavantajları vardır. Hızlı bir başlangıç yapamazlar ve yüksek sıcaklıktan insanları korumak için özel çalışmalar yapmak gerekmektedir. Ayrıca bu yüksek sıcaklık, yakıt pili malzemelerinin sıcaklığa karşı dayanıklı olmalarını gerektirmektedir. Düşük maliyetli, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı malzemelerin kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca bilim adamları, düşük maliyetli ve sıcaklığa karşı daha dayanıklı bir çalışma için 800°C nin altındaki sıcaklıklarda çalışan Katı Oksit yakıt pili tasarım çalışmaları yapmaktadır (Haug vd.,2004).

Katı Oksit yakıt pili 1000°C de çalışmaktadır ve 815°C civarında bir çıkış sıcaklığı (hava + su buharı olarak) vardır. Örnek bir hesaplamada doğalgaz beslemeli 100 kW kapasitesinde

alışan bir Katı Oksit yakıt pilinde 14,5 kg/saat doğalgaz beslenmelidir. Yakıt pilinde yaklaşık 50 kg/saat su üretilir. Bu 1000°C ve 4 barda yaklaşık 70 m³/saat hacimsel debiye karşılık gelir. Doğalgaz doğrudan yakıt piline besleniyorsa, yakıt pilinde üretilen bu su buharının yaklaşık olarak yarısı, doğalgazdan hidrojen üretimi reaksiyonlarında kullanılır. Bununla beraber reaksiyonların gerçekleştirilmesi için yakıt piline doğalgazla birlikte su da beslenir. Yakıt pilinden çıkacak su miktarı doğalgazla birlikte beslenen su miktarına bağlıdır (<http://www.zorluom.com/arge.asp>).

3.4 Yakıt Pili Kullanım Alanları

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda yakıt pillerinin çeşitli enerji üretim sistemlerinde kullanılabileceği ve mevcut sistemlerle mukayese edilebilecek kadar yüksek verim ve düşük emisyon değerine ulaşılabileceği saptanmıştır. Özellikle binalarda elektrik üretimi ve ısınma amaçlı olarak ayrıca otomobillerde, ticari araçlarda, gaz türbini kojenerasyon sistemlerinde ve cep telefonu, laptop bataryalarında kullanımının yaygınlaşması hususunda önemli çalışmalar yapılmaktadır.

3.4.1 Yakıt Pilinin Otomobilde Kullanımı

Yakıt pilleri, yakıtın kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Konvansiyonel teknolojilere göre daha yüksek verim ve önemli miktarda düşük emisyon üretirler. Ayrıca daha sessiz çalışırlar ve modüler yapıdadırlar. Son yıllarda otomobilde kullanım uygulamaları başlamıştır.

Yakıt pilli araçların menzili, konvansiyonel araçlarda olduğu gibi yakıt tankında depolanan yakıtın miktarına bağlıdır. Güç/Enerji üretim modülü olarak yakıt pilinin büyüklüğü, araçta ihtiyaç duyulan güç kapasitesine bağlıdır ve menzili ile ilişkili değildir.

Yakıtın elektrik enerjisine direkt olarak dönüştürüldüğü yakıt pillerinde, teorik verim karnot verimi ile sınırlı değildir. Yakıt işlemedeki ısıl kayıplar göz önüne alındığında, yakıt pillerinin verimleri %60-70 seviyesine ulaşmaktadır. Enerji üretiminde hiçbir döner parçanın kullanılmaması, tamamen sessiz bir çalışma sağlamaktadır.

Yakıt pilli araçların avantajları;

- Normal ve kısmi yüklerde yüksek çalışma verimi
- Direkt enerji dönüşümü
- Düşük emisyon değerleri (CO, SO₂, NO_x)
- Düşük bakım maliyetleri
- Düşük gürültü seviyesi

Yakıt pili teknolojisi sayesinde düşük emisyonlu araçların üretimi, çevre kirliliğine önemli bir çözüm sağlayacaktır. Dünyada gelişmekte olan yakıt pili teknolojisi üzerine yapılan araştırmalar, hem askeri hem de sivil alanda yoğunluk kazanmıştır.

Özellikle sıfır emisyon ve yüksek verim gibi önemli avantajların yanında seri üretime geçme öncesinde birtakım teknik ve ekonomik sorunların aşılması gerekmektedir. Otomotiv sektöründeki yatırımlar ile gelişimini sürdüren yakıt pili teknolojisinde, maliyet etkin çözümler halen çözülememiş durumdadır. Genel olarak, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, güvenilirlik, bakım, hidrojen depolama sistemi ve güvenlik teknolojileri geliştirilmeye açık alanlar olarak tanımlanmaktadır (Ünlü vd.,2003).

Çalışma prensibi ve uygulamalar;

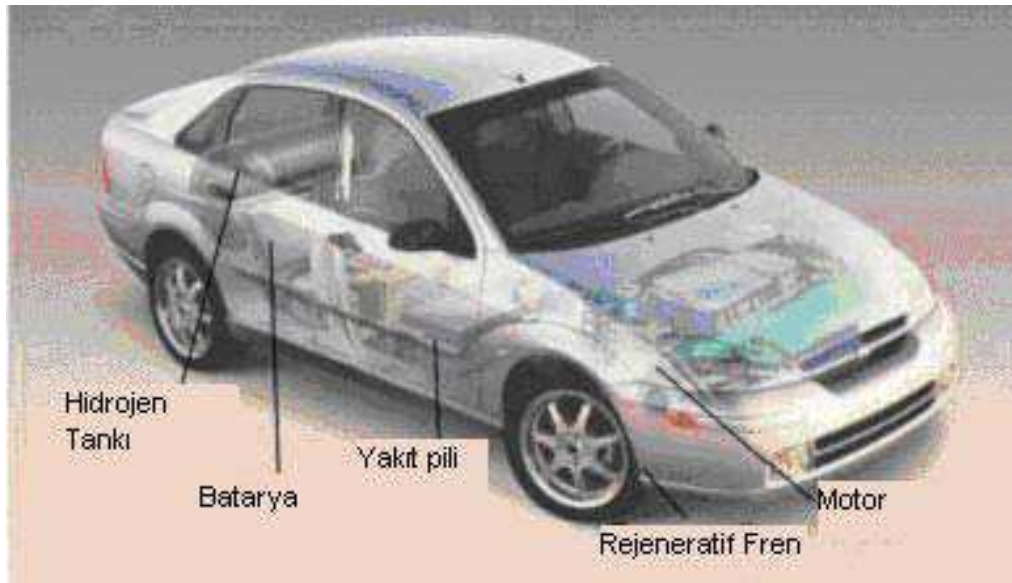
Bir yakıt pilli araç; yakıt depolama sistemi, yakıt pili kontrol ünitesi, güç işlemci ünitesi kontrolü ve tahrik sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.8). Yakıt depolama sisteminde depolanan hidrojen direkt olarak veya fosil kökenli yakıtların yakıt işleme prosesine tabi tutulması ile elde edilen hidrojen yakıt piline beslenir. Bir yakıt pili biriminin çıkış gerilim değeri 0,7 volt mertebesinde dir. Bu nedenle birkaç yakıt pili birimi seri olarak bağlanarak çıkış gerilimi arttırılır. Yakıt pili ve elektrik motoru arasındaki güç elektroniği devresi için, gerilim değerinin yükseltilmesi amacı ile DC (doğru akım) motorlarda DC/DC çeviricisine, AC (alternatif akım) motoru için, DC/AC çeviricisine, kontrol için mikroişlemci/dijital sinyal işlemcisine, aşırı yükleme şartları ve rejeneratif frenleme için batarya depolama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt pilli elektrikli bir araçta batarya yerine süper kapasitörler de kullanılmaktadır. Fakat mevcut teknoloji, süper kapasitörlerin bataryaların yerini alabilmesi için maliyet ve güvenilirlik açısından geliştirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Yakıt pilinin performansı, gerilim ve akım çıkış karakteristikleri nedeniyle yük değişimlerine karşı duyarlıdır. Yakıt pilinin kontrol ünitesi, gerilim ve akım bilgilerini düzenleyerek istenilen güce göre yakıt piline girecek hidrojenin miktarını ayarlar.

PEM yakıt pili uygulamalarında yakıt saf hidrojendir. Bu durumda, hidrojen sıvı fazda basınçlandırılmış şekilde tankta veya metal hidrürler üzerine depo edilir. Hidrojeni depo etmenin en kolay ve en ucuz yolu sıkıştırılmış hidrojeni paslanmaz çelik veya alüminyum alaşımlı tanklarda depo etmektir. Yeterli miktarda hidrojeni depolayabilmek için, gerekli 400 atm veya üstü basınç değerlerine sıkıştırma işlemi sırasında yüksek miktarda enerjiye gerek duyulmaktadır. Bu yöntemle, gerekli olan yakıt tankı araçta fazla yer kaplamaktadır. Hidrojenin depolandığı yakıt tankının hacmi aynı enerjiyi içeren benzin tankının hacminden yaklaşık dört katı kadar daha fazladır.

Hidrojenin depolanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise hidrojenin metal hidrür yataklar içinde düşük sıcaklıklarda metalik bileşiklerle bağ yapmasıdır. Metal hidrür ile depolama tekniğinde, sıcaklık arttıkça hidrojen serbest kalmaktadır. Sıcaklık hidrojenin serbest kalma oranını belirlediği için patlama riski sınırlanmaktadır. Bununla birlikte taşıta istenilen menzili verebilecek hidrojenin depolanması için gerekli metal hidrür ağırlığı optimize edilmekten uzak görünmektedir. Hidrojenin depolanmasında alternatif çözümlerden biri, grafit nano-fiberin kullanılmasıdır. Bu fiberler ile ilgili birçok araştırma devam etmekte ve yüksek miktarda hidrojen depolama imkanı sağlayabileceği öngörülmektedir (Ünlü vd.,2003).

Çizelge 3.2 de prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli araçlar ve özellikleri, Çizelge 3.3 de ise yakıt pilli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçların mukayesesi yer almaktadır.



Şekil 3.8 Yakıt pilli araç (Ünlü vd.,2003)

Çizelge 3.2 Prototip amaçlı geliştirilmiş yakıt pilli araçlar (Ünlü vd.,2003)

Üretici	Daimler Chrysler	Daimler Chrysler	Ford	Ford	GM	GM
Model İsmi	NECAR5	Commander	P2000	Think Focus	Opel Zafira	Opel Zafira
Tahrik Tipi	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon		
Güç Kaynağı	Yakıt pili + metanol yakıt dönüştürücü ve H ₂ depolama	Yakıt pili + metanol yakıt dönüştürücü + batarya	Yakıt pili + H ₂ depolama	Yakıt pili + H ₂ depolama	Yakıt pili + metanol yakıt dönüştürücü + H ₂ depolama	Yakıt pili + H ₂ depolama
Güç (kW)	55	70	67	67	80	89
Gerilim (V)	330		255	315		
Hız (km/h)	145		128	128	120	145
Menzil	450		160	160	640	400
Üretim Tarihi	2004	2004	2004	2004	2004	

Üretici	Honda	Mazda	Mitsubishi	Nissan	Peugeot / Citroen	Renault / Volvo	Toyota
Model İsmi	FCX-V3	Demio-FCEV	Fuel-Cell EV	FCV	Partner	Fever	FCEV
Tahrik Tipi	SM Senkron	3 fazlı indüksiyon		SM Senkron	Senkron	SM Senkron	
Güç Kaynağı	Yakıt pili + H ₂ depolama + Süperkapasitör	Yakıt pili + H ₂ depolama + Süperkapasitör	Yakıt pili + Yakıt dönüştürücü	Yakıt dönüştürücü	Yakıt pili + Yakıt dönüştürücü ve H ₂ depolama	Yakıt pili + H ₂ depolama + NiMH batarya	Yakıt pili + metanol yakıt dönüştürücü
Güç (kW)	60	65				30	50
Gerilim (V)	330					250	
Hız (km/h)	145	90				120	125
Menzil	400	170				400	500
Üretim Tarihi	2003		2005	2004	2003	2003	

Ayrıca 2006 yılından itibaren: General Motors; Chevy Equinox modelini, Honda; FCX Clarity modelini, Mitsubishi; Grandis modelini, BMW; H2R modelini, Mazda; Demio modelini, Nissan; Xterra FCV modelini geliştirerek deneme sürüşlerine başlamışlardır.

Çizelge 3.3 Yakıt pilli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçların karşılaştırılması (Ünlü vd.,2003)

	İYM' lu ARAÇ	YAKIT PİLLİ ARAÇ	
Çevreye Duyarlı	Hayır	Evet	Yakıt pilinde yakıt olarak hidrojen kullanıldığından emisyon olarak sadece su açığa çıkar.
Yüksek Performans	Evet	Evet	Yakıt pilli araçların performansları İYM' lu araçların performanslarına göre çok daha yüksektir. Örneğin İYM' lu Ford Focus un gücü 110 BG iken, yakıt pilli Ford aracı 85 kW Ballard Mark 902 yakıt piline sahiptir ve bu aracın gücü 117 BG kadardır.
Düşük Bakım Maliyeti	Hayır	Evet	Yakıt pilli araçların çok az hareketli elemanı olduğundan konvansiyonel araçlar gibi yağ değiştirme ve bunun gibi diğer bakım gereksinimleri yoktur.
Düşük Gürültü	Hayır	Evet	Yakıt pilli araçların tüm gürültüsü hava kompresörü veya fanlardan kaynaklanmaktadır.
Yüksek Verim	Hayır	Evet	Yakıt pillerinin verimi karnot çevrimi ile sınırlandırılmamıştır. Yakıt pilli araçlarda mekanik sürtünmelerden dolayı oluşan kayıplar İYM' lar kadar fazla değildir.
Yüksek Ağırlık	Hayır	Evet	Mevcut teknoloji ile yakıt pili ve diğer donanımları araç ağırlığına olumsuz yönde etki edecek durumdadır.
Yüksek Maliyet	Hayır	Evet	Kullanılan pahalı katalizör yakıt pili birim maliyetlerini oldukça yükseltmektedir.

3.4.2 Yakıt Pili Gaz Türbini Kombine Sistemlerinde Kullanımı

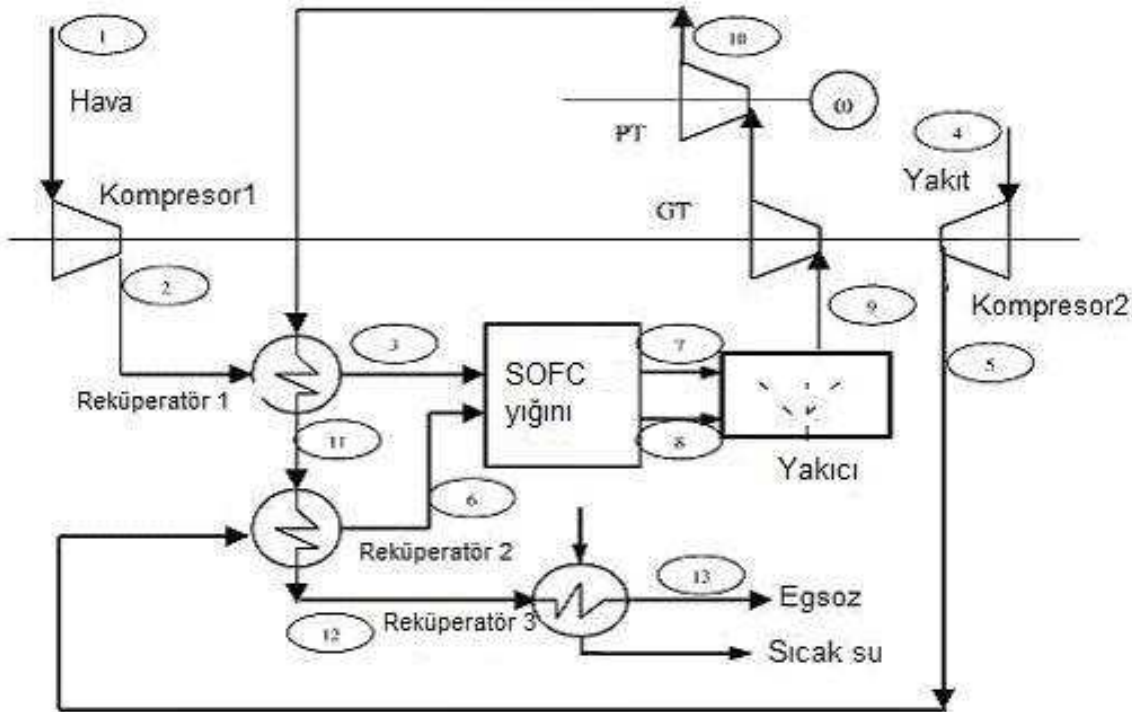
Güç üretim sistemlerinde yüksek verim ve düşük emisyon değeri talepleri gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yakıt pilleri, konvansiyonel enerji üretim sistemlerine alternatif olarak gösterilmekte ve fosil yakıtlara göre daha tehlikesiz ve daha verimli olduğu bilinmektedir. Değişik yakıt pilleri türleri, farklı teknolojilerle birlikte çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık Katı Oksit yakıt pilleri, yakıt ekonomisi göz önüne alındığı zaman güç üretim sistemlerinde tercih edilmektedir. Genellikle sağladıkları fayda göz önüne alınarak, Katı Oksit

yakıt pili ve gaz türbini teknolojileri güç üretiminde beraber kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, gaz türbini sistemine eklenmiş orta ölçekli, ara soğutma ve ön ısıtmaya sahip Katı Oksit yakıt pili, elektrik verimini %70 ve daha üst noktalara taşıyabilmektedir. Gelişmiş mikro türbinlere ve 250 kW gücünde Katı Oksit yakıt piline sahip küçük ölçekli bir elektrik üretim sisteminde, elektrik veriminin %65 olması beklenmektedir. Daha gelişmiş sistemlerle, özellikle iç düzenlemeli Katı Oksit yakıt pili (IRSOFC) – gaz türbini sistemlerinde daha yüksek verim değerlerine ulaşılmaktadır.

Katı Oksit yakıt pili ve gaz türbini hibrid sistemi (SOFC-GT), çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bir güç üretim sistemi için, sistemden çıkan gücün anlık yük durumuna göre ayarlanabilir olması gerekmektedir. Kısmi yük performansı, operasyonun kararlı ve güvenli olması, Katı Oksit yakıt pili-gaz türbini sistemlerini ticari olarak uygun hale getirmektedir.

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar, doğalgaz beslemeli Katı Oksit yakıt pili-gaz türbini güç üretim sistemi üzerine yoğunlaşmıştır. İç düzenlemeli Katı Oksit yakıt pili yığını sistemin kalbidir. Akım yoğunluğu, diğer elemanların direnci ve Katı Oksit yakıt pili yığınının sıcaklığı, sistemin performansını doğrudan etkilemektedir (Chan vd., 2002).



Şekil 3.9 Şematik Katı Oksit yakıt pilli gaz türbini sistemi (Chan vd., 2002)

Hibrid Katı Oksit yakıt pili-gaz türbini güç üretim sisteminin şematik şeklini Şekil 3.9’da bulabilirsiniz. Sistem, Katı Oksit yakıt pili yığını, yakıcı, gaz türbini, iki adet kompresör ve üç adet reküperatörden oluşmaktadır. Gaz türbini tarafından üretilen mekanik güç iki adet kompresörü çalıştırmaktadır, güç türbininde ise elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Sıkıştırılmış yakıt ve hava, reküperatörde ön ısıtma yapılarak, yakıt pili yığına gönderilir. Doğalgaz ve oksijen, anot ve katot bölmelerine doğru harekete geçer. Doğalgaz anotta iç düzenleme geçirir ve ürün olarak hidrojen zengin ürünler açığa çıkar. Elektrokimyasal reaksiyon gerçekleşir ve elektrolitten elektrotlara doğru bir akım oluşur. Elektrik enerjisi ve ısı açığa çıkar. Açığa çıkan ısı, doğalgazın düzenlenmesinde ve sistemi besleyen gazların ısıtılmasında kullanılır.

Yakıt pili yığınının yüksek sıcaklıktaki atık gazları, doğalgazın düzenlenmesinde kullanılamaz, yakıcıya gönderilir. Yakıcıda, artık yakıt (hidrojen, metan, karbon monoksit) fazla hava ile buluşur. Yakıt pili çıkışındaki artık yakıt miktarı, Katı Oksit yakıt pilinin çalışma koşulları ile ilişkilidir. Yanan yakıt-hava karışımı, mekanik enerjinin üretileceği gaz türbinine gider. Burada üretilen mekanik enerji, yakıtı ve havayı istenilen basınca getiren reküperatörlerde kullanılır. Genleşme sonucu ortaya çıkan gaz, güç türbinlerine gönderilir ve mekanik enerji elde edilir. Bu mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Güç türbininden çıkan atık gazlar reküperatöre gönderilir ve burada sisteme girecek olan yakıt ve havaya ön ısıtma yapılır. Üç numaralı reküperatör, kojenerasyonda olduğu gibi, genel ısıtma amaçlı kullanılır. Örneğin, suyun sıcaklığını 25°C den 90°C ye çıkararak endüstriyel proseste kullanılmasına olanak sağlar (Chan vd., 2002).

3.4.3 Yakıt Pilinin Evlerde Kullanımı

Kojenerasyon sistemleri uzun yıllardan beri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda sanayide enerji makinesinden gelen atık ısının, ısınma amaçlı olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. Artan çevresel sorunlar ve dünya üzerinde birçok ülkenin imza attığı Kyoto Protokolü açısından, kombine ısı ve güç sistemleri emisyon değerlerinin düşüş göstermesi nedeniyle önem arz etmektedir.

Dünyada, binaların ısıtılmasında büyük miktarda enerji harcanmaktadır. Avrupa’da birçok bina, yakıt olarak doğalgaz ve fueloilin kullanıldığı merkezi sistemlerle ısıtılmaktadır. Bu sistemlerin verimleri, yoğuşma teknolojisinin kullanılması ile birlikte son yıllarda oldukça artış göstermiştir. Bundan sonraki adım, binalarda hem ısınma amaçlı hem de elektriksiz güç elde

etmek için yakıt pilli kojenerasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Özellikle ofis amaçlı kullanılan büyük binalarda bu sistem kısa sürede kullanılmaya başlanacaktır (Paepe vd., 2006).

Hastaneler, okullar, bankalar, alışveriş merkezleri, oteller ve resmi kurumların da içinde bulunduğu orta ölçekli toplum binalarında, özellikle yaz aylarında iklimlendirme sistemlerinin kullanılmasıyla birlikte, elektrik ihtiyacı artmaktadır. Bu tip binalarda, yakıt pilleri elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Acar vd., 2008).

Gelecekte tüm küçük çaplı binalarda, evlerde ve küçük apartmanlarda da kullanılması öngörülen yakıt pilli kojenerasyon teknolojisi için yeni çalışmalar yapılmaktadır. Yakıt pilli kojenerasyon teknolojisinin çok yeni olması, piyasada yeni yeni gelişme göstermesi nedeniyle sonuçları hakkında tam ve kesin bilgiler verilememektedir.

Geçmişte yapılmış olan çalışmalar, yakıt pili kaynaklı enerji üretim sistemlerinin ticari binalarda, evlerde ve apartmanlarda kullanılmasının yolunu açmış, gelecekte yapılacak iyileştirmeler ile birlikte sistemin öncelikli tercih sebebi olacağı öngörülmüştür.

Mikro kojenerasyon sistemi için ev uygulamaları kritik bir test alanıdır. İnsanların evde kullanmak üzere mikro kojenerasyon sistemi almaları ve bu sisteme alışmaları uzun süre alabilir. Fakat yakıt pili teknolojisi mikro kojenerasyon sistemleri için diğer alternatif teknolojilere göre bazı avantajlara sahiptir. Elektro kimyasal reaksiyonla çalıştıkları için hareket eden parçaları yoktur, daha sessiz ve titreşimsiz çalışırlar. Yeni binalarda gelişmiş yalıtım sistemi sayesinde ısıya duyulan ihtiyaç daha azdır ve bu gelişme yakıt pillerini ön plana çıkarmaktadır. Yakıt pillerinin bir diğer avantajı ise emisyon değerleridir. Alternatif teknolojilere göre çok düşük emisyon değerlerine sahip olan yakıt pilleri mikro kojenerasyon sistemleri için gelecekte öncelikli tercih olacaktır (Brown vd., 2006).

Geçmişte üç çeşit yakıt pili çalışmalara ve araştırmalara dahil edilmiştir. Erimiş Karbonat yakıt pili, PEM yakıt pili ve Katı Oksit yakıt pili yapılan örnek uygulamalarda denenmiştir. Ayrıca geçmişte Japonya ve Amerika'da devlet tarafından yapılan Fosforik Asit yakıt pili araştırmaları da bulunmaktadır. Son yıllarda çalışmalar PEM ve Katı Oksit yakıt pili üzerine yoğunlaşmıştır. Mikro kojenerasyon sistemleri için PEM ve Katı Oksit yakıt pilleri uygun tip yakıt pilleridir. Erimiş Karbonat yakıt pilleri daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar. Uygun verim elde etmek ve ekonomiklik açısından 1 MW düzeylerinde çalışması uygun görülür.

Gelecekte PEM yakıt pillerinin maliyetlerinin düşmesi ile birlikte sistemin daha uygulanabilir hale gelmesi beklenmektedir. Fakat yakıt pillerinin mikro kojenerasyon sistemlerinde yaygın

olarak kullanılır olması için gelişme göstermesi beklenen bazı konular vardır.

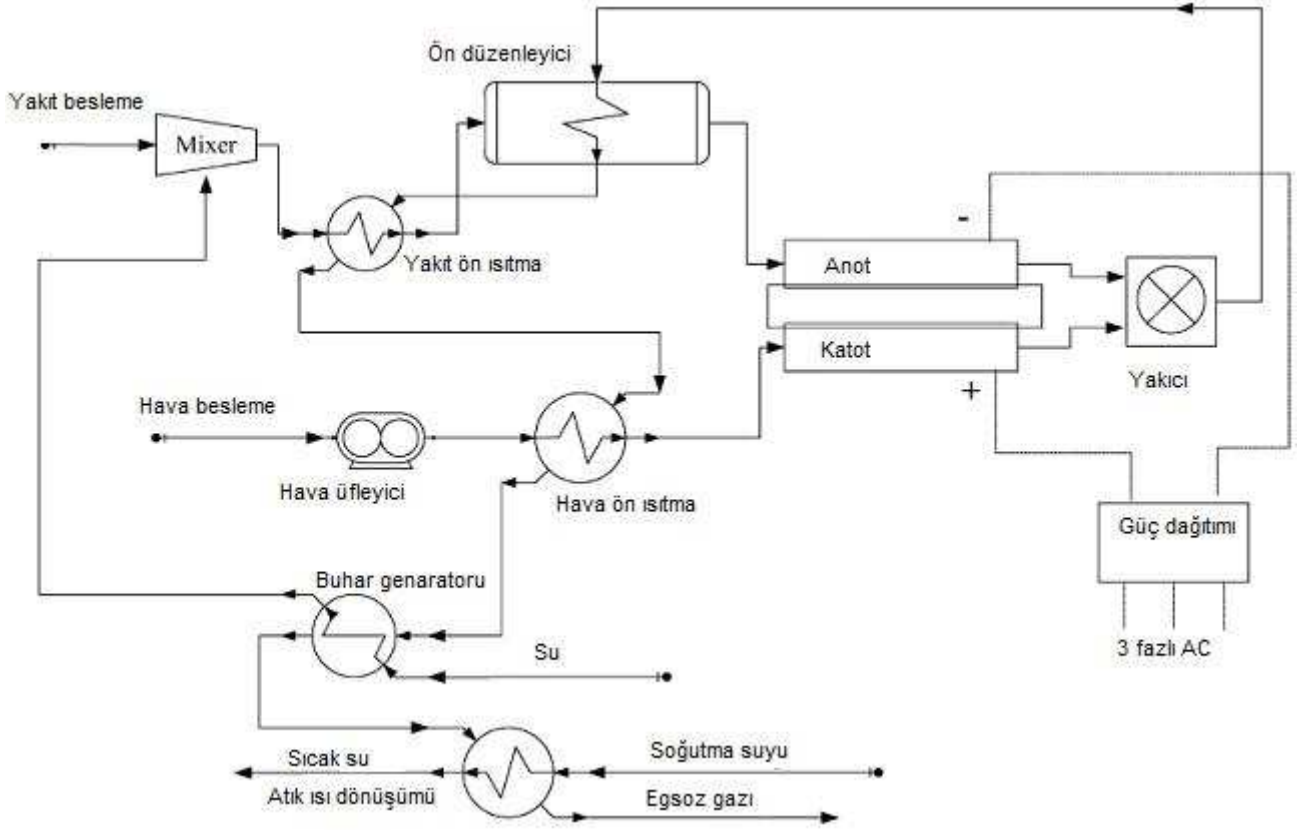
Yakıt pilleri kompleks sistemlerdir. Çalışma sistemleri üç procesten oluşmaktadır (Yakıt prosesi, güç üretimi ve güç aktarımı). Bu karmaşık sistemin yapılandırılması büyük uygulamalar için çok fazla sıkıntı yaratmayabilir fakat evlerde kullanım için sistemin geliştirilmesi, daha basit hale getirilmesi gerekmektedir.

Saf hidrojenin önümüzdeki birkaç yıl içerisinde kullanılması beklenmemektedir. Bu sebeple ilk yakıt pilli kojenerasyon sisteminin doğalgaz ile çalışması beklenmektedir. Doğalgazdan saf hidrojenin elde edilmesi ile yakıt pili için yakıt sağlanacaktır. Bu olay, sistemleri doğalgaza bağımlı hale getirmekte ve üretilen elektriğin birim fiyatını doğalgazın fiyatına endekslemektedir.

Bir diğer nokta ise, anlık ısı ve elektrik ihtiyacının değişmesi durumunda sistemin bu ihtiyacı karşılayamamasıdır. Bu sebeple, bir su tankının oluşturulması ileride kullanılmak üzere ısının burada depo edilmesi düşünülmüş ve bu düşünce üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Brown vd., 2006).

Yakıt pilini enerji kaynağı olarak kullanan mikro kojenerasyon sistemleri elektrik enerjisi üretimi ve ısınma işlemlerini düşük enerji kayıpları ile gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca mikro kojenerasyon sistemi, merkezi ısıtma sistemine göre, atık ısıdan da yararlandırdığı için çok daha iyi emisyon değerlerine sahiptir.

Operasyon için yakıt pilinin, kojenerasyon sisteminin dengesine uygun olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Havanın ve temiz yakıtın yakıt pili yığına ulaşması, doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi, ürünlerin ve ısının elde edilmesi prosesleri göz önüne alındığında sistemin doğru dizayn edilmesi çok önemlidir. Kojenerasyon sistemi yakıt proses ünitesi, yakıt pili yığını, ısı değiştiricisi, kontrol sistemi ve güç dağıtım ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.10) (Hawkes vd., 2006).



Şekil 3.10 Yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemi çalışma prensibi(Hawkes vd., 2006)

Şekilden de görüleceği üzere, yakıt önce buhar ile karışmakta daha sonra bu karışım ön ısıtma ve ön düzenleme yapılarak yakıt pili yığınının anot bölümüne gönderilmektedir. Hava ise ön ısıtma yapıldıktan sonra yakıt pili yığınının katot tarafına gönderilmektedir. Yakıt pili yığınınında elektrik enerjisi oluşmaktadır. Yakıt pili yığınınından sonra hava ve yakıt, yakıtın yakılacağı yakıcıya gönderilerek ısı enerjisi elde edilmektedir.

4. YAKIT PİLİNİN TİCARİ BİNALARDA KULLANIMININ EKONOMİK ANALİZİ

Çalışmamızın bu bölümünde iş merkezi, hastane, otel, alışveriş merkezi gibi ticari binalarda yakıt pilinin kullanımı incelenmiştir. Elektrik enerjisi tüketiminin çok yüksek olduğu bu binalarda, elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden karşılanması yerine PEM yakıt pilinden karşılanması sonucu ortaya çıkan ekonomik faktörler analiz edilmiştir. Ayrıca gelecek yıllar için bir senaryo oluşturulmuş ve önümüzdeki on beş sene içerisinde ticari binanın yıllık elektrik tüketim maliyetlerinde oluşacak değişim irdelenmiştir.

4.1 Ekonomik Model

Örnek olarak alınan ticari binada çalışan sayısının 2.000 kişi olduğu ve Türkiye’de 2007 yılında kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarının 2.558 kWh (www.enerji.gov.tr) olduğu göz önüne alınarak, ticari binanın yıllık elektrik ihtiyacı 5,1 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda enerji kaynağı olarak 600 kW gücünde PEM yakıt pilinin kullanılması tercih edilmiştir. Aşağıda bulunan eşitlikler kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır (Acar vd.,2008; Kazim.,2000).

Yıllık elektrik üretimi (AEP);

Yıllık elektrik üretimi; yakıt pili gücü (P_{FC}) ve yıllık çalışma süresi kullanılarak (4.1) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$AEP = P_{FC} * \text{Yıllık çalışma süresi (kWh/yıl)} \quad (4.1)$$

Yıllık yakıt maliyeti (AFC);

Yıllık yakıt maliyeti; yıllık elektrik üretimi (AEP), yakıt maliyeti (C_f) ve ortalama yıllık yakıt pili verimi (η_1) kullanılarak (4.2) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$AFC = C_f * AEP / \eta_1 \quad (\$) \quad (4.2)$$

Yakıt pili yığımındaki hücre sayısı (N_{cell});

Bir yakıt pili yığımındaki hücre sayısı; hücre potansiyeli (V), akım yoğunluğu (i), aktif yakıt pili alanı (A_{cell}), yakıt pili gücü (P_{FC}) kullanılarak (4.3) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$N_{cell} = P_{FC} / V * i * A_{cell} \quad (4.3)$$

Amortisman katsayısı (CRF);

Amortisman katsayısı; yıllık faiz oranı (i_r) ve yakıt pili ömrü (n) kullanılarak (4.4) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$CRF = [i_r(1+i_r)^n] / [(1+i_r)^n - 1] \quad (4.4)$$

Yakıt pili maliyeti (CFC);

Yakıt pili maliyeti; hücre maliyeti (C_{cell}) ve yığın içerisindeki hücre sayısı (N_{cell}) kullanılarak (4.5) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$CFC = C_{cell} * N_{cell} \quad (\$) \quad (4.5)$$

Yıllık yatırım maliyeti (ACC);

Yakıt pili maliyeti (CFC) ve amortisman katsayısı (CRF) kullanılarak yıllık yatırım maliyeti (4.6) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$ACC = CFC * CRF \quad (\$/yıl) \quad (4.6)$$

Elektrik maliyeti (EC);

Elektrik maliyeti, yıllık yatırım maliyeti (ACC), yıllık yakıt maliyeti (AFC), yıllık bakım maliyeti (AMC) ve yıllık elektrik tüketimi (AEP) kullanılarak (4.7) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$EC = (ACC + AFC + AMC) / AEP \quad (\$/kWh) \quad (4.7)$$

Çevresel tasarrufun belirlenmesi;

PEM yakıt pili kullanımı ile çevresel zararlardan elde edilen tasarruf (4.8) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanabilir.

$$S_{\text{cev}} = AEP C_p (\delta - \varepsilon) \quad (\$/yıl) \quad (4.8)$$

C_p : Fosil yakıt kullanımında, elde edilen birim enerji başına çevreye verilen zararın maliyetini, δ : Hidrojen yararlanma verimi ile fosil yakıt yararlanma veriminin oranını, ε : Hidrojen kullanımında çevreye verilen zarar ile fosil yakıt kullanımında çevreye verilen zararın oranını simgelemektedir.

Çevresel tasarruf göz önünde bulundurularak elektrik maliyeti (COE);

Çevresel tasarruf göz önünde bulundurularak elektrik maliyeti (4.9) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$COE = (CRC + AFC + AMC - S_{\text{cev}}) / AEP \quad (\$/kWh) \quad (4.9)$$

Yıllık elektrik tüketim maliyetinin belirlenmesi;

Elektrik ihtiyacının PEM yakıt pilinden temin edilmesi durumunda elektrik tüketim maliyeti (PEM_{TM-1}), (4.10) numaralı eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$PEM_{TM-1} = AEP * (EC * 1,270) \quad (YTL/yıl) \quad (4.10)$$

PEM yakıt pilinde çevresel tasarruf hesaba katılarak elektrik tüketim maliyeti (PEM_{TM-2}), (4.11) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$PEM_{TM-2} = AEP * (COE * 1,270) \quad (YTL/yıl) \quad (4.11)$$

Elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden temin edilmesi durumunda elektrik tüketim maliyeti ($\$_{TM}$), (4.12) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$\$_{TM} = AEP * \text{Elektrik birim fiyatı} \quad (YTL/yıl) \quad (4.12)$$

4.2 Model Sonuçları

Ticari bina özellikleri (Çizelge 4.1), yakıt pili özellikleri (Çizelge 4.2) ve kabul edilen değerler (Çizelge 4.3) hesaplamada kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.1 Seçilen ticari binanın özellikleri

Çalışan sayısı	2000 kişi
Kişi başına tüketilen elektrik miktarı	2558 kWh
Çalışma saati	8760 saat
Toplam elektrik enerjisi tüketimi	5,1 GWh

Çizelge 4.2 Seçilen yakıt pilinin özellikleri

Yakıt pili gücü (P_{FC})	600 kW
Hücre potansiyeli (V)	0,6 V
Akım yoğunluğu (i)	1,8 A /cm ²
Aktif yakıt pili alanı (A_{cell})	1500 cm ²
Yığındaki hücre sayısı (N_{cell})	370
Yakıt pili ömrü (n)	5 yıl

Çizelge 4.3 Hesaplama kabul edilen değerler (Acar vd.,2008; Kazim,2000)

Yakıt maliyeti (C_f)	0,072 \$/kWh
Yıllık ortalama yakıt pili verimi (η)	%50
Yıllık faiz oranı (i)	%20
Hücre maliyeti (C_{cell})	100 \$/hücre
Fosil yakıt kullanımında, elde edilen birim enerji başına çevreye verilen zararın maliyeti (C_p)	0,0216 \$/kWh
Hidrojen yararlanma verimi ile fosil yakıt yararlanma veriminin oranı (δ)	1,358
Hidrojen kullanımında çevreye verilen zarar ile fosil yakıt kullanımında çevreye verilen zararın oranı (ϵ)	0,04
Yıllık bakım maliyeti (AMC)	2000 \$/yıl
1 USA \$	1,27YTL

Çizelge 4.4 Hesaplama sonuçları

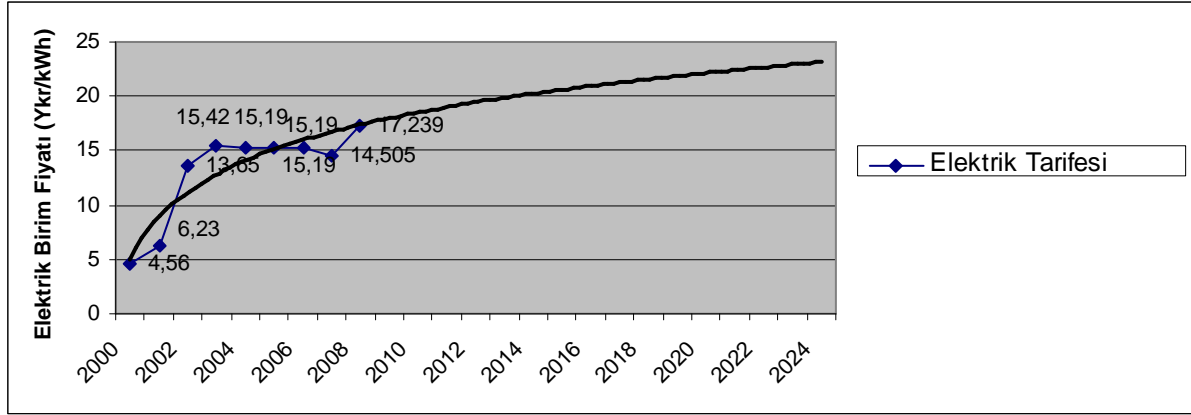
Yıllık elektrik üretimi (AEP)	5,25 GWh
Yıllık yakıt maliyeti (AFC)	756.864 \$
Amortisman katsayısı (CRF)	0,263
Yakıt pili maliyeti (CFC)	37.037 \$
Yıllık yatırım maliyeti (ACC)	9740 \$/yıl
Elektrik maliyeti (EC)	0,146 \$/kWh
Çevresel tasarruf (S_{cev})	154 060 \$/yıl
Çevresel tasarruf göz önünde bulundurularak elektrik maliyeti (COE)	0,116 \$/kWh
Elektrik ihtiyacının yakıt pilinden temin edilmesi durumunda yıllık tüketim maliyeti (PEM_{TM-1})	979.467 YTL/yıl
Yakıt pilinde çevresel tasarrufu hesaba katarak yıllık tüketim maliyeti (PEM_{TM-2})	783.811 YTL/yıl
Elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden temin edilmesi durumunda yıllık tüketim maliyeti ($\$_{TM}$)	906.081 YTL/yıl

4.3 Senaryo

Önceki bölümde yapmış olduğumuz çalışmada ticari binanın 2008 yılı için elektrik tüketim maliyetlerini hesapladık. Fakat fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azaldığı ve petrol fiyatlarının da hızla arttığı günümüzde elektrik fiyatlarının sabit kalacağı düşünülemez. Ayrıca gelecek yıllarda yakıt pili teknolojisinin yaygınlaşması sonucunda yakıt pili yatırım ve bakım maliyetlerinde azalma görülecektir.

Çalışmamızın bu bölümünde önümüzdeki on beş yıl boyunca elektrik fiyatlarında ve yakıt pili maliyetinde oluşacak değişiklikler öngörülerek, gelecekte oluşacak tablo irdelenecektir.

Şekil 4.1’de 2000-2008 yılları arasındaki elektrik birim fiyatları bulunmaktadır. Fiyatlar www.tedas.gov.tr adresinden alınmıştır. Ayrıca yıl bazında ayrıntılı tablo Ek-1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Elektrik tarifesi projeksiyonu

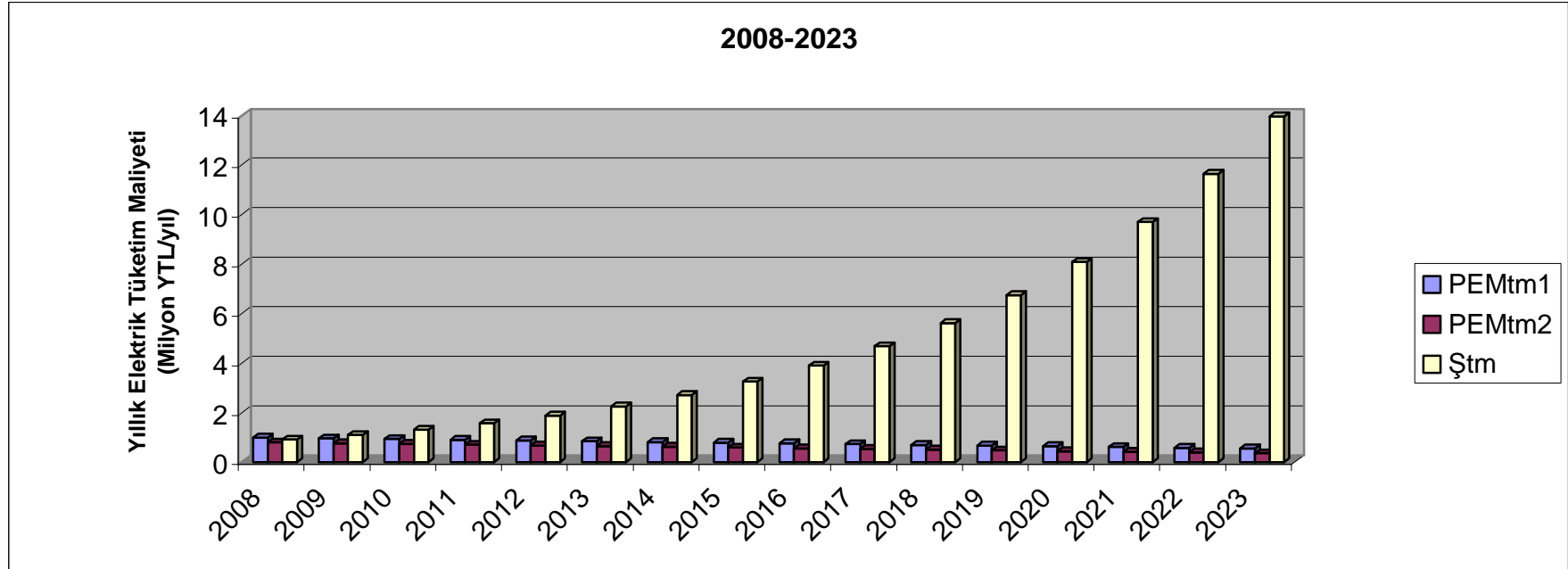
Çalışmamızda Şekil 4.1’den yola çıkarak elektrik birim fiyatının her sene %20 oranında artacağı, bunun yanı sıra yakıt pili kullanımında; yakıt maliyeti (C_f), yakıt pili maliyeti (CFC) ve yıllık bakım maliyeti (AMC) değerlerinin her sene %3 azalacağı öngörülmüştür. Bu doğrultuda aynı ticari binanın gelecek on beş sene için elektrik enerjisi tüketim maliyetleri incelenecektir.

4.4 Senaryo Sonuçları

2008-2023 yılları arasında elektrik birim fiyatında oluşması öngörülen artış ve yakıt pili maliyetlerinde oluşması öngörülen azalma sonucunda yıllık elektrik tüketim maliyet analizi Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Analizle ilgili tüm hesaplamalar Ek-2’de mevcuttur.

Çizelge 4.5 2008-2023 yıllarında tahmini yıllık elektrik tüketim maliyetleri

YIL	PEM _{TM-1} (YTL/yıl)	PEM _{TM-2} (YTL/yıl)	Ş _{TM} (YTL/yıl)
2008	979.467	783.811	906.081
2009	950.083	754.427	1.087.298
2010	921.581	725.925	1.304.757
2011	892.490	696.835	1.565.709
2012	863.547	667.891	1.878.851
2013	834.604	638.948	2.254.621
2014	805.661	610.005	2.705.545
2015	776.717	581.062	3.246.655
2016	747.774	552.118	3.895.986
2017	718.831	523.175	4.675.183
2018	689.888	494.232	5.610.219
2019	660.944	465.288	6.732.263
2020	632.001	436.345	8.078.716
2021	603.058	407.402	9.694.460
2022	574.115	378.459	11.633.352
2023	545.171	349.515	13.960.022



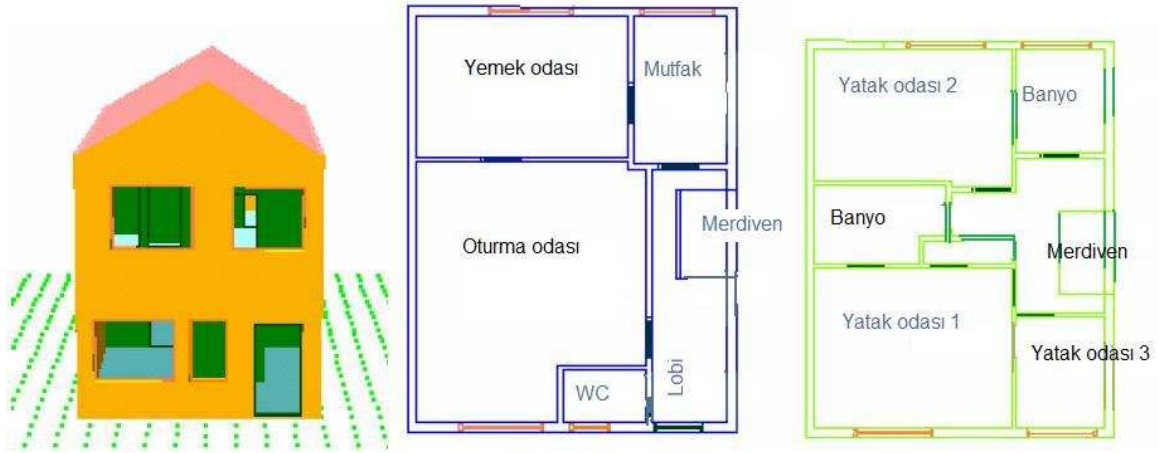
Şekil 4.2 2008-2023 yıllarında tahmini yıllık elektrik tüketim maliyetleri

5. YAKIT PİLİNİN EVLERDE KULLANIMININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ

Bir evin hem ısı enerjisi ihtiyacını hem de elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan yakıt pilli kojenerasyon uygulamaları önümüzdeki yıllar içerisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanacaktır. Çalışmamızın bu bölümünde model olarak alınan bir evin ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi ile karşılanması durumu incelenmiş, ekonomik ve çevresel analiz yapılarak mevcut sistemlerle mukayese edilmiştir.

5.1 Model

Model olarak almış olduğumuz konut; zemin alanı 75 m^2 olan, iki katlı müstakil bir evdir. Giriş katında mutfak, tuvalet, oturma odası ve yemek odası bulunmaktadır. Birinci katta ise tuvalet, iki tane banyo ve üç tane de yatak odası bulunmaktadır (Şekil 5.1). Oturma odası alanı 16 m^2 , ana yatak odası alanı ise $9,4 \text{ m}^2$ dir.



Şekil 5.1 Model alınan konut

Konutta, kış döneminde (1 Ocak-30 Nisan, 3 Eylül-31 Aralık) sürekli yerden ısıtma yapılmaktadır. Lobi ve koridorlarda ısıtma yapılmamaktadır. Isıtma yapılan bölgelerde ortam sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ayarlanmıştır ve bu sıcaklık kış ayları boyunca korunmaktadır. Yaz

döneminde (1 Mayıs-2 Eylül) ise herhangi bir ısıtma yapılmamaktadır. Konutta üç kişinin (iki yetişkin ve bir çocuk) yaşadığı öngörülerek toplam ısı ve elektrik gereksinimleri şu şekilde oluşmuştur (Hawkes vd.,2006;Aguiar vd.,2004).

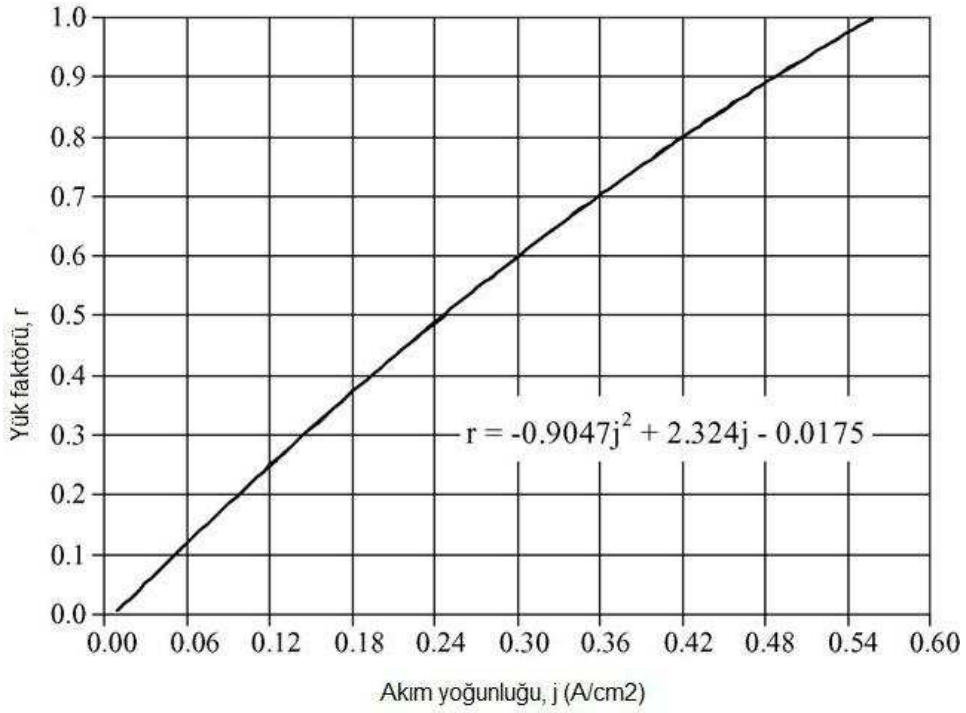
Yıllık elektrik ihtiyacı: 4350 kWh

Yıllık ısı ihtiyacı: 8081 kWh

Yıllık sıcak su enerjisi ihtiyacı: 4000 kWh

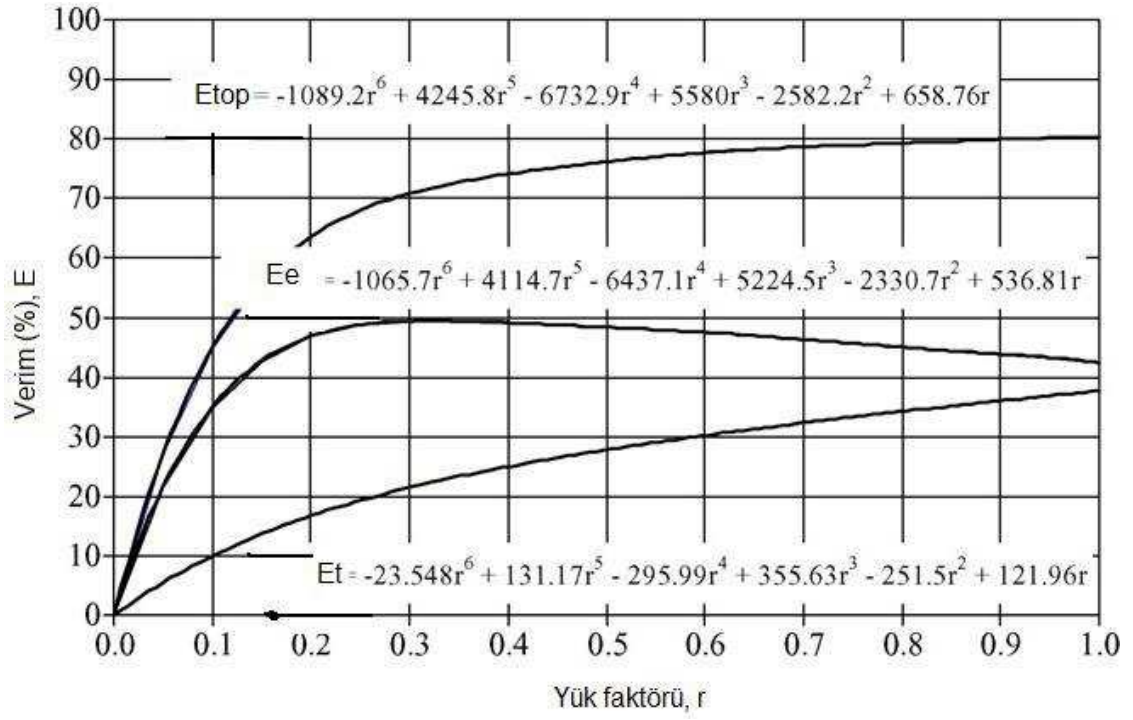
Çizelge 5.1 Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi parametreleri

Parametre	Parametre değeri
Hücre potansiyeli (V)	0,66 V
Akım yoğunluğu (i)	0,5 A/cm ²
Aktif yakıt pili alanı(A _{cell})	400 cm ²
Yakıt pili ömrü (n)	10 yıl
Kazan verimi	%86
Kazan ömrü	10 yıl
Kazan kapasitesi	10 kW
Sistem elektrik verimi(E _e)	$E_e = -10,657 r^6 + 41,147 r^5 - 64,371 r^4 + 52,245 r^3 - 23,207 r^2 + 5,3681 r$
Sistem toplam verimi(E _{top})	$E_{top} = -10,892 r^6 + 42,458 r^5 - 67,329 r^4 + 55,8 r^3 - 25,822 r^2 + 6,5876 r$



Şekil 5.2 Akım yoğunluğuna bağlı olarak yük faktörünün değişim grafiği (Hawkes vd.,2006)

Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sisteminde yakıt olarak doğalgazdan elde edilen hidrojen kullanılmaktadır. Sistem elektrik (E_e), termik (E_t) ve toplam verim (E_{top}) değerlerinin, yük faktörüne (r) bağlı olarak değişiminin belirlenmesi gerekmektedir. Yük faktörü, sistemden çıkan net güç ile sistem toplam güç kapasitesinin oranıdır. Şekil 5.2’de seçmiş olduğumuz Katı Oksit yakıt pilinin akım yoğunluğu değerine bağlı olarak yük faktörü değerinin değişimi görülmektedir. Şekil 5.3’de ise yük faktörü değerine bağlı olarak kojenerasyon sisteminin elektrik, termik ve toplam verim değerlerinin değişimi görülmektedir. Elektrik verimi, sistem tarafından üretilen net elektrik gücü ile sisteme yakıt ile verilen kimyasal enerjinin oranıdır. Net elektrik gücü; sistemde üretilen toplam elektrik gücünden, elektrik kayıplarının ve hava üfleyicide kullanılan gücün çıkartılması ile elde edilir. Termik verim, sistemde üretilen net ısı enerjisi ile sisteme yakıtla verilen kimyasal enerjinin oranıdır. Toplam verim ise elektrik verimi ve termik verimin toplamıdır. Şekil 5.3’de yük faktörü değerinin azaldıkça, elektrik veriminin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi; yüksek akım yoğunluğunda, voltaj kayıplarının da artması ve belirli bir noktadan sonra dominant hale gelmesidir (Hawkes vd.,2006).



Şekil 5.3 Yük faktörüne bağlı olarak verim değerlerinin değişim grafiği (Hawkes vd.,2006)

Çizelge 5.2 Hesaplama kabul edilen değerler (Hawkes vd.,2006)

Katı Oksit yakıt pili yığın maliyeti	2080 YTL (1,5 kW) 4992 YTL (5 kW)
Yakıt pili yıllık bakım maliyeti	100 YTL/yıl
Kazan maliyeti	3907 YTL
Kazan yıllık bakım maliyeti	112,5 YTL/yıl
Konut elektrik tarifesi	14,83 Ykr/kWh (www.tedas.gov.tr)
Konut elektrik geri satış tarifesi	11,86 Ykr/kWh
Konut gaz tarifesi	5,11 Ykr/kWh (www.igdas.com.tr)
Şehir şebekesi emisyon değerleri	0,469 kg CO ₂ /kWh (Şahin,2007)
Doğalgaz emisyon değerleri	0,189 kg CO ₂ /kWh
Yıllık faiz oranı	%20

5.2 Ekonomik Analiz

Yıllık elektrik enerjisi ve ısı enerjisi ihtiyaçları dikkate alındığında konutun ısı enerjisinin doğalgaz ile çalışan yoğunlaşmalı kazandan, elektrik ihtiyacının ise şehir şebekesinden karşılanması durumunda yıllık enerji maliyeti 2405,2 YTL/yıl olmaktadır.

Çizelge 5.3 Isı ihtiyacının doğalgazdan, elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden sağlanması durumunda maliyet değerleri

Yıllık yakıt ve elektrik maliyeti	1362,1 YTL
Yatırım maliyeti	3907 YTL
Amortisman katsayısı	0,238
Yıllık yatırım maliyeti	632 YTL
Yıllık bakım maliyeti	112,5 YTL
Yıllık enerji maliyeti	2405,2 YTL(~1893\$)

1,5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılması durumunda evin tüm elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanırken, ısı ihtiyacının tamamı karşılanamaz. Bu durumda gerekli olan ısı ihtiyacının kalan kısmını doğalgaz ile çalışan yoğuşmalı kazandan karşılanması gerekmektedir. Ayrıca üretilen elektrik enerjisi, ihtiyacımızdan bir miktar fazladır. Bu miktarın elektrik dağıtım sistemine geri satıldığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmış ve yıllık enerji maliyeti 2585,7 YTL/yıl bulunmuştur.

Çizelge 5.4 1,5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılması durumunda maliyet değerleri

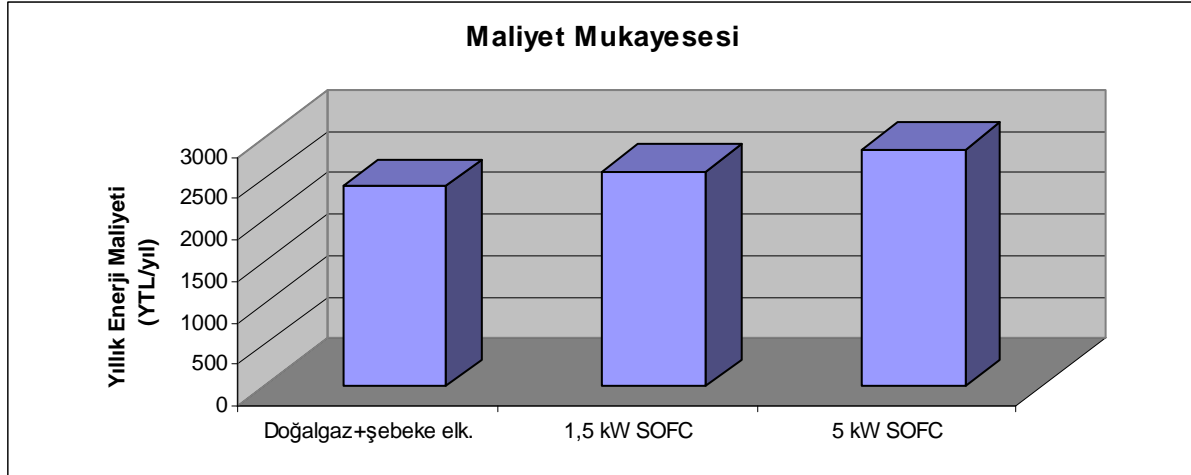
Sistemde üretilen elektrik enerjisi	5585 kW
Sistemde üretilen ısı enerjisi	4965 kW
Yıllık yakıt maliyeti	1094,7 YTL
Elektrik enerjisi geri satış maliyeti	146,4 YTL
Yatırım maliyeti	5987 YTL
Amortisman katsayısı	0,238
Yıllık yatırım maliyeti	1424,9YTL
Yıllık bakım maliyeti	212,5 YTL
Yıllık enerji maliyeti	2585,7 YTL(~2035\$)

Evin enerji ihtiyacının 5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sisteminden karşılanması durumu incelendiğinde, kış döneminde tam kapasite ile çalışan yakıt pilinin, ısınma ihtiyacının olmaması nedeni ile yaz döneminde %30 yük değerinde çalışması uygun görülmüştür. Yaz döneminde elde edilen ısı enerjisi, ihtiyaç duyulan sıcak su enerjisini karşılamakta kullanılmıştır. Kış döneminde küçük bir miktar ısı enerjisi (258 kW), doğalgazlı yoğuşmalı kazandan sağlanmıştır. Kış döneminde elde edilen fazla elektrik enerjisinin elektrik dağıtım sistemine geri satıldığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmış ve yıllık enerji maliyeti 2847,1 YTL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılması durumunda maliyet değerleri

Sistemde üretilen elektrik enerjisi	14.466,7 kW
Sistemde üretilen toplam ısı enerjisi	11.828,2 kW
Yıllık yakıt maliyeti	1716,5 YTL
Elektrik enerjisi geri satış maliyeti	1199,8 YTL
Yatırım maliyeti	8899 YTL
Amortisman katsayısı	0,238
Yıllık yatırım maliyeti	2117,9YTL
Yıllık bakım maliyeti	212,5 YTL
Yıllık enerji maliyeti	2847,1 YTL (~2241\$)

Örnek konutun ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının üç farklı yöntemle karşılanması durumu ile ilgili ekonomik analizler yapılmıştır. Hesaplanan yıllık enerji maliyetlerinin mukayesesi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Yıllık enerji maliyet değerlerinin karşılaştırması

5.3 Emisyon Analizi

Önceki bölümde, kullanmış olduğumuz üç değişik yöntem ile bir evin hem ısı hem de elektrik enerjisi gereksinimlerini karşılamaya çalıştık. Bu bölümde ise kullanmış olduğumuz üç yöntemin emisyon değerleri açısından nasıl sonuçlar vereceği irdelenecektir.

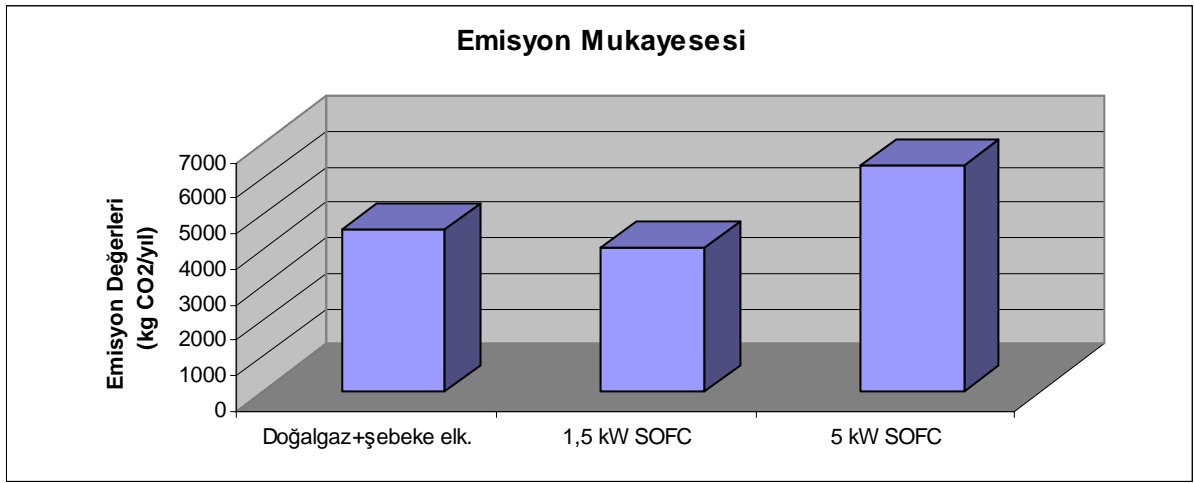
Elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden, ısı ihtiyacının ise doğalgaz ile çalışan yoğuşmalı kazandan sağlanması durumunda CO₂ emisyon değeri 4695,1 kg CO₂/yıl olmaktadır.

Elektrik enerjisi ve ısınma ihtiyacını karşılamak üzere 1,5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanıldığında, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tamamı karşılanmakta, ısı enerjisinin ise bir bölümü doğalgaz ile çalışan yoğuşmalı kazandan sağlanmaktadır. Bu durumda emisyon değerleri 4049,2 kg CO₂/yıl olmaktadır.

Eğer 5 kW gücünde Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi kullanılırsa; kış döneminde tam yükte çalışan yakıt pilli, yaz döneminde %30 yükte çalışmaktadır. Yıl boyunca ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi miktarından daha fazla miktarda elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu durumda emisyon değerleri 6349,2 kg CO₂/yıl olmaktadır. Bu üç yöntemin emisyon değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.6 ve Şekil 5.5'te yapılmıştır.

Çizelge 5.6 Emisyon değerlerinin karşılaştırılması

	Şebeke elk.+ doğalgaz	1,5 kW SOFC	5 kW SOFC
Emisyon değerleri (kg CO ₂ /yıl)	4695,1	4049,2	6349,2

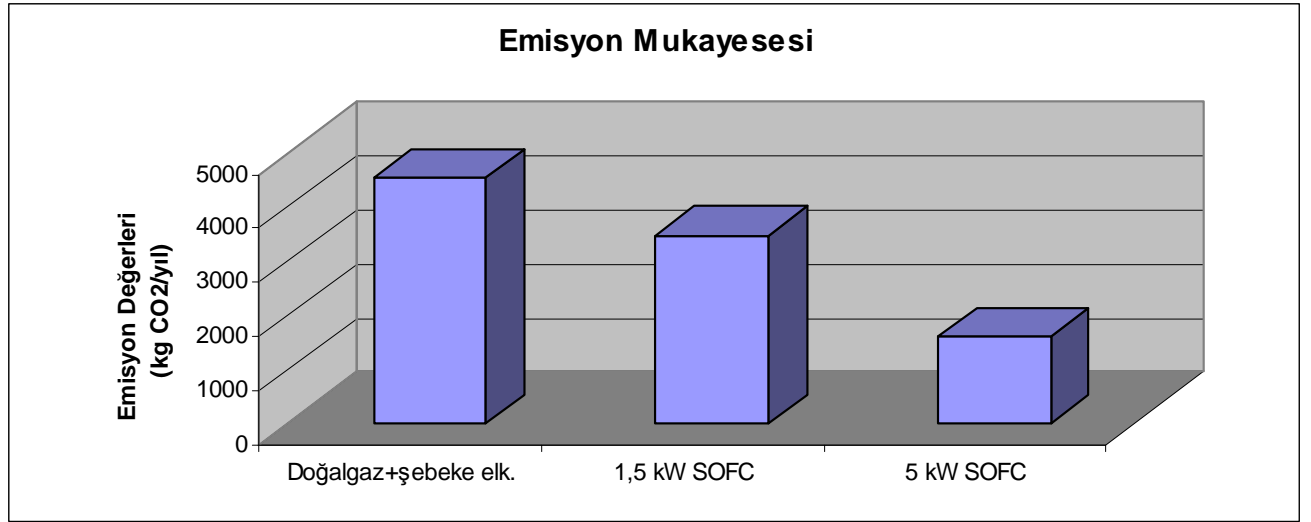


Şekil 5.5 Emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Yapmış olduğumuz emisyon analizinde, yakıt pilli kojenerasyon sisteminin ürettiği toplam CO₂ değerlerini karşılaştırdık. Ancak yakıt pili sisteminde ihtiyacımızdan daha fazla elektrik enerjisi üretilmekte ve bu enerji dağıtım şirketine geri satılmaktadır. Dolayısıyla, satmış olduğumuz elektrik enerjisi miktarı göz önüne alınarak ikinci bir emisyon analizi yapılabilir. Şehir elektrik şebekesi emisyon değeri olan 0,469 kg CO₂/kWh hesaba katılarak sistem net emisyon değerleri hesaplanmıştır. 1,5 kW gücünde yakıt pilli kojenerasyon sisteminde emisyon değeri 3470 kg CO₂/yıl, 5 kW gücünde yakıt pilli kojenerasyon sisteminde ise emisyon değeri 1604,5 kg CO₂/yıl olmaktadır. Üç yöntem için net emisyon değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.7 ve Şekil 5.6'da yapılmıştır.

Çizelge 5.7 Net emisyon değerlerinin karşılaştırılması

	Şebeke elk.+ doğalgaz	1,5 kW SOFC	5 kW SOFC
Emisyon değerleri (kg CO ₂ /yıl)	4695,1	3470	1604,5



Şekil 5.6 Net emisyon değerlerinin karşılaştırılması

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yakıt pilleri, yüksek verim ve düşük emisyon değerlerine sahip enerji dönüşüm teknolojileridir. Yakıt pili teknolojisinin avantajlarının yanı sıra gelişme göstermesi beklenen bazı hususlar da vardır. Özellikle yüksek yatırım maliyetleri yakıt pili kullanımının yaygınlaşmasını sınırlamaktadır. Yatırım, yakıt ve bakım maliyetlerinin azalması ile birlikte, yakıt pili sisteminin gelecek yıllarda evlerde ve ticari binalarda yaygın olarak kullanılacağı öngörülmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada, yakıt pillerinin evlerde ve ticari binalarda kullanımı incelenmiştir. Örnek bir ticari binanın, yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının PEM yakıt pili ile sağlanması durumunda yıllık elektrik tüketim maliyeti 979.000 YTL olurken, aynı binanın elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden karşılanması durumunda yıllık elektrik tüketim maliyeti 906.000 YTL olmaktadır. Fakat gelecek yıllar için bir senaryo oluşturulduğunda, elektrik birim fiyatlarında oluşacak artış ve yakıt pili maliyetlerinde oluşacak azalma göz önüne alındığında yıllık elektrik tüketim maliyetleri farklı bir tablo oluşturmaktadır. Öyle ki 2023 yılında, aynı ticari binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının PEM yakıt pilinden sağlanması durumunda yıllık elektrik tüketim maliyeti 545.000 YTL olurken, şehir şebekesinden sağlanması durumunda elektrik tüketim maliyeti 13.560.000 YTL olmaktadır.

Yakıt pilinin evlerde kullanımı incelendiğinde; bir evin tüm ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacının Katı Oksit yakıt pilli kojenerasyon sistemi tarafından karşılanması durumunda yıllık enerji tüketim maliyeti 2847 YTL olurken, aynı evin elektrik enerjisi ihtiyacının şehir şebekesinden, ısı enerjisi ihtiyacının ise doğalgazlı kazandan sağlanması durumunda yıllık enerji maliyeti 2405 YTL olmaktadır. Yakıt pilli kojenerasyon sisteminde, emisyon değerleri bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Gürbüz, H., Çetin, H., (2008), “Tipik Bir Toplum Binasında İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerjisinin PEM Yakıt Pili Sisteminden Karşılanmasının Ekonomik ve Çevresel Analizi”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Yayınları, 103:27-32.
- Aguiar, P., Adjiman, C.S., Brandon N.P., (2004), “Anode-supported Intermediate Temperature Direct Internal Reforming Solid Oxide Fuel Cell. 1: Model-based Steady-state Performance”, *Journal of Power Sources*, 138:120-136.
- Brown, J.E., Hendry, C.N., Harborne, P., (2006), “An Emerging Market in Fuel Cells? Residential Combined Heat and Power in Four Countries”, *Energy Policy*, 35:2173-2186.
- Chan, S.H., Ho, H.K., Tian, Y., (2002), “Modelling of Simple Hybrid Solid Oxide Fuel Cell and Gas Turbine Power Plant”, *Journal of Power Sources*, 109:111-120.
- Haug, M., Difiglio, C., Simbolotti, G., Hardy, J., Hayworth, C., (2004), “Hydrogen&Fuel Cells”, International Energy Agency.
- Hawkes, A.D., Aguiar, P., Croxford, B., Leach, M.A., Adjiman, C.S., Brandon, N.P., (2006), “Solid Oxide Fuel Cell Micro Combined Heat and Power System Operating Strategy: Options for Provision of Residential Space and Water Heating”, *Journal of Power Sources*, 164:260-271.
- He, J., Young, A.N., Pathan, A., Oreszczy, T., (2005), “Air Conditioning Energy Use in Houses in Southern England”, *DYNASTEE*, 2005, Atina.
- İyidir, U.C., (2007), Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi Anot Malzemesi Sentezi ve Karakterizasyon Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kazim, A., (2000), “Economical and Environmental Assessments of Proton Exchange Membrane Fuel Cells in Public Buildings”, *Energy Conversion and Management*, 42:763-772.
- Kurtcephe, B., (2006), Tek Hücreli Doğrudan Metanol Yakıt Pili Geliştirilmesi ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oğuz, A.E., (2006), Hidrojen Yakıt Pilleri ve PEM Yakıt Pili Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Osmanoğlu, H., (2007), Residential Cogeneration Systems Based on PEM Fuel Cells, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öz, M.E.U., (2006), Bursa İçin Konutlarda Enerji Tüketim Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Bu Konutlar İçin Yakıt Hücreleri ile Alternatif Enerji Tüketim Sistemlerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Paepe, M., Herdt, P., Mertens, D., (2006), “Micro-CHP Systems for Residential Applications”, *Energy Conversion and Management*, 47:3435-3446.
- Şahin, M., (2007), “Türkiye’nin Özel Şartları”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
- Şenol, R., Üçgül, İ., Acar, M., (2006), “Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Mühendis ve Makine Yayınları, 47(563)

Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M., (2003), “Elektrikli Araçlar”, TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.

www.eie.gov.tr

www.enerji.gov.tr

www.igdas.com.tr

www.tedas.gov.tr

<http://www.zorluom.com/arge.asp>

EKLER

Ek 1 Elektrik tarifesi (2000-2008)

Ek 2 Hesaplamalar

Ek 1 Elektrik tarifesi (2000-2008)

		T E D A Ş T Ü R K İ Y E E L E K T R İ K D A Ğ İ T İ M A . Ş . 2000 YILI TARİFE KATEGORİLERİ													
		(TL/kWh)													
		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	21 ARALIK	
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE															
D	Kalkınmada Öncelikli İller	29.340	30.050	30.650	31.270	31.940	32.600	33.300	34.000	34.750	35.500	36.250	37.000	39.960	
	SANAYİ Diğer İller	32.240	32.950	33.650	34.360	35.100	35.850	36.600	37.350	38.150	38.950	39.800	40.650	43.900	
A	ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI	27.380	28.000	28.650	29.250	29.890	30.700	31.500	32.400	33.200	34.050	34.900	35.800	38.670	
G	Kalkınmada Öncelikli İller	25.870	26.550	27.250	27.830	28.440	29.250	30.100	31.000	31.900	32.850	33.800	34.700	37.480	
	İÇME VE Diğer İller	28.350	29.150	29.950	30.580	31.250	32.150	33.100	34.100	35.100	36.150	37.200	38.200	41.260	
I	KULLANMA SUYU	14.670	15.050	15.350	15.640	15.970	16.300	16.650	17.000	17.400	17.800	18.200	18.550	20.040	
I	Kalkınmada Öncelikli İller	16.120	16.500	16.850	17.180	17.550	17.950	18.300	18.700	19.100	19.550	19.900	20.350	21.980	
	ARITMA TESİSLERİ Diğer İller														
B) TEK TERİMLİ TARİFE															
M	Kalkınmada Öncelikli İller	34.280	35.050	35.700	36.470	37.270	38.100	38.950	39.800	40.650	41.500	42.400	43.300	46.770	
	SANAYİ Diğer İller	37.670	38.450	39.250	40.080	40.950	41.850	42.750	43.650	44.600	45.550	46.500	47.500	51.300	
M	Kalkınmada Öncelikli İller	29.460	30.300	31.150	31.820	32.520	33.450	34.450	35.400	36.450	37.500	38.550	39.600	42.770	
	İÇME VE Diğer İller	32.370	33.300	34.250	34.970	35.730	36.800	37.900	38.900	40.000	41.150	42.350	43.500	46.990	
E	Kalkınmada Öncelikli İller	17.140	17.550	17.850	18.240	18.640	19.050	19.500	20.000	20.400	20.850	21.200	21.700	23.440	
	ARITMA TESİSLERİ Diğer İller	18.830	19.250	19.650	20.040	20.480	20.950	21.400	21.900	22.350	22.850	23.300	23.800	25.700	
S	Ticaret Hanları - Resmî Daire - Yazınhanı														
E	Şantiye ve Geçici Aboneler	45.650	46.600	47.500	48.480	49.500	50.550	51.650	52.700	53.800	54.900	56.000	57.200	61.780	
	Tarımsal Amaçlı Soğuk Hava Depoları				34.970	35.730	36.800	37.900	38.900	40.000	41.150	42.350	43.500	46.990	
S	Kalkınmada Öncelikli İller	34.740	35.500	36.250	37.030	37.830	38.650	39.500	40.400	41.250	42.150	43.100	44.000	47.520	
	MESKEN Diğer İller	38.180	39.000	39.850	40.690	41.570	42.450	43.350	44.300	45.250	46.200	47.200	48.200	52.060	
L	Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmî														
E	Okullar, Resmî Yurtlar, Resmî Kurslar, Resmî Sağlık														
R	Kuruluşları, Spor Tesisleri, Kültür Balıkçılığı ve														
İ	Kümes Hayvanları Çiftliği	28.060	28.850	29.700	30.330	31.000	31.900	32.800	33.700	34.650	35.650	36.700	37.750	40.770	
	Bakanlık ve Teşekkül Personeli	22.910	23.400	23.900	24.420	24.940	25.500	26.050	26.600	27.150	27.750	28.400	29.100	31.430	
	Tarımsal Sulama	20.660	21.250	21.850	22.350	22.840	23.500	24.200	25.000	25.700	26.450	27.200	28.000	30.240	

T E D A Ş																
T Ü R K İ Y E E L E K T R İ K D A Ğ İ T İ M A . Ş .																
2001 YILI TARİFE KATEGORİLERİ																
																(TL/kWh)
		OCAK	ŞUBAT	1 MART	5 MART	İNİSAN	15 NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	EMMU	AGUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	24 ARALIK
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE																
	Kalkınmada Öncelikli İller	40.350	41.000	45.400	50.250	55.500	61.050	63.000	65.000	67.900	73.400	77.900	80.250	82.000	86.200	88.000
SANAYİ	Diğer İller	44.330	44.770	49.300	54.350	59.750	65.750	67.750	69.800	72.850	78.650	83.350	85.850	87.700	92.150	94.000
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		39.050	39.500	43.650	48.100	53.000	58.300	60.050	61.850	64.650	69.900	74.200	76.550	78.700	83.400	85.850
İÇME VE	Kalkınmada Öncelikli İller	37.860	38.550	42.800	47.600	52.700	58.000	59.950	61.950	64.650	70.450	75.250	77.950	80.200	85.000	87.500
KULLANMA SUYU	Diğer İller	41.670	42.100	46.600	51.500	56.900	62.600	64.500	66.500	69.500	75.500	80.500	83.400	85.800	90.900	93.500
	Kalkınmada Öncelikli İller	20.250	20.700	23.600	26.200	29.150	32.100	33.100	34.250	35.950	39.150	41.850	43.500	44.800	47.450	48.850
ARITMA TESİSLERİ	Diğer İller	22.200	22.600	25.600	28.500	31.500	34.650	35.700	36.900	38.650	41.950	44.800	46.550	47.900	50.750	52.250
B) TEK TERİMLİ TARİFE																
	Kalkınmada Öncelikli İller	47.220	47.850	53.000	58.600	64.700	71.200	73.500	75.900	79.100	85.600	90.950	93.750	95.750	100.600	102.700
SANAYİ	Diğer İller	51.800	52.300	57.600	63.400	69.700	76.700	79.000	81.400	85.000	91.800	97.300	100.200	102.300	107.450	109.600
İÇME VE	Kalkınmada Öncelikli İller	43.200	43.850	48.700	54.200	60.100	66.150	68.300	70.400	73.550	80.150	85.600	88.700	91.200	96.650	99.400
KULLANMA SUYU	Diğer İller	47.460	47.900	53.000	58.600	64.800	71.300	73.450	75.700	79.100	85.900	91.600	94.900	97.600	103.400	106.300
	Kalkınmada Öncelikli İller	23.680	24.200	27.500	30.500	33.900	37.300	38.500	39.850	41.800	45.550	48.700	50.450	51.900	55.000	56.600
ARITMA TESİSLERİ	Diğer İller	25.960	26.500	29.900	33.000	36.500	40.150	41.400	42.800	44.850	48.850	52.100	54.000	55.600	58.900	60.600
Ticaretbanc - Resmî Daire - Yazbanc																
Şantiye ve Geçici Aboneler		62.380	63.000	69.600	76.600	84.300	92.750	95.550	98.400	102.700	110.900	117.500	121.000	123.500	129.700	132.300
Tarımsal Amaçlı Soğuk Hava Depoları		47.460	47.900	53.000	58.600	64.800	71.300	73.450	75.700	79.100	85.900	91.600	94.900	97.600	103.400	106.300
	Kalkınmada Öncelikli İller	48.000	48.600	53.900	59.500	65.700	72.300	74.550	76.900	80.300	86.800	92.050	94.950	96.850	101.800	103.900
MESKEN	Diğer İller	52.580	53.150	58.500	64.350	70.700	77.800	80.150	82.600	86.200	93.050	98.600	101.600	103.650	108.900	111.100
Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmî																
Okullar, Resmî Yurtlar, Resmî Kurslar, Resmî Sağlık																
Kuruluşları, Spor Tesisleri, Kültür Balıkçılığı ve																
Kümes Hayvanları Çiftliği		41.180	41.600	46.000	50.850	56.200	61.850	63.750	65.700	68.650	74.200	78.750	81.200	83.300	88.250	90.750
Şehit Aileleri ve Muharip/Mahul Gaziler		31.750	32.100	35.350	38.900	42.800	47.100	48.500	50.000	52.300	57.000	60.950	63.200	65.050	68.900	70.900
Tarımsal Sulama		30.540	31.200	34.600	38.300	42.400	46.650	48.050	49.500	51.750	56.000	59.500	61.450	63.250	67.000	69.000

		2002 YILI TARİFE KATEGORİLERİ												
		OCAK	19 OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTO	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE														
SANAYİ	Kalkınmada Öncelikli İller	90.900	90.900	90.900	90.900	91.900	92.700	93.800	95.650	97.350	100.300	100.300	102.750	102.750
	Diğer İller	97.200	97.200	97.200	97.200	98.200	99.000	100.200	102.150	103.950	107.100	107.100	109.700	109.700
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		89.200	89.200	89.200	89.200	90.100	90.900	92.000	93.800	95.500	98.400	98.400	100.750	100.750
İÇME VE KULLANMA SUYU	Kalkınmada Öncelikli İller	90.900	90.900	90.900	90.900	91.900	92.700	93.800	95.600	97.350	100.300	100.300	102.750	102.750
	Diğer İller	97.200	97.200	97.200	97.200	98.200	99.100	100.300	102.300	104.150	107.100	107.100	109.700	109.700
ARITMA TESİSLERİ	Kalkınmada Öncelikli İller	80.000	45.900	49.650	53.400	58.150	62.700	67.550	73.150	78.600	85.300	85.300	95.250	95.250
	Diğer İller	85.600	52.200	55.950	59.700	64.450	69.000	73.950	79.650	85.200	92.100	92.100	102.200	102.200
B) TEK TERİMLİ TARİFE														
SANAYİ	Kalkınmada Öncelikli İller	106.200	106.200	106.200	106.200	107.400	108.200	109.500	111.650	113.650	117.100	117.100	119.950	119.950
	Diğer İller	113.400	113.400	113.400	113.400	114.600	115.500	116.900	119.200	121.350	125.000	125.000	128.050	128.050
İÇME VE KULLANMA SUYU	Kalkınmada Öncelikli İller	103.350	103.350	103.350	103.350	104.600	105.500	106.800	108.900	110.850	114.250	114.250	117.000	117.000
	Diğer İller	110.500	110.500	110.500	110.500	111.800	112.900	114.300	116.550	118.650	122.250	122.250	125.200	125.200
ARITMA TESİSLERİ	Kalkınmada Öncelikli İller	95.500	61.200	64.950	68.700	73.650	78.200	83.250	89.150	94.900	102.100	102.100	112.450	112.450
	Diğer İller	102.000	68.400	72.150	75.900	80.850	85.500	90.650	96.700	102.600	110.000	110.000	120.550	120.550
Ticaretخانه - Resmi Davra - Yazhane Şantya ve Geçici Aboneler		136.500	136.500	136.500	136.500	137.900	139.200	140.900	143.600	146.150	150.600	150.600	154.250	154.250
Tarımsal Amaçlı Soğuk Hava Depoları		110.500	110.500	110.500	110.500	111.800	112.900	114.300	116.550	118.650	122.250	122.250	125.200	125.200
MESKEN	Kalkınmada Öncelikli İller	107.500	107.500	107.500	107.500	108.700	109.500	110.700	112.900	114.950	118.500	118.500	121.350	121.350
	Diğer İller	114.800	114.800	114.800	114.800	116.100	117.000	118.400	120.700	122.900	126.700	126.700	129.750	129.750
Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar, Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Spor Tesisleri, Kültür Balıkçılığı ve Kümes Hayvanları Çiftliği		95.500	92.500	93.750	95.000	97.450	99.500	101.950	105.400	108.700	113.500	113.500	118.850	118.850
Bakanlık ve Teşekkül Personeli		73.700	73.700	73.700	73.700	74.500	75.000	75.800	77.300	78.700	81.100	81.100	83.050	83.050
Tarımsal Sulama		95.500	73.350	73.350	73.350	74.600	75.500	76.800	78.900	80.850	84.250	84.250	87.000	87.000
İBADETHANE VE GENEL AYDINLATM	Kalkınmada Öncelikli İller	103.350	103.350	103.350	103.350	104.600	105.500	106.800	108.900	110.850	114.250	114.250	117.000	117.000
	Diğer İller	110.500	110.500	110.500	110.500	111.800	112.900	114.300	116.550	118.650	122.250	122.250	125.200	125.200

2003 YILI SATIŞ TARİFESİ									
01 OCAK 2003 TARİHİNDEN İTİBAREN GEÇERLİDİR									
ABONE GRUPLARI	AKTİF ENERJİ (TL/kWh)	PUANT TARİFESİ (TL/kWh)			GÜÇ (TL/kW)	GÜÇ AŞIMI (TL/kW)	REAKTİF ENERJİ (TL/kVAR)		
		17/22	22/06	06/17					
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE									
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	102.750	158.450	60.250	97.600	6.246.000	9.369.000	51.375	
	DİĞER İLLER	109.700	174.600	60.250	104.200	6.679.000	10.018.500	54.850	
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI									
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	102.750	158.450	60.250	97.600	4.879.000	7.318.500	51.375	
	DİĞER İLLER	109.700	174.600	60.250	104.200	5.463.000	8.194.500	54.850	
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	102.750	158.450	60.250	97.600	6.246.000	9.369.000	51.375	
	DİĞER İLLER	109.700	174.600	60.250	104.200	6.679.000	10.018.500	54.850	
B) TEK TERİMLİ TARİFE									
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	119.950	197.600	62.650	113.950			59.975	
	DİĞER İLLER	128.050	217.000	62.650	121.650			64.025	
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	117.000	188.750	62.650	111.150			58.500	
	DİĞER İLLER	125.200	209.000	62.650	118.950			62.600	
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	119.950	197.600	62.650	113.950			59.975	
	DİĞER İLLER	128.050	217.000	62.650	121.650			64.025	
TİCARETHANE, RESMİ DAİRE, YAZIHANE, ŞANTİYE ve GEÇİCİ ABONELER									
		154.250	280.750	62.650	146.550			77.125	
TARIMSAL AMAÇLI SOĞUK HAVA DEPOLARI									
		125.200	209.000	62.650	118.950			62.600	
MESKEN	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	121.350	183.750	62.650	109.200				
	DİĞER İLLER	182.025	-----	-----	-----				
Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar									
		129.750	203.650	62.650	116.800				
Resmi Yurtlar, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar									
		194.625	-----	-----	-----				
Resmi Kurslar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Spor Tesisleri, Kültür Bakanlığı ve Kömes Hayvanları Çiftliği									
ŞEHİT AİLELERİ VE MUHARİP/MALUL GAZİLER									
		121.350	183.750	62.650	109.200				
İBADETHANE VE GENEL AYDINLATMA	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	83.050	122.200	62.650	70.100				
	DİĞER İLLER	124.575	-----	-----	-----				
HİZALARINDA REAKTİF ENERJİ BEDELİ BELİRTİLMEMİŞ ABONELER İLE BAĞLANTI GÜCÜ 9kW'A KADAR OLAN (9 kW dahil) ABONELERİN									

2004 YILI TEDAŞ (64+1) SATIŞ TARİFESİ								
01 OCAK 2004 TARİHİNDEN İTİBAREN GEÇERLİDİR								
ABONE GRUPLARI		AKTİF	TARİFE DÖNEMLERİ			GÜÇ	GÜÇ AŞIMI	REAKTİF
		ENERJİ	(TL/kWh)					ENERJİ
		(TL/kWh)	17/22	22/06	06/17	(TL/kW)	(TL/kW)	(TL/kVARh)
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	96.140	147.260	56.380	91.340	5.843.450	8.765.175	48.070
	DİĞER İLLER	102.650	163.310	56.380	97.520	6.250.050	9.375.075	51.325
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		94.290	142.650	56.380	89.590	4.507.750	6.761.625	47.145
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	101.200	155.000	59.350	96.150	4.806.000	7.209.000	50.600
	DİĞER İLLER	108.050	171.900	59.350	102.650	5.381.000	8.071.500	54.025
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	96.140	147.260	56.380	91.340	5.843.450	8.765.175	48.070
	DİĞER İLLER	102.650	163.310	56.380	97.520	6.250.050	9.375.075	51.325
B) TEK TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	112.240	184.040	58.240	106.640			56.120
	DİĞER İLLER	119.800	202.740	58.240	113.810			59.900
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	115.250	186.550	61.300	109.500			57.625
	DİĞER İLLER	123.300	206.450	61.300	117.150			61.650
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	112.240	184.040	58.240	106.640			56.120
	DİĞER İLLER	119.800	202.740	58.240	113.810			59.900
TİCARETHANE, RESMİ DAİRE, YAZIHANE, ŞANTİYE ve GEÇİCİ ABONELER		151.950	277.250	61.300	144.350			75.975
TARIMSAL AMAÇLI SOĞUK HAVA DEPOLARI		123.300	206.450	61.300	117.150			61.650
MESKEN	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	119.500	181.550	61.300	107.550			---
	DİĞER İLLER	127.800	201.350	61.300	115.000			---
Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar								
Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri,								
Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları,								
Kültür Balıkçılığı ve Kümes Hayvanları Çiftliği		119.500	181.550	61.300	107.550			---
ŞEHİT AİLELERİ VE MUHARİP/MALUL GAZİLER		81.800	120.800	61.300	69.000			---
TARIMSAL SULAMA		115.250	186.550	61.300	109.500			57.625
İBADETHANE VE GENEL AYDINLATMA	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	115.250	---	---	---			---
	DİĞER İLLER	123.300						---
HİZALARINDA REAKTİF ENERJİ BEDELİ BELİRTİLMEMİŞ ABONELER İLE BAĞLANTI GÜCÜ 9kW'A KADAR OLAN (9 kW dahil) ABONELERE REAKTİF ENERJİ TARİFESİ UYGULANMAZ.								
OCAK - HAZİRAN 2004 TARİHLERİ ARASINDA GEÇERLİ TARİFDİR.								

2005 YILI TEDAŞ (64+1) SATIŞ TARİFESİ								
01 OCAK 2005 TARİHİNDEN İTİBAREN GEÇERLİDİR								
ABONE GRUPLARI		AKTİF	TARİFE DÖNEMLERİ			GÜÇ (TL/kW)	GÜÇ AŞIMI (TL/kW)	REAKTİF
		ENERJİ	(TL/kWh)					ENERJİ
		(TL/kWh)	17/22	22/06	06/17			(TL/kVARh)
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	96.140	147.260	56.380	91.340	5.843.450	8.765.175	48.070
	DİĞER İLLER	102.650	163.310	56.380	97.520	6.250.050	9.375.075	51.325
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		94.290	142.650	56.380	89.590	4.507.750	6.761.625	47.145
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	101.200	155.000	59.350	96.150	4.806.000	7.209.000	50.600
	DİĞER İLLER	108.050	171.900	59.350	102.650	5.381.000	8.071.500	54.025
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	96.140	147.260	56.380	91.340	5.843.450	8.765.175	48.070
	DİĞER İLLER	102.650	163.310	56.380	97.520	6.250.050	9.375.075	51.325
B) TEK TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	112.240	184.040	58.240	106.640			56.120
	DİĞER İLLER	119.800	202.740	58.240	113.810			59.900
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	115.250	186.550	61.300	109.500			57.625
	DİĞER İLLER	123.300	206.450	61.300	117.150			61.650
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	112.240	184.040	58.240	106.640			56.120
	DİĞER İLLER	119.800	202.740	58.240	113.810			59.900
TİCARETHANE, RESMİ DAİRE, YAZIHANE, ŞANTIYE ve GEÇİCİ ABONELER		151.960	277.250	61.300	144.350			75.975
TARIMSAL AMAÇLI SOĞUK HAVA DEPOLARI		123.300	206.450	61.300	117.150			61.650
MESKEN	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	119.500	181.550	61.300	107.550			---
	DİĞER İLLER	127.800	201.350	61.300	115.000			---
Hayır Kurumları, Demekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Kültür, Balıkçılığı ve Kümes Hayvanları Çiftliği		119.500	181.550	61.300	107.550			59.750
ŞEHİT AİLELERİ VE MUHARİP/MALUL GAZİLER		81.800	120.800	61.300	69.000			---
TARIMSAL SULAMA İBADETHANE VE GENEL AYDINLATMA		115.250	186.550	61.300	109.500			57.625
KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER		115.250	---	---	---			---
DİĞER İLLER		123.300						---
HİZALARINDA REAKTİF ENERJİ BEDELİ BELİRTİLMEMİŞ ABONELER İLE BAĞLANTI GÜCÜ 9kW'A KADAR OLAN (9 kW dahil)								
ABONELERE REAKTİF ENERJİ TARİFESİ UYGULANMAZ.								

2006 YILI TEDAŞ (64+1) SATIŞ TARİFESİ								
01 OCAK 2006 - 31 AĞUSTOS 2006 TARİHLERİ ARASI								
ABONE GRUPLARI	AKTİF ENERJİ (Ykr/kWh)	TARİFE DÖNEMLERİ (Ykr/kWh)			GÜÇ (YTL/kW)	GÜÇ AŞIMI (YTL/kW)	REAKTİF ENERJİ (Ykr/kVARh)	
		17/22	22/06	06/17				
A) ÇİFT TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	9,6140	14,7260	5,6380	9,1340	5,8435	8,7652	4,8070
	DiĞER İLLER	10,2650	16,3310	5,6380	9,7520	6,2501	9,3751	5,1325
ENDÜKSİYON VE ARK OCAKLARI		9,4290	14,2650	5,6380	8,9590	4,5078	6,7616	4,7145
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	10,1200	15,5000	5,9350	9,6150	4,8060	7,2090	5,0600
	DiĞER İLLER	10,8050	17,1900	5,9350	10,2650	5,3810	8,0715	5,4025
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	9,6140	14,7260	5,6380	9,1340	5,8435	8,7652	4,8070
	DiĞER İLLER	10,2650	16,3310	5,6380	9,7520	6,2501	9,3751	5,1325
B) TEK TERİMLİ TARİFE								
SANAYİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	11,2240	18,4040	5,8240	10,6640			5,6120
	DiĞER İLLER	11,9800	20,2740	5,8240	11,3810			5,9900
İÇME VE KULLANMA SUYU	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	11,5250	18,6550	6,1300	10,9500			5,7625
	DiĞER İLLER	12,3300	20,6450	6,1300	11,7150			6,1650
ARITMA TESİSLERİ	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	11,2240	18,4040	5,8240	10,6640			5,6120
	DiĞER İLLER	11,9800	20,2740	5,8240	11,3810			5,9900
TİCARETHANE, RESMİ DAİRE, YAZIHANE, ŞANTİYE ve GEÇİCİ ABONELER		15,1950	27,7250	6,1300	14,4350			7,5975
TARIMSAL AMAÇLI SOĞUK HAVA DEPOLARI		12,3300	20,6450	6,1300	11,7150			6,1650
MESKEN	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	11,9500	18,1550	6,1300	10,7550			---
	DiĞER İLLER	12,7800	20,1350	6,1300	11,5000			---
Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar, Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Kültür, Balıkçılığı ve Kütüme Hayvanları Çiftliği		11,9500	18,1550	6,1300	10,7550			5,9750
ŞEHİT AİLELERİ VE MUHARİP/MALUL GAZİLER		8,1800	12,0800	6,1300	6,9000			---
TARIMSAL SULAMA		11,5250	18,6550	6,1300	10,9500			5,7625
İBADETHANE VE GENEL AYDINLATMA	KALKINMADA ÖNCELİKLİ İLLER	11,5250	---	---	---			---
	DiĞER İLLER	12,3300						---
HİZALARINDA REAKTİF ENERJİ BEDELİ BELİRTİLMEMİŞ ABONELER İLE BAĞLANTI GÜCÜ 9kW'A KADAR OLAN (9 kW dahil) ABONELERE REAKTİF ENERJİ TARİFESİ UYGULANMAZ.								

TEDAŞ Genel 2007 Yılı Fonsuz Tarifesi									
Dağıtım Şirketinden enerji alan iletim sistemi kullanıcıları tüketiciler									
	Sanayi								
	Tek Zamanlı		Gündüz		Puant		Gece		
	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh
	9,388	9,328	16,082	4,471					
İletim sistemine doğrudan bağlı tüketiciler ile iletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımında olmayan OG baralarına müstakil fider ile mülkiyeti ve işletmesi kendisine ait hatlarla bağlı tuzel kislere uygulanır.									
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları									
İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralarına özel hattı ile bağlı tek bir tuzel kişi durumundaki kullanıcılar									
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler							Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanımı		
	Kapasite		Aktif Enerji				Reaktif Enerji		
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece		Aktif Enerji	Reaktif Enerji
	Ykr/Ay/kW	Ykr/Ay/kW	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh		Ykr/kWh	Ykr/kWh
Çift Terimli Tarife									
Sanayi	607	1.213	8,855	8,796	15,550	3,939	5,983		
Tek Terimli Tarife									
Sanayi			10,414	10,354	17,108	5,497	5,983	0,661	5,983
Ticarethane ve Diğer									
Ticarethane			12,628	11,793	18,547	6,936	5,983	0,661	5,983
Diğer 1			10,174	9,338	16,092	4,481	5,983	0,661	5,983
Diğer 2			10,977	10,142	16,896	5,285	5,983	0,661	5,983
Tarımsal Sulama			9,998	9,468	16,222	4,611	5,983	0,661	5,983
İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralarına dağıtım şirketi hattı ile bağlı tek bir tuzel kişi durumundaki kullanıcılar									
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler							Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanımı		
	Kapasite		Aktif Enerji				Reaktif Enerji		
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece		Aktif Enerji	Reaktif Enerji
	Ykr/Ay/kW	Ykr/Ay/kW	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh		Ykr/kWh	Ykr/kWh
Çift Terimli Tarife									
Sanayi	607	1.213	9,348	9,289	16,043	4,432	5,983	0,787	5,983
Tek Terimli Tarife									
Sanayi			11,187	11,127	17,881	6,270	5,983	1,065	5,983
Ticarethane ve Diğer									
Ticarethane			14,030	13,195	19,949	8,338	5,983	1,065	5,983
Diğer 1			10,744	9,908	16,662	5,051	5,983	1,065	5,983
Diğer 2			11,463	10,628	17,382	5,771	5,983	1,065	5,983
Tarımsal Sulama			11,021	10,492	17,246	5,635	5,983	1,065	5,983
Diğer Tüm Dağıtım Sistemi Kullanıcıları									
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler							Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanımı		
	Kapasite		Aktif Enerji				Reaktif Enerji		
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece		Aktif Enerji	Reaktif Enerji
	Ykr/Ay/kW	Ykr/Ay/kW	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh	Ykr/kWh		Ykr/kWh	Ykr/kWh
Çift Terimli Tarife									
Sanayi Orta Gerilim	607	1213	9,964	9,904	16,658	5,047	5,983	1,228	5,983
Tek Terimli Tarife									
Sanayi									
Orta Gerilim			11,518	11,458	18,212	6,601	5,983	1,661	5,983
Alçak Gerilim			11,629	11,569	18,323	6,712	5,983	1,661	5,983
Ticarethane ve Diğer									
Ticarethane			14,505	13,670	20,423	8,812	5,983	2,082	5,983
Diğer 1			11,600	10,764	17,518	5,907	5,983	2,082	5,983
Diğer 2			11,969	11,133	17,887	6,276	5,983	2,082	5,983
Mesken			12,405	11,673	18,427	6,816		2,161	
Şehit Aileleri ve Muharip/Malul Gaziler			7,940						
K.Ö.İ. Mesken			11,600	10,867	17,621	6,010			
Tarımsal Sulama			11,187	10,658	17,412	5,801	5,983	2,226	5,983
Aydınlatma			12,002					2,347	
Tedarikçisine direk hatla bağlı tüketicilerin emreamade kapasite bedeli									
Üreticiler için dağıtım sistem kullanımı bedeli									
	Emreamade Kapasite Bedeli								
	Ykr/Ay/kW								
2 nolu bağlantı durumu	175								
3 ve 4 nolu bağlantı durumu	502								
Üreticiler için dağıtım sistem kullanımı bedeli									
			Aktif Enerji		Reaktif Enerji				
	Ykr/ kWh		Ykr/kWh		Ykr/kWh		Ykr/kWh		
2 nolu bağlantı durumu			0,262		5,983				
3 ve 4 nolu bağlantı durumu			0,666		5,983				
Dağıtım sistemine bağlı üreticilere tercih etmeleri halinde TEİAŞ tarafından belirlenen iletim bölgeleri bazındaki üretici fiyatları uygulanır.									
Diğer-1: Hayır Kurumları, Dernekler, Müzeler, Resmi Okullar, Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Kültür Balcıkları ve Kümes Hayvanları Çiftliği									
Diğer-2: İçme ve kullanma suyu ve tarımsal amaçlı soğuk hava depoları									
Çok zamanlı tarife uygulamasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındadır.									
Emreamade kapasite bedeli tüketicinin kurulu gücü dikkate alınarak uygulanır.									
Uygulanacak tarifeler her tüketici ve kullanıcı için ilgili bileşenlerden oluşan toplam tarifelerdir.									
Reaktif enerji tarifesi ilgili usul ve esaslarda belirlenen şartlar dahilinde uygulanır.									
* Fon pay vb. yasal yükümlülükler ayrıca ilave edilecektir.									

TEDAŞ Genel 2008 Yılı Fonsuz Tarifesi											
Dağıtım Şirketinden enerji alan iletim sistemi kullanıcıları tüketiciler											
	Sanayi							Reaktif Enerji YkrrkVARh			
	Tek Zamanlı		Gündüz		Puant		Gece				
	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh				
	10,327	10,261	17,690	4,918							
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları											
İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralarına özel hattı ile bağlı tek bir tüzel kişi durumundaki kullanıcılar											
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler								Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım			
	Kapasite		Aktif Enerji					Reaktif Enerji YkrrkVARh	Aktif Enerji YkrrkWh	Reaktif Enerji YkrrkVARh	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece					
	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh				
Çift Terimli Tarife											
Sanayi	457	915	9,768	9,702	17,186	4,320	7,771				
Tek Terimli Tarife											
Sanayi			11,482	11,416	18,891	6,041	7,771	0,688	7,771		
Ticarethane ve Diğer											
Ticarethane			14,550	13,582	21,405	7,956	7,771	0,688	7,771		
Diğer 1			11,727	10,757	18,595	5,121	7,771	0,688	7,771		
Diğer 2			12,651	11,682	19,514	6,050	7,771	0,688	7,771		
Tarımsal Sulama			11,025	10,438	17,915	5,061	7,771	0,688	7,771		
İletim şalt sahalarının dağıtım şirketinin kullanımındaki OG baralarına dağıtım şirketi hattı ile bağlı tek bir tüzel kişi durumundaki kullanıcılar											
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler								Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım			
	Kapasite		Aktif Enerji					Reaktif Enerji YkrrkVARh	Aktif Enerji YkrrkWh	Reaktif Enerji YkrrkVARh	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece					
	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh				
Çift Terimli Tarife											
Sanayi	497	993	10,614	10,548	18,039	5,160	7,771	1,118	7,771		
Tek Terimli Tarife											
Sanayi			12,686	12,620	20,120	7,226	7,771		1,446	7,771	
Ticarethane ve Diğer											
Ticarethane			16,944	15,973	23,823	10,327	7,771		1,874	7,771	
Diğer 1			13,164	12,189	20,068	6,524	7,771		1,874	7,771	
Diğer 2			13,991	13,017	20,888	7,357	7,771		1,874	7,771	
Tarımsal Sulama			12,956	12,367	19,869	6,973	7,771		1,897	7,771	
Diğer Tüm Dağıtım Sistemi Kullanıcıları											
Dağıtım Şirketinden enerji alan tüketiciler								Özel tedarikçiden enerji alan tüketiciler için sistem kullanım			
	Kapasite		Aktif Enerji					Reaktif Enerji YkrrkVARh	Aktif Enerji YkrrkWh	Reaktif Enerji YkrrkVARh	
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece					
	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh	YkrrkWh				
Çift Terimli Tarife											
Sanayi Orta Gerilim	497	993	11,183	11,116	18,641	5,705	7,771	1,450	7,771		
Tek Terimli Tarife											
Sanayi											
Orta Gerilim			12,904	12,837	20,380	7,413	7,771		1,894	7,771	
Alçak Gerilim			13,280	13,213	20,755	7,790	7,771		2,149	7,771	
Ticarethane ve Diğer											
Ticarethane			17,230	16,257	24,164	10,540	7,771		2,641	7,771	
Diğer 1			13,898	12,910	20,898	7,165	7,771		2,641	7,771	
Diğer 2			14,322	13,335	21,315	7,596	7,771		2,641	7,771	
Mesken			14,830	13,964	21,945	8,225			2,725		
Şehit Aileleri ve Muharip/Malul Gaziler			9,681								
K.O.I. Mesken			13,889	13,019	21,038	7,253					
Tarımsal Sulama			12,852	12,257	19,854	6,793	7,771		2,772	7,771	
Aydınlatma			13,773						2,919		
Tedarikçisine direk hatla bağlı tüketicilerin emreamade kapasite bedeli											
Üreticiler için dağıtım sistem kullanım bedeli											
Üreticisinin bağlılığına göre	Emreamade Kapasite Bedeli		Aktif Enerji		Reaktif Enerji						
	YkrrkWh		YkrrkWh		YkrrkWh		YkrrkWh		YkrrkWh		
	2 nolu bağlantı durumu	3 ve 4 nolu bağlantı durumu	2 nolu bağlantı durumu	3 ve 4 nolu bağlantı durumu	2 nolu bağlantı durumu	3 ve 4 nolu bağlantı durumu	2 nolu bağlantı durumu	3 ve 4 nolu bağlantı durumu	2 nolu bağlantı durumu	3 ve 4 nolu bağlantı durumu	
	193	640	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	
			1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	
Dağıtım sistemine bağlı üreticilere tercih etmeleri halinde TEİAŞ tarafından belirlenen iletim bölgeleri bazındaki üretici fiyatları uygulanır.											
Diğer-1: Hayır Kurumları, Dernekler, Vakıflar, Müzeler, Resmi Okullar, Resmi Yurtlar, Resmi Kurslar, Spor Tesisleri, Resmi Üniversite, Resmi Yüksek Okullar, Resmi Sağlık Kuruluşları, Kültür Bakanlığı ve Kümes Hayvanları Çiftliği											
Diğer-2: İçme ve kullanma suyu ve tarımsal amaçlı soğuk hava depoları											
Çok zamanlı tarife uygulamasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındadır.											
Emreamade kapasite bedeli tüketicinin kurulu gücü dikkate alınarak uygulanır.											
Uygulanacak tarifeler her tüketici ve kullanıcı için ilgili bileşenlerden oluşan toplam tarifelerdir.											
Reaktif enerji tarifesi ilgili usul ve esaslarda belirtilen şartlar dahilinde uygulanır.											
* Fon pay vb. yasal yükümlülükler ayrıca ilave edilecektir.											

Ek 2 Hesaplamalar

AEP(kWh)	PFC(kW)	Süre(saat)	Cf(\$/kWh)	Verim	AFC(\$/yıl)	Ncell	CRF	Ccell(\$/hücre)	CFC(\$)	ACC(\$/yıl)	AMC(\$/yıl)	EC(\$/kWh)	Cp	sbt	Sçev(\$/yıl)	COE(\$/kW \$)	PEMtm1(YTL/yıl)	PEMtm2(YTL/yıl)	Ştm(YTL/yıl)	
5256000	600	8760	0,072	0,5	756864	370	0,334	100	37037,04	12370,37	2000	0,146734	0,0216	1,357	154060	0,11742	1,27	979467,6504	783811,873	906081,84
5256000	600	8760	0,06984	0,5	734158,08	370	0,334	97	35925,93	11999,26	1940	0,142332	0,0216	1,357	154060	0,11302	1,27	950083,6209	754427,8435	1087298,208
5256000	600	8760	0,067745	0,5	712133,34	370	0,334	94,09	34848,15	11639,28	1881,8	0,138062	0,0216	1,357	154060	0,10875	1,27	921581,1122	725925,3349	1304757,85
5256000	600	8760	0,065606	0,5	689654,48	370	0,334	91,12	33748,15	11271,88	1822,4	0,133704	0,0216	1,357	154060	0,10439	1,27	892490,923	696835,1457	1565709,42
5256000	600	8760	0,063479	0,5	667289,15	370	0,334	88,165	32653,7	10906,34	1763,3	0,129368	0,0216	1,357	154060	0,10006	1,27	863547,6539	667891,8766	1878851,303
5256000	600	8760	0,061351	0,5	644923,81	370	0,334	85,21	31559,26	10540,79	1704,2	0,125032	0,0216	1,357	154060	0,09572	1,27	834604,3849	638948,6075	2254621,564
5256000	600	8760	0,059224	0,5	622558,48	370	0,334	82,255	30464,81	10175,25	1645,1	0,120696	0,0216	1,357	154060	0,09138	1,27	805661,1158	610005,3385	2705545,877
5256000	600	8760	0,057096	0,5	600193,15	370	0,334	79,3	29370,37	9809,704	1586	0,11636	0,0216	1,357	154060	0,08705	1,27	776717,8467	581062,0694	3246655,052
5256000	600	8760	0,054968	0,5	577827,82	370	0,334	76,345	28275,93	9444,159	1526,9	0,112024	0,0216	1,357	154060	0,08271	1,27	747774,5777	552118,8003	3895986,063
5256000	600	8760	0,052841	0,5	555462,49	370	0,334	73,39	27181,48	9078,615	1467,8	0,107688	0,0216	1,357	154060	0,07838	1,27	718831,3086	523175,5313	4675183,275
5256000	600	8760	0,050713	0,5	533097,16	370	0,334	70,435	26087,04	8713,07	1408,7	0,103352	0,0216	1,357	154060	0,07404	1,27	689888,0395	494232,2622	5610219,93
5256000	600	8760	0,048586	0,5	510731,83	370	0,334	67,48	24992,59	8347,526	1349,6	0,099016	0,0216	1,357	154060	0,0697	1,27	660944,7705	465288,9931	6732263,916
5256000	600	8760	0,046458	0,5	488366,5	370	0,334	64,525	23898,15	7981,981	1290,5	0,09468	0,0216	1,357	154060	0,06537	1,27	632001,5014	436345,7241	8078716,7
5256000	600	8760	0,04433	0,5	466001,16	370	0,334	61,57	22803,7	7616,437	1231,4	0,090344	0,0216	1,357	154060	0,06103	1,27	603058,2323	407402,455	9694460,04
5256000	600	8760	0,042203	0,5	443635,83	370	0,334	58,615	21709,26	7250,893	1172,3	0,086008	0,0216	1,357	154060	0,0567	1,27	574114,9633	378459,1859	11633352,05
5256000	600	8760	0,040075	0,5	421270,5	370	0,334	55,66	20614,81	6885,348	1113,2	0,081672	0,0216	1,357	154060	0,05236	1,27	545171,6942	349515,9169	13960022,46

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.06.1983

Doğum yeri Bursa

Lise 1994-2001 Bursa Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum

2006-2007 İsoflar Grup