

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ-HİDROJEN HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN
DENEYSEL VE TEORİK ENERJİ, EKSERJİ VE ELEKTROMANYETİK
ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ
Eylem YILMAZ ULU**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği, Enerji ABD


Programı : Doktora

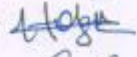
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK


KASIM, 2010


DOKTORA TEZ ONAY FORMU


Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081609006 nolu öğrencisi Eylem YILMAZ ULU tarafından hazırlanan "**GÜNEŞ-HİDROJEN HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN DENEYSEL VE TEORİK ENERJİ, EKSERJİ VE ELEKTROMANYATİK ANALİZİ**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK (PAÜ) 
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hayati OLGUN (TÜBİTAK) 

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Rasim KARABACAK (PAÜ) 

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. M.Fevzi KÖSEOĞLU (PAÜ) 

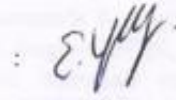
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Sinan KIVRAK (PAÜ) 

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/12/2010.. tarih ve 30/16..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Halil KARAHAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürün olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Eylem YILMAZ ULU

ÖNSÖZ

Bu çalışmada güneş destekli elektrik üretimi amacı ile kurulan Güneş-hidrojen hibrit enerji üretim sisteminin çalışma performansı incelenmiş ve sistem elemanlarının enerji ve ekserji analizi hesaplamaları deneysel veriler doğrultusunda incelenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan, bilgi ve tecrübesi ile karşılaştığım zorlukları aşmama yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e ve tez izleme komitesindeki hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI'ya ve Doç. Dr. Hayati OLGUN'a görüş, öneri ve sonsuz desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmanın maddi desteğini sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. BAP Projesi kapsamında beraber çalıştığımız, teknik bilgi ve desteklerini eksik etmeyen Uzman Dr. Engin ÇETİN, Yrd.Doç.Dr. Sinan KIVRAK ve deney sisteminin kurulmasını başından sonuna kadar gerçekleştiren mesai arkadaşım Elo. Müh. Mahmut HEKİM'e çalışmamın her aşamasındaki yardımlarından dolayı teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca yaşamımın her alanında daima beni destekleyen ve varlıkları ile bana güç veren canım aileme, yardımını ve desteğini hiç eksik etmeyen sevgili eşime, manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen en yakın arkadaşım Arş.Gör.Dr.Şengül GÜVEN ACAR'a, hocalarım Arş.Gör.Dr. Gülay YAKAR'a ve Yrd.Doç.Dr. Nazan KARAPINAR'a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Kasım 2010

Eylem YILMAZ ULU

(Y. Makina Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xixx
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	2
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Önemi	3
1.4 Tezin Kapsamı.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
2.1 Genel	7
2.2 Güneş-Hidrojen Enerji Sistemlerinin Deneysel ve Teorik Çalışma Örnekleri ..	7
3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMU	19
3.1 Genel	19
3.2 Tükenebilir Enerji Kaynakları Üretim-Tüketim Durumu	21
3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretim-Tüketim Durumu.....	22
3.3.1 Hidrolik	25
3.3.2 Rüzgar	26
3.3.3 Jeotermal	28
3.3.4 Biyokütle	29
3.3.5 Güneş	29
3.3.6 Hidrojen	31
3.3.6.1 Hidrojen üretim yöntemleri.....	32
3.3.6.2 Hidrojenin depolanması	34
3.4 Yenilenebilir Elektrik Üretimi Konusundaki Hedefler	36
4. GÜNEŞ-HİDROJEN DESTEKLİ ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	38
4.1 Genel	38
4.2 Güneş Enerjisi	39
4.2.1 Güneş pilleri(Fotovoltaik Piller)	42
4.2.1.1 Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler	43
4.2.2 Güneş pili sistemleri.....	44
4.3 Yakıt pili teknolojisi.....	46
4.3.1 Yakıt pili tipleri.....	48
5. PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ, TEMİZ ENERJİ EVİ, GÜNEŞ-HİDROJEN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİ	51
5.1 Genel	51
5.2 Güneş Pili Panelleri	53
5.3 İzleyiciler.....	54
5.4 İnvvertörler, Şarj Regülatörleri ve Aküler	56
5.5 Deiyonizör	57
5.6 Elektrolizör.....	57
5.7 Metal Hidrid Tanklar.....	58

5.8 PEM Yakıt Pilleri	58
5.9 Pyranometre	59
6. PLC VERİ İZLEME VE KAYIT SİSTEMİ	61
6.1 Genel	61
6.2 PLC Veri İzleme ve Takip Sisteminin Kurulumunda Karşılaşılan Sıkıntılar ..	66
7. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	70
7.1 Genel	70
7.2 Ekserji Analizi Denklemleri	72
7.2.1 Ölü hal	72
7.2.2 Ekserji bileşenleri	73
7.2.2.1 Fiziksel ekserji	73
7.2.2.2 Kimyasal ekserji	73
7.2.2.3 Ekserji yıkımı	73
7.2.3 Ekserji ve termodinamik denklik bağıntılar	74
7.3 Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Ekserji Analizi	75
7.3.1 Güneş pili panellerinin ekserji analizi	75
7.3.2 Elektrolizörün ekserji analizi	78
7.3.3 Yakıt pili sisteminin ekserji analizi	79
8. ELEKTROMANYETİK ALAN ANALİZİ	85
8.1 Genel	85
8.2 Elektrik ve Manyetik Alanlar	85
8.2.1 Elektromanyetik spektrum	87
8.3 Elektromanyetik Etki	89
9. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	91
9.1 Güneş Pili Panellerinin Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları	91
9.2 Elektrolizörün Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları	104
9.3 Yakıt Pili Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları	109
9.4 Temiz Enerji Evi'nde Yapılan Elektromanyetik Alan Ölçüm Sonuçları	114
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR	126

KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
PEM	: Proton Exchange Membrane
PLC	: Programmable Logic Controller
SAR	: Özgöl Soğurma Oranı
SA	: Özgöl Soğurma

TABLO LİSTESİ

Tablolar

3.1 : Türkiye Teknik ve Ekonomik HES Potansiyeli Durumu (Ekim 2009).....	26
3.2 : Türkiye Rüzgar Potansiyeli (50 m yükseklikte).	27
3.3 : Elektrik Üretimine Uygun Jeotermal Sahalar	28
5.1 : Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sisteminin Ana Bileşenleri	52
7.1 : Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması.	71
7.2 : Reaksiyona giren ve çıkanların standart kimyasal ekserjileri.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

3.1 : Türkiye Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (2009).....	19
3.2 : Dünya Nihai Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payı.	20
3.3 : Dünya Elektrik Üretiminde Yakıtların Payı	21
3.4 : Yenilenebilir Enerji Kapasiteleri Yıllık Ortalama Büyüme Oranları	22
3.5 : Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Arzının Kaynaklara Dağılımı(2008)..	25
3.6 : Yer Seviyesinden 50 m Yüksekteki Rüzgar Hızları.....	26
3.7 : Türkiye Rüzgar Kurulu Gücünün Yıllara Göre Değişimi	27
3.8 : Jeotermal Elektrik Üretimi Yıllara Göre Değişimi	28
3.9 : YEK+Atık Santrallerinden Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi	29
3.10 : Türkiye Güneş Enerjisi Atlası (GEPA)	30
3.11 : Türkiye Ortalama Güneşlenme Süreleri (Saat)	30
3.12 : Türkiye Ortalama Global Radrasyon Değerleri (kWh/m ² -gün)... ..	31
4.1 : Atmosfere ulaşan güneş ışınımı	39
4.2 : Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı	40
4.3 : Güneş Pili	42
4.4 : Güneş Pili Modülü	42
4.5 : Şebekeden Bağımsız Güneş Pili Enerji Sistemi	45
4.6 : Galvanik hücrenin çalışma prensibi	46
4.7 : Genel hidrojen yakıt pili çalışma prensibi	47
4.8 : Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin verim eğrilerinin karşılaştırılması ..	49
4.9 : Enerji dönüşümlerinde yakıt pili, pil ve ısı makinasının karşılaştırılması .	49
5.1 : Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi	51
5.2 : Sabit eğimli olarak Temiz Enerji Evi'nin çatısına yerleştirilen güneş panelleri	53
5.3 : Kyocera KC125GHT-2 Güneş Pili Panellerinin Akım – Gerilim Karakteristiği	54
5.4 : Zomeworks Tarafından Üretilen Güneş İzleyicilerinin Gün İçindeki Hareketleri... ..	55
5.5 : İzleyici Üzerine Yerleştirilen Hareketli Güneş Panelleri	56
5.6 : Şarj Regülatörleri, Şarj Cihazı, İnvörtör Kabini ve Akü Kabini	56
5.7 : Easypure II LF Deiyonizör	57
5.8 : HOGEN S20 Elektrolizör	58
5.9 : Nexa yakıt pili modülleri ve metal hidrid hidrojen tankları	59
5.10 : Hareketli Güneş Pili Panellerine Monte Edilen Pyranometre	59
5.11 : Sabit Güneş Pili Panellerine Monte Edilen Pyranometre	60
6.1 : EM 235 Switch Tablosu	62
6.2 : EM235 Bağlantı Şekli	63
6.3 : EM235 Ofset ve Gain Ayar Noktaları	63
6.4 : PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Şematik Görünümü	64
6.5 : PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Panosu (Dış Görünüm)	65

6.6 : PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Elemanları Pano İç Görünümü	65
6.7 : DC Gerilim İzleme Sisteminde Salınım Sorununun Giderilmesi	67
6.8 : PLC Salınım Hata Grafiği	69
6.9 : PLC Hatasız Grafik	69
8.1 : Elektromanyetik Spektrumda Önemli Frekanslar	87
9.1 : Türkiye'nin Yıllık Güneş Işınım Dağılımı	91
9.2 : Denizli'nin Yıllık Güneş Işınım Dağılımı	92
9.3 : Denizli İli Güneşlenme Süreleri(Saat)	92
9.4 : Denizli İli Global Radyasyon Değerleri(kWh/m ² -gün)	93
9.5 : Sistemin Şematik Görünümü	93
9.6 : Veri Ölçüm Noktaları	94
9.7 : Sabit ve Hareketli Panellere Ait Güç Değişim Grafikleri	95
9.8 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (1.Gün)	96
9.9 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (2.Gün)	97
9.10 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (3.Gün)	97
9.11 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (4.Gün)	98
9.12 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (5.Gün)	98
9.13 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (6.Gün)	99
9.14 : Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (7.Gün)	99
9.15 : Sabit ve Hareketli Panel Gruplarından Elde Edilen Güç Farkları (3.Gün).....	100
9.16 : Sabit Güneş Pili Paneli Enerji ve Ekserji Verimi	101
9.17 : Hareketli Güneş Pili Paneli Enerji ve Ekserji Verimi	101
9.18 : Sabit ve Hareketli Panel Ekserji Verimi Karşılaştırması	102
9.19 : Sabit ve Hareketli Panel Enerji Verimi Karşılaştırması	102
9.20 : Hareketli Panellerin Günlük ve Ortalama Enerji Üretimi	103
9.21 : PEM Tipi Elektrolizörün Günlük ve Ortalama Hidrojen Üretimi	104
9.22 : Deneysel Çalışma Aralığında Günlük ve Ortalama Ekserji Verimi Değerleri	108
9.23 : Deneysel Çalışma Aralığında Günlük ve Ortalama Ekserji Yıkımı Değerleri	108
9.24 : Sistemin Yıllık Enerji Verimi Değerleri.....	109
9.25 : Sistemin Yıllık Ekserji Verimi Değerleri.....	109
9.26 : 1. Metal Hidrid Tankın H ₂ Dolumu Sırasında Yüzey Sıcaklığı ve Ağırlık Değişimi	110
9.27 : 2. Metal Hidrid Tankın H ₂ Dolumu Sırasında Yüzey Sıcaklığı ve Ağırlık Değişimi	111
9.28 : Elektrolizörün Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Güç Trendi	112
9.29 : Elektrolizörün Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Güç Grafiği	112
9.30 : Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı H ₂ Tüketimi	113
9.31 : Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Akım ve Gerilim Değişimi	114

9.32 : Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Hücre Sıcaklığı Değişimi	114
9.33 : Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Hava Debisi Değişimi	115
9.34 : 1. Metal Hidrid Tank 375 W Yük Altında Boşaltım Grafiği	116
9.35 : 2. Metal Hidrid Tank 275 W Yük Altında Boşaltım Grafiği	116
9.36 : Yakıt Pilinin Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Akım- Gerilim Trendi	117
9.37 : Yakıt Pilinin Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Akım- Gerilim Grafiği	117
9.38 : Yakıt Pili Sisteminin Enerji ve Ekserji Veriminin Akım Yoğunluğuna Göre Değişimi	118
9.39 : (a) Temiz Enerji Evi (b) Sistem Elemanları	119
9.40 : Durum-I, Sadece PV sistem devrede ve Yüksüz (PV, aküler ve invertör) a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu	121
9.41 : Durum-II, PV sistem devrede ve Yükte (PV, aküler, invertör, yük(klima)) a)Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu.....	122
9.42 : Durum-III, PV sistem devre dışı ve sistem yükte (Aküler, invertör, yük(klima)) a)Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu	123
9.43 : Durum-IV, PV sistem ve Yakıt Pili Sistemi devrede ve Yükte (PV, aküler, elektrolizör, yük (590 W toplam)) a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu	124
9.44 : Elektrolizör devrede a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu	125
9.45 : İntertör Önündeki Elektrik ve Manyetik Alan Radyasyonunun Mesafeye Göre Değişimi	126

SEMBOL LİSTESİ

- A : Güneş pili panellerinin efektif yüzey alanı (m^2)
- $A_{hücre}$: Efektif hücre alanı
- $a_{kataliz}$: Katalizin spesifik alanı ($cm^2/mgPt$)
- B : Manyetik Akı Yoğunluğu (Weber/ m^2)
- c_p : Özgül Isı (kJ/kgK)
- d : İletkenler arası mesafe (m)
- \dot{E} : Toplam Ekserji Akışı (W)
- E : Elektrik Alan (Volt/metre)
- $\dot{E}x^W$: \dot{W} gücüne bağlı ekserji akışı (W)
- $(E_C)_{H_2}$: Hidrojenin oksidasyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi($kJmol^{-1}$)
- $(E_C)_{O_2}$: Oksijenin oksidasyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi($kJmol^{-1}$)
- Ex^{kim} : Ölü Halde Birim Kütle için Kimyasal Ekserji Değeri (kJ/kg)
- Ex^{fiz} : Ölü Halde Birim Kütle için Fiziksel Ekserji Değeri (kJ/kg)
- ex : Birim Kütle için Toplam Ekserji (kJ/kg)
- ex_g : Sisteme giren özgül ekserji (J/kg)
- $ex_ç$: Sistemden çıkan özgül ekserji (J/kg)
- F : Faraday sabiti
- H : Magnetik Alan (Amper/metre)
- h : Entalpi (kJ/kg)
- h_o : Ölü Hal için Entalpi (kJ/kg)
- i : Akım yoğunluğu

i_0 : Akım değişim yoğunluğu

J : Hacimsel Akım Yoğunluğu (Amper/metre²)

$L_{kataliz}$: Katalize platinyum yüklemek miktarı (mgPtcm⁻²)

\dot{m} : Kütlesel Debi (kg/s)

\dot{m}_g : Sisteme giren kütlesel debi (kg/s)

\dot{m}_ϵ : Sistemden çıkan kütlesel debi (kg/s)

$\dot{m}_{g,b}$: Başlangıçtaki kütlesel debi (kg/s)

$\dot{m}_{\epsilon,s}$: Sondaki kütlesel debi (kg/s)

$N_{hücre}$: Dizini oluşturan hücre sayısı

P : Basınç (bar)

P_o : l Halde Basınç (bar)

P_A : Anod basıncı (Bar)

P_C : Katod basıncı (Bar)

p_{H_2} : H₂ gazının kısmi basıncı (Bar)

p_{O_2} : O₂ gazının kısmi basıncı (Bar)

P_{sat} : Suyun yakıt pili çalışma sıcaklığındaki doyma basıncı (atm)

\dot{Q}_k : Sistem sınırlarına “k” çevresinden gerçekleşen ısı transferi (W)

R : Gaz Sabiti (kJ/kgK)

R_{ohmic} : Membran direnci

r : Gözlem noktasının uzaklığı (m)

S_T : Güneş pili panellerinin yüzeyine düşen güneş ışınımı miktarı (W/m²)

T : Sıcaklık (K)

T_o : l Halde Sıcaklık (K)

$T_{evre}$: evre sıcaklığı (K)

$T_{güneş}$: Güneşin sıcaklığı (6000 K)
 T_{YP} : Yakıt pilinin çalışma sıcaklığı (K)
 U_L : Isı kayıp katsayısı (W/m²K)
 $V_{hücre}$: Hücre Gerilimi (potansiyel) (V)
 V_W : Rüzgar hızı (m/s)
 \dot{W} : Sistemden elde edilen güç (W)
 \dot{W}_{net} : Net Güç Üretimi (W)
 x_n : Mol Yüzdesi (%)
 x_{H2} : Hidrojenin mol oranı
 x_{O2} : Oksijenin mol oranı
 x_{H2O} ; Anod ve katoddaki suyun mol oranı
 x_A : Anoddaki kuru gaz mol oranı
 x_K : Katoddaki kuru gaz mol oranı
 ζ : Anod ve katod stokiometrilere
 η : Verim (%)
 λ : Hava Fazlalık Katsayısı
 λ_{mem} : Membran su içeriği
 μ : Manyetik Geçirgenlik ((Newton/Amper²) veya (Henry/m))
 μ_0 : Boş alan geçirgenliği ((T·m/A) veya (H·m⁻¹))
 σ : Doku İletkenliği (S/m)
 σ_{mem} : Membran iletkenliği
 α : Anod ve katoddaki transfer katsayıları
 ε_g : PV panel emisivitesi

ÖZET

GÜNEŞ-HİDROJEN HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN DENEYSSEL VE TEORİK ENERJİ, EKSERJİ VE ELEKTROMANYETİK ANALİZİ

Bu çalışmada, Denizli’de Pamukkale Üniversitesi kampüsünde inşa edilen Temiz Enerji Evi’ndeki Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi’nin ekserji analizi belirlenmiştir. Ekserji analizi; sistemde yer alan güneş pili panelleri, elektrolizör ve yakıt pili sisteminin performansı ve yapılabilecek iyileştirmeler ile ilgili bilgi vereceğinden oldukça önemlidir. 37⁰ 46’ kuzey enlemi, 29⁰ 05’ boylamda yer alan Temiz Enerji Evi’ndeki sabit ve hareketli güneş pili panellerinin, elektrolizörün ve yakıt pili sistemlerinin performans analizi için deneysel veriler ile hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda; sabit güneş pili panellerinin ekserji veriminin %4,3 ile %9,5 arasında değerler aldığı, hareketli güneş pili panellerinin %6 ile %13,2 arasında değerler aldığı, elektrolizörün %51 ve yakıt pili sisteminin %22 ile %36 arasında değerler aldığı belirlenmiştir.

SUMMARY

EXPERIMENTAL AND TEORETICAL ENERGY, EXERGY AND ELECTROMAGNETIC ANALYSIS OF SOLAR-HYDROGEN HYBRID ENERGY SYSTEM

In this study, exergy analysis of a photovoltaic-hydrogen production system established at the Clean Energy Center(CEC), in Denizli Pamukkale University, Turkey has been investigated. Exergy analysis for photovoltaic systems, electrolyser and fuel cell system is necessary for studying their performance and possible improvements. The exergy efficiency comparison of the fixed tilt(45° south) and mounted on solar trackers photovoltaic modules, electrolyser and fuel cell system is calculated here by the experimental datas taken from the system located in the CEC in Denizli, Turkey, at $37^\circ 46'$ North latitude and $29^\circ 05'$ East longitude. It is seen that the exergy efficiency of the fixed tilt PV module vary between 4,3% and 9,5%, while the exergy efficiency of the mounted on solar tracker PV module vary between 6% and 13,2%. The exergy efficiency of the electorlyser is calculated as %51 and between %22 and %36 for fuel cell system.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Yaşamın her alanında ihtiyaç duyduğumuz enerji, hayatın temelini oluşturmaktadır. Isıtma, soğutma, aydınlatma, üretim ve ulaşım gibi başlıca gereksinimleri karşılamak için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtlar; sınırlı kaynakları, yüksek maliyetleri ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonları nedeni ile yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır.

Son yıllarda AB'ye uyum amacıyla gerçekleştirilen birçok yasa; yenilenebilir enerjinin kullanılması, enerjinin tasarrufu ve enerjinin verimli kullanılmasını öngörmektedir. Teknolojik gelişmeler ve temiz çevre bilinci, yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları araştırmalarını günden güne hızlandırmaktadır. Çevreye zarar veren ve dünya üzerindeki rezervleri hızla azalan fosil yakıtlara alternatif olarak kullanımı günden güne artan yenilenebilir enerji kaynakları şu şekilde sıralanabilir;

- Güneş Enerjisi
- Rüzgar Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Hidroelektrik Enerji
- Biyoenerji
- Hidrojen (Taşıyıcı olarak)

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en kolay faydalanılabilen ve en kolay temin edilebilen kaynak güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden çok farklı alanlarda

yararlanma imkanı mevcuttur ve bu alandaki teknoloji de günden güne ilerleme kaydetmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttıkça bu enerji kaynaklarının üretimi, iletimi ve depolanması ile ilgili teknolojiler de hızlı gelişim göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin süreksiz olması, üretilen enerjinin depolanma ihtiyacını doğurmaktadır. Son yıllarda teknolojik alanlarda yapılan çalışmalar hidrojenin depolanma özelliğini ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından veya fosil yakıtlardan çeşitli yollarla üretilen hidrojen, depolanabilirliği sayesinde kesintisiz enerji ihtiyacını karşılayabilecek özelliktedir.

1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin ilerlemesi, dünya nüfusunun hızla artması insanoğlunun enerjiye olan talebini de günden güne artırmaktadır. Ve hızla artan enerji ihtiyacını karşılamak için de temiz ve ekonomik enerji kaynakları konusunda araştırmalar önem kazanmaktadır. Enerjinin elde edilmesinin yanı sıra depolanması da büyük önem taşımaktadır. Bu noktada hidrojen büyük bir rol oynamaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtlara alternatif olarak, kullanım alanı genişleyen yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, hidrojeni diğer elementlerden ayırmak için ideal bir enerji kaynağıdır. Hidrojen hem temiz bir enerji kaynağı hem de iyi bir enerji taşıyıcısı olarak son yıllarda tüm dünyanın ilgisini çekmiş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Hidrojenin üretimi, iletimi, depolama ve enerji çevrimleri çok çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Temiz ve ekonomik bir şekilde hidrojen üretimi güneş enerjisi desteği ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada; Yılcı tarafından aynı sistemde 2008 yılında yapılan doktora çalışmasından farklı olarak, güneş-hidrojen hibrit enerji sistemi ile elektrik enerjisi üretim performansı deneysel olarak incelenmiştir. Literatürde yer alan benzer çalışmalardan farklı olarak sabit ve hareketli PV paneller ile güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanımı veya hidrojen enerjisine dönüştürülerek kullanımının doğurduğu farklılıklar belirlenmiş ve sistemde yer alan elektrolizör ve yakıt pillerinin, termodinamiğin ikinci kanununa göre ekserji analizleri incelenmiştir. Sistemi oluşturan bileşenlerin performanslarını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ile bir konutun elektrik ihtiyacını şebekeden bağımsız olarak üretebilen bir güneş-hidrojen hibrit sisteminde verimi artırma yolları tespit edilmiş diğer bir ifade ile temiz enerji üretim veriminin

artırılması için sistem üzerinde uygulanabilecek yöntemler belirlenmiştir. Sistemde yer alan elemanlar etrafında elektromanyetik alan ölçümler yapılarak sağlık açısından etkileri incelenmiştir.

1.3 Tezin Önemi

Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneş; ülkemizde hem ısıtma hem de elektrik üretim amaçlı kullanılabilir potansiyele sahiptir. Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumu itibari ile güneş potansiyeli açısından çok şanslı bir bölgede yer almaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege Bölgeleri gün boyunca güneşi uzun süre görebilen bölgelerimizdir. EİE tarafından yapılan çalışmalar, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat ve ortalama toplam ışınım şiddetinin 1,311 kW-saat/m²-yıl olduğunu göstermektedir (Url-1, 2010).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği çevreye zararlı emisyonlar yaymamalarıdır. Yakın gelecekte tüm dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir kısmını sağlaması beklenen yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş-hidrojen hibrit enerji sistemleri yapılan çalışmalar arasında, enerji kaynağı olarak kullanılan güneşin bedava olması ve coğrafi konuma bağlı olarak ulaşımı kolay olması açısından verimli sistemler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada; Pamukkale Üniversitesi kampüsünde inşa edilen Temiz Enerji Evi'nde yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok önemli bir potansiyele sahip olan güneş enerjisinden yararlanılarak bir evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilen Güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminin çalışma performansı incelenmektedir. Temiz Enerji Evi'nde elektrik ile çalışan tüm cihazların çalışması için gerekli elektrik ihtiyacı sabit ve hareketli PV panellerden karşılanabildiği gibi ihtiyaçtan fazla üretilen elektrik enerjisi hidrojen olarak depolanarak güneşin etkin olmadığı gece saatlerinde de evin elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir. Hem hibrit bir sistem olması hem de enerji ihtiyacını çevreye zararlı gazlar yaymadan üretmesi açısından yakın gelecekte kullanımının yaygınlaşması beklenen yenilenebilir enerji destekli hibrit sistemler son yıllarda birçok araştırmaya konu olmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan Temiz Enerji Evi'nde kurulu bulunan Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemleri; güneşin ve suyun bulunduğu her yerde sıfır emisyon ile enerji

üretebilmektedir. Bu iki kaynağın da sonsuz kaynaklar olduğu göz önüne alındığında bu sistemlerin önemi daha açık bir şekilde görülmektedir.

1.4 Tezin Kapsamı

Tez, on ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan “Giriş” bölümünde enerjinin hayatımızdaki yeri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, güneş ve hidrojenin enerji üretimindeki öneminden bahsedilmiştir. Tez konusunun amacı ve önemi de bu bölümde yer almaktadır.

Güneş-hidrojen hibrit enerji üretim sistemlerinin performans analizini inceleyen deneysel ve teorik çalışmaların yer aldığı “Literatür Taraması” isimli bölüm ikinci bölümdür.

Üçüncü bölümde Türkiye’nin mevcut enerji kaynakları, rezervleri, üretim-tüketim durumları hakkında bilgiler yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, güneş enerjisi, güneş pilleri ve yapısı, güneş pili sistemleri, yakıt pili teknolojisi hakkında bilgiler yer almaktadır.

Beşinci bölümde Pamukkale Üniversitesi, Temiz Enerji Evi, Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sistemi’nin tanıtımı, sistemi oluşturan cihazların teknik ve yapısal özellikleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Altıncı bölümde, PLC veri izleme ve takip sisteminin tanıtımı, görevi, sistem elemanları, kurulumu, kurulumu sırasında karşılaşılan sıkıntılar ve çözümleri yer almaktadır.

Yedinci bölümde, enerji ve ekserji analizi yöntemleri ve hesaplamaları hakkında bilgi yer almaktadır.

Sekizinci bölümde, sistem elemanlarının etrafında yapılan elektromanyetik alan analizi hakkında bilgiler yer almaktadır.

Dokuzuncu bölümde, yapılan deneysel çalışma sonuçları yer almaktadır.

Onuncu ve son bölümde “Sonuçlar ve Öneriler” kısmında çalışmada yapılan deneysel çalışma sonuçları ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Genel

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, kullanım alanı en geniş temiz enerji kaynağıdır. Aynı zamanda güneş, hidrojeni diğer elementlerden ayırmak için ideal bir enerji kaynağıdır. Hidrojen hem temiz bir enerji kaynağı hem de iyi bir enerji taşıyıcısı olarak son yıllarda tüm dünyanın ilgisini çekmiş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Hidrojenin üretimi, iletimi, depolama ve enerji çevrimleri çok çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Temiz ve ekonomik bir şekilde hidrojen üretimi güneş enerjisi desteği ile yapılabilmektedir. Tüm bu işlem basamaklarını ve güneş-hidrojen hibrit sistemi ile elektrik üretimini inceleyebilmek amacı ile yapılan literatür çalışmaları aşağıda yer almaktadır.

2.2 Güneş-Hidrojen Enerji Sistemlerinin Deneysel ve Teorik Çalışma Örnekleri

Linkous (1992), hidrojenin üretilmesi için elektroliz yöntemini detaylı bir şekilde incelemiştir. Yapılan incelemede, alkalın, polymer membran ve seramik oksit gibi elektro kimyasal proseste kullanılan önemli elektrokimyasal teknikler irdelenmiştir. Suyun elektroliz için sıcaklığın önemli bir parametre olduğu da bu çalışmada gösterilmiştir.

Loddi (1997), güneşten elde edilecek güç geleceği önceden belirlenmiş bir enerji kaynağıdır. Bunun iki önemli sebebi vardır bunlar sınırlı fosil yakıtların sınırlı oluşu ve oluşan çevresel hasarın bilincine varılması olduğu anlatılmıştır. Özellikle küresel çevresel hasarın dünyadaki hayat için büyük bir tehlike oluşturduğu bununda fosil yakıtların tükenmesinden daha önemli olabileceği belirtilmiştir. Dolayısı ile güneş enerji işletmelerinin yararlı, temiz bir enerji elde edilebilen işletmeler olduğu ve elektrik üretilen alternatif bir kaynak olabileceği tartışılmıştır. Güneşten üretilen enerjinin bir şekilde depolanması gerektiği, bu işlemin geleceğin enerji seçeneği olan Hidrojen vasıtası ile olacağı gösterilmiştir.

Kreuter ve diğeri (1998), sürdürülebilir enerji olanaklarının sağlanmasının önemine işaret etmişlerdir. Elde edilecek enerjinin üretiminin, dağıtımının ve tüketiminin elektrik ve hidrojen olarak gelecekte tercih edileceğini savunmuşlardır. Genel anlamda elektrolizerin verimi, sistemin kurulabilirliği ve güvenliği hakkında yapılabilecek iyileştirmeler üzerinde durulmuştur.

Padin ve diğeri (2000), bu çalışmada güneş enerjisi kullanarak hidrojen elde edilmesi sırasında yüksek sıcaklıklara çıkılmasının hidrojen üretim miktarı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda elektroliz edilmesinin parametreleri belirlenerek simülasyonu yapılmıştır. Hibrit güneş toplayıcılarının, yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek elektrolizlerle birlikte kullanılmasının klasik atmosferik sıcaklıklarda çalışan sistemlerle karşılaştırıldığında, sistem verimini iki katına çıkarabileceği ortaya konulmuştur.

Cownden ve diğeri (2001), taşıtlarda kullanılabilen katı polimer yakıt pili sistemlerinin ekserji analizini hesaplayabilmek için bir modelleme oluşturmuşlardır. Yaptıkları analiz sonucunda ekserji yıkımının en yüksek değerlere çıktığı kısımların yakıt pili hücreleri olduğu ve sebebinin de tersinmezlikler olduğunu, diğer bir yüksek ekserji yıkım değerine sahip sistem parçasının da kompresör olduğunu belirlemişlerdir.

El-Shatter ve diğeri (2002), güneş pillerinin yakıt pilleri ile birlikte kullanılarak elektroliz yöntemi ile hidrojen üretiminin simülasyonu yapılmıştır. Güneş pillerinden maksimum verimi alabilmek için fuzzy regresyon modeli kullanarak güneş izleyicileri güneşe doğru konumlandırılmışlardır. Sistem tasarımında temel üniteler; güneş pilleri, elektrolizer, yakıt pili, kontrol ünitesidir. Yapılan çalışmada, yakıt pilinden elde edilen gücün mevsimlerle değiştiği ve yazın 11.299 kW/gün, sonbaharda 7.842 kW/gün, kışın 5.058 kW/gün ve baharda ise 10.278 kW/gün olduğu görülmüştür.

Bak ve diğeri (2002), bu çalışmada güneş enerjisi kullanarak hidrojen elde edilmesi konusunu ele almışlardır. Çalışmada yüksek verimli foto elektro kimyasal güneş pilleri kullanılmıştır. Güneş enerjisinin daha verimli olarak elektrik elde edilebilmesi için farklı malzemelerin kullanılmasının etkileri irdelenmiştir. Aynı zamanda bant aralığı, bant potansiyeli, elektriksel rezistans, elektrotlar, elektriksel

bağlantılar, korozyon ve foto korozyon rezistansı gibi birçok etmenin hidrojen üretimi üzerine etkileri de incelenmiştir.

Licht (2002), güneş enerjisi ile suyun ayrıştırılması incelenerek, hidrojen elde etmenin temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş ile yapılmasının daha önce yapılan uygulamalara göre daha verimli olabileceğini savunmuşlardır. Çalışmalarında termodinamik verilere dayanarak elde ettikleri teorik bilgiler ışığında hidrojen üretim verimliliğinin artırılmasını hedeflemişlerdir.

Petela(2003), bu çalışmasında, ısı radyasyon ekserjisinin hesaplama yöntemini ele almıştır. Yazar, hesaplamalarında emici yüzey tarafından alınan güneş radyasyonunu belirleyebilmek amacıyla optimum yüzey sıcaklığının bilinmesi gerektiğini savunmaktadır. Literatürde bu alanda yapılmış çalışmalara bakıldığında ısı radyasyon ekserjisini ele alan Petela(1961), Spanner(1964) ve Jeter(1981) göze çarpmaktadır. Spanner, Petela'dan farklı olarak faydalı işi değil, net işi diğer bir ifade ile kullanılabilir maksimum işi ekserji olarak ele almaktadır. Jeter ise Petela'nın ekserji analizi uyguladığı radyasyonun ısıya dönüştüğü durumlarda enerji analizi uygulaması yoluna gitmiştir. Radyasyon ekserjisini hesaplamak için Petela; anlık rastgele gelen radyasyon akısını dikkate almaktadır. Petela'ya göre bir yüzeye gelen radyasyon, yüzey tarafından hem emiliyor hem de yayılıyor ise çeşitli radyasyon ekserji analizleri yapılmalıdır.

Lj ve diğerleri (2003), bu çalışmalarında, alkalın elektrolitler vasıtasıyla suyu elektroliz ederek hidrojenin elde edilmesini incelemişlerdir. Elektrik maliyetinin yüksek olduğu ve çeşitli gelişmelerle en verimli hidrojen üretme yollarının, özellikle yeni elektroliz hücreleri, elektrokatalitik malzemeler, diyafram malzemeleri yönünde çeşitli çalışmaların yapıldığını belirtmişlerdir. Aktive edilmeyen elektrolitlere göre iyon aktiviteli elektrolitlerin üretilen birim hidrojen kütlesi miktarı başına daha az elektrik enerjisinin tüketilmesini sağladığını deneysel sonuçlarla göstermeye çalışmışlardır ve çalışmanın amacını bu oluşturmaktadır. İki kobalt türevi olan tip aktivatörün sonuçlara etkisi çeşitli biçimlerde ele alınarak bu deneylerle incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda iyon aktiviteli elektrolitlerin standart aktive edilmeyen elektrolitlere nazaran en az %10'luk bir enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Nagaia ve diğeri (2003), elektroliz yöntemiyle hidrojen üretiminde elektrotlar arası mesafenin verimliliği nasıl etkilendiği deneysel olarak incelenmiştir. Mesafe oranının belirlenmesinde; akım yoğunluğu, ayırıcı olup olmaması, sistem ısısı, yükseklik ve elektrotların ıslanabilirliği gibi parametreler göz önüne alınmıştır. Çalışmalarının sonucunda elektrotların birbirlerine yaklaştırılmasıyla hidrojen üretimi verimliliğinin düştüğünü belirlemişlerdir.

Kazım (2004), bu çalışmada 10 kW'lık bir yakıt pilinin çeşitli çalışma koşulları altında fiziksel ve kimyasal ekserjilerini ikinci yasa analizi ile hesaplayarak ekserjitik verimi belirlemiş ve yakıt pilinin en iyi performans olanağını incelemiştir. Burada fiziksel ekserjiyi etkileyen sıcaklık oranı (T/T_0) 1 ile 1.25 ve basınç oranı (P/P_0) 1 ile 1.3 arasında değiştirilmiştir. Kimyasal ekserjiyi etkileyen yakıt pili gerilimi (V), 0.5 ve 0.6 V ve hava karışım oranı (λ), 2, 3, 4 için hesaplamalar yapılmıştır. Basıncın ve sıcaklığın az da olsa değişimi bile ekserjitik verimde artışa neden olmaktadır. Hava karışım oranındaki artış da performansı etkilemektedir, ancak burada yüksek sıcaklık ve hava karışım oranının çıkan havanın bağıl nemini düşürerek yakıt pili hücrelerinin kurummasına ve yakıt pilinin çalışmamasına neden olabileceği unutulmamalıdır. Bu yüzden hava karışım oranını 2-4 arasında almak gerekmektedir. Aynı zamanda yakıt pilinin geriliminin artırılmasıyla ekserji veriminin de güç arttığı görülmüştür.

Santarelli ve diğeri (2004), bu çalışmada üç farklı yenilenebilir enerji kaynağını ayrı ayrı kullanarak hidrojen ve doğrudan elektrik enerjisi üretimi sayesinde kuzeybatı İtalya-Locana'da, 30° enlemde ve kırsal kesimde yer alan 500 m³lük hacime sahip bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasının değerlendirilmesini yapmışlardır. Üç farklı yenilenebilir enerji kaynağı olarak Güneş, Mikro-hidro ve Rüzgar seçilerek bu sistemlerin analizi yapılmıştır. Mekanın ihtiyacını karşılamak üzere sistemde üretilen ve tüketilen elektrik enerjileri, üretilen, depolanan ve kullanılan hidrojen enerjisi miktarları da hesaplanmıştır. Mekanın elektrik enerjisi ihtiyacı aylık ortalama saatlik elektrik ihtiyaçlarının tespiti ile belirlenmiştir. Güneş ışınımı miktarı için bölgenin yakınında bulunan Torino'nun yıllık saatlik verileri kullanılmıştır. Hidrolik için ise veriler bölgenin yağış, kar ve hidrolik davranışlarına dayanan meteorolojik verilerden yararlanılmıştır. Son olarak rüzgar verileri de meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Her üç sistemin akış şemasında bu kaynakların yanı sıra, elektrolizörler, bir basınçlı tank, bir PEM yakıt pili, kompresör, akü ve diğer yardımcı elemanlar yer almaktadır. Sistemin

boyutlandırılması her üç kaynak için ayrı ayrı yapılarak, sistemin büyüklüğü ve ilk yatırım maliyetleri simülasyon kodları kullanılarak elde edilmiştir. Düşük rüzgar hızlarının olduğu bölgede rüzgar enerjisi ile konutun ihtiyacının karşılanmasının ekonomik olmayacağı görülmüştür. Diğer iki kaynağın kullanımında ise güneş pillerinin veriminin düşük olması, geceleri güç üretiminin gerçekleşmemesi sebebiyle güneş enerjisi; kış aylarında donma sebebiyle hidrolik güç üretiminin dezavantajları aylık hesaplanan veriler ile gösterilmiştir. Hidrolik güç üretim sisteminde kullanılan Francis türbinin veriminin yüksekliği ve ilk yatırım maliyeti düşüklüğü gibi sebeplerden dolayı en iyi sistem hidrolik kaynak ile beslenen sistemin olacağı gösterilmiştir. Çalışmanın getirdiği önerilerden bir diğeri ise güneş-hidrolik sisteminin birlikte kullanılacağı hibrit sistem olmaktadır.

Bilgen (2004), bu çalışmada, on iki yerleşim yerine ait iklim verileri ve yatay düzleme gelen güneş ışınım miktarına göre güneş pili-elektrolizör sistemi kullanılarak hidrojen üretiminin ekonomik analizinin modellenmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada karşılaştırma amacıyla sabit ve güneş izleyicili güneş pilleri kullanılmıştır. ABD’de seçilen bu bölgelerde üretilen yıllık hidrojen miktarı kg/kW bulunarak, toplam yatay yüzeye gelen güneş ışınımının fonksiyonu olarak bir korelasyonu elde edilmeye çalışılmıştır. Simülasyon kodları için güneş pillerine gelen güneş ışınımının hesaplanması, üretilen elektriğin hesaplanması, üretilen hidrojenin hesaplanması, maliyet ve ekonomiklik analizi yapılmıştır. Maliyet analizi modellenmesi, ilk yatırım maliyeti, bakım ve işletme giderleri, hidrojen üretim miktarına göre yapılmıştır. Güneş pillerinin 5-6 \$/W olan fiyatının, gelecekteki alt limiti 1 \$/W olarak alınmıştır. Güneş izleme sisteminin maliyeti ise günümüzde 0.6 \$/W olarak ele alınmıştır. DC-DC konvertör için ise 0.15 \$/W maliyet olacağı düşünülmüştür. Elektroliz fiyatları ise üretilen 1 sm³ hidrojen için 52000 \$ olarak ele alınmıştır. Bu da üretilen W başına 11 \$’a tekabül etmektedir. Gelecekteki alt limiti için 1 \$/W ele alınmıştır. Çalışmada bu farklı yerlere ait yıllık elektrik enerjisi ve hidrojen üretim miktarları kWh, kg H₂, GJ H₂ olarak kW güneş pili kurulu gücü bulunarak çeşitli korelasyonlar elde edilmiştir. Elektrik enerjisi üretim maliyeti cent/kWh cinsinden yatay düzleme gelen yıllık ışınım miktarının ve güneş pili sistemi maliyetinin fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde hidrojen üretim maliyeti \$/kg H₂ ve \$/GJ H₂ cinsinden yatay düzleme gelen yıllık ışınım miktarının, güneş pili sistemi ve elektrolizör maliyetinin fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

Yıllık verim ve elektrolizör kapasitesi hesabı için ayrı ayrı korelasyonlar oluşturulmuştur.

Duic ve diğerleri (2004), bu çalışmada, enerjilerini petrol veya türevlerinden karşılayan adaların; güneş, rüzgar veya hidrolik enerjiden enerji ihtiyacını karşılayabileceği vurgulanmıştır. Güneş veya rüzgar enerjisinin olmadığı veya yetersiz olduğu durumlar için ise suyun elektrolizi yolu ile hidrojenin ayrıştırılması ve hidrojenin depo edilerek gerektiği zamanlarda kullanılmasının uygun olacağı ortaya konmuştur. Depo edilen hidrojenin istenildiği zaman yakıt pilleri kullanarak elektrik üretilmesi ve böylece enerji ihtiyacının karşılanmasının mümkün olacağı üzerinde durulmuştur. Aynı zamanda elde edilen enerjinin bir kısmının akülerde depo edilebilirliği ve bu şekilde hem temiz enerji üretilebileceği hem de daha ekonomik yollar ile enerji elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Şen (2004), çevre ve atmosferik kirlilik, küresel ısınma, sera etkisi, iklimsel değişiklikler, ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları gibi fosil yakıtların sebep olduğu olumsuz etkiler ortaya konulmuş ve bu olumsuz etkilerin azaltılmasının için yapılması gerekenler üzerinde durulmuştur. Bütün bu etkilerin azaltılması veya ortadan kaldırılması için en önemli parametrenin fosil yakıtların çevreye yaydığı emisyonları azaltmak veya en önemlisinin de yenilenebilir alternatif kaynaklara yönelmek olduğu üzerinde durulmuştur. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde en önemli kaynak olarak tükenmeyen enerji kaynağı olan güneş enerjisinin ön plana çıktığına vurgu yapılmıştır. Güneş enerjisinin gelişmekte olan ülkeler için, hatta gelişmiş ülkeler için, gelecekte çok önemli rollere sahip olacağı görüşü ortaya konmuştur. Özellikle güneş pillerinin, gelecekte elektrik üretmek amacıyla kullanılmasının önem kazanacağı, ayrıca güneş enerjisi kullanarak suyun elektroliz edilerek hidrojen üretilmesi konusunun gelecekte araştırmalar yapılması için uygun alanlar olduğu ve gelecekte bu konunun önem kazanacağı gösterilmiştir.

Hussain ve diğerleri (2005), araçlarda kullanılan PEM yakıt pili sistemlerinin termodinamik analizini incelemiştir. Yapılan çalışmada, yakıt pili çalışma sıcaklığının ve basıncının artması sonucu sistemin enerji ve ekserji veriminin arttığı, hava stokiometrisi değişiminin verimde herhangi bir değişime sebep olmadığı ve tersinmezliklerin en fazla görüldüğü kısmın da yakıt pili hücreleri olduğu belirlenmiştir.

Saidi ve diğeri (2005), 5 kW çıkış gücüne sahip polimer elektrolitik yakıt pili sisteminin ekserji analizini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, yakıt pilini soğutmak için kullanılan soğutma suyunun sistemin ısınıncı olarak ısınması sonucunda elde edilen sıcak suyun ortam ısıtması amacı ile kullanıldığı belirtilmiştir. Maksimum sistem verimi elde edebilmek için yakıt pili sıcaklığının ve geriliminin mümkün olabildiğince yüksek tutulması gerektiğii ayrıca yakıt pili basıncının ve hava stokiometrisinin de mümkün olabildiğince düşük tutulması gerektiğii tespit edilmiştir.

Kazim (2005a), bu çalışmada, PEM yakıt pilinin eksergoekonomik analizini farklı sıcaklık ve basınç değerlerine bağılı olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda en iyi performansın, elektrolizörün düşük sıcaklık ve yüksek basınçta çalıştırılması ile elde edildiğii belirlenmiştir.

Midilli ve diğeri (2005a), yaptıkları çalışmada hidrojenin bu yüzyıl ve gelecek yüzyıllardaki rolü üzerinde durulmuş ve hidrojen enerjisi stratejileri tartışılmıştır. Fosil yakıtların yarattığı çevresel etkilerin ve küresel ısınmanın, hidrojen kullanılması ile hangi ölçülerde değişebileceğine vurgu yapılmıştır. Fosil yakıtların yarattığı çevresel kirlenmenin, hidrojenin kullanılması ile azalacağı vurgulanmıştır.

Kazim (2005b), bu çalışmada, PEM yakıt pilinin eksergoekonomik analizini ele almıştır. Analizin; sıcaklık, basınç, yakıt pili gerilimi ve hava karışım oranı gibi dört farklı değişkene göre yapıldığı çalışmada hava karışım oranı büyüdükçe ekserji maliyetinin azaldığı, gerilim değeri düştükçe ekserji maliyetinin arttığı gözlenmiştir.

Barbir (2005), bu çalışmada, farklı hidrojen üretim yolları ve PEM tipi elektrolizörler üzerinde durulmuştur. Farklı üretim alternatiflerinde şebekeye bağılı ve şebekeden bağımsız hidrojen üreten farklı sistemler incelenmiştir. PV destekli hidrojen üretim sistemlerinin incelenmesi ve büyüklüklerinin belirlenmesi kriterleri ele alınmıştır. Ayrıca elektrolizör verimine etki eden faktörler ve zamanla gerilim değeriinde meydana gelecek artışın verimi de etkileyeceğii üzerinde durulmuştur.

Midilli ve diğeri (2005b), çalışmasında hidrojeni diğeri enerji kaynakları ile karşılaştırmıştır. Hidrojenin enerji taşıyıcı olarak önemi, çevresel etkileri, sürdürülebilirliğı ve ekserjisi, çalışmada detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Ay ve diğeri (2006), bu çalışmada, PEM yakıt pilin ekserji analizini yapmışlardır. Yakıt pillerinde; ısı transferi, karışım, kimyasal reaksiyon ve aktivasyon, sürtünme, ohmik ve konsantrasyon polarizasyonları olmak üzere beş ana başlık altında ekserji

kayıpları oluşmaktadır. Bu çalışmada, termodinamik tersinmezliklerin, yakıt pili ekserjetik performansına etkileri incelenmiş, akım yoğunluğu, membran kalınlığı, anod ve katod basınçları ve sıcaklık, performansa etki edebilecek değişkenler olarak seçilmiştir. Yapılan ekserji analizi için kimyasal ekserji değerleri literatürden alınırken kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilmiştir. Çalışma sonucunda akım yoğunluğu ve membran kalınlığı değerleri düşük, yakıt pili gerilim değeri yüksek seçildiğinde yakıt pilinin ekserji performansının iyi olduğu tespit edilmiştir.

Penner ve diğerleri (2006), bu çalışmada, enerji taşıyıcısı olarak hidrojenin önemli rol oynadığını vurgulamışlardır. Hidrojenin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi durumunda çevresel etkilerinin az olacağı belirtilmiştir. Güneş enerjisinin güneş pilleri kullanarak veya doğrudan hidrojen elde edilmesi için uygun olduğu ve gelecekte daha da önem kazanacağı üzerinde durulmuştur. Kirlilik yaratmayan yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının hidrojen ile paralel kullanılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır. Hidrojen üretilmesi için en uygun yöntem olan suyun elektroliz edilmesinin yöntemleri gözden geçirilerek, bu konunun hala araştırmalara açık bir konu olduğu gösterilmiştir.

Girgoriev ve diğerleri(2006), çalışmalarında PEM elektrolizörler ile alkalın tipi elektrolizörleri karşılaştırmışlardır. Tüm dünyada elektrolizörleri geliştirmek için yapılan çalışmaları inceleyen Girgoriev vd. alkalın tipi elektrolizörlere göre çok daha avantajlı olan PEM elektrolizörlerin de yakın gelecekte alkalın tip elektrolizör fiyatlarında üretilebileceğini belirlemişlerdir. Literatürde yaptıkları çalışmalarda 30 bara kadar basınç artışının elektrolizörlerin I-V karakteristiklerinde iyileşme meydana getirdiğini tespit etmişlerdir.

Mert ve diğerleri (2006), çalışmalarında bir PEM yakıt pili motor sistemi elemanlarının eksergoekonomi analizini incelemişlerdir. Sistem performansı ile maliyeti karşılaştırıldığında, düşük akım yoğunluğu değerleri için ekserji ve enerji verimlerinin yüksek değerler aldığı, 0.05 A/cm² akım yoğunluğunda maksimum değerler olan %48 ve %55 değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Akım yoğunluğunun 1.6 A/cm² olduğu kritik değerden sonra enerji verim değerlerinin ekserji verim değerlerinden daha hızlı düşme eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Eksergoekonomik analiz sonucunda ise 0.8 A/cm² akım yoğunluğu değerinden düşük değerlerde çalışma sıcaklığı arttıkça üretilen elektriğin ekserjitik maliyetinin arttığı belirlenmiştir. Ancak bu değerden sonra tam tersi bir durum gözlenmiştir. Ayrıca

sistem basıncının artırılmasıyla enerji ve ekserji verimlerinin arttığı ve üretilen elektriğin ekserjitik maliyetinin azaldığı grafiklerle ortaya konulmuştur. 2.5 atm ve 4 atm arasında en büyük maliyet farkı 7 \$/GW civarında olduğu gözlenmektedir. Membran kalınlığının 0.02 cm, 0.018 cm ve 0.016 cm seçilmesi ile kalınlık arttıkça enerji ve ekserji verimlerinin azaldığı, üretilen elektriğin ekserjitik maliyetinin arttığı, farkın maksimum 3 \$/GW'a kadar çıktığı belirlenmiştir. Aynı şekilde katod ve anod karışım oranlarının, akım yoğunluğu ile beraber artmasıyla enerji ve ekserji verimlerinin azaldığı ortaya konmuştur. Son olarak, sistem elemanlarının ekserjitik maliyetlerinin akım yoğunluğuna göre değişimleri verilmiş ve akım yoğunluğu ile ekserjitik maliyetlerin değişmediği gözlenmiştir. Üretilen elektriğin maliyetinde en önemli pay %40 ile yakıt piline ait olmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla yakıt pilinin maliyeti azalmaktadır.

Şahin ve diğerleri(2007), PV pillerin performansını belirleyebilmek için Golden-Colorado'da 105.23° batı, 39.71° kuzey enlemde sabit yerleştirilmiş PV piller ile 28 Haziran 2001 tarihinde 11:00-17:00 saatleri arasında yaptıkları çalışmada günlük enerji veriminin %7~%12 arasında değerler aldığını, ekserji veriminin ise %2~%8 arası değerler aldığını belirlemişlerdir.

Valverde ve diğerleri(2008), bu çalışmada, PV jeneratör, atmosferik PEM elektrolizör ve kontrollü DC-DC konvertörden oluşan sistemi Matlab/Simulink programı ile modellemişlerdir. Modelleme, PV-elektrolizör çiftinin polarizasyon eğrilerinin dinamik değişimleri dikkate alınarak yapılmıştır. Modellemeden çıkan sonuç; PV-elektrolizör çifti, kontrollü DC-DC konvertör ile birbirine bağlanırsa elektrolizör için emniyetli çalışma koşulları sağlanacak ve PV jeneratörden maksimum güç elde edilebilecektir.

Hwang ve diğerleri(2008), bu çalışmada, güneş-hidrojen sisteminin dinamik davranışını incelemek amacıyla matematiksel modellemesini yapmışlardır. Modellemede sistemin üç alt sistemden oluştuğu düşünülmüştür. Bunlar; güneş panelleri, elektrolizör ve hidrojen tankıdır. Modellemede, güneş panellerinden hemen sonra gelen iki konvertör arasına bir basınç switchi düşünülmüştür. Güneş-hidrojen sisteminin daha verimli çalışmasını sağladığı düşünülen bu switchin basınçlı hidrojen tankındaki H₂ miktarına bağlı olarak devreye girmesi planlanmıştır.

Gibson ve Kelly (2008), bu çalışmada güneş destekli hidrojen üretiminin verimini artırmak için çeşitli deneyler yapmışlardır. Genel olarak kullanılan PV modüller, şarj ünitesi, aküler, DC-DC konvertörü ve elektrolizörden oluşan PV-elektrolizör hidrojen sistemlerinde verim değeri %2-6 gibi düşük seviyelerde gözlenirken Gibson ve Kelly yaptıkları deneyler sonucunda PV panelleri PEM elektrolizöre seri bağlayarak verim değerini %12 seviyelerine çıkarmışlardır. PV panellerde üretilen voltaj değerini elektrolizöre uygun voltaj değerine dönüştürmek için kullanılan DC-DC konvertörün, sistemin verimini düşürdüğünü belirleyen Gibson ve Kelly; optimize edilmiş ve çok hücreli PEM elektrolizöre uygun değeri üreten PV panellerini elektrolizöre direkt bağlayarak sistemin verimini oldukça yükseltmişlerdir.

Lagorse ve diğerleri (2008), çalışmalarında üç farklı konfigürasyona sahip yakıt pili ve hibrit enerji sistemini ekonomik açıdan incelemişlerdir. İncelenen konfigürasyonlardan birincisi; hidrojen depolama, ikincisi; akü depolamalı sistem ve üçüncüsü de her ikisini birlikte kapsayan komple hibrit sistemdir. Her bir konfigürasyonun enerji akışını belirleyebilmek için Matlab/Simulink programı ile her bir sistemin bir yıllık periyod için enerji modellemesi yapılmıştır. Yapılan modelleme ve simulasyon sonucunda; sadece hidrojen depolama yolu ile enerji üretim konfigürasyonunun fizibl olmayacağı ve aynı şekilde tek başına akü depolamalı sistemin de pek verimli olmayacağı tespit edilmiştir. PV jeneratör, yakıt pili, elektrolizör ve aküden oluşan komple bir sistemin çok daha verimli bir şekilde enerji üreteceğini ve maliyetinin de düşük olacağı belirlenmiştir.

Ni ve diğerleri (2008), bu çalışmada, bir PEM elektrolizörün termodinamik-elektrokimyasal karakteristiklerini belirleyebilmek için ekserji analizi yapılmıştır. Analiz için yapılan modellemede PEM elektrolizörde bulunan tüm elektrokimyasal karakteristikler ele alınmıştır. Modellemeden elde edilen tüm veriler literatürde yer alan deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modelleme sonucunda; yüksek sıcaklık değerlerinde elektriksel enerji değerlerinin düştüğünü, ısı enerji değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. PEM elektrolizörün egzotermik reaksiyon gösterdiği ve ekserji veriminin yaklaşık eşit olduğu belirlenmiştir. Giren elektriksel enerji yanında ihmal edilebilecek kadar küçük bir değere sahip giren ısı enerji değerinden dolayı ekserji verimlerinin yaklaşık eşit olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda ekserji verimleri birbirinden çok farklı değerler almasına

rağmen bu çalışmada ısı enerjiden elektrik üretimi de hesaba katılarak yapılan analizde ekserji verim değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur.

Zervas ve diğerleri (2008), hibrit güç üretim sistemini incelemişlerdir. Sistemi oluşturan ana parçalar; PV paneller, elektrolizör, metal hidrid tanklar ve PEM yakıt pili olarak seçilmiştir. Hibrit sistem ile PV sistem karşılaştırılmış ve hibrit sistemin güneş enerjisini hidrojene çevirerek yakıt pillerinde yakıt olarak depolayabilme özelliğinden dolayı daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştıkça hibrit güç üretim sistemini oluşturan parçaların maliyetinin düşeceği ve kullanımının yaygınlaşacağı belirtilmiştir.

Yılcı (2008), doktora tezinde Pamukkale Üniversitesi Güneş-Hidrojen Hibrid Enerji Üretim Sistemi'nin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizini HOMER bilgisayar yazılımı yardımı ile çıkardığı enerji modellemesi sonucu gerçekleştirmiştir. HOMER bilgisayar yazılımı ile çıkardığı enerji modellemesinde yıllık enerji ve ekserji bilançosunu oluşturmuştur.

Yılcı ve diğerleri (2008), güneş-hidrojen sisteminde yer alan PEM yakıt pilinin performans analizini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada yakıt pili sistem basıncının artırılması durumunda enerji veriminin %23, ekserji veriminin de %15 oranında arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık artışının ise verimlerde önemli bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir. Anod stokiometrisinin artması; enerji veriminin %17, ekserji veriminin de %14 oranında düşmesine sebep olmuştur. Sonuç olarak PEM yakıt pilinin ekserji verim değerlerinin tersinmezliklerden dolayı enerji veriminden daha düşük değerler aldığı tespit edilmiştir.

Zamfirescu ve Dinçer(2009), çalışmalarında dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonundan elde edilecek ekserjiyi hesaplayacak termodinamik model oluşturmuşlardır. Bu model iki kademeli bir termodinamik çevrimden oluşmaktadır. Birinci çevrim; doğa tarafından oluşturulan ve atmosferin dış tabakasını, dünya yüzeyindeki kolektör görevi gören ısı makinasını ele alır. Bu çevrimde üretilen iş; absorpsiyon, ısı, rüzgar vb. şekilde dağılmaktadır. İkinci çevrim ise kolektör ve çevre atmosfer arasında faydalı işi üreten ısı makinasını ele alır. Bu sistemde maksimum iş olarak çıkartılabilen ekserji her iki çevrimin tersinir şekilde çalışması ile elde edilir. Elde edilen bu modelin doğruluğu, yapılan deneysel bazı ölçümler ile desteklenmiştir. Zamfirescu ve Dinçer; dünya yüzeyine gelen güneş ışınlarından elde

edilen ekserji miktarını hesaplamak için oluşturdukları modeli Petela, Spanner ve Jeter'den farklı bir şekilde termodinamik temellere dayandırarak ve anlık iklim koşullarını ve değişken güneş radyasyon değerlerini dikkate alarak oluşturmuştur.

Joshi ve diğerleri(2009), bu çalışmada PV sistemin ve PV/T sistemin enerji ve ekserji verimliliğini incelemişlerdir. Fotovoltaik sistemin enerji ve ekserji verimini hesaplamak için 27 Mart 2006 tarihinde New Delhi'de 09:00-16:00 arası yapılan deneysel ölçümlerde enerji verimi %33~45 arası, ekserji verimi PV sistemler için %7.8~13.8, PV/T sistemler için %11.3~16 arası değerler aldığı tespit edilmiştir. Fotovoltaik sistemin verim analizi için termodinamik temellere dayanan ve güneş radyasyonunun kimyasal potansiyelini(fotonik enerji) dikkate alan iki farklı metod kullanılmıştır. Fotovoltaik sistemden ölçülen değerler doğrultusunda yapılan hesaplamalar sonucunda PV sistemin enerji veriminin ekserji veriminden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca PV/T sistemin ekserji veriminin enerji veriminden daha yüksek olduğu bunun sebebi olarak da PV/T sistemde termal enerjinin de elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, PV sistemde ise ısı kaybı olarak çevreye atılıyor olmasıdır. Yüksek güneş radyasyon değerlerinde PV/T sistemlerde termal ekserji artacağından PV ve PV/T sistem ekserji verimi arasındaki farkın da PV/T lehine artacağı belirlenmiştir.

Miansari ve diğerleri (2009), proton değişim membranlı yakıt pili performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda, çalışma sıcaklığı ve basıncın artırılması durumunda yakıt pili performansının ve ekserji veriminin arttığı, tersinmezliklerin azaldığı belirlenmiştir.

3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMU

3.1 Genel

Enerji; iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, endüstrinin en temel enerji tüketimi elektrik enerjisi olup, onu ısınma veya ısıtma amaçlı fosil yakıtlar (petrol, kömür) takip etmektedir.

Enerji üretimi ve tüketimi, milletlerin refah seviyesini gösteren bir ölçüdür ve ekonomik gelişme enerji tüketimi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Enerjinin hayatımızdaki rolünün büyüklüğü yanında temini, üretimi ve iletimi de oldukça yüksek maliyetlidir. Teknolojinin ilerlemesi, sanayinin gelişmesi ve buna paralel olarak artan enerji ihtiyacı, insanoğlunun kullandığı ilk enerji kaynağı olan ateşin yerini çeşitli enerji kaynaklarına bırakmasına neden olmaktadır.

Enerji kaynakları, üretildiği miktarlar göz önüne alınarak “Birincil Enerji Kaynakları” ve “İkincil Enerji Kaynakları” olarak iki ana grupta incelenmektedir.

Birincil enerji kaynakları da kendi içinde ikiye ayrılabilir:

1. Tükenebilir(Fosil) Enerji Kaynakları

- Petrol
- Kömür
- Doğalgaz
- Nükleer

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- Güneş
- Rüzgar
- Hidrolik
- Jeotermal

- Dalga
- Okyanus

İkincil enerji kaynakları dörde ayrılabilir:

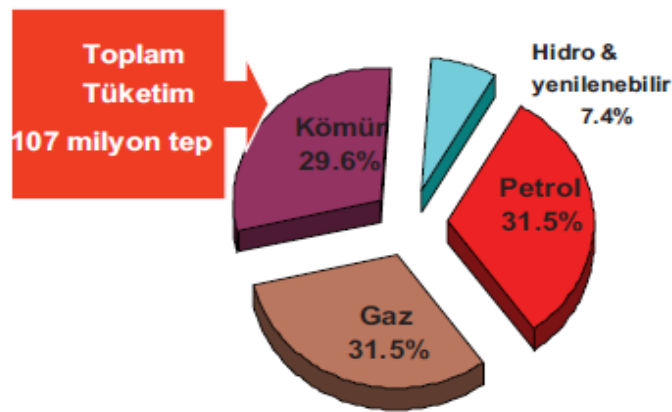
- Elektrik
- Termal
- Kimyasal
- Biyolojik

Genel olarak tüm dünyada enerji ihtiyacını karşılamak için tükenebilen enerji kaynakları olarak bilinen fosil yakıtlar ve türevlerinin yaygın olarak kullanılıyor olması ciddi boyutlarda çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Dünya'da enerji tüketiminin bu şekilde devam etmesi durumunda 2020 yılında fosil yakıt kaynaklarının yarısının tüketilmiş olacağı tahmin edilmektedir. Fosil kaynaklar, sadece yakıt olarak değil aynı zamanda başta ilaç olmak üzere kimya sektöründe pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu yönü ile de korunması veya en azından tüketiminin azaltılması önemlidir. Kömür veya petrol gibi fosil yakıtların yanması sonucu, daima CO₂ oluşur. Yapılan ölçümler, uzun yıllardır 180-280 ppm arasında değişen CO₂ seviyesinin günümüzde 360 ppm seviyesine çıktığını göstermektedir(Url-1, 2010). Karbondioksit, diğer sera gazlarına göre %55'lik bir oranla, doğal sıcaklık dengelerinin bozulmasında en büyük etkiyi yaparak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel ısınmanın oluşumunda sera gazlarının rolü büyüktür. Atmosfere atılan diğer sera gazları ise CO, SO₂, NO_x gibi zehirli gazlar ve radyoaktif maddelerdir. Termik santrallerde, sanayide ve binalarda yakıt olarak kömür kullanıldığında, bu kirlilik etmenlerinin yanı sıra kül de açığa çıkar. Kül; civa, kurşun, arsenik ve kadmiyum içermesi nedeniyle yüksek oranda kirlenici etkiye sahiptir. Fosil yakıtların bu şekilde kullanılmaya devam edilmesi durumunda, aşırı kuraklık, deniz seviyesinde yükselme sonucu su baskınları, fırtınalar ve ultraviyole ışınlarının artması gibi küresel değişimler sonucu, doğanın ekolojik dengesinin bozulması kaçınılmazdır (Url-1, 2010).

Atmosfere atılan CO₂ emisyonunun yaklaşık %40'lık kısmı fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucu oluşmaktadır. Ve toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık %35'ini elektrik üretimi sonucu atmosfere atılan CO₂ oluşturmaktadır (Yılancı, 2010a).

3.2 Tükenebilir Enerji Kaynakları Üretim-Tüketim Durumu

Türkiye petrol rezervinin 41,7 milyon ton olduğu ve bu değer ülkemiz açısından son derece yetersiz olduğu bilinmektedir. Türkiye’de 2008 yılı sonu itibari ile doğalgaz rezervinin 6,8 milyar m³ olduğu ve aynı yıla ait doğalgaz tüketim miktarının ise 34 bin tep olduğu bilinmektedir. Türkiye, doğal gaz ithalatının %63’ünü Rusya, %15,5 ‘ini İran, %7,9’unu Azerbaycan ve geri kalanını da LNG olarak Nijerya ve Cezayir’den sağlandığı bilinmektedir. Dünya doğalgaz rezervinin ise 2008 yılı sonu itibari ile 185 trilyon m³ olduğu ve bu rezervin %70’inden fazlasının Ortadoğu ve Rusya’da bulunduğu bilinmektedir. Bugünkü üretim hızı ile mevcut rezervin yaklaşık 60 yıl içinde tükeneceği düşünülmektedir. Petrolde olduğu gibi doğalgazda da rezervler Ortadoğu ve Rusya’da yoğunlaşmıştır. Üretilen kömür rezervleri 70 ülkede ve hemen hemen her kıtada yer almaktadır. Mevcut tüketim trendi ile mevcut üretilebilir rezerv yaklaşık 122 yılda tüketilebilecektir. Buna karşın doğal gaz aynı hesaplama ile 42 yılda, petrol rezervleri ise 60 yılda tüketilmektedir. Ülkemizde çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervine karşın 560 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 12,3 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Enerji ihtiyacının %70’ini dışarıdan temin etmek durumunda olan bir ülke olarak yaşanan doğalgaz krizleri dikkate alındığında yerli kaynağın ve arz güvenliğinin ne kadar önemli olduğu bir kez daha gözler önüne serilmiştir(Türkiye Enerji Raporu, 2009). Türkiye’de 2009 yılı itibari ile birincil enerji tüketiminin dağılımı Şekil 3.1’de görülmektedir.



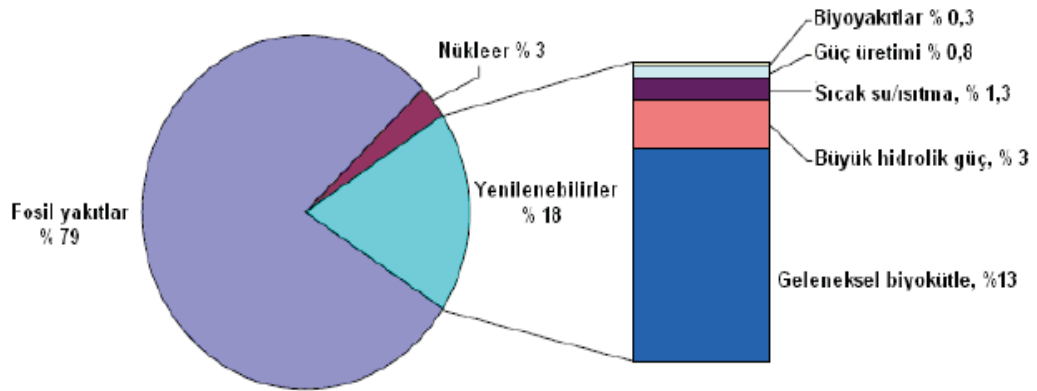
Şekil 3.1 Türkiye Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (2009)
(BP Statistical Review of World Energy (Haziran, 2009))

3.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretim-Tüketim Durumu

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli olarak yenilenen enerji kaynaklarıdır. Doğada çok farklı şekillerde bulunabilir; doğrudan veya dolaylı şekilde güneşten veya yer kabuğunun derinliklerinden çıkarılan ısıdan elde edilir. Güneş, rüzgar, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik güç, okyanus kaynakları(dalga ve med-cezir) ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen enerjisi bu tanım içerisinde yer almaktadır.

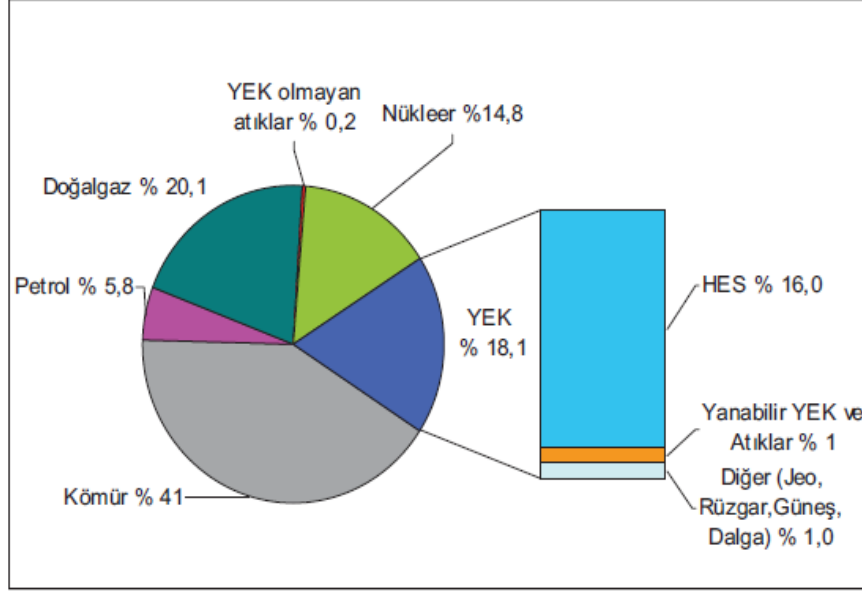
Yenilenebilir enerji kaynaklarından çok eski çağlardan beri su pompalanmasında, tahılları öğütmede, ürünleri kurutmada, su ısıtılmasında ve yelkenli gemilerde yararlanılmaktadır. buharlı makinaların icadı ile başlayan sanayileşme, önce Avrupa ve daha sonra Amerika'da yenilenebilir enerjilerin kullanımının aşamalı olarak azalmasına neden olmuştur. Ancak 1973 yılında yaşanan petrol krizi ilk kez enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik ortamı yaratmıştır. Bu güvensizlik ortamı bütün dünyada eni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı yoğun bir ilgiye neden olmuştur. 1990'lı yıllarda gündeme gelen çevre bilinci ile de; atmosfere kirlilik yaratıcı emisyon vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları teknolojilerinin geliştirilmesi, yaygın olarak kullanımı için farklı destekleme politikaları uygulanmaya başlamıştır.

Dünya nihai enerji üretiminde yenilenebilir enerjilerin payı %18'dir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi %18'lik payın büyük bir kısmını geleneksel biyokütle oluşturmakta, bunu hidrolik güç, sıcak su/ısıtma, güç üretimi ve biyoyakıtlar izlemektedir(Türkiye Enerji Raporu, 2009).



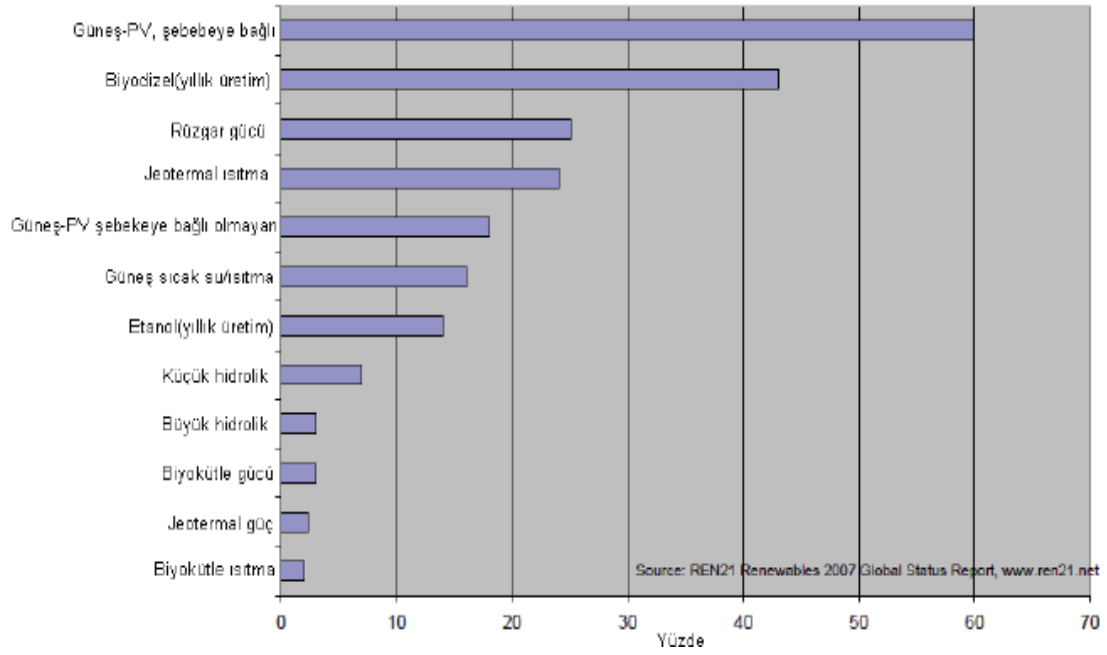
Şekil 3.2 Dünya Nihai Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payı(Türkiye Enerji Raporu, 2009).

Dünya elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı Şekil 3.3’de de görüldüğü gibi %18,1’dir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrikte en büyük pay %16 ile hidrolik kaynaklara aittir. Bunu atıklar ve rüzgar, güneş, jeotermal, dalga vb. kaynaklardan elektrik üretimi izlemektedir.



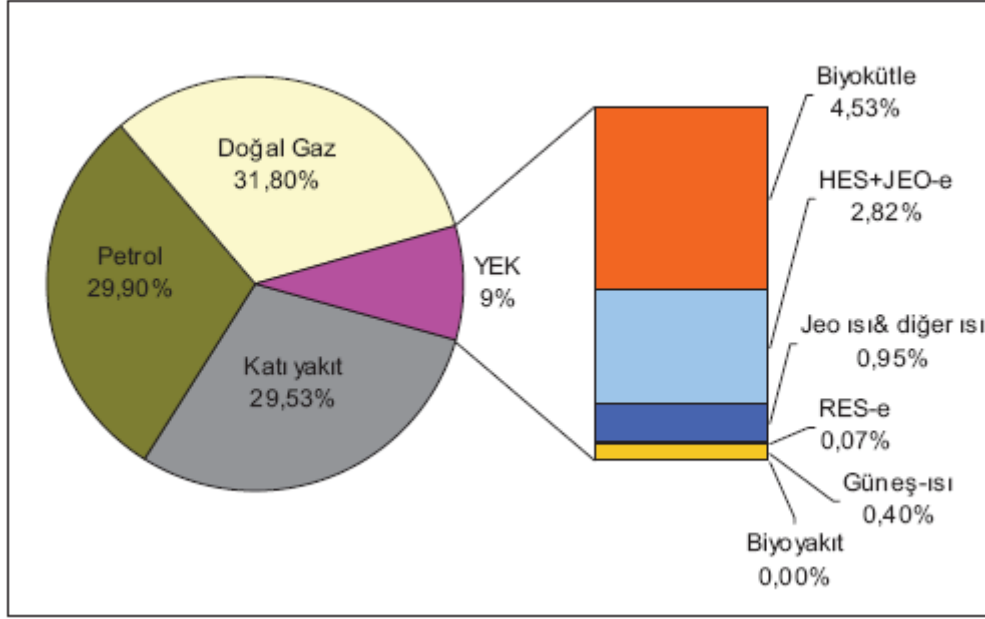
Şekil 3.3 Dünya Elektrik Üretiminde Yakıtların Payı(Türkiye Enerji Raporu, 2009).

2002-2006 yılları arasında, yenilenebilir enerji kapasiteleri yıllık büyüme oranlarına bakıldığında, şebekeye bağlı güneş-PV sistemlerinin %60 ile en büyük büyüme oranına sahip olduğu görülmekte ve bunu biyodizel, rüzgar ve jeotermal ısıtma izlemektedir. Sırası ile küçük ve büyük hidrolik, biyokütle, jeotermal güç ve biyokütle ısıtma gelişmesi diğerlerine göre oldukça yavaş olan sektörlerdir. Şekil 3.4’de yenilenebilir enerji kapasitelerinin 2002-2006 yılları arasında yıllık ortalama büyüme oranları görülmektedir(Türkiye Enerji Raporu, 2009).



Şekil 3.4 Yenilenebilir Enerji Kapasiteleri Yıllık Ortalama Büyüme Oranları (2002-2006), (Türkiye Enerji Raporu, 2009).

2008 yılı Türkiye toplam birincil enerji kaynakları arzı 106,27 Mtep olup bunun kaynaklara göre dağılımları Şekil 3.5’de görülmektedir. 2008 yılı Türkiye toplam birincil enerji arzının 9,319 Mtep’i (%9) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Ülkemizin orman, bitki ve hayvan atıklarından oluşan biyokütle kaynakları çoğunlukla geleneksel yöntemler kullanılarak enerjiye dönüştürülmektedir. Bu miktar yıllık birincil enerji arzının % 4,52’sini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji arzının % 51,64’ü biyokütle kaynakları, % 32,2’si hidrolik ve jeotermalden elektrik üretimi, % 0,72’si rüzgardan elektrik üretimi, %10,8’ini jeotermal ısı ve diğer ısı, %4,5’ini güneş-ısı % 0,01’ini biyoyakıtlar oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Arzının Kaynaklara Dağılımı(2008), (Türkiye Enerji Raporu, 2009).

Türkiye; hidrolik, güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Ancak enerji olarak kullanımı yeterli düzeyde değildir. Güneş enerjisi açısından da oldukça zengin olan ülkemizde güneşten genel olarak su ısıtılması konusunda faydalanılmaktadır. Fakat son yıllarda tüm dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ile ilgili teknolojik gelişmeler bu konuda yapılan çalışmaları artırmaktadır (Url-2, 2010).

3.2.1 Hidrolik

Türkiye'nin temel yenilenebilir elektrik enerji kaynağı hidrolik enerjidir. DSİ verilerine göre Türkiye teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh'dir. Bu potansiyelin ancak 216 milyar kWh'lik bölümü teknik olarak değerlendirilebilir durumdadır. Teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 140 GWh'lik bölümü ekonomik olarak değerlendirilebilir durumdadır. Bu potansiyelin kullanım durumu Tablo 3.1'de verilmektedir.

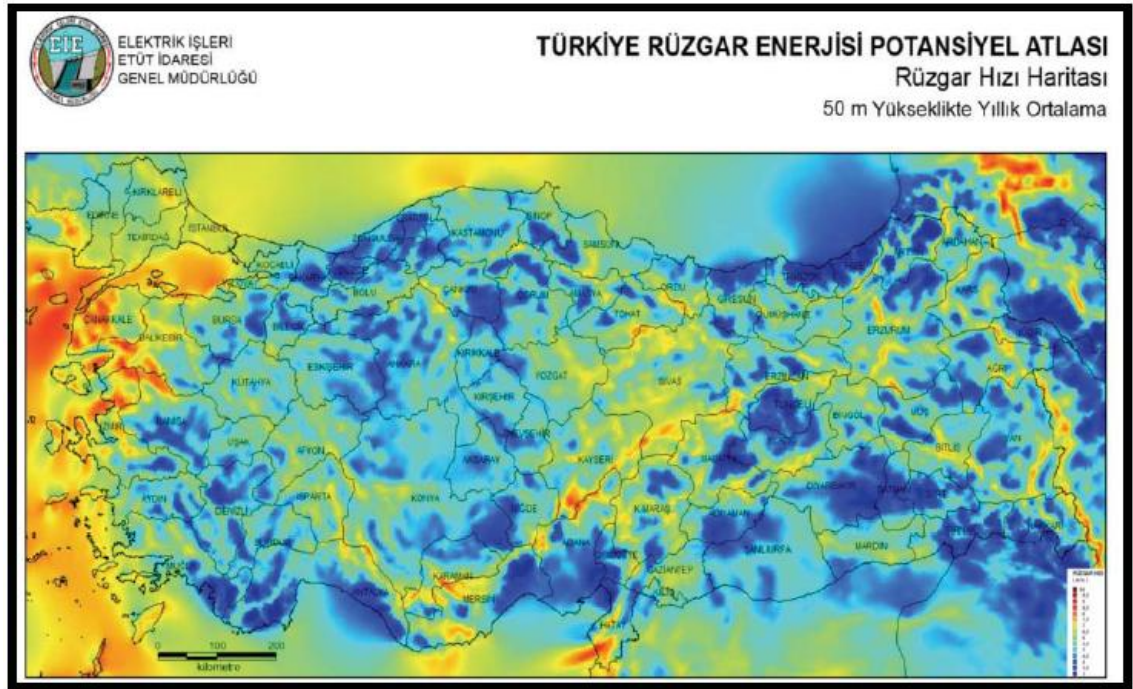
Tablo 3.1 Türkiye Teknik ve Ekonomik HES Potansiyeli Durumu (Ekim 2009), (Türkiye Enerji Raporu, 2009).

HES Dağılımı	Kurulu Güç-MW	Üretim Kapasitesi-GWh
İşletmede	14 254	49 700
İnşaatı devam eden	8 046	18 300
Programda	22 700	72 000
Toplam	45 000	140 000

3.3.2 Rüzgar

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgar kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacı ile EİE tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasan elde edilen veriler ile rüzgar haritaları belirlenmiş ve rüzgar santrallerinin kurulabileceği bölgeler tespit edilmiştir.

Yıllık ortalama değerler dikkate alındığında Türkiye'nin en iyi rüzgar alan bölgeleri kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. En şiddetli yıllık ortalama rüzgar hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Şekil 3.6'da verilen Rüzgar Haritasında da görüldüğü gibi Türkiye'nin orta kesimleri orta şiddetteki rüzgar hızına sahip bölgelerdir.



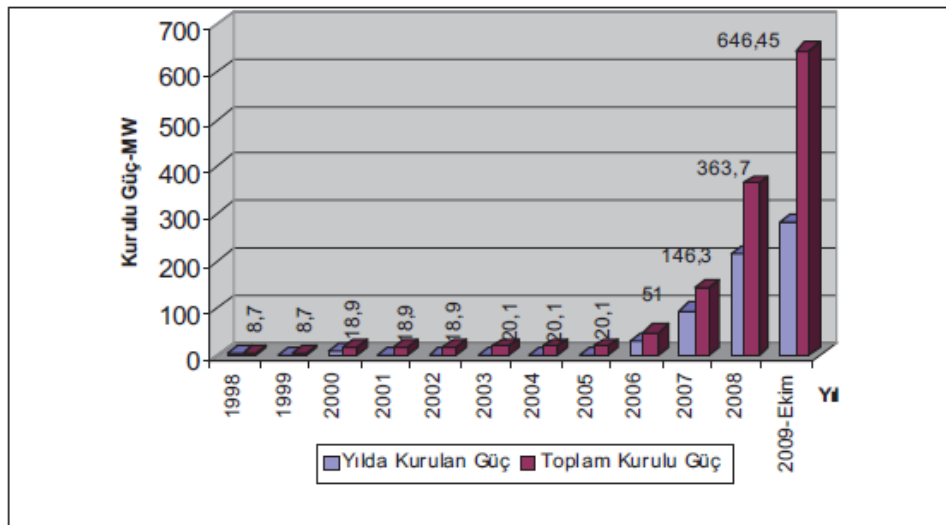
Şekil 3.6 Yer Seviyesinden 50 m Yükseklikteki Rüzgar Hızları(Url-1, 2010).

Türkiye rüzgar atlasında (REPA), yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri incelendiğinde, Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Tablo 3.2’de görüldüğü gibi REPA verilerine göre 7 m/s’den büyük rüzgar hızları göz önüne alındığında Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 47849,44 MW olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2 Türkiye Rüzgar Potansiyeli (50 m yükseklikte), (Url-1, 2010).

Rüzgâr Kaynak Derecesi	Rüzgâr Sınıfı	50 m’de Rüzgâr Gücü Yoğ.(W/m ²)	50 m’de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300-400	6.5-7.0	16 781.39	2.27	83 906
İyi	4	400 – 500	7.0-7.5	5 851.87	0.79	29 259.36
Harika	5	500 – 600	7.5-8.0	2 598.86	0.35	12 994.32
Mükemmel	6	600 – 800	8.0- 9.0	1 079.98	0.15	5 399.92
Sıradışı	7	> 800	> 9.0	39.17	0.01	195.84
Toplam				26 351.28	3.57	131 756.40

Türkiye’de şebekeye bağlı rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve 2005 yılından itibaren büyük artış göstermiştir. Şekil 3.7’de verilen değerlere göre işletmede olan 26 adet rüzgar santrali ile 2009 yılı Ekim ayı sonunda rüzgar enerjisi kurulu gücü 646,45 MW’a ulaşmıştır.



Şekil 3.7 Türkiye Rüzgar Kurulu Gücünün Yıllara Göre Değişimi, (Url-1, 2010).

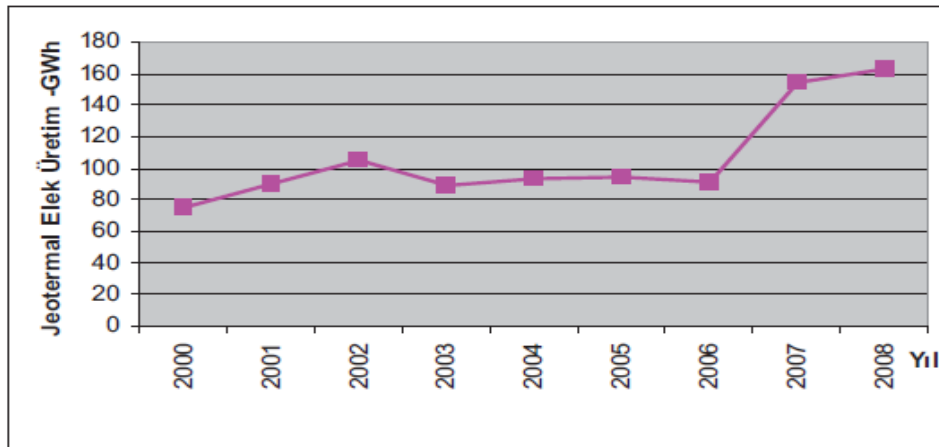
3.3.3 Jeotermal

MTA Genel Müdürlüğü verilerine göre ülkemizde elektrik üretimine uygun 15 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Tablo 3.3’de bu sahalara ait su sıcaklığı ve potansiyel verileri yer almaktadır.

Tablo 3.3 Elektrik Üretimine Uygun Jeotermal Sahalar, (Url-1, 2010).

Jeotermal Alan	Sıcaklık °C	Durum	Potansiyeli MWe
Denizli-Kızıldere	200-242	Kurulu güç 15 MW olup saha özelleştirildi	85
Aydın-Gemencik	200-232	47,4 MW santral işletmede	130
İzmir-Balçova	136	Konut ısıtması ve termal uygulama	5
İzmir-Dikili	130	Sera ısıtması	30
Çanakkale-Tuzla	174	7,5 MW 2009’da işletmeye girdi.	80
Aydın-Salavatlı	171	Mevcut 8 MW kurulu güce ilave 9,5 MWe inşa aşamasında	65
Kütahya-Simav	162	Konut ısıtması ve termal uygulama	35
İzmir-Seferhisar	153	3,2 MW proje aşamasında, sondajlar devam ediyor	35
Manisa-Salihli-Caferbeyli	150	MTA tarafından ihale edildi	20
Aydın-Sultanhisar	145	MTA tarafından yeniden ihale edilecek	20
Aydın-Yılmazköy	142	MTA tarafından ihale edilecek	20
Aydın-Hıdırbey	143		10
Aydın-Atça	124	MTA tarafından ihale edildi	5
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	MTA tarafından ihale edildi	30
Aydın-Umurlu	155	MTA tarafından ihale edildi	25
Aydın-Nazilli	188	MTA tarafından yeni bulunan saha Saha geliştirme çalışmaları sürüyor	
Toplam		Teknik ve Ekonomik Potansiyel	600

Tabloda yer alan jeotermal sahalarda üretilen elektriğin yıllara göre gelişimi Şekil 3.8’de yer almaktadır.

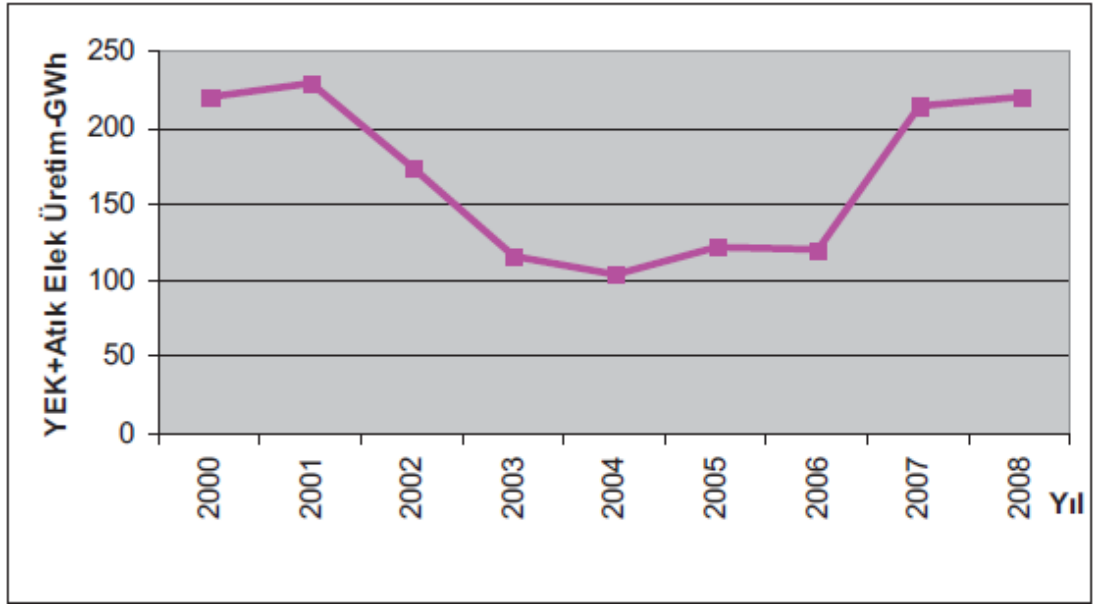


Şekil 3.8 Jeotermal Elektrik Üretimi Yıllara Göre Değişimi, (Url-1, 2010).

3.3.4 Biyokütle

Tarım Bakanlığı 2005 yılı verilerine göre buğday, mısır, arpa, çavdar, yulaf, darı, pirinç, tütün, pamuk, ayçiçeği, yer fıstığı ve soya gibi tarla ürünleri kullanılabilir artıklarından oluşan biyokütle potansiyeli 12963, 319 tondur.

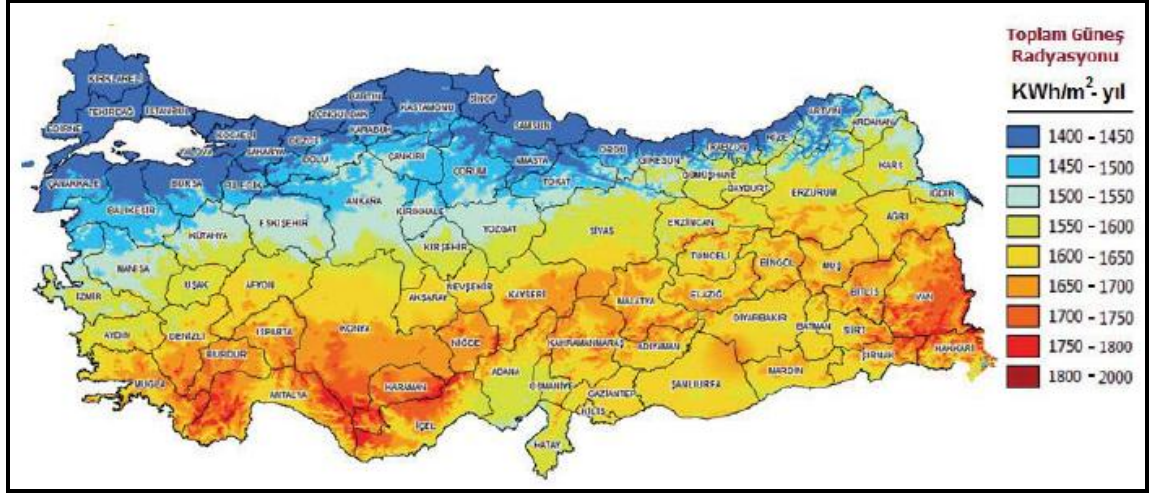
Son yıllarda ülkemizde organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji üretimine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır. Şekil 3.9'da Yenilenebilir enerji ve atık santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin yıllara göre değişimi yer almaktadır.



Şekil 3.9 YEK+Atık Santrallerinden Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi, (Url-1, 2010).

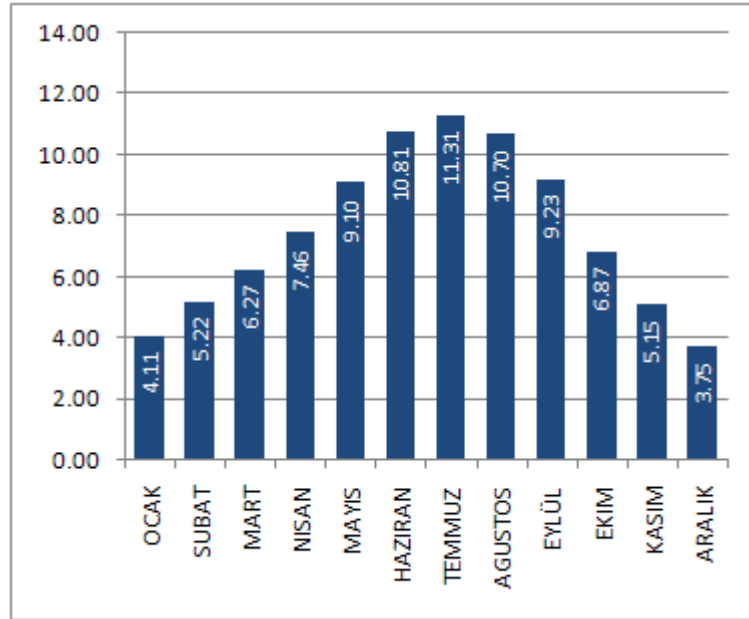
3.3.5 Güneş

EİE tarafından geliştirilen Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre yıllık güneş enerjisi elektrik üretimi teknik potansiyeli 380 milyar kWh olarak belirlenmiştir. Ülkemizin en fazla güneş enerjisi alan yerleri güney kısmı olup, başta Güney Doğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güney Ege Bölgesi olarak sıralanabilir. Şekil 3.10'da Türkiye Güneş Enerjisi Atlası yer almaktadır(Url-1, 2010).



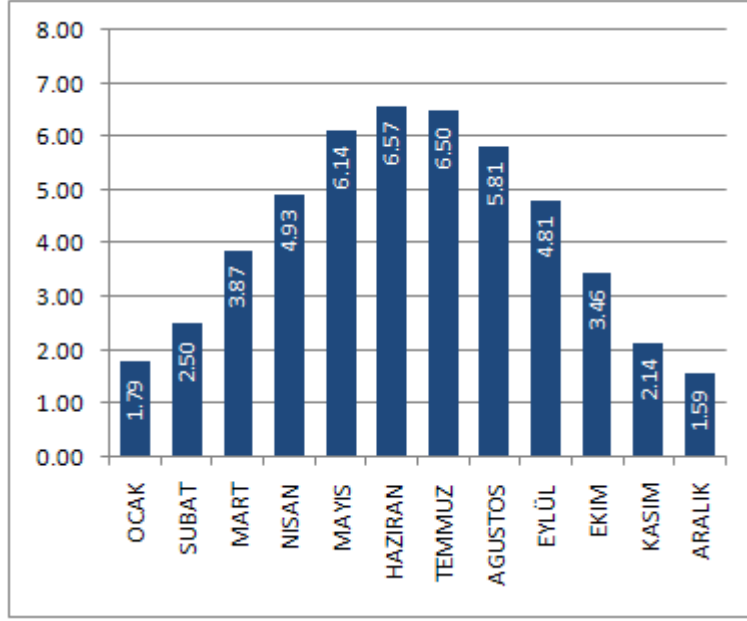
Şekil 3.10 Türkiye Güneş Enerjisi Atlası (GEPA), (Url-1, 2010).

EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat olarak hesaplanmış ve aylara dağılımı Şekil 3.11'de gösterilmektedir (Url-1, 2010).



Şekil 3.11 Türkiye Ortalama Güneşlenme Süreleri (Saat), (Url-1, 2010).

Günlük ortalama global radyasyon değeri ise Şekil 3.12'de görüldüğü gibi 6.57 kWh/m²-gün değeri ile Haziran ayında tespit edilmiştir (Url-1, 2010).



Şekil 3.12 Türkiye Ortalama Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün), (Url-1, 2010).

Enerji Bakanlığı verilerine göre; elektrik amaçlı kullanılacak güneş potansiyelimiz 8.8 milyon ton eşdeğeri petrol (mtep), ısınma amaçlı kullanılacak potansiyel ise 26.4 mtep'dir. Çeşitli kaynaklara göre ülkemizin yılda almış olduğu güneş enerjisi; bilinen kömür rezervimizin 32, bilinen petrol rezervimizin 2200 katıdır (Url-1, 2010).

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları(YEK) kanununda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin desteklenmesinde kaynağa göre farklı fiyat uygulamasının olmaması ve kanunla verilen teşvikli tarifenin maliyetleri oldukça yüksek olan güneş elektrik enerjisi üretimi için uygun olmaması şimdiye kadar güneş santrallerinden elektrik enerjisi üretimine olanak sağlamamıştır. Kanunda yapılacak bir takım değişiklikler ile Türkiye'nin zengin güneş enerjisi potansiyeli özellikle elektrik üretimi açısından değerlendirilebilecektir.

3.3.6 Hidrojen

Hidrojen evrende en bol bulunan bir element gibi görünmesine karşın yerde ilk sırayı almaktan uzaktır. Atmosferde az miktarda bulunur (3/10000 hacim). Volkanlardan püsküren ya da doğal kaynaklardan çıkan gazlardaki oranı çok daha yüksektir. Suda inorganik pek çok cisimde, organik bileşiklerin hepsinde birleşmiş olarak bulunur.

3.3.6.1 Hidrojen üretim yöntemleri

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanarak değişik hammaddelerden üretilen bir sentetik yakıttır. Hidrojen üretiminde tüm enerji kaynakları kullanılabilir. Kullanılan hammaddeler ise su, fosil yakıtlar ve biyomas materyaldir. Bugün dünyada teknolojik gereksinimler ile yılda $500-600 \times 10^6 m^3$ hidrojen fosil yakıtlardan üretilerek kullanılmaktadır.

Yakıt hidrojenin temelde, sudan yenilenebilir enerjiler ile üretilmesi ana ilkedir. Hidrojen üretim yöntemlerinin başında suyun direkt elektrolizi gelir. Elektroliz için elektrik gereksinimi fosil yakıtlardan, hidrolik kaynaktan, nükleer kaynaktan, jeotermal kaynaktan, güneş, rüzgar ve deniz dalga enerjilerinden elde edilebilir. Gelecek için üzerinde en çok durulan yöntem fotovoltaik güneş üreteçlerinin kullanılmasıdır. Hidrojen, suyun ısıyla parçalanması ile de üretilmektedir. Bir diğer hidrojen üretim yöntemi doğal gaz ve gaz hidrokarbonların buhar reformasyonudur.

Hidrojen üretimi için ayrıca kömür gazifikasyon yöntemi vardır. Gazifikasyon işlemi kolaylıkla kömürün elemine edilmesine olanak tanıdığından çekici bulunmaktadır. Ortalama olarak 6 kg kömürden 3.785 l. benzine eşdeğer 1 kg hidrojen elde olunur. Kömür dünyanın en zengin fosil yakıtıdır. Bilinen kömür yataklarına biçilen güvenilir ömür 200 yıl kadarsa da bunun 400 yıla kadar uzanabileceği söylenmektedir. Katı atıklar ve kanalizasyon materyalleri de hidrojen üretimi için hammadde olup, gazifikasyon işlemine bağlı olarak, sentez gazının hava veya oksijenle reformasyonu hidrojen vermektedir. Termokimyasal çevrimlerle sudan, fotokimyasal işlemle organometalik bileşikler veya enzim su karışımından hidrojen üretilir(Ayvaz, 1998).

Hidrojen üretimi için sıralanan teknikler dışında; fotoelektrokimyasal, biyolojik ve biyokimyasal gibi başka teknikler vardır. Biyolojik üretimde, mikroalgeler ve cyanobacterialar ile biofotoreaktörlerden fotobiyolojik yöntemler ile hidrojen üretilmektedir. Ayrıca, denizlerde direkt güneş enerjisi çevrimi ile hidrojen üretimi, uzay güneş güç istasyonlarının enerjisi ile hidrojen üretimi gibi yöntemler üzerinde çalışılmaktadır.

- **Termokimyasal Yöntemler:**

Günümüzde sanayide kullanılan hidrojen büyük miktarlarda, doğal gaz, petrol ürünleri veya kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. En çok kullanılan yöntemler, doğal gazın katalitik buhar ıslahı, petrolün kısmi oksidasyonu, buhar demir işlemi ve kömür gazlaştırılması şeklindedir. Bunlardan başka, temel amacı hidrojen üretimi olmakla birlikte başka sanayi maddelerinin üretimi sırasında, yan ürün olarak hidrojen elde edilen yöntemler arasında, kloralkaliden karşıt klor üretimi, hem petrolün rafineri işleminde hafif gazların üretimi, kok fırınlarında kömürden kok üretimi ve margarin sanayinde kimyasal hidrojenerasyon işlemleri sayılabilir.

- **Elektroliz :**

Büyük ölçekli hidrojen üretiminde kullanılan yegane yol elektrolizdir. Gelişmiş elektroliz cihazlarında %90 randımana erişilmiştir. Bu konuda elektrot dizaynı ve malzeme iyileştirmeleriyle maliyeti azaltma ve kullanım ömrünü arttırmayla geliştirme çalıştırmalarına devam edilmektedir. Elektroliz; su gücü, rüzgar, dalga, akıntı, gelgit ve okyanus ısısından elde edilen enerjiyle de yapılabilir(Ayvaz, 1998).

Suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenlerine ayrılması işlemine elektroliz denilmektedir. Hidrojen üretimi için en basit yöntem olarak bilinmektedir. İlke olarak, bir elektroliz hücresi içinde, genelde düzlem bir metal veya karbon plakalar olan, iki elektrot ve bunların içine daldırıldığı, elektrolit olarak adlandırılan iletken bir sıvı bulunmaktadır. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda doğru akacaktır. Bunun sonucu olarak da, elektrolit içindeki su, katottan çıkan hidrojen ve anottan çıkan oksijene ayrışacaktır. Burada yalnız suyun ayrışmasına karşılık, su iyi bir iletken olmadığı için elektrolitin içine iletkenliği artırıcı olarak genelde potasyum hidroksit gibi bir madde eklenir.

Suyun elektrolizi için, normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1,23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve başka nedenler ile elektroliz işleminde daha yüksek gerilimlerde kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenler ile yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrıştırılması için hücre başına uygulanan gerilim genelde 2 volt dolayındadır(Ayvaz, 1998).

Kuramsal olarak, her metreküp hidrojen için 2.8 kW-saat elektrik enerjisi yeterli olmakla birlikte, yukarıda özetlenen nedenler ile pratikte kullanılan elektrik enerjisi

miktarı bir metreküp hidrojen üretimi için 3.9-4.6 kW-saat arasında değişmektedir. Buna göre elektroliz işleminin verimi %70 dolayında olmaktadır. Ancak, son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde %90 verim elde edilmiştir. Pratikte kullanılan elektroliz hücrelerinde, nikel kaplı çelik elektrotlar kullanılmaktadır.

3.3.6.2 Hidrojenin Depolanması

Gerek sabit gerekse taşınabilir uygulamalar için hidrojenin etkin ve güvenilir tarzda depolanabilmesi gereklidir. Taşınabilir uygulamalarda ilave olarak depolamada hafiflik önem kazanmaktadır.

Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nanotüplerde veya kimyasal olarak hidrür şeklinde depolanabilmektedir. Hidrür şeklinde depolama; katı halde metallerde ve alanatlarda olabileceği gibi, sodyum bor bileşiğinde olduğu gibi sıvı halde de olabilmektedir.

Ancak güvenilirlik ve hafiflik, hidrojenin hidrürler olarak depolanmasını ön plana çıkartmaktadır. Görüleceği üzere özellikle birim hacimde depolanabilecek hidrojen açısından hidrürler gaz veya sıvı depolamada bir hayli üstündür.

- **Tanklarda Depolama**

Hidrojen diğer gazlarda olduğu gibi uygun nitelikli tanklarda gaz veya sıvı olarak depolanabilmektedir. Nitekim otomotiv firmalarınca geliştirilen araçların büyük çoğunluğu hidrojenin tanklarda depolanmasını esas almaktadır.

Ağırlık açısından bakıldığında gaz olarak hidrojen depolama caziptir. Etkin depolama 150 atmosfer veya daha yüksek basınç değerlerini gerektirmekte, bir taraftan yüksek basınç diğer taraftan tankın hafif olma gerekliliği tank tasarımı açısından zorlayıcı olmaktadır.

Gaz halinde depolama durumunda nispeten düşük olan hacimsel yoğunluğu arttırmanın bir yöntemi gazın daha düşük sıcaklıkta, örneğin sıvı azot sıcaklığında veya iyice soğutulması ile (-253⁰C) Sıvı olarak depolanmasıdır. Ancak sıvılaştırma için gerekli enerji küçümsenmeyecek düzeydedir, hidrojenden sağlanacak enerjinin yaklaşık ¼'ü kadar.

- **Nanotüplerde depolama**

Hidrojen karbon nanotüplerde de depolanabilmektedir. Karbon nanotüpler kısaca grafit tabakaların dönüşmüş halidir. Çapları birkaç nanometre veya 10-20 nanometre mertebesinde, boyları ise mikron civarındadır. Nanotüpler tek-duvarlı olarak üretilebileceği gibi çok-duvarlı tüplerde üretilebilmektedir. Çeşitli ilavelerle oluşturulan, örneğin alkali-ilaveli (Li-K), nanotüplerde mevcuttur.

Hidrojen, nanotüplerde iki şekilde depolanabilmektedir. Zayıf van der Waals etkileşimi sonucu oluşan (fiziksel) depolama ile depolanan hidrojen geri alınabilmekte ve sisteme tekrar aynı miktarda hidrojen yüklenebilmektedir. kovalent bağların oluşumu ile (kimyasal olarak) depolanan hidrojen ise ancak çok yüksek sıcaklıklarda geri alınabileceği için faydalı kapasite dışındadır.

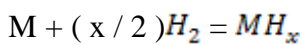
Karbon bazlı hidrojen depolayıcılar üzerine yapılan teorik çalışmalar “Fullerene” orijinli bazı sistemlerde hidrojen depolamanın mümkün olduğunu göstermiştir. Yine bazı çalışmalar karbon nanotüplerde ağırlıkça %4 ila %14 arasında hidrojen depolamanın mümkün olduğunu göstermiştir (Meregalli ve Parrinello, 2001). Meregalli ve Parrinello, anılan bu miktarların ne kadarının fiziksel ne kadarının kimyasal temelli olduğunun hesaplanmasının mümkün olmadığını belirtmişlerdir.

Karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasiteleri sırası ile nanotüpün cinsine (tek duvarlı, çok duvarlı), tüplerin kapalı veya açık olmasına, tüp ölçülerine (tüp çapı ve uzunluğu vb.) ve tüp yüzeylerinin aktifliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Nanotüpler konulu depolama çalışmalarında ağırlık kazanan diğer bir malzeme bor nitrür (BN) dür. Bor nitrürde depolama nanotüp, nanokapsül veya nanokafeslerde yapılabilmektedir.

- **Metal Hidrürlerde Depolama**

Hidrojen kimyasal olarak metallerde, alaşımlarda ve ara metallerde hidrür olarak depolanabilmektedir. Reaksiyon basit olarak;



Şeklinde dir. Bu reaksiyon, basınca ve sıcaklığa bağlı olarak yön değiştirmekte ve metalin cinsine göre reaksiyon endotermik veya ekzotermik olabilmektedir. Metal

hidrürler hidrojen depolamanın bir aracı olarak değerlendirilebileceği gibi, kendine özgü farklı uygulama alanları da mevcuttur.. Bunlardan en önemlisi reaksiyonun ısısına ve reaksiyonun tersinir olma özelliğine dayalı ısıtma-soğutma uygulamalarıdır. Bu tür uygulamalarda “reaktör”de ısı ve sıcaklık kontrolü önem kazanmaktadır.

Pratik uygulamalar esas alındığında hidrojen depolamada amaçlanan özellikler belirlidir. Bu özellikler;

- 1 – Olabildiğince yüksek geri dönüşümlü depolama kapasitesi
- 2 – Olabildiğince düşük geri bırakım sıcaklığı
- 3 – Zehirlenmeye karşı direnç ve bağlı olarak olabildiğince yüksek tekrarlanabilir dolum sayısı.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve A.B.D Enerji Bakanlığı otomotiv uygulamaları için hedef değerleri kapasite: >5-6, geri bırakım sıcaklığı: <150.^oC ve kullanım ömrü: >1000 dolum olarak tespit etmişlerdir (Schulz ve diğerleri, 1990).

Hidrojen depolama açısından değişik türdeki hidrürlerin değerlendirilmesi Douglas ve Derek (1983), tarafından verilmektedir.

3.4 Yenilenebilir Elektrik Üretimi Konusundaki Hedefler

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve arz güvenliğinin sağlanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması Türkiye enerji politikasının önemli bir unsurudur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2009’da hazırlanan karar ile “Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi’nde kaynak kullanım hedefleri bölümünde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi konusundaki temel hedefin 2023 yılında elektrik üretimi içinde bu kaynakların payının en az %30 olmasını sağlamak olarak belirtilmiştir(Türkiye Enerji Raporu, 2009). Yenilenebilir kaynaklar bazında hedefler;

Hidroelektrik: 2023 yılına kadar teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik potansiyelin tamamının kullanımı,

Rüzgar: Rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20000 MW’a çıkarılması,

Jeotermal: Elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğu belirlenmiş olan 600 MW’lık jeotermal potansiyelin tamamının 2023 yılına kadar kullanımı,

Güneş: Elektrik üretimi içinde kullanımı yaygınlaştırmak, ülke potansiyelinin azami ölçüde değerlendirilmesini sağlamak olarak belirtilmiştir.

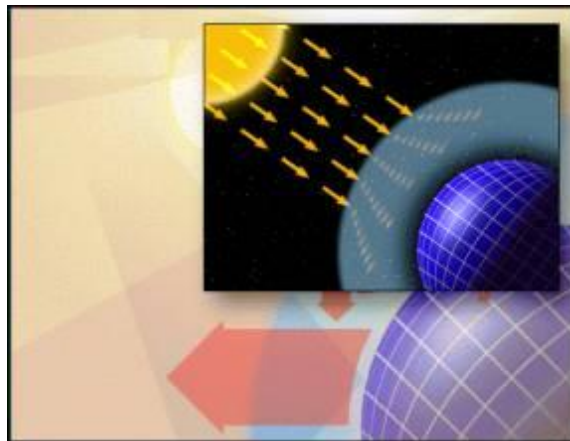
4. GÜNEŞ-HİDROJEN DESTEKLİ ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

İnsanlar önce ısınmak için enerjiye ihtiyaç duymuşlar, sonra da teknolojinin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaçları ve ihtiyaç alanları günden güne artmıştır. Isınma için gerekli olan ısı enerjisi ağırlıklı olarak fosil yakıtların yakılması sonucu elde edilen kimyasal enerjiden karşılanmaktadır. Endüstriyel alanda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi de benzer şekillerde elde edilmektedir. Isı enerjisinden termodinamiğin ikinci kanununa göre ancak belirli bir verimle mekanik enerji elde edilebilmektedir. Nakil ve kullanım kolaylığı nedeni ile mekanik enerji, elektrik enerjisine ve sonra da kullanım alanına göre başta mekanik enerji, ısı ve kimyasal enerji gibi diğer enerji türlerine dönüştürülmektedir. Termoelektrik jeneratör ve yakıt pilleri gibi ısı enerjisini ve kimyasal enerjiyi direkt elektrik enerjisine çeviren makinaların üretimi ve geliştirilmesine de son yıllarda büyük önem verilmektedir. Enerji türlerinin birbirine dönüştürülmesinde kullanım kolaylığı ve ekonomikliği yanında depolanma özelliği de dikkate alınmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar hidrojenin hem enerji depolama hem de enerji taşıma ve dönüştürme konusunda çok başarılı olduğunu göstermektedir. Hidrojen, evrende bolca bulunmaktadır ve tüm maddelerin yaklaşık olarak $\frac{3}{4}$ 'lük bir oranını kapsamaktadır. Dünya üzerinde serbest olarak dolaşan hidrojen miktarı çok düşüktür ve atmosferde yaklaşık olarak on binde 7 oranında bulunmaktadır. Bu sebeple enerji depolama, taşıma veya dönüştürme için hidrojen kullanmak istersek hidrojeni üretmemiz gerekmektedir. Hidrojenin başlıca yerel kaynakları; fosil yakıtlar(C_xH_y) ve su(H_2O) dur. Hidrojen çoğunlukla doğalgaz, petrol ve kömür gibi fosil yakıtlardan üretilmektedir. Fakat son yıllarda temiz çevre bilinci ve ekonomik olması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına verilen önemle hidrojen üretiminde de yenilenebilir enerji kaynaklarının desteği ön plana çıkmaktadır. Tabiat şartlarına bağlı olarak düzensiz elektrik üretimi yapan; rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi ve hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretim sistemleri hidrojen vasıtasıyla düzenli enerji üretir hale getirilmektedir.

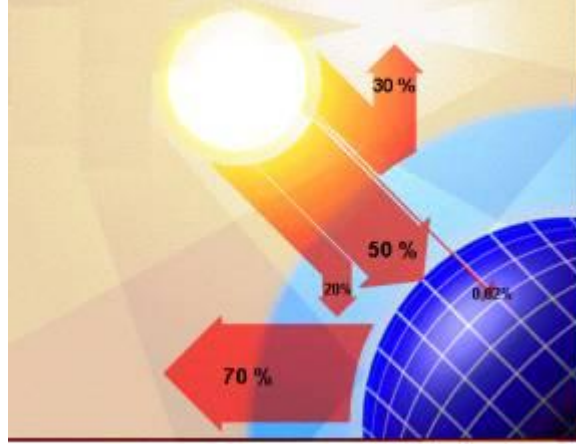
4.2 Güneş Enerjisi

Dünyadaki tüm enerjilerin temel kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi olarak ifade edilen füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Temiz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'li yıllardan sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak büyük ilerleme kaydetmiş ve bu ilerlemeye bağlı olarak da maliyet açısından önemli oranda düşüş görülmüştür.

Dünya, güneşe 150 milyon km uzaklıktadır. Güneş ışınları dünyayı çevreleyen atmosfer tabakasından süzülerek yeryüzüne ulaşmaktadır. Güneş ışınları dünya yüzeyine iki farklı yol izleyerek ulaşmaktadır. Eğer güneş ışınları atmosfer içinde hiçbir sapmaya uğramadan yeryüzüne ulaşırsa, direkt radyasyon olarak adlandırılır. Güneş ışınları atmosfer içinden geçerken yansıma ya da saçılma nedeni ile yönlerini değiştirirler ise difüz radyasyon adını alır. Güneş ışınları atmosferin üst tabakalarına ulaştığında toplam enerjisinin yaklaşık %3'ü ozon tarafından absorbe edilir (Atagündüz, 1989). Atmosferin diğer tabakalarından geçerken güneş ışınlarının bir kısmı daha su buharı tarafından absorbe edilmesi ve çeşitli yansıma olayları sonucu kaybolarak yeryüzüne ulaşmaktadır. Miller (1966)'a göre atmosfere giren güneş enerjisinin %20'si atmosferdeki gaz parçacıkları ve bulutlar tarafından absorbe edilmekte, yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalar ile uzaya geri gönderilmekte, geri kalan %50'si de yeryüzüne ulaşarak yaşam için gerekli doğal dönüşümleri gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.1 Atmosfere ulaşan güneş ışınımı



Şekil 4.2 Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı

Atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan güneş ışınları, dünyadaki yaşamın en önemli kaynağıdır. Yeryüzüne ulaşan bu enerji dünya sıcaklığını yaşanabilir sıcaklığa yükseltmekte, rüzgar hareketlerini, okyanus dalgalanmalarını ve yağmurları oluşturmakta, fosil yakıtların oluşum sürecine katkı sağlamakta, bitkisel yaşamın kaynağı olan fotosentezin oluşumunu sağlamakta, mevsimleri, günleri oluşturmakta ve daha benzeri birçok yaşamsal faaliyetin oluşumuna sebep olmaktadır.

Yeryüzünde kullanılmakta olan tüm yenilenebilir enerjilerin kaynağı güneştir. Diğer alternatif enerjiler güneşin etkisi ile oluşmaktadır. Güneşin tükenmez enerjisinden yararlanarak ve az bir maliyetle, evlerimizi veya kullanım suyumuzu ısıtıp, elektrik elde edebiliriz. Güneş kolektörlerini kullanarak, kullanım suyunu arzu edilen sıcaklıkta ısıtabilir, güneş pilleri sayesinde, yılın her ayı, istediğimiz yerde, istediğimiz kadar elektrik elde edebiliriz.

Güneş enerjisinin, diğer enerjilere çevriminde kullanılan çevrimler;

- a) Güneş enerjisinden doğrudan ısı enerjisi
- b) Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi
- c) Güneş enerjisinden hidrojen enerjisi

elde edilmesi olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinin diğer enerjilere göre birçok üstün özelliği bulunmaktadır. Güneş enerjisini etkin ve kullanılabilir kılan özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Güneş enerjisi tükenmeyen ve azalmayan bir enerji kaynağıdır.

- Güneş enerjisi, temiz bir enerji türüdür. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.

- Güneş, tüm ülkelerin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.

- Güneş enerjisinin bir diğer özelliği, hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilmesidir.

- Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.

- Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler.

Güneş enerjisinin diğer enerjilere göre birçok üstün özelliğinin bulunmasının yanında, güneş enerjisinin kullanımı ile ilgili karşılaşılan sorunlar da mevcuttur;

- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.

- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken düzeneklerin yatırım giderleri bugünkü teknolojik aşamada yüksektir.

- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilememektedir.

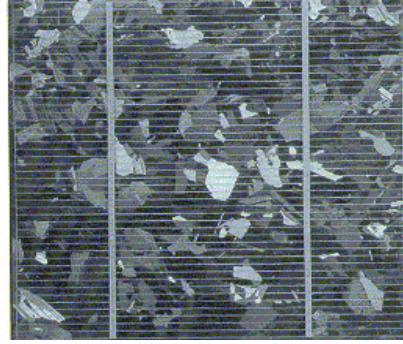
- Birçok kullanım alanının, enerji arzı ile talebi arasındaki zaman farkı ile karşılaşılmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen ışınım talebinin yoğun olduğu zamanlarda kullanılmak üzere depolanmasını gerektirir. Enerji depolaması ise yüksek teknolojik imkanlar ve yüksek maliyet gerektirmektedir.

Temiz, yerli, yenilenebilir, güvenilir ve ekonomik enerji olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, hidrojen ile desteklendiğinde çok daha yüksek verim değerlerine ulaşılmaktadır(Url-1, 2010).

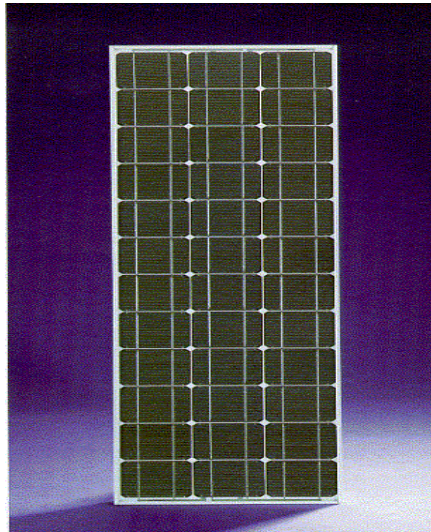
4.2.1 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir(Url-3, 2010).

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 4.3 Güneş Pili



Şekil 4.4 Güneş Pili Modülü

4.2.1.1 Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır(Yılancı, 2010b):

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tekkristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çokkristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çokkristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çokkristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

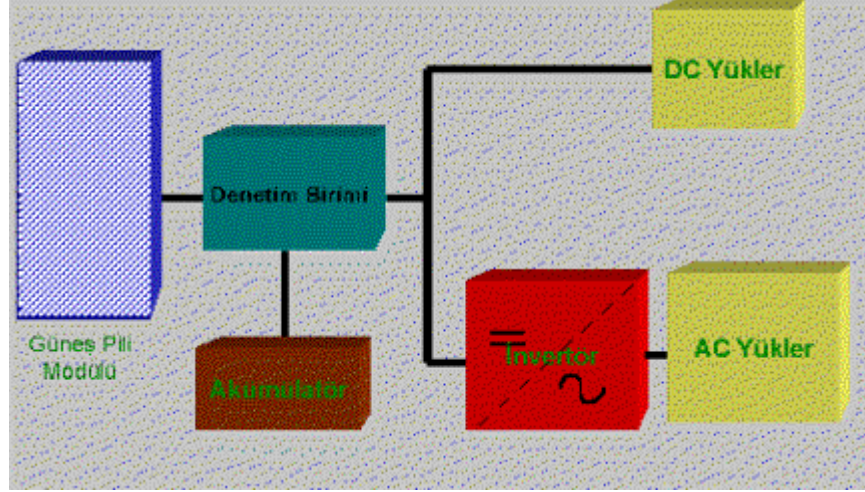
Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedan yapılmaktadır.

Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş pillerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş pilleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit piller, polimer yapılı Plastik piller ve güneş spektrumunun çeşitli dalgaboylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji band aralığına sahip Kuantum güneş pilleri gibi yeni teknolojilerdir.

4.2.2 Güneş Pili Sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, aküler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları(şarj regülatörleri) ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluşturmaktadırlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılmaktadırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılabilirler.

Kullanıldığı yerdeki ihtiyaca bağlı olarak yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulmaktadır. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu aküde depolamakta, yüke gerekli olan enerji aküden alınmaktadır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı kesmektedir. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek aküdeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülmektedir. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunmaktadır. Şekil 4.5’de şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir.



Şekil 4.5 Şebekeden Bağımsız Güneş Pili Enerji Sistemi

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemlerinde, bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, fazla enerji üretilir ise elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınmaktadır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Ülkemizin yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat/yıl ve ortalama yıllık radyasyon değerinin 4,17 kWh/m²-gün gibi çok yüksek değerler olmasına rağmen halen şebekeye bağlı büyük ölçekli güneş-PV santrali bulunmamaktadır(Türkiye Enerji Raporu, 2009). Güneş pili sistemlerinin ülkemizde şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır;

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri

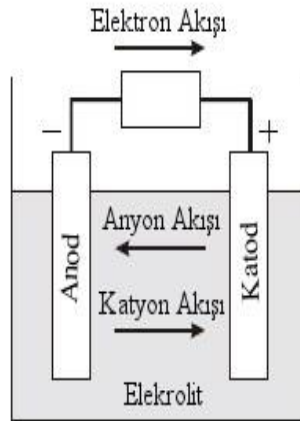
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

Ülkemizde halen kullanılmakta olan güneş pili sistemlerinin toplam kapasitesi 3000 kW'tır. Binaya entegre şebekeye bağlı güneş-pv uygulamaları küçük ölçekli bazı sistemlerde kullanılmakta olup sistemlerin toplam kurulu gücü yaklaşık 1500 kW'tır(Türkiye Enerji Raporu, 2009).

4.3 Yakıt Pili Teknolojisi

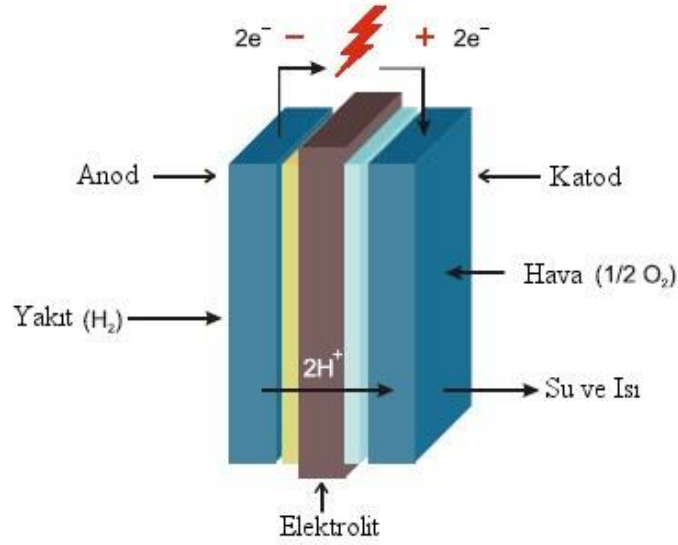
Yakıt pillerinin tarihi, 1839 yılında Sir William Grove'un keşfi ile başlamaktadır. Zamanla bilim adamları, yakıt pillerini farklı yakıtlar ve farklı elektrolitler kullanarak geliştirmişlerdir. 20. yy'ın ilk yarısında yakıt pilleri Gemini ve Apollo uzay gemilerinde kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllarda proton değişim membranlı yakıt pilleri ilk defa NASA tarafından Gemini uzay programında kullanılmaya başlanmıştır. 1973 enerji krizinden sonra yakıt pilleri alanında yapılan çalışmalar hız kazanmıştır(Yılancı, 2010b).

Yakıt pilleri, yakıtın kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Yakıt pillerinde enerji, yakıtın oksijen ile kimyasal tepkimeye girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlarda bu reaksiyon, yanma şeklinde gerçekleşerek ürettiği enerjiyi ısı olarak açığa çıkartırken, yakıt pillerinde elektrokimyasal reaksiyon gerçekleşmesi sonucu üretilen enerji; ısı ve düşük voltajlı DC elektrik enerjisi olmaktadır. Yakıt pilleri, galvanik hücrelerin çalışma prensibine göre çalışmaktadır.



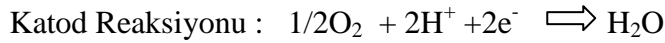
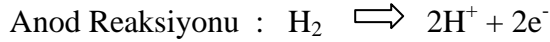
Şekil 4.6 Galvanik hücrenin çalışma prensibi

Galvanik hücreler, bir anod ve bir katod olmak üzere iki elektrodan meydana gelmektedir. Hücrelerin elektrik enerjisi üretilebilmesi için bu elektrodlar birbirlerinden ayrılarak, anodtan katoda elektronların bir dış yükü geçmesini sağlayacak ve teması gerçekleştirerek reaksiyonu başlatacak bir ayırıcıya ihtiyaç duyar. Anodla katodu birbirinden ayıran bu ayırıcı, iyonları ileten bir madde olan elektrolittir. Elektrolitler; tuz, asit veya alkali bileşen içeren sıvı veya katı maddelerdir. Farklı tipte elektrolitler kullanılarak farklı tipte yakıt pilleri üretilmektedir(Yılancı, 2010b).



Şekil 4.7 Genel hidrojen yakıt pili çalışma prensibi

Bir yakıt pilinde, yakıt; anod, oksidant gaz ise; katod olarak tanımlanmaktadır. Anod ve katoda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar şu şekilde olmaktadır;



4.3.1 Yakıt Pili Tipleri

Yakıt pilleri kullanılan elektrolitlere göre sınıflandırılırlar. Elektrolitler çalışma sıcaklığını belirler. Yakıt pilleri öncelikle kendi içinde;

1. Yüksek Sıcaklık Yakıt Pilleri
2. Düşük Sıcaklık Yakıt Pilleri

olarak ikiye ayrılır. Yüksek sıcaklık yakıt pilleri 600 °C sıcaklığın üstünde çalışır(Yılcı, 2010b). Yüksek sıcaklık iç yapıda bozulmaya sebep olabilmekte, sistemin devreye girmesi uzun zaman almaktadır. Bu tür dezavantajları nedeni ile araç gibi portatif uygulamalar yerine sabit güç santralleri gibi yerleşik uygulamalarda kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan Yüksek Sıcaklık Yakıt Pilleri;

- Erimiş Karbonatlı
- Katı Oksitli

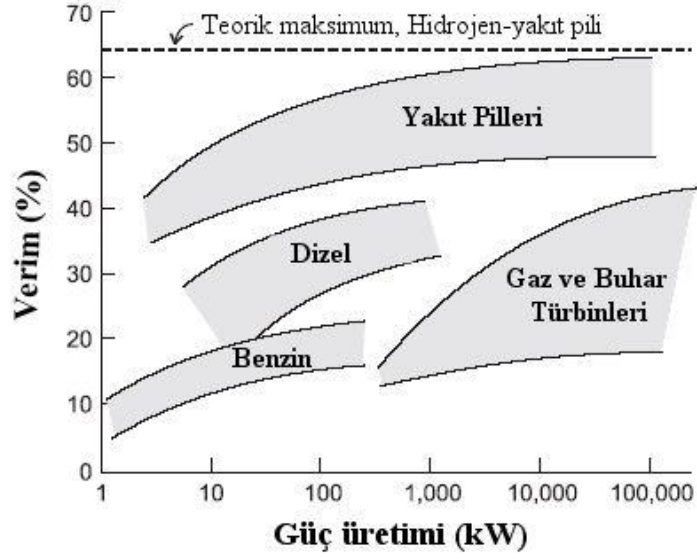
yakıt pilleridir.

Düşük sıcaklık yakıt pilleri genellikle 250 °C sıcaklığın altında çalışır. Bu sistemler çabuk devreye girebilir, düşük sıcaklık nedeni ile daha az malzeme problemlerine yol açar ve araç gibi uygulamalarda kolaylıkla kullanılabilirler(Yılcı, 2010b). En yaygın kullanılan Düşük Sıcaklık Yakıt Pilleri;

- Alkalin
- Fosforik Asitli
- Proton Değişim Membranlı(veya Katı Polimerli)

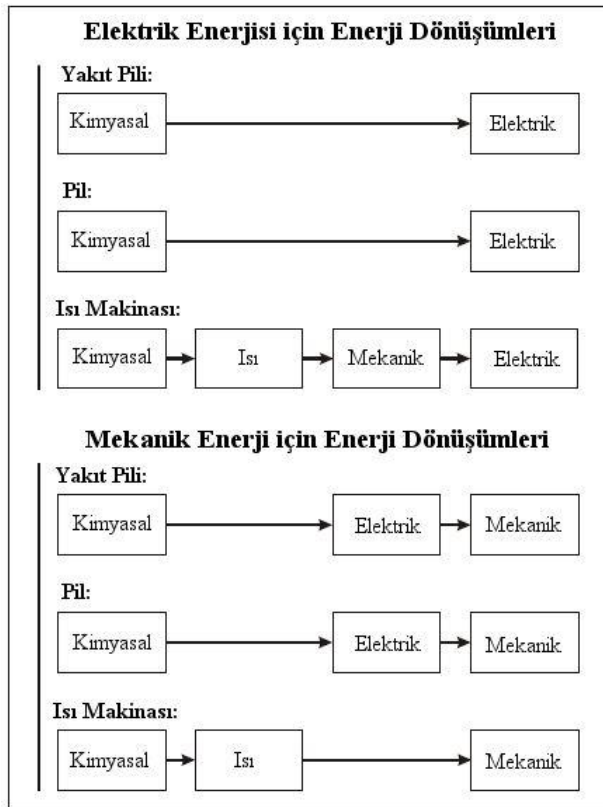
yakıt pilleridir.

Yakıt pili sistemleri, saf hidrojenle çalıştırıldığında, reaksiyon ürünleri sadece saf su ve ısı olduğundan çevreyi kirletmeden çalışırlar. Saf hidrojen yerine, hidrojen oranı zengin olan gaz karışımları ile çalıştırıldıklarında zararlı emisyonlar üretseler de içten yanmalı motorlar kadar çevreyi kirletmezler. Yakıt pilleri ısı makinalarından daha yüksek termodinamik verim ile çalışmaktadır. Yakıt pilleri yanma olayı içermediğinden enerji dönüşüm verimi daha yüksektir. Yakıt pillerinin verim karakteristiklerinin, diğer elektrik enerjisi üretim sistemleri ile karşılaştırılması Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8 Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin verim eğrilerinin karşılaştırılması

Yakıt pilleri, elektrik enerjisi üretimi için kullanıldıklarında ısı makinalarına oranla daha az enerji dönüşümüne ihtiyaç duymaktadırlar. Her enerji dönüşüm basamağı ayrı bir enerji kaybına yol açtığından, ne kadar az enerji dönüşümü mevcut ise verim de o oranda yüksek olmaktadır. Mekanik enerji üretiminde yakıt pilleri ile ısı makinalarının enerji dönüşüm basamak sayısı aynı, dönüşümler ise farklıdır.



Şekil 4.9 Enerji dönüşümlerinde yakıt pili, pil ve ısı makinasının karşılaştırılması

Yakıt pilleri, büyük çaplı sabit santrallerden küçük taşınabilir güç ünitelerine kadar çeşitli uygulama alanlarına sahiptir;

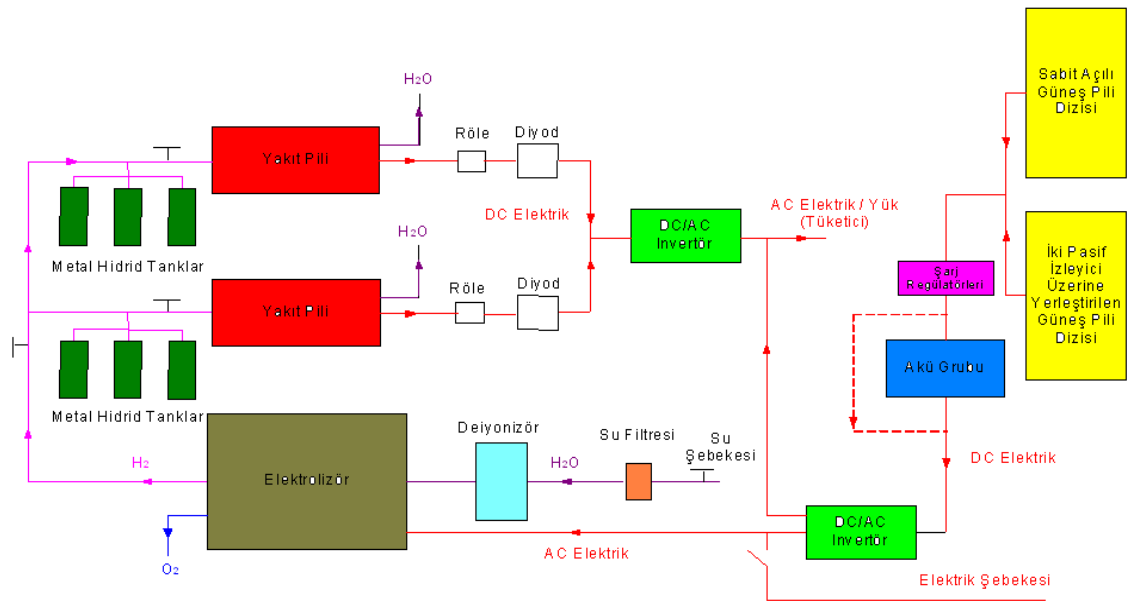
- Güç Santralleri
- Denizaltılar
- Otobüsler
- Otomobiller
- Mobil Güç Üniteleri

5. PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ, TEMİZ ENERJİ EVİ, GÜNEŞ-HİDROJEN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİ

5.1 Genel

2006 yılında, DPT ile Nexans Kablo, Siemens ve Bereket Enerji gibi özel şirketlerin desteği ile Pamukkale Üniversitesi Kampus alanı içerisinde inşa edilen ve 2007 yılında faaliyete geçen Temiz Enerji Evi'nde kurulan Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi evin tüm elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.

Şekil 5.1'de görülen hibrit sistemde fotovoltaik panellerden güneş ışınları aracılığıyla üretilen DC güç, elektrolizörün enerji ihtiyacını karşılar. Elektrolizör, güneş panellerinden alınan enerji vasıtasıyla suyu, hidrojen ve oksijene ayırır. Elde edilen hidrojen, hidrojen tanklarında depo edilir. Tanklarda depolanan hidrojen yakıt pili hücrelerine anod kısmından gönderilerek ortam havasından sağlanan oksijen ile birleşmesi sonucu DC güç meydana getirir. Üretilen bu enerji; DC güç ile çalışan herhangi bir cihazda direk olarak kullanılabilirdiği gibi invertörler vasıtasıyla AC güce çevrilerek evin veya herhangi bir ortamın enerji ihtiyacını karşılayabilir.



Şekil 5.1 Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi

Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemlerinin en güzel yanlarından biri de portatif olabilme özelliğine sahip olmalarıdır. Tüm malzemeler taşınabilir özelliğe sahiptir ve kurulum için çok büyük alana ihtiyaçları yoktur. Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemleri güneşin ve suyun sağlanabildiği her yerde işlevini sürdürebilmektedir. Sistem için gerekli olan her iki kaynak da sonsuz ve temiz kaynaklardır. Diğer tüm sistemler mutlaka enerjilerini başka bir yakıt vasıtasıyla karşılarlar ve bu yakıt bittiği zaman çalışamaz duruma gelirler. Güneş-hidrojen sisteminde ise güneşli saatlerde güneş panelleri tarafından üretilen elektrik hem gerekli olan enerjiyi karşılar hem de yakıt hücrelerini beslerken güneş alınamayan saatler için de hidrojen tankını doldurur ve bu durumda sistem kesintisiz bir güç kaynağı olarak çalışır. Sisteme takviye edilen akü grubu ile de uzun süren güneşsizlik durumlarında daha önceden PV paneller tarafından doldurulmuş olan akü grubu devreye girerek sistem çalışmasını devam ettirir. İlk kurulum maliyetleri benzerlerine göre oldukça yüksek olsa da hareketli parçaya sahip olmamaları, hemen hemen hiç bakım gerektirmemeleri ve uzun işletim ömürleri ile güneş-hidrojen sistemleri kendilerini birkaç sene içerisinde amortize ederler. Şu an için özellikle şebekeden bağımsız konutlar ile, çöllerde veya benzer yerlerde kurulan hastaneler, okullar gibi taşınabilir gereklilik arz eden yerlerde kullanımları mümkündür. Bu gibi yerlere şebeke bağlantısı götürmek şu anki fiyat koşullarında bile birçok durumda güneş-hidrojen enerji sisteminden daha pahalıya gelmektedir.

Genel anlamda bir konutun elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminin ana bileşenleri Tablo 5.1’de yer almaktadır.

Tablo 5.1 Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sisteminin Ana Bileşenleri

Sistem Ana Bileşenleri	
Güneş Pili Panelleri	Deiyonizör
Güneş İzleyicileri	PEM Yakıt Pilleri
Şarj Regülatörleri	Metal Hidrid Tanklar
Akü Grubu	PEM (Proton Değişim Membranlı) tipi Elektrolizör

Sistemi oluşturan bileşenlerin teknik özellikleri aşağıda yer almaktadır;

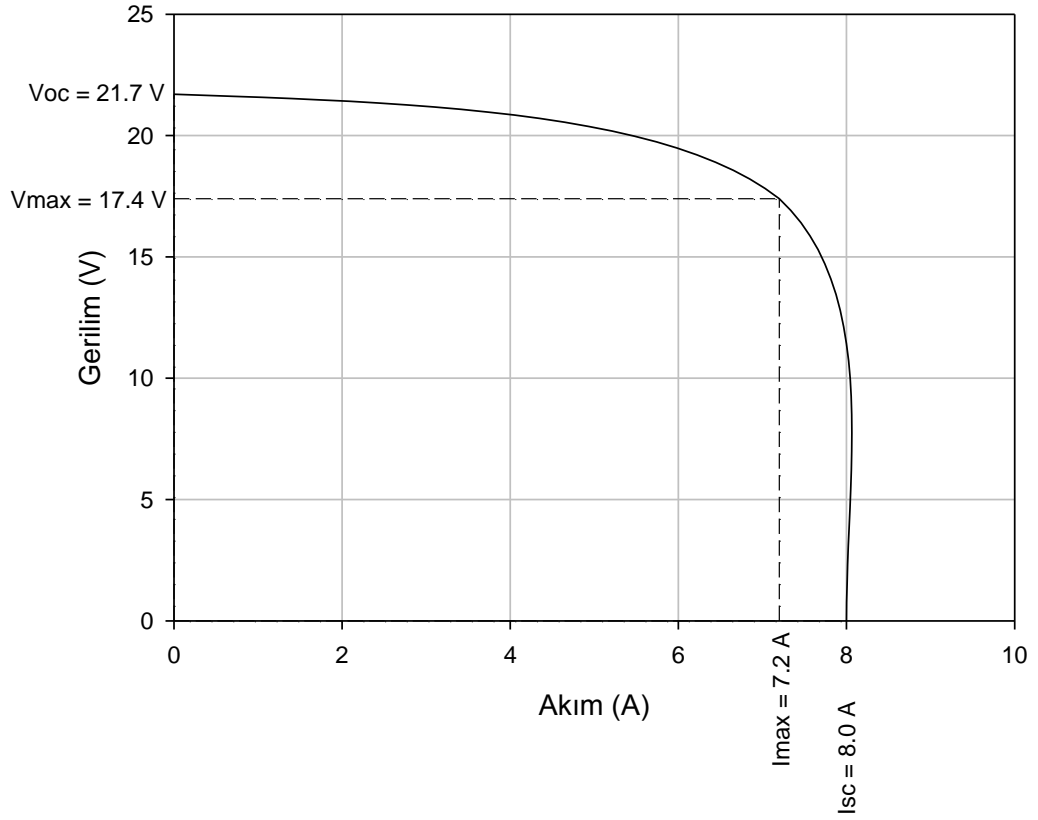
5.2 Güneş Pili Panelleri

- * İzleyici üzeri(2.5 kWp) ve sabit(2.5 kWp)-her panel 125 Wp
- * Toplam kurulu güç:5 kWp
- * Kyocera
- * Polikristal tip
- * Maksimum gerilim: 17.4 V
- * Maksimum akım: 7.2 A
- * Açık devre gerilimi: 21.7 V
- * Kısa devre akımı: 8.0 A



Şekil 5.2 Sabit eğimli olarak Temiz Enerji Evi'nin çatısına yerleştirilen güneş panelleri

Güneş pili paneline ait Akım – Gerilim karakteristik eğrisi 1000 W/m^2 ve 25°C çevre sıcaklığı için Şekil 5.3'teki gibi olmaktadır.



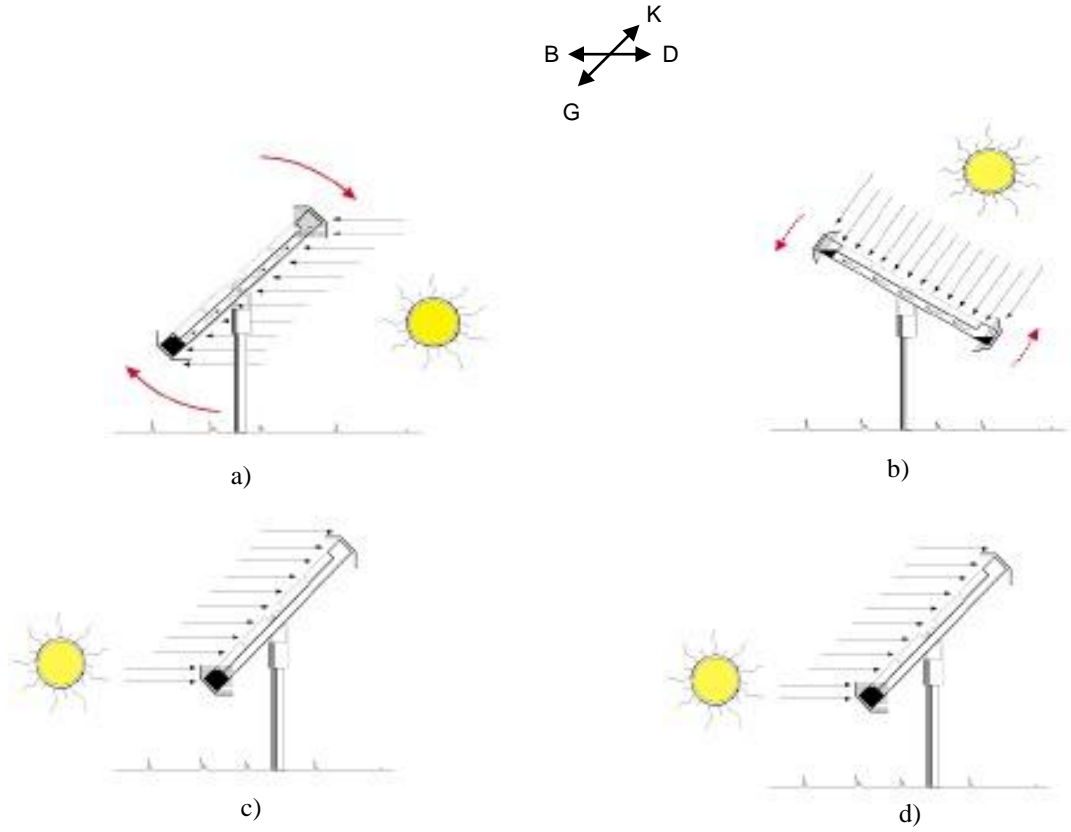
Şekil 5.3 Kyocera KC125GHT-2 Güneş Pili Panellerinin Akım – Gerilim Karakteristiği

5.3 İzleyiciler

Zomeworks tarafından imal edilmiştir. Soğutucu akışkanın, profilin iki ucunda buharlaşıp, yoğuşması sonucu hareketi ile güneşi takip eden pasif tip izleyicilerdir. Parazitik yüklerin (motor gücü vb.) sisteme ilave edilmemesi için bu tip izleyiciler seçilmiştir.

Işınım ile ısı transferi yoluyla güneşi takip eden ve doğu, batı kısımlarında birer depolayıcı boru bulunan bu pasif izleyicilerin hareketi kısaca şu şekilde gerçekleşmektedir: İzleyiciler gün batımında batı yönünde olmaktadır (Şekil 5.4a). Güneş doğduğunda gölgede kalmayan batı tarafındaki boruyu ısıtmakta ve içindeki sıvı akışkan ince bir bakır borudan geçerek gölgede kalan doğu tarafındaki boruya yönelmektedir (Şekil 5.4b). Sıvı doğu tarafındaki boruya hareket ederken, izleyici doğuya doğru dönmektedir (Şekil 5.4c). Sıvının ısınması alüminyum gölgelikler

sayesinde kontrol edilmektedir. Doğu ve batıda yer alan borulardan herhangi biri daha fazla ısındığında, içindeki buharın basıncı artarak sıvıyı daha soğuk ve gölgelenmiş tarafa itmektedir. Sıvının ağırlığındaki farklılık izleyicilerin boruların eşit gölgelenmesine kadar dönmesine sebep olmaktadır. Güneşin hareketiyle, izleyiciler güneşi yaklaşık $15^\circ/h$ hızla takip edebilmektedir. İzleyici hareketi, günlük çevrimlerini batıda tamamlamaktadır (Şekil 5.4d). Ertesi güne kadar, tüm gece bu yönde kalmaktadır(Yılancı, 2008).



Şekil 5.4 Zomeworks Tarafından Üretilen Güneş İzleyicilerinin Gün İçindeki Hareketleri (Url-4, 2006)



Şekil 5.5 İzleyici Üzerine Yerleştirilen Hareketli Güneş Panelleri

5.4 İnvörtörler, Şarj Regülatörleri ve Aküler

- * 1. invertör: 48 VDC 5 kW, Sinüs tip
- * 2. invertör: 22 VDC, 2.5 kW, Sinüs tip
- * Şarj Regülatörleri: 6 adet; 40 A
- * Aküler: 16 adet, 12 V, 150 Ah



Şekil 5.6 Şarj Regülatörleri, Şarj Cihazı, İnvörtör Kabini ve Akü Kabini

5.5 Deiyonizör

Elektrolizörün istediği su kalitesi ve su debisini sağlayacak özelliklere sahip EASYPURE II LF deiyonizer:

- * Su üretimi: max. 1.2 l/dk.
- * ASTM Type I su
- * Şebekeye doğrudan bağlanma



Şekil 5.7 Easypure II LF Deiyonizör

5.6 Elektrolizör

Hidrojen üretimini gerçekleştirecek ticari tip HOGEN S20 elektrolizör:

- * PEM Tipi
- * Su ihtiyacı: 0.47 l/h; 1.5-4 barg, ASTM Type I-II
- * Net H₂ üretimi: 0.53 Nm³/h, %99.9995 saflığında
- * Güç tüketimi: 6.7 kWh/Nm³
- * 13,8 bar H₂ çıkış basıncı



Şekil 5.8 HOGEN S20 Elektrolizör

5.7 Metal Hidrid Tanklar

Yakıt pili ve elektrolizörün verdiği ve ihtiyaç duyduğu hidrojen miktarı ve basıncına göre seçilmiştir. Sıkıştırma işine ihtiyaç duyulmaksızın hidrojen depolayabilmektedir. OVONIC 85G250B Taşınabilir Hidrojen Tankları:

- * 5400 sl (6 adet 900 sl metal hidrid tank)
- * 17 bar basınca kadar H₂ depolama
- * 80 g, 900 standart litre H₂ kapasitesi
- * 0-75 °C çalışma sıcaklığı, (-29)-(+54) °C depolama sıcaklığı

5.8 Pem Yakıt Pilleri

- * PEM Tipi
- * 2 adet (toplam net güç üretim kapasitesi: 2.4 kW)
- * Güç üretimi: 1.2 kW, 22.5 VDC, Gerilim:26 VDC, Akım:46 A
- * Yakıt: % 99.99 H₂; 18.5 Sl/dk; 0.7-16 bar H₂ giriş basıncı
- * Su üretimi: 870 ml/h
- * Heliocentris Energy Systems Inc ., Ballard(Nexa Fuel Cell Power Module)



Şekil 5.9 Nexa yakıt pili modülleri ve metal hidrid hidrojen tankları

5.9 Pyranometre

Güneş pili panelleri üzerine düşen güneş ışınım değerleri; sabit ve hareketli paneller üzerine paneller ile aynı açıda monte edilmiş pyranometreler ile ölçülmüş ve yine PLC Veri Toplama Sistemi tarafından bilgisayara kaydedilmiştir. Pyranometrelerin paneller üzerindeki görünümü Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de yer almaktadır.



Şekil 5.10 Hareketli Güneş Pili Panellerine Monte Edilen Pyranometre



Şekil 5.11 Sabit Güneş Pili Panellerine Monte Edilen Pyranometre

6. PLC VERİ İZLEME VE TAKİP SİSTEMİ

6.1. Genel

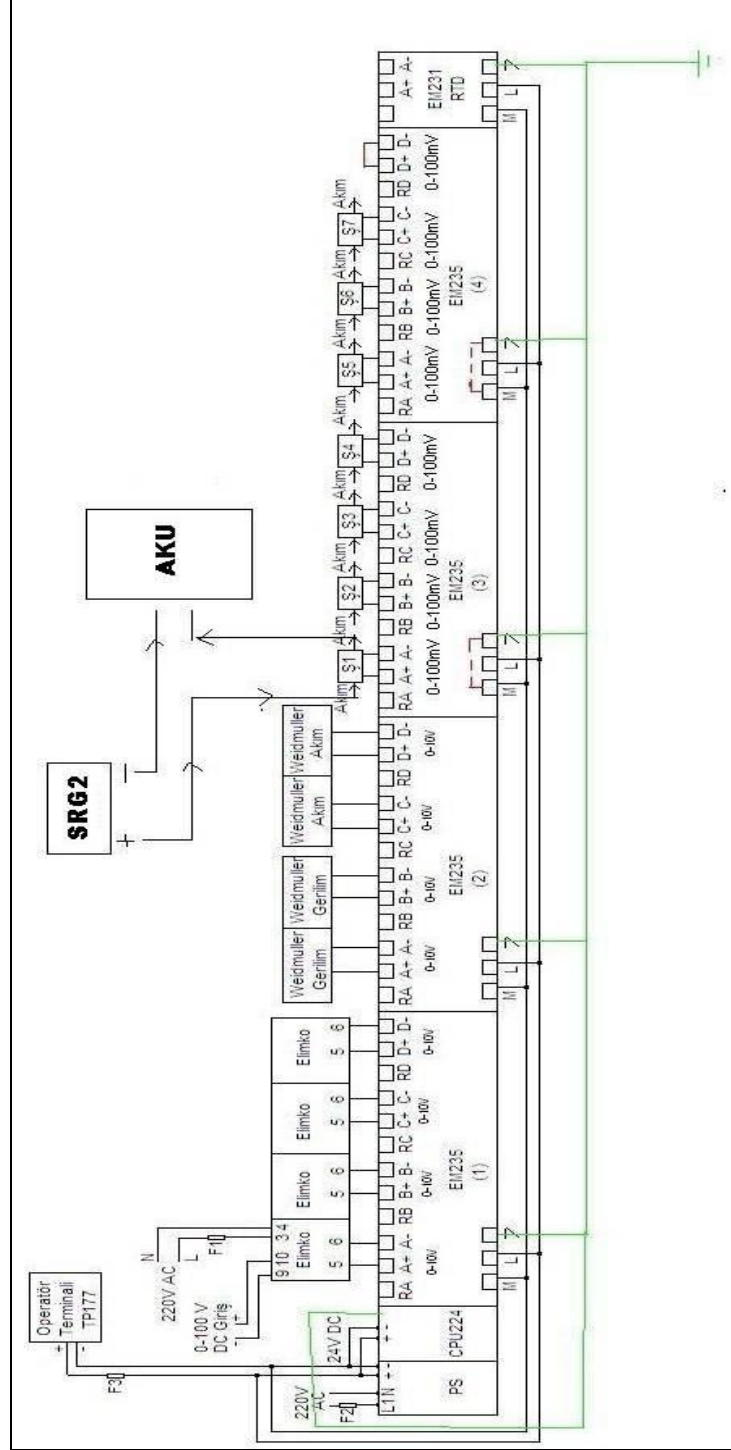
PLC veri takip sistemi sayesinde sabit ve hareketli PV panellerden üretilen akım-gerilim değerleri, akü giriş-çıkışı, invertör giriş-çıkışı ve şarj regülatörü giriş-çıkışındaki akım-gerilim değerleri sürekli olarak kaydedilmektedir.

Siemens S7200 CPU224 PLC kullanarak DC Akım ve DC Voltaj analog değerlerinin ölçülmesi, ölçülen değerlerin CPU üzerindeki hafıza kartında depolanması, depolanan değerlerin istenilen periyotlar ile PC'ye S7 200 Explorer vasıtasıyla aktarılarak grafiksel veriler elde edilmesi, PLC ile ölçülen analog verilerin MS Excel ile takibinin yanı sıra, PLC deki verilerin Siemens TP177 Dokunmatik Panel ile de takip edilmesi sağlanmıştır.

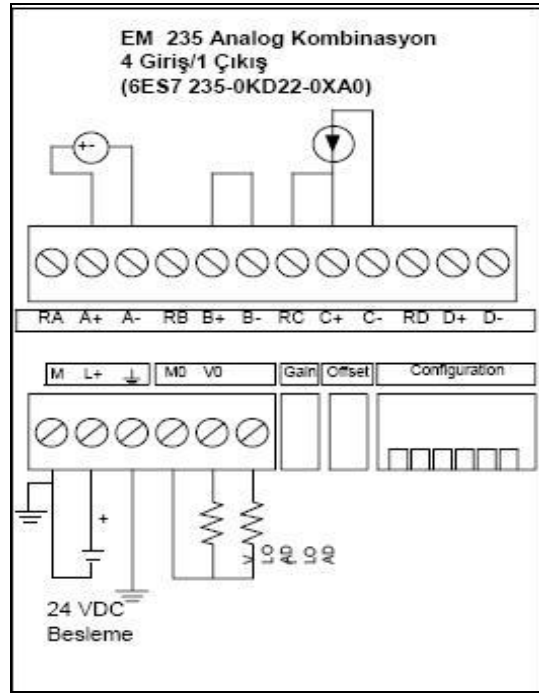
Ölçümü yapılması amaçlanan Şarj Regülatörlerinin çıkışlarındaki DC akımın ve 5 kW İnverter girişindeki DC akımın ölçülmesi amacıyla Şönt adı verilen dirençler kullanılmıştır. DC kaynağın + çıkışına seri bağlanırken şöntün çıkışı da cihaza bağlanmıştır. Bu bağlantı sonucunda Şönt, cihazın çektiği akımla doğru orantılı olarak 0-100 mV arasında (60A için 100 mV) DC gerilim üretmektedir. Bu üretilen DC Gerilim Siemens PLC nin EM235 Analog girişine uygun bir şekilde bağlanmıştır. EM235'in 0-100 mV arası DC girişleri ölçebilmesi amacı ile Şekil 6.1'de görülen Switch tablosuna uygun ayar yapılmıştır. EM235 bağlantıları, giriş tipinin bağlantı şekline uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantı şekilleri Şekil 6.2'de görülmektedir. EM 235 in doğru ölçüm yapabilmesi için Ofset ve Gain ayarları Şekil 6.3'de belirtilen noktalardan gerçekleştirilmiştir.

Siemens MicroWin programı kullanılarak oluşturulan PLC yazılımı ile DC akım bilgilerinin ölçülmesi sağlanmıştır. Güç Analizörü ile de ölçülen verilerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

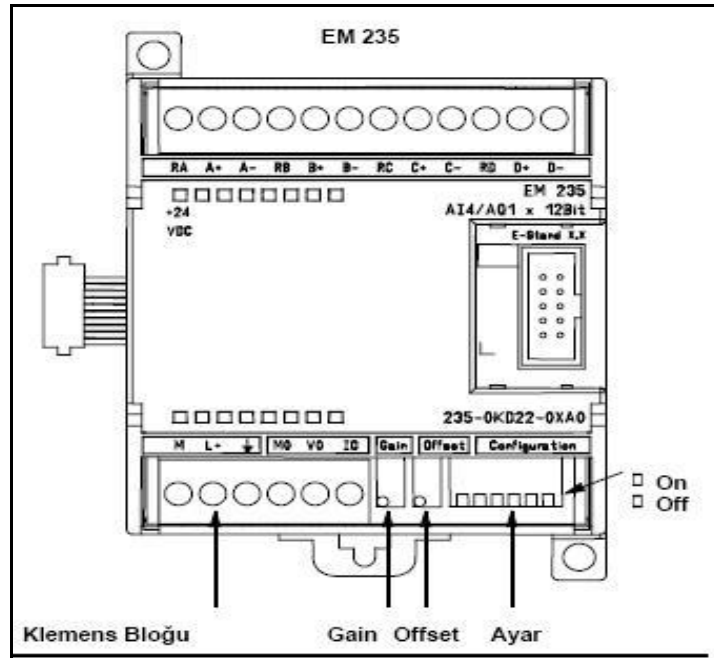
PLC veri izleme ve takip sistemini oluşturan elemanların bağlantı şekilleri ve sistemin şematik görünümü Şekil 6.4’de görülmektedir.



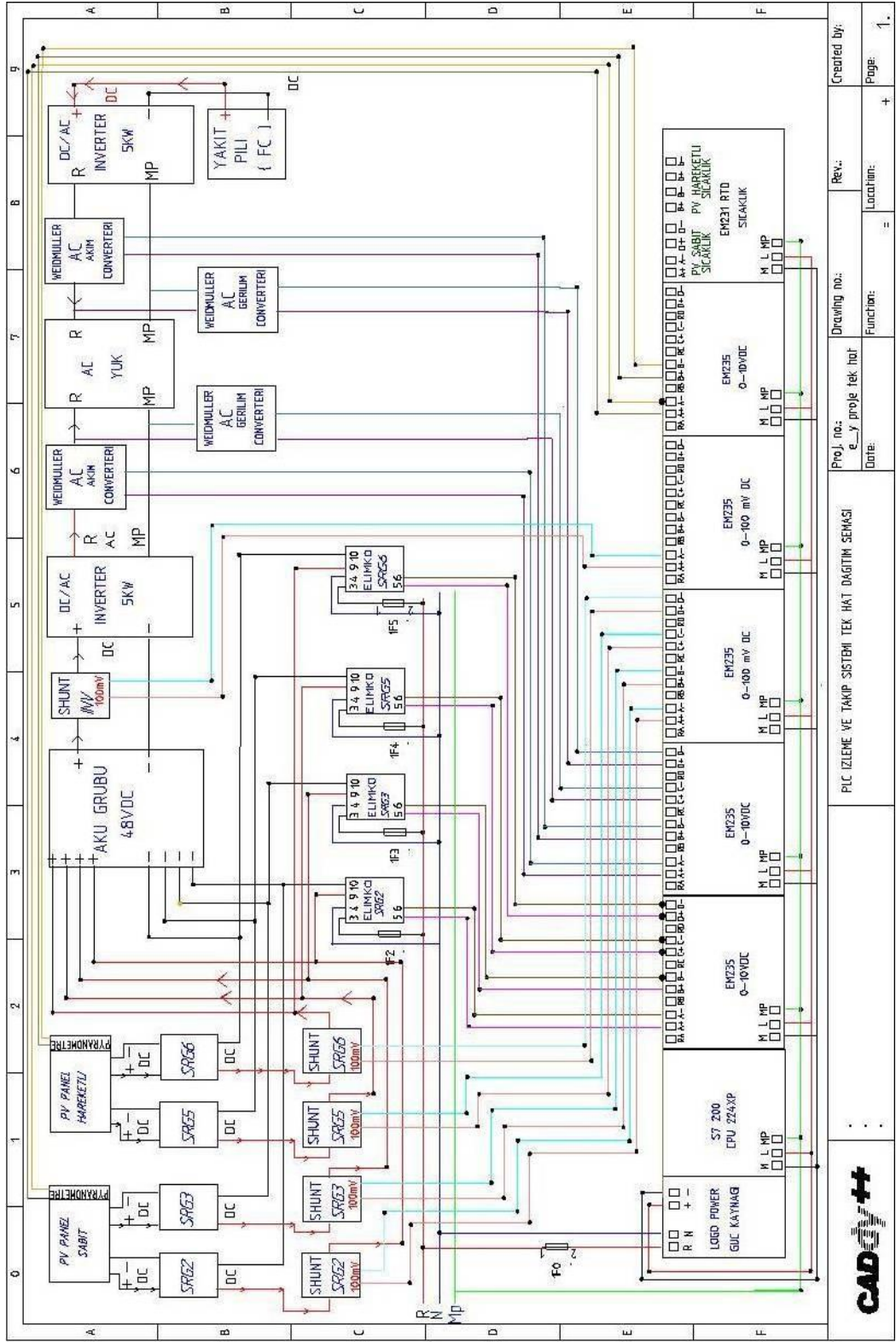
Şekil 6.1 EM 235 Switch Tablosu



Şekil 6.2 EM235 Bağlantı Şekli

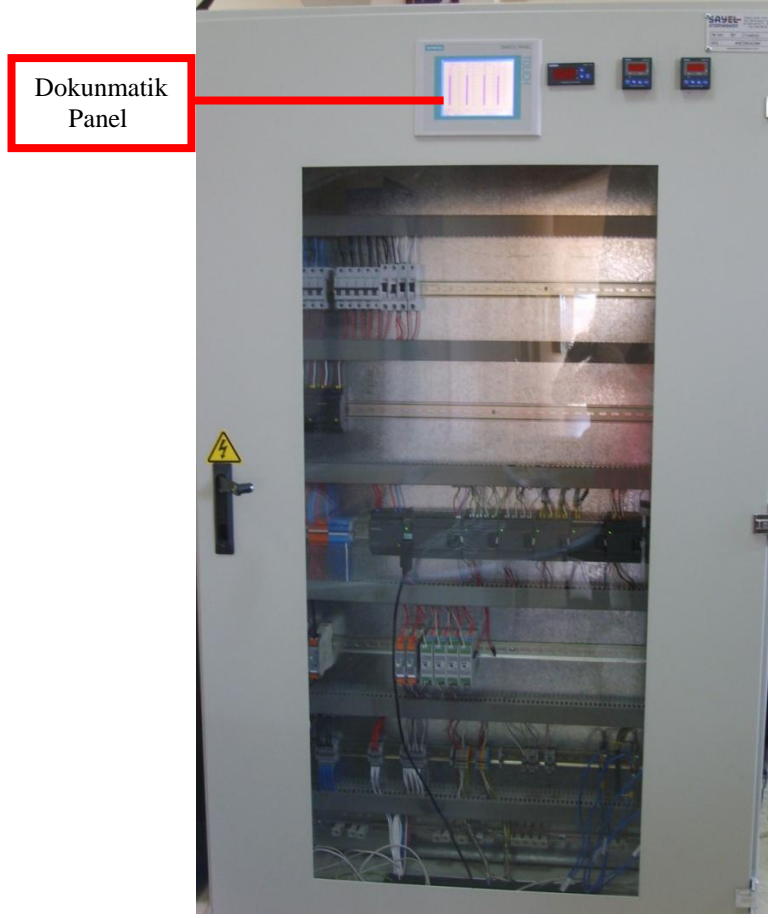


Şekil 6.3 EM235 Ofset ve Gain Ayar Noktaları



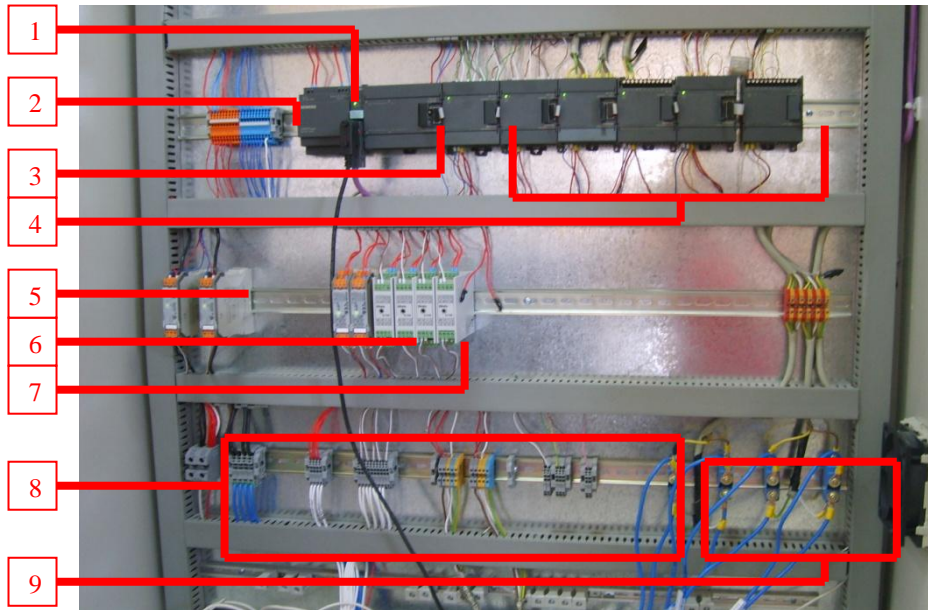
Şekil 6.4 PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Şematik Görünümü

PLC veri izleme ve takip sistemini oluşturan elemanlar bir pano içine yerleştirilmiştir. Panonun dış görünümü Şekil 6.5’de, iç görünümü ve elemanlar ise Şekil 6.6’da görülmektedir.



Dokunmatik
Panel

Şekil 6.5 PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Panosu (Dış Görünüm)



Şekil 6.6 PLC Veri İzleme ve Takip Sistemi Elemanları Pano İç Görünümü

PLC veri izleme ve takip sistemini oluşturan elemanların Şekil 6.6'da verilen numaralara bağlı olarak isimlendirmesi şu şekildedir;

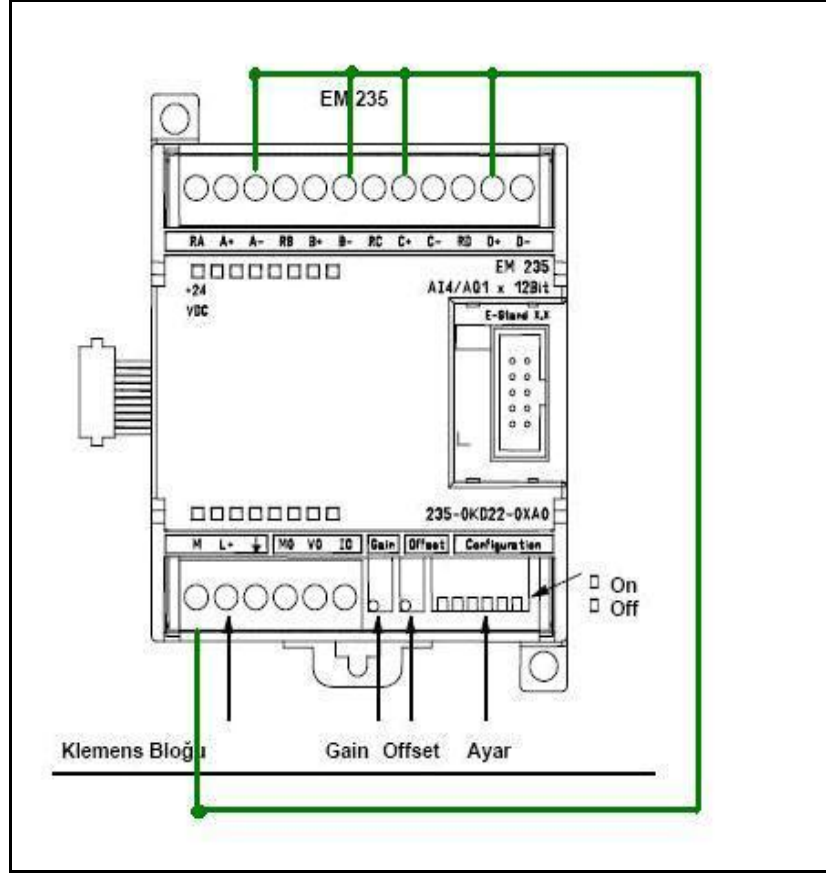
- 1) 24 V DC Güç Kaynağı
- 2) 24 V DC Dağıtım Klemensi
- 3) PLC CPU 224 İşlemci
- 4) Analog Giriş Modülleri
- 5) AC Akım Konvertör Grubu
- 6) AC Gerilim Konvertör Grubu
- 7) DC Gerilim Konvertör Grubu
- 8) Klemens Grubu
- 9) DC Akım Şönt Grubu

6.2 PLC Veri İzleme ve Takip Sisteminin Kurulumunda Karşılaşılan Sıkıntılar

Sabit ve Hareketli Fotovoltaik panellere ait Şarj Regülatörlerinin voltajlarını takip edebilmek için 0-100 V DC girişleri, 0-10 V arası DC gerilime çeviren Elimko marka konvertörler kullanılarak, konvertör çıkışlarının Siemens EM235 Analog girişlere Şekil 6.4'de gösterildiği gibi bağlantıları yapılmıştır.

Güneş ışınlarının PV panellere sürekli olarak değişken değerlerde ulaşması ve buna bağlı olarak da sabit gerilim değerleri oluşturamaması nedeni ile, PLC den izlenen gerilim değerlerini takip ederken çok yüksek miktarlarda salınımlar gözlenmiştir. Salınımları giderebilmek amacıyla EM235 analog modül ile Elimko konvertörlerden gelen işaretlerin (-) leri Şekil 6.7'de görüldüğü gibi köprülenmiştir.

Sabit ve Hareketli panellere ait Şarj Regülatörlerinin aküyü beslemesi sırasında çekmiş olduğu ve 5 kW Inverterin girişindeki DC akım bilgilerinin izlenmesi amacıyla Şekil 6.4'deki çizime uygun bağlantılar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.7 DC Gerilim İzleme Sisteminde Salınım Sorununun Giderilmesi

DC akım izlemesi sırasında 60 A için 100 mV çıkış veren Şönt dirençler kullanılmıştır. 100 mV gibi hassasiyet derecesi çok fazla olan, çok küçük genliğe sahip bir işaretin izlenmesinde;

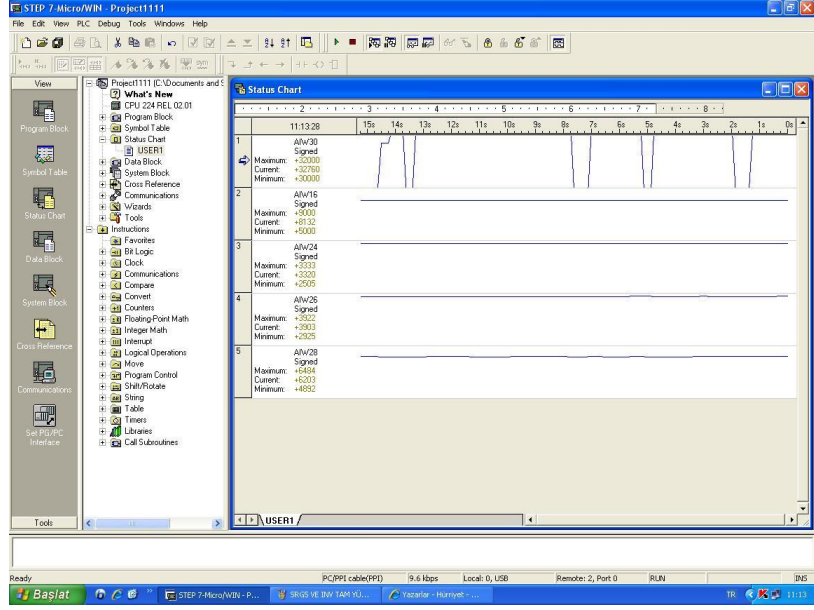
- Salınım,
- Veriyi doğru ölçememe,
- Ölçülen verinin hızlı değişimi,
- Şarj regülatörü çıkışının PWM dalgası üretmesinden dolayı

ölçülecek işaretin 0-100 mV aralığında çok sık değişim göstermesi,

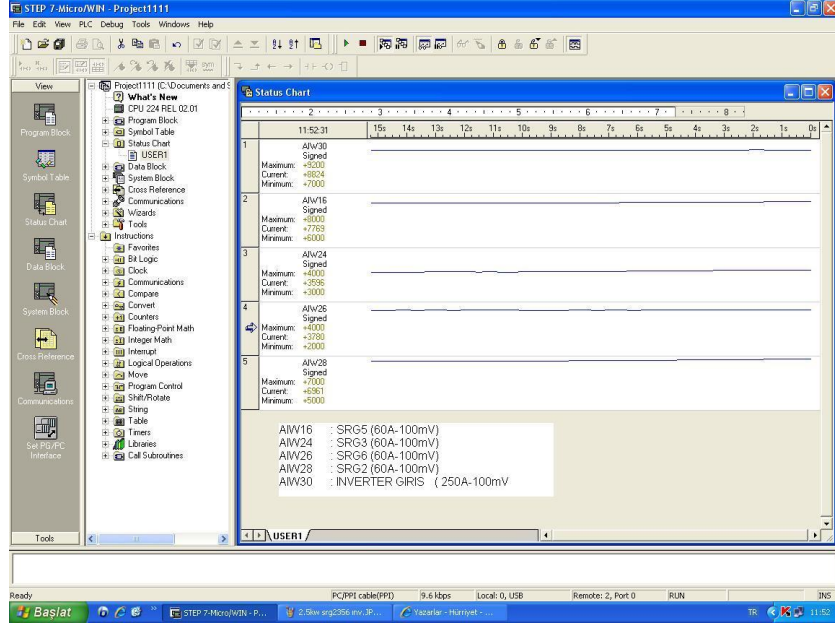
gibi problemler ile karşılaşmıştır. Detaylı araştırmalar yapılmasına rağmen literatürde DC akım izleme sistemi ile ilgili yapılmış çalışmalara rastlanmadığından yeterli yönlendirilme yapılamamıştır. DC akım takibinde şönt seçimi özgün metod olarak tercih edilmiştir. İzlemek istediğimiz DC akımın, aküyü şarj etmekte olan Şarj Regülatörü çıkışı olması sebebiyle işaretin lineerliğinin sağlanması güçlük teşkil etmiştir. Arızalı olduğu düşünülen EM235 analog modüller yenisi ile

değiştirilmesine rağmen DC akım izlemede sorunlar giderilememiştir. Siemens teknik destek hattı ve Bayileri ile yapılan görüşmelerden tam anlamıyla sonuç alınamamış, harici güç kaynağından iletilen 0-100 mV arası işaretleri sorunsuz izleyebilmemiz nedeniyle modüllerin arızalı olmadığı kanaatine varılmıştır. Şönt çıkışından elde edilen 0-100 mV işareti 0-10 V a yükseltme amacıyla OP-Amp lı amplifikatör devresi üzerinde çalışılmış, Şarj Regülatörü karakteristiğinden dolayı kararlılık elde edilememiştir. Bunun yerine aynı işlemi gerçekleştirebilecek konvertör araştırılmıştır. Maliyeti yükseltmemek amacıyla mevcut şartlarda çözüm arayışına devam edilmiştir.

Salınımları giderebilmek amacıyla DC voltaj izleme sistemindeki salınımların engellendiği uygulamanın aynısı gerçekleştirilmiş, yani EM235 analog modül ile Şönt dirençlerden gelen işaretlerin (-) leri köprülenerek salınımlar önlenmeye çalışılmış, fakat bu köprüleme sonucunda sinyal kablolarında aşırı ısınma meydana gelerek riskli durumlar oluşmuştur. DC Şönt çıkışındaki işaretin 100 mV gibi hassas bir değer olmasının yanında, Şarj Regülatörlerinden PWM olarak akü gibi bir yükün şarj edilmesinden dolayı işaretin lineer olmaması sorununu gidermek için 2.5 mm² kesitinde blendajlı kablo, üzerinden akım geçen kabloların oluşturacağı manyetik alan etkisinden uzaklaştırılmak amacıyla ayrı kanallardan PLC modüllerine taşınmıştır. Yüke dengeli akım akması şartlarında yani şarj regülatörlerinden aküye düzenli şarj durumlarında salınım görülmemektedir. Şekil 6.8'de salınım probleminin çözümlenmeden önce PLC' den okunan salınım hata grafiği, Şekil 6.9'da ise salınım problemi çözüldükten sonra PLC' den okunan hatasız grafik görülmektedir.



Şekil 6.8 PLC Salımm Hata Grafiği



Şekil 6.9 PLC Hatasız Grafik

PLC veri takip sistem kurulumu sırasında karşılaşılan tüm problemler çözümlendikten sonra sistemden veriler sağlıklı bir şekilde alınmaya başlanmıştır.

7. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

7.1 Genel

Enerji, iş ya da iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Ekserji ise iş ya da iş üretebilme kabiliyetidir. Enerji bir proseste daima korunabilirken, ekserji ise sadece tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde tersinmezlikler nedeni ile tüketilmektedir(Özgener ve Hepbaşı, 2003).

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik (ekserji) diye adlandırılır. Ekserjinin, bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş olarak düşünülmemesi gerekir. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını belirler. Bir sistemin kullanılabilirliğiyle yaptığı iş arasında küçük veya büyük bir fark her zaman vardır. Bu fark mühendisler için daha iyinin sınırlarını çizer. Verilen bir halde sistemin ekserjisi, sistemin özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarına, başka bir deyişle ölü hale bağlıdır. Bu bakımdan ekserji sadece sistemin değil, sistem çevre ikilisinin bir özeliğidir. Çevreyi değiştirmek kullanılabilirliği artırmanın bir yolu olabilir, fakat kolay bir yol olmadığı açıktır (Çengel ve Boles, 1996).

Termodinamik açıdan ekserji; bir referans çevre ile denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Enerjiden farklı olarak, ekserji; ideal veya tersinir prosesler hariç korunum yasasına uymaz. Ekserji daha çok, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler nedeni ile tüketilir ya da yok edilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeni ile ortaya çıkan entropi ile orantılıdır(Dinçer, 2002).

Ekserji, en kısa ifade ile kullanılabilir enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Ekserji aynı zamanda, verilmiş bir durumda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji miktarının bir ölçüsü de olmaktadır.

Ekserji analizi yapmak birçok açıdan önem taşımaktadır, bunlardan bazıları(Dinçer, 2002);

- Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde çok önemli bir araçtır.
- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için Termodinamiğin İkinci Yasası ile birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- Daha fazla verimli kaynak kullanımını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlamak için etkili bir tekniktir.
- Sürdürülebilir gelişme için anahtardır.
- Enerji politikalarının oluşturulmasında kullanılacak önemli bir araçtır.

Dinçer (2002), enerji ve ekserji kavramlarını Tablo 7.1’de karşılaştırmıştır;

Tablo 7.1 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (Dinçer, 2002)

Enerji	Ekserji
Sadece madde ya da enerji akışı parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametrelere bağlı değildir.	Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisine bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerler alır.	Çevre ile dengede iken ölü halde yani sıfıra eşittir.
Tüm prosesler için Termodinamiğin 1. Yasası ile gösterilir.	Sadece tersinir prosesler için Termodinamiğin 1. Yasası ile gösterilir, tersinmez proseslerde kısmen ya da

	tamamen yok olur.
Tüm prosesler için, tersinir olanlar da dahil olmak üzere Termodinamiğin 2. Yasası ile sınırlıdır.	Termodinamiğin 2. Yasası nedeni tersinir prosesler için sınırlı değildir.
Bir proseste her zaman korunur, yoktan var edilemez, vardan yok edilemez.	Tersinir proseslerde her zaman korunur, ama tersinmez proseslerde her zaman tüketilir.
Miktarın bir ölçüsüdür.	Miktarın ve entropi nedeni ile niteliğin bir ölçüsüdür.
Hareket ya da hareketi üretme kabiliyetidir.	İş ya da iş üretme kabiliyetidir.

7.2 Ekserji Analizi Denklemleri

Enerji kaynaklarının doğru ve verimli kullanımları Termodinamiğin 1. ve 2. yasaları ile belirlenir. Ekserji, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Ekserji, tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerji oranını göstermektedir. Bir sistemin ekserji analizini yapabilmek için sistemin potansiyel ve kinetik ekserjileri, fiziksel ve kimyasal ekserjileri ve de ölü hal kavramları belirlenmelidir.

7.2.1 Ölü hal

Sistem çevre ile dengede ise sistem ölü haldedir. Ölü halde, sistem, çevre ile mekanik ve ısı dengededir ve çevre ile kimyasal reaksiyona girmez. Bu durumda sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel ekserjileri de sıfırdır. Denklem 7.1'deki gibi ekserji; fiziksel, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserjilerin toplamına eşittir.

$$ex = ex^{fiz} + ex^{kim} + ex^{kin} + ex^{po} \quad (7.1)$$

7.2.2 Ekserji bileşenleri

7.2.2.1 Fiziksel ekserji

Sistem çevre ile termodinamik denge haline getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş, sistemin fiziksel ekserjisi olarak tanımlanır ve Denklem 7.2 ile ifade edilir:

$$ex^{fiz}=(h-h_0)-T_0(s-s_0) \quad (7.2)$$

Burada h, T ve s sırasıyla, entalpi, sıcaklık ve entropidir. “0” indisi ise çevre şartlarını ifade etmektedir.

7.2.2.2 Kimyasal ekserji

Bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişinden dolayı yaptığı maksimum işe kimyasal ekserji adı verilir. Bazı uygun çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler, standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ($T_0=25^{\circ}\text{C}=298\text{ K}$) ve basıncına ($P_0=1\text{ bar}$) bağlıdır(Yılancı, 2008).

Kimyasal proseslerde N adet gazdan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserji ifadesi Denklem 7.3 ile hesaplanabilir:

$$ex^{ch} = \sum_{i=1}^N x_i ex_{0,i}^{ch} + \tilde{R}T_0 \sum_{i=1}^N ex_0^{ch} \ln x_i \quad (7.3)$$

7.2.2.3 Ekserji yıkımı

Ekserji kaybı veya tersinmezlik, net entropi değişimi ile çevre sıcaklığının çarpımına eşittir ve Denklem 7.4 ile ifade edilir.

$$\delta\Gamma = T_0 \sum \Delta S = T_0 \Delta S_{net} \quad (7.4)$$

Bu denkleme “Ekserji Kaybı Yasası” veya “Gouy-Stodola Yasası” adı verilir ve ekserji kaybı Denklem 7.5 ile ifade edilen, tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan kayıp işe eşittir.

$$\delta\Gamma = \delta W_{kay} \quad (7.5)$$

7.2.3 Ekserji ve termodinamik denklik bağıntıları

Düzgün akışlı, kararlı, açık bir sistemin kütle, enerji, ekserji ve entropi dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir(Sahin ve diğ., 2007):

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\zeta = 0 \quad (7.6)$$

$$\sum_g en_g \dot{m}_g - \sum_\zeta en_\zeta \dot{m}_\zeta + \sum_k \dot{Q}_k - \sum \dot{W} = 0 \quad (7.7)$$

$$\sum_g s_g \dot{m}_g - \sum_\zeta s_\zeta \dot{m}_\zeta + \sum_k \frac{\dot{Q}_k}{T_k} - \dot{S}_{gen} = 0 \quad (7.8)$$

$$\sum_g ex_g \dot{m}_g - \sum_\zeta ex_\zeta \dot{m}_\zeta + \sum_k \dot{E}x^Q - \sum \dot{E}x^W - T_0 \dot{S}_{gen} = 0 \quad (7.9)$$

Denklemlerde yer alan;

\dot{m}_g : Sisteme giren kütleli debi (kg/s)

\dot{m}_ζ : Sistemden çıkan kütleli debi (kg/s)

ex_g : Sisteme giren özgül ekserji (J/kg)

ex_ζ : Sistemden çıkan özgül ekserji (J/kg)

\dot{Q}_k : Sistem sınırlarına “k” çevresinden gerçekleşen ısı transferi (W)

\dot{W} : Sistemden elde edilen güç (W)

$\dot{E}x^W$: \dot{W} gücüne bağlı ekserji akışı (W)

$T_0 \dot{S}_{gen}$: Tersinmezlik oranı (W)

ifade etmektedir.

7.3 Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Ekserji Analizi

Hibrit enerji üretim sistemi elemanlarından güneş pili panelleri, elektrolizör ve yakıt pili sistemlerinin enerji ve ekserji verimi denklemleri bu bölümde yer almaktadır. Sistemin diğer elemanları olan şarj regülatörleri, invertörler ve aküler, elektrik enerjisini sadece kullanan cihazlar olduğu için enerji ve ekserji verimleri eşit olmaktadır.

7.3.1 Güneş pili panellerinin ekserji analizi

Bir güneş pili paneli sisteminde kontrol hacmine herhangi bir kütle giriş çıkışı olmadığı için bu durum Denklem 7.10 ile ifade edilir:

$$m_g = m_ç \quad (7.10)$$

Kontrol hacmine kütle giriş çıkışı olmadığından, başlangıç ve bitiş kütleleri sabit ve eşit olmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, güneş pili panelinin ekserji dengesi Denklem 7.11'deki gibi ifade edilir:

$$\sum \dot{E}x^w - \sum \dot{E}x^o + T_0 \dot{S}_{gen} = 0 \quad (7.11)$$

$\sum \dot{E}x^o$ şeklinde ifade edilen termal ekserji, güneş ekserjisi ve ısı kaybı ekserjisinin toplamına eşittir. Güneş pili panellerine ulaşan güneş enerjisinin sebep olduğu panellere gelen ekserji transferi Denklem 7.12 ile hesaplanabilmektedir:

$$\dot{E}x_{Q,solar} = S_T A \left(1 - \frac{T_{çevre}}{T_{güneş}} \right) \quad (7.12)$$

S_T : Güneş pili panellerinin yüzeyine düşen güneş ışınımı miktarı (W/m^2)

A : Güneş pili panellerinin efektif yüzey alanı (m^2)

$T_{çevre}$: Çevre sıcaklığı (K)

$T_{güneş}$: Güneşin sıcaklığı olup hesaplamalarda yaklaşık 6000 K alınır(Würfel, 2005)

Güneş pili panellerine gelen güneş ekserjisi ifadesi Petela (2003) tarafından farklı bir şekilde Denklem 7.13 ile ifade edilmektedir:

$$\dot{E}x_{Q,solar} = S_T A \left(1 - \frac{4 T_{\text{çevre}}}{3 T_{\text{güneş}}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{güneş}}} \right)^4 \right) \quad (7.13)$$

Panellerden çevreye transfer edilen ısının yarattığı ısı kaybı ekserjisi diğer bir ifade ile ekserji yıkımı Denklem 7.14 ile hesaplanabilmektedir:

$$\dot{E}x_{Q,kayıp} = U_L A (T_{\text{hücre}} - T_{\text{çevre}}) \left(1 - \frac{T_{\text{çevre}}}{T_{\text{hücre}}} \right) \quad (7.14)$$

U_L : Isı kayıp katsayısı (W/m²K)

Isı kayıp katsayısı Denklem 7.15 ile hesaplanabilmektedir:

$$U_L = h_{\text{konv}} + h_{\text{rad}} \quad (7.15)$$

h_{konv} ile gösterilen ısı taşınım katsayısı Denklem 7.16 ile hesaplanabilmektedir(Sarhaddi, 2009):

$$h_{\text{konv}} = 2.8 + 3V_w \quad (7.16)$$

V_w : Rüzgar hızı (m/s)

PV paneller ile çevre arasındaki ışıınım katsayısı Denklem 7.17 ile hesaplanmaktadır:

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon_g \sigma (T_{\text{gökyüzü}} + T_{\text{hücre}}) (T_{\text{gökyüzü}}^2 + T_{\text{hücre}}^2) \quad (7.17)$$

ε_g : PV panel emisivitesi

σ : Stefan-Boltzmann sabiti (5.67x10⁻⁸ J/s.m²K⁴)

Panel emisivitesi, polikristal tipi PV paneller için 0.89 olarak kabul edilmektedir(Acciani, 2010). Efektiv gökyüzü sıcaklığı ($T_{\text{gökyüzü}}$) Denklem 7.18 ile hesaplanmaktadır:

$$T_{\text{gökyüzü}} = T_{\text{çevre}} - 6 \quad (7.18)$$

Güneş pili panelinden gerçekleşen ekserji transferi, PV modül tarafından üretilen maksimum elektrik olarak Denklem 7.19 ile hesaplanabilmektedir(Joshi, 2009):

$$\sum \dot{W} = V_{mp} I_{mp} \quad (7.19)$$

Kontrol hacmindeki başlangıç ve bitiş kütlelerinin ekserji değişimi Denklem 7.20 ile hesaplanabilmektedir:

$$\dot{E}x_{g,s} - \dot{E}x_{g,b} = \frac{m_{PV,hücre} C_{p,hücre}}{\Delta t} \left(T_{hücrel} - T_{çevre} - T_{çevre} \ln \left(\frac{T_{hücre}}{T_{çevre}} \right) \right) - (I_{sc} V_{oc} - I_{mp} V_{mp}) \left(\frac{T_{hücre}}{T_{güneş}} \right) \approx 0 \quad (7.20)$$

Denklem 7.20'nin sağ tarafındaki ilk terim; fiziksel ekserji değişimini, ikinci terim ise PV modüldeki kimyasal değişimden kaynaklanan ekserji değişimini ifade etmektedir. Her iki terim de hemen hemen birbirine eşittir ve bu sebeple iki terimin toplamı yaklaşık sıfırdır.

Bir güneş pili panelinin ekserji verimi; sistemden gerçekleşen ekserjinin, sisteme gerçekleşen ekserjiye oranına eşittir. Denklem 7.21'de sistemden gerçekleşen ekserji ifadesi yer almaktadır(Joshi, 2009):

$$\dot{E}x_{ç} = I_{mp} V_{mp} - \left(1 - \frac{T_{ç}}{T_{hücre}} \right) \left[h_c A (T_{hücre} - T_{ç}) \right] \quad (7.21)$$

Güneş pili panellerine ulaşan güneş enerjisi, panellere gerçekleşen ekserji transferini Denklem 7.22'de gösterildiği gibi ifade etmektedir(Joshi, 2009):

$$\dot{E}x_g = S_T A \left(\left(1 - \frac{T_{ç}}{T_{güneş}} \right) \right) \quad (7.22)$$

Denklem 7.13 ile 7.22 arasındaki denklemler kullanılarak güneş pili panelleri için ekserji verimi Denklem 7.23'deki gibi hesaplanabilmektedir(Joshi, 2009):

$$\psi_{PV} = \frac{I_{mp} V_{mp} - [h_c A (T_{hücre} - T_{\zeta})] \left(1 - \frac{T_{\zeta}}{T_{hücre}}\right)}{S_T A \left(1 - \frac{T_{\zeta}}{T_{güneş}}\right)} \quad (7.23)$$

7.3.2 Elektrolizörün ekserji analizi

PEM tipi bir elektrolizörde suyun elektrolizörü aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:



Bir elektrolizörün ekserji dengesi Denklem 7.24 ile ifade edilmektedir:

$$\sum_{\zeta} ex_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} - \sum_g ex_g \dot{m}_g - \sum_g \dot{W} - T_0 \dot{S}_{gen} = 0 \quad (7.24)$$

Kimyasal reaksiyona dayanan elektrolizöre giren ve çıkan ekserji Denklem 7.25-7.27'deki gibi formüle edilmektedir:

$$\sum_{\zeta} ex_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} = \dot{m}_{H_2} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{H_2} + \dot{m}_{O_2} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{O_2} \quad (7.25)$$

$$\sum_g ex_g \dot{m}_g = \dot{m}_{H_2O} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{H_2O} \quad (7.26)$$

$$\sum_g \dot{W} = \dot{W}_{EL} \quad (7.27)$$

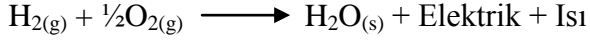
Elektrolizörün ekserji verimi Denklem 7.28 ve 7.29'daki gibi tepkime ürünlerinin ekserjisinin elektrolizörün ihtiyaç duyduğu güce oranı ile bulunmaktadır:

$$\psi_{EL} = \frac{\sum_{\zeta} ex_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} - \sum_g ex_g \dot{m}_g}{\sum_g \dot{W}} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{gen}}{\sum_g \dot{W}} \quad (7.28)$$

$$\psi_{EL} = \frac{\dot{m}_{H_2} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{H_2} + \dot{m}_{O_2} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{O_2} - \dot{m}_{H_2O} (ex^{fiz} + ex^{kim})_{H_2O}}{\dot{W}_{EL}} \quad (7.29)$$

7.3.3 Yakıt pili sisteminin ekserji analizi

PEM tipi yakıt pillerinde elektrik üretimi aşağıdaki reaksiyon sonucu gerçekleşmektedir:



Elektrik üretimi sırasında yakıt pili sisteminde üretilen ısı, taşınım ve ışınım yolu ile sistem sınırlarından çevreye atılmaktadır. Denklem 7.30 ile, tek bir hücrenin gerilim hesabı için belirli bir akım yoğunluğunda net çıkış gerilimi hesaplanabilmektedir(Barbir 2005):

$$V(i) = v_{\text{tersinir}} - v_{\text{tersinmezlik}} \quad (7.30)$$

$$v_{\text{tersinir}} = E = \text{Tersinir Hücre Gerilimi} = \text{Maksimum Hücre Gerilimi}$$

$$v_{\text{tersinmezlik}} = \text{Hücredeki Gerilim Düşümü}$$

Maksimum hücre gerilimi, reaksiyona girenler ve ürünler arasında enerji dengesi yazılarak Nernst denkleminde, Denklem 7.31 ile hesaplanabilmektedir(Ay ve diğ., 2006):

$$E = 1.229 - 8.5 \times 10^{-4}(T_{YP} - 298.15) + 4.3085 \times 10^{-5} T_{YP} [\ln(p_{H_2}) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2})] \quad (7.31)$$

$$T_{YP} : \text{Yakıt pilinin çalışma sıcaklığı (K)}$$

$$p_{H_2} : \text{H}_2 \text{ gazının kısmi basıncı (Bar)}$$

$$p_{O_2} : \text{O}_2 \text{ gazının kısmi basıncı (Bar)}$$

ifade etmektedir.

Hidrojen ve oksijen gazlarının kısmi basınçları Denklem 7.32 ve 7.33 ile hesaplanabilir:

$$p_{H_2} = x_{H_2} P_A \quad (7.32)$$

$$p_{O_2} = x_{O_2} P_C \quad (7.33)$$

$$x_{H_2} : \text{Hidrojenin mol oranı}$$

$$x_{O_2} : \text{Oksijenin mol oranı}$$

P_A : Anod basıncı (Bar)

P_C : Katod basıncı (Bar)

Hidrojen ve oksijen gazlarının mol oranları Denklem 7.34 ve 7.35 ile hesaplanabilir(Haraldsson ve Wipke, 2004):

$$x_{H_2} = \frac{1 - x_{H_2O,A}}{1 + \left(\frac{x_A}{2}\right) \left(1 + \frac{\zeta_A}{\zeta_A - 1}\right)} \quad (7.34)$$

$$x_{O_2} = \frac{1 - x_{H_2O,C}}{1 + \left(\frac{x_C}{2}\right) \left(1 + \frac{\zeta_C}{\zeta_C - 1}\right)} \quad (7.35)$$

x_{H_2O} ; Anod ve katoddaki suyun mol oranı

x_A : Anoddaki kuru gaz mol oranı

x_C : Katoddaki kuru gaz mol oranı

ζ : Anod ve katod stokiyometrilere

Anod ve katoddaki suyun mol oranı Denklem 7.36 ve 7.37 ile hesaplanabilir(Rowe ve Li, 2001):

$$x_{H_2O,A} = \frac{P_{sat}}{P_A} \quad (7.36)$$

$$x_{H_2O,C} = \frac{P_{sat}}{P_C} \quad (7.37)$$

P_{sat} : Suyun yakıt pili çalışma sıcaklığındaki doyma basıncı (atm)

$$P_{sat} = 10^{-2.1794 + 0.02953 \times (T_{FC} - 273) - 9.1837 \times 10^{-5} \times (T_{FC} - 273)^2 + 1.4454 \times 10^{-7} \times (T - 273)^3} \quad (7.38)$$

Toplam gerilim kayıpları veya düşümleri; aktivasyon, ohmik ve konsantrasyon gerilim kayıplarının toplamına eşittir ve Denklem 7.39 ile hesaplanabilir:

$$v_{tersinmezlik} = v_{akt} + v_{ohmik} + v_{kon} \quad (7.39)$$

Anod ve katod aktivasyon kayıplarının bulunmasında Tafel denklemleri kullanılmaktadır. Aktivasyon kayıpları; elektrod yüzeylerindeki kimyasal reaksiyon hızının yavaşlığından kaynaklanmaktadır. Denklem 7.40'da anoddaki aktivasyon gerilim kayıpları Denklem 7.41'de katoddaki aktivasyon gerilim kayıpları hesaplanabilmektedir:

$$V_{act,A} = \frac{RT_{FC}}{\alpha_A nF} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (7.40)$$

$$V_{act,C} = \frac{RT_{FC}}{\alpha_C nF} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (7.41)$$

R : Universal gaz sabiti

α : Anod ve katoddaki transfer katsayıları

F : Faraday sabiti

i : Akım yoğunluğu

i_0 : Akım değişim yoğunluğu

ifade etmektedir.

Akım değişim yoğunluğu(i); anod ve katod için hücre çalışma sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak Denklem 7.42 ve 7.43 ile hesaplanabilmektedir(Barbir, 2005; Spiegel, 2007):

$$i_{o,A} = i_{o,A}^{ref} \left(a_{catalyst} L_{catalyst} \right)_A \left(\frac{P_{H_2}}{P_o} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[- \frac{(E_C)_{H_2}}{RT_{FC}} \left(\frac{T_o - T_{FC}}{T_o} \right) \right] \quad (7.42)$$

$$i_{o,C} = i_{o,C}^{ref} \left(a_{catalyst} L_{catalyst} \right)_C \left(\frac{P_{O_2}}{P_o} \right) \exp \left[- \frac{(E_C)_{O_2}}{RT_{FC}} \left(\frac{T_o - T_{FC}}{T_o} \right) \right] \quad (7.43)$$

$i_{o,A}^{ref}$: Anoddaki referans sıcaklık ve basınçtaki referans akım değişim yoğunluğu

$i_{o,C}^{ref}$: Katoddaki referans sıcaklık ve basınçtaki referans akım değişim yoğunluğu

$a_{catalyst}$: Katalizin spesifik alanı ($cm^2/mgPt$)

$L_{catalyst}$: Katalize platinyum yükleme miktarı ($mgPtcm^{-2}$)

$(E_C)_{H_2}$: Hidrojenin oksidasyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi ($kJmol^{-1}$)

$(E_C)_{O_2}$: Oksijenin oksidasyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi ($kJmol^{-1}$)

Proton değişim membranının direncinden kaynaklanan ohmik gerilim kayıpları

Denklem 7.44 ve 7.45 ile hesaplanabilmektedir (El-Sharkh, 2004):

$$V_{ohmic} = iR_{ohmic} \quad (7.44)$$

$$R_{ohmic} = \frac{t_{mem}}{\sigma_{mem}} \quad (7.45)$$

R_{ohmic} : Membran direnci

σ_{mem} : Membran iletkenliği

Membran iletkenliği, Denklem 7.46 ile hesaplanabilmektedir (Amphlett ve diğ.,

1995a):

$$\sigma_{mem} = (0.005139\lambda_{mem} - 0.00326) \exp \left[1268 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T_{FC}} \right) \right] \quad (7.46)$$

λ_{mem} : Membran su içeriği

$$\lambda_{mem} = \begin{cases} 0.043 + 17.81a - 39.85a^2 + 36a^3, & 0 < a \leq 1 \\ 14 + 1.4(a - 1), & 1 < a \leq 3 \end{cases} \quad (7.47)$$

Denklem 7.47'de görüldüğü gibi, membran su içeriği membran su aktivitesine(a) bağlı olarak hesaplanabilmektedir(Amphlett vd., 1995a).

Konsantrasyon gerilim kayıpları (V_{conc}), yüksek akım yoğunluklarında yani yakıt pilinden yüksek güç üretimi istendiği durumlarda, reaksiyona girenlerin konsantrasyonunun artması ile meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak konsantrasyon gerilim kaybı Denklem 7.48 ile hesaplanabilmektedir(Amphlett ve diğ., 1995b):

$$V_{conc} = i \left(\beta_1 \frac{i}{i_{max}} \right)^{\beta_2} \quad (7.48)$$

Denklemde yer alan β_1 , literatürde yapılmış çalışmalara göre 2 alınabilir. β_2 ise Denklem 7.49 ile hesaplanabilir:

$$\beta_1 = \begin{cases} \frac{P_{O_2}}{0.1173} + P_{sat} < 2; & (7.16 \times 10^{-4} T_{FC} - 0.622) \left(\frac{P_{O_2}}{0.1173} + P_{sat} \right) + (-1.45 \times 10^{-3} T_{FC} + 1.68) \\ \frac{P_{O_2}}{0.1173} + P_{sat} \geq 2; & (8.66 \times 10^{-5} T_{FC} - 0.068) \left(\frac{P_{O_2}}{0.1173} + P_{sat} \right) + (-1.6 \times 10^{-4} T_{FC} + 0.54) \end{cases} \quad (7.49)$$

Tüm bu formülasyonlar sonucunda tek bir hücrenin gücü Denklem 7.50 ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{W}_{YP} = V(i) \times i \quad (7.50)$$

Yakıt pili dizininin güç hesabı için Denklem 8.51 kullanılmaktadır:

$$\dot{W}_{YPdizin} = V(i) \times i \times N_{hücre} \times A_{hücre} \quad (7.51)$$

$N_{hücre}$: Dizini oluşturan hücre sayısı

$A_{hücre}$: Efektif hücre alanı

Yakıt pili dizininin enerji veriminin hesabı için Denklem 7.52 kullanılmaktadır.

$$\eta_{enerji,sistem} = \frac{\dot{W}_{net}}{(HHV_{H_2} \cdot \dot{m}_{H_2})_{in}} \quad (7.52)$$

W_{net} : Yakıt pilinin ürettiği net güç

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{YP,dizin} - \dot{W}_{komp} - \dot{W}_{fan} \quad (7.53)$$

Denklem 7.53 ile hesaplanabilen yakıt pili sisteminin ürettiği net güç içinde sisteme oksidant havayı sağlayan kompresörün ve soğutma havasını sağlayan fanın gücü de bulunmaktadır ve bu sebeple dizin gücünden çıkarılarak net güç hesaplanmaktadır.

Sonuç olarak yakıt pili sisteminin ekserji verimi Denklem 7.54 ile hesaplanmaktadır:

$$\psi_{FC} = \frac{\dot{W}_{output}}{\dot{E}_{H_2} + \dot{E}x_{air}} \quad (7.54)$$

Elektrolizör ve yakıt pilinde gerçekleşen reaksiyonlarda giren ve çıkan ürünlerin standart kimyasal ekserjileri Tablo 7.2'de yer almaktadır.

Tablo 7.2 Reaksiyona giren ve çıkanların standart kimyasal ekserjileri(Kotas, 1985; Url-4, 2009)

Giren/Ürün	Kütle oranları, x_i	Standart kimyasal ekserjiler, ex_0^{ch} (kJ/kg)
Havanın bileşenleri		
O ₂	0.207	124
N ₂	0.775	25.71
H ₂ O	0.018	50.55
H ₂	1	118050

8. ELEKTROMANYETİK ALAN ANALİZİ

8.1 Genel

Elektromanyetik dalgalar, birçok doğal ve insan yapımı kaynaklar tarafından yayılmakta ve hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. Elektromanyetik alanın insan sağlığı açısından incelenmesi için radyasyon ve özellikle iyonlaştırıcı – iyonlaştırmayan radyasyon değerleri dikkate alınmaktadır. Radyasyon, madde içine nüfuz edebilen ışın anlamına gelmektedir. Madde içine nüfuz edip atomları iyonlaştırması (elektron koparması) ya da iyonlaştırmamasına göre iki gruba ayrılmaktadır (Sevgi, 2005):

- DC - 300 GHz arası iyonlaştırmayan Elektromanyetik Radyasyon,
- 300 GHz üstü iyonlaştırıcı Nükleer Radyasyon (nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ve gama ışınları gibi).

8.2 Elektrik ve Manyetik Alanlar

Elektrik ve manyetik alanlar elektrikle çalışan her cihazın etrafını saran kuvvet çizgileri olarak tanımlanmaktadır. Gerilim (voltaj) nedeniyle oluşan elektrik alanın birimi volt / metre [V/m] iken elektrik akımının neden olduğu manyetik alan birimi Amper / metre [A/m]' dir.

E : Elektrik Alan [Volt/metre]

H : Magnetik Alan [Amper/metre]

Elektrik alan oluşumu ortamda yüklerin varlığına bağlıdır. Manyetik alan ise yüklerin hareketli olmasıyla (akım akmasıyla) oluşmaktadır. Elektrik alan ortamda bulunan diğer bir yüke uygulanan kuvvet şeklinde açıklanmaktadır. Manyetik alanlar ise ortamdaki hareketli yüklere kuvvet uygulamaktadırlar. Elektrik ve manyetik

alanların hem şiddeti hem de yönü söz konusudur, yani vektörel büyüklüklerdir. Manyetik alan, manyetik akı yoğunluğu (B) şeklinde de isimlendirilmektedir. Manyetik akı yoğunluğunun birimi Tesla [T] veya Weber/m², dir.

$$B = \mu H \quad (8.1)$$

B : Manyetik Akı Yoğunluğu [Weber/m²]

μ : Manyetik Geçirgenlik (Boş uzayda, havada ve canlı dokularda $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ [Newton/Amper²] veya [Henry/m]).

DC manyetik alanlar genel olarak insan üzerinde akım indüklememektedirler. Ancak, güçlü DC manyetik alanların olduğu sanayi kuruluşlarında hareket eden insanlar üzerinde işitme cihazlarını, ya da kalp pillerini olumsuz etkileyebilecek seviyede akım indüklenmektedir. Elektrik enerjisi evlerimize 50 Hz frekanslı AC alanlar şeklinde ulaştırılmaktadır. Zamanla değişen elektromanyetik alanlara maruz kalındığında vücuttaki dokularda enerji yutulmasına ve vücut içi akımların akmasına neden olmaktadır. Dokularda akan akım ile oluşan elektrik alan arasında, σ doku iletkenliği olmak üzere,

$$J = \sigma E [A/m^2] \quad (8.2)$$

ilişkisi vardır.

J : Hacimsel Akım Yoğunluğu [Amper/metre²]

σ : Doku İletkenliği [S/m]

Çevremiz statik (DC) ve dinamik (AC) elektrik ve manyetik alanlarla kuşatılmış durumdadır. Bazı tipik değerler şu şekildedir:

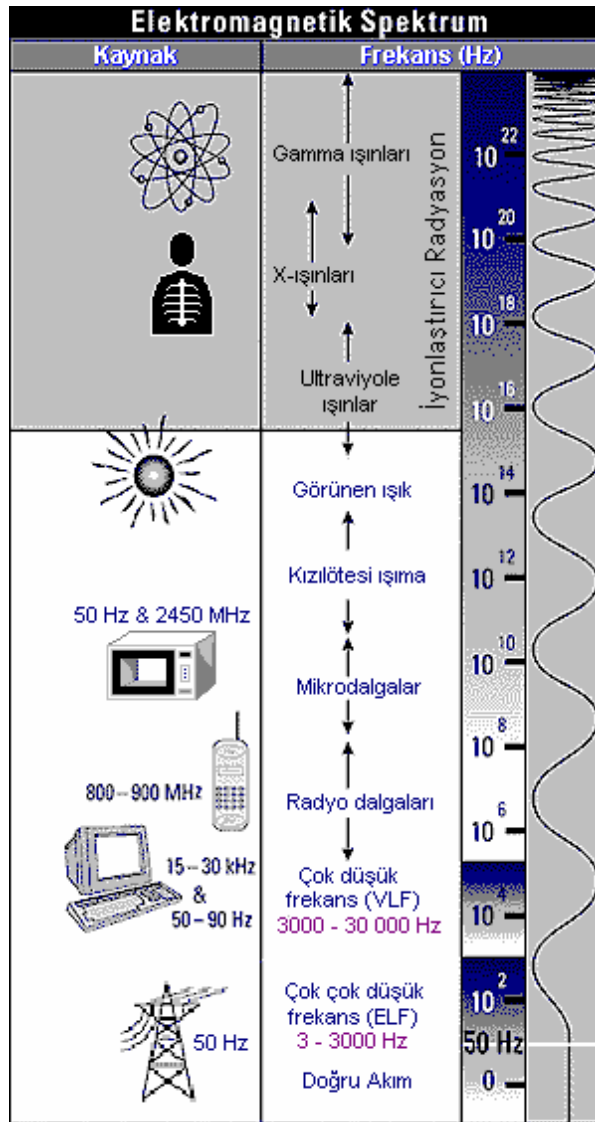
- Normal havada statik (DC) elektrik alan değeri 120-150 V/m değerinde.
- Yağmurlu ve şimşekli havalarda bu değer 10 000 V/m'ye çıkabilir.
- Yeryüzünün DC geomanyetik akısı 0.5 G, AC değeri ise yaklaşık 10⁻⁵ G değerinde.
- Vücudumuzda, kalp bölgesinde 10⁻⁷ G, karın bölgesinde 10⁻⁶ G, ciğerimizde ise 10⁻⁵ G değerlerinde DC manyetik akı söz konusu.
- Elektrikli Traş makinasında bu değer 25 mG, floresan lambalarda 5-10 mG, renkli TV ve bilgisayar ekranında 1-5 mG civarında.

8.2.1 Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum, insan sağlığı söz konusu olduğunda farklı frekanslarda farklı olarak ele alınmaktadır. En önemlileri;

- (i) alçak frekanslar ve yüksek gerilim hatları,
- (ii)gezgin iletişim ve GSM şebekeleri, ve
- (iii)mikrodalga ısıtmadır.

Şekil 8.1' de elektromanyetik spektrum ve ilgili kullanım alanları gösterilmiştir. DC' den 1022 Hz' lere dek uzanan spektrumda 0 Hz – 300 GHz arası iyonlaştırmayan ışınım bölgesi olarak anılmaktadır.



Şekil 8.1 Elektromanyetik Spektrumda Önemli Frekanslar

Elektromanyetik spektrumda

- 3 Hz – 3 kHz arası çok çok düşük frekans bölgesi
- 3 kHz – 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi
- 10^{12} Hz' lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye anılır.
- 10^{12} Hz' ler kızıl ötesi ışımaya bölgesidir. Bütün nesnelere bu frekanslarda ışınım yaparlar.
- Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz' lerdir. Bu frekansların üstü iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup mor berisi, x ve gama ışınları bu bölgededir.

Zamanla değişen elektrik alanlar canlı dokularda elektrik yüklerinin hareketine (akım akmasına), bağlı yüklerin polarizasyonuna (elektiriksel dipol oluşmasına) ve var olan dipollerin yön değiştirmesine neden olmaktadır. Bunların şiddetleri dokuların elektiriksel parametrelerine bağlıdır. İletkenlik σ elektrik akımını, dielektrik sabiti ϵ ise polarizasyon şiddetini belirlemektedir. Uluslararası uzman, bağımsız ve yetkili kuruluşlarca hazırlanan kılavuzlarda frekansa ve dalga şekillerine göre temel büyüklükler şu şekildedir(Sevgi, 2005):

- 10 MHz frekansa kadar temel büyüklük J , akım yoğunluğu [A/m^2]
- 110 MHz frekansa kadar ise I , akım [A]
- 100 kHz ile 10 GHz arasında SAR , özgül soğurma oranı [W/kg]
- 300 MHz ile 10 GHz arasında darbesel işaretler için SA , özgül soğurma [W]
- 10 GHz ile 300 GHz arasında ise güç yoğunluğu [W/m^2].

Elektromanyetik dalgalar frekansa bağlı olarak değişik oranlarda insan vücuduna nüfuz ederek, iki tür etki yaratmaktadırlar; ısı ve ısı olmayan etkiler. Isıl etkiler; insan vücudunda yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır ve bu sıcaklık artması vücutta yutulan ısının vücuttan, kan dolaşımı gibi nedenlerle atılmasıyla dengeleninceye dek sürmektedir. Isıl olmayan etkiler ise kimyasal, biyolojik, genetik ve psikolojik olarak sıralanabilir (Sevgi, 2004).

8.3 Elektromanyetik Etki

Elektrik ve manyetik alanlar elektrikle çalışan her cihazın etrafında meydana gelmektedir. Elektrik alan; eğer ortamda yük bulunuyorsa, manyetik alan ise yüklerin hareketli olması durumunda yani akım akmasıyla meydana gelmektedir. Büyük binalarda, normal ve harmonik frekanstaki akımların bileşkesi, düşük frekanslı manyetik ortam oluşturmaktadır. 2500 Amper'e kadar akım taşıyan iletkenler veya kablolar genellikle trafolarında, ana kumanda odalarının yakınında, yatay ana dağıtım koridorlarında dikey ana dağıtım bölgelerinde yer almaktadır. Çok katlı binalarda en önemli düşük frekanslı manyetik alan kaynakları; yüksek akım kapasiteli güç kabloları ve dağıtım kanallarıdır. Bu ve benzeri bölgelerdeki manyetik alan yoğunluğu Amper Kanunu ile hesaplanmaktadır (Bayrakçı, 1996).

Dengeli akım durumlarında tek fazlı elektrik devreleri için manyetik alan yoğunluğu B , aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (8.3)$$

μ_0 : Boş alan geçirgenliği (T·m/A veya H·m⁻¹)

I : Akım (A)

d : İletkenler arası mesafe (m)

r : Gözlem noktasının uzaklığı (m)

Karşılıklı düz yapılandırılmış üç fazlı elektrik devreleri için manyetik alan yoğunluğu B , aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$B = \frac{\sqrt{3} \mu_0 \cdot I \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (8.4)$$

Yonca şeklinde yapılandırılmış üç fazlı elektrik devreleri için manyetik alan yoğunluğu B , aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$B = \frac{\sqrt{6} \mu_0 \cdot I \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (8.5)$$

Tüm bu denklemler, “r” değerinin “d” değerinden çok büyük olması durumunda geçerlidir.

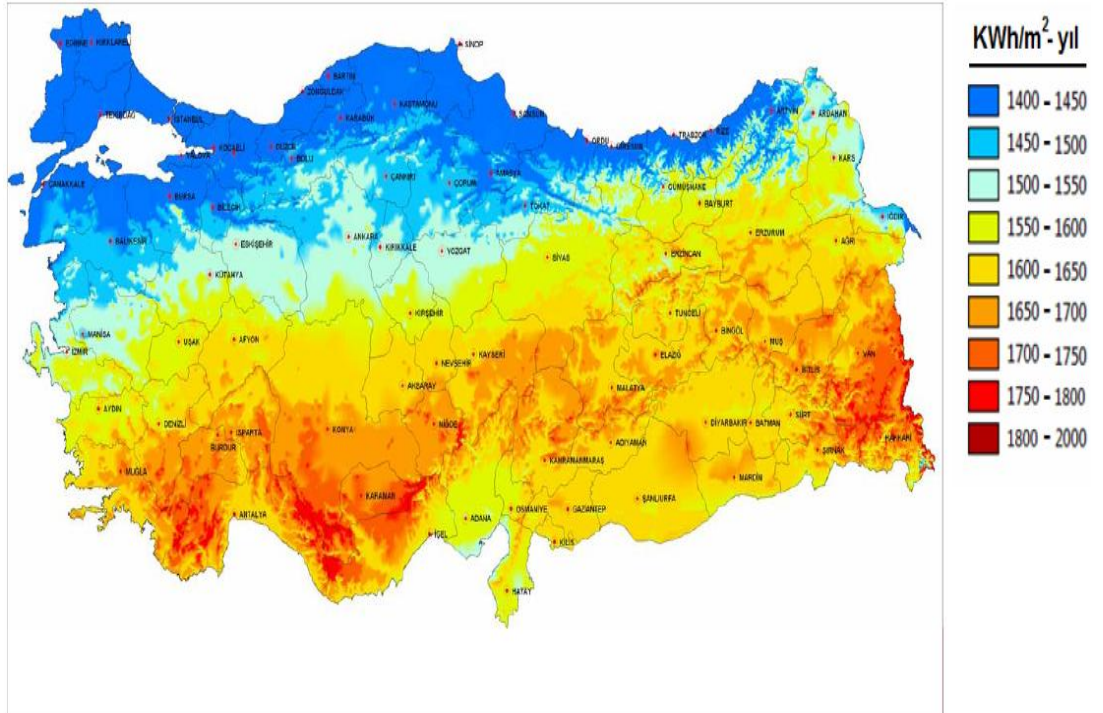
Fotovoltaik sistemlerde, akım taşıyan kablolar ve paneller rezonans devresi oluşturarak düşük frekanslı elektromanyetik alan kaynağı görevini üstlenmektedir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerde yer alan dağıtım panolarının da birer elektromanyetik radyasyon kaynağı olduğu literatürde yer alan çalışmalarda gözlenmiştir.

9. DENEYSSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu çalışmada, sistemde yer alan sistem elemanlarının performanslarının tespiti için deneysel veriler ışığında elemanların enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir ve sistem elemanları çalışırken çevresinde oluşan elektromanyetik alan ölçümleri de yapılarak sistemin sağlık açısından değerlendirilmesi de yapılmıştır.

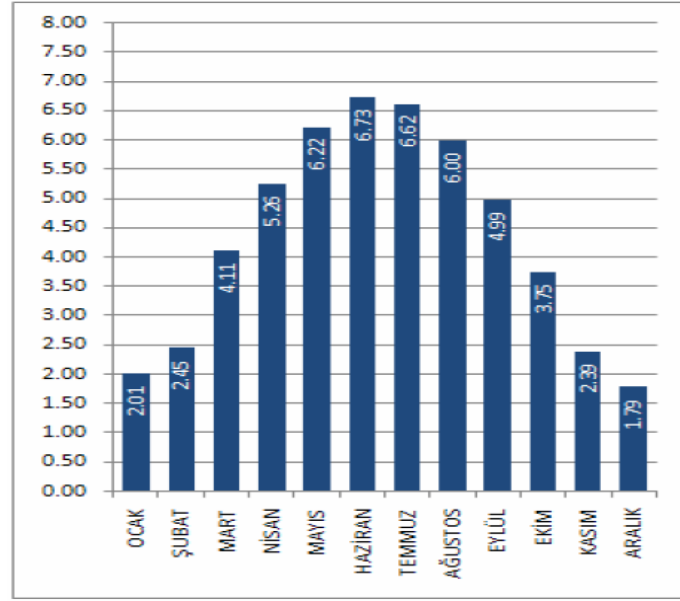
9.1 Güneş Pili Panellerinin Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sistemi'nin yer aldığı Denizli'nin coğrafi konumu $37^{\circ} 46'$ N ve $29^{\circ} 05'$ E şeklindedir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü'nün çalışmalarına göre Türkiye'nin yıllık güneş ışınım dağılımı Şekil 9.1'de yer almaktadır.



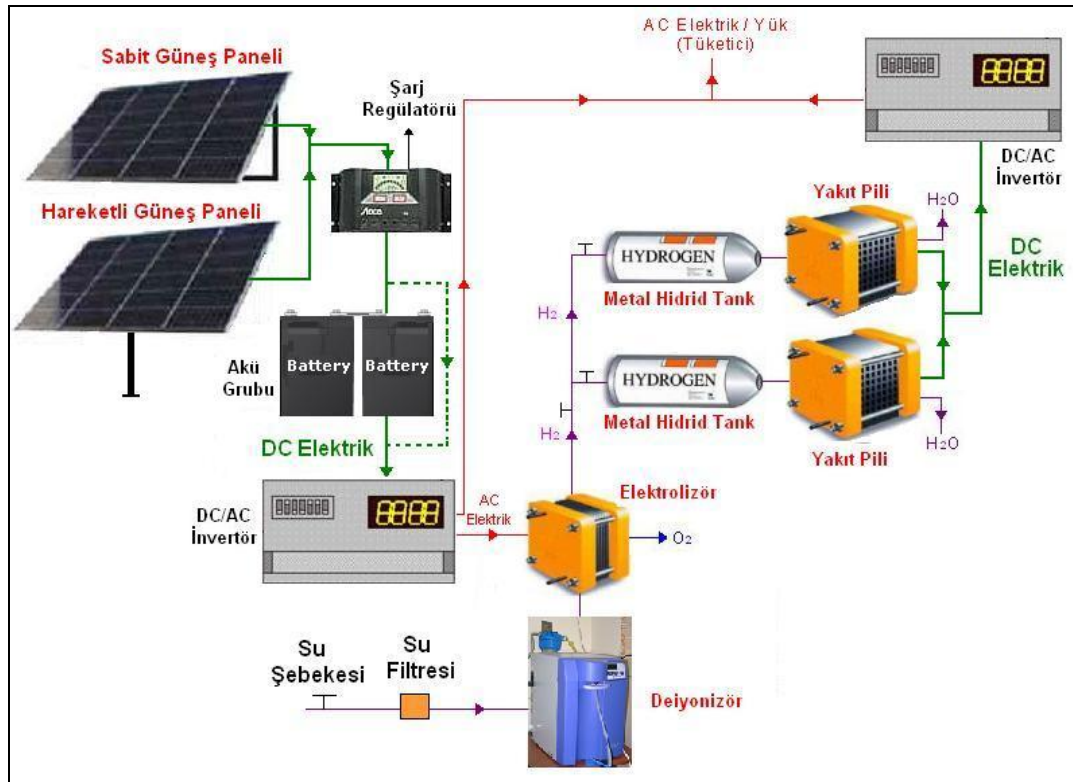
Şekil 9.1 Türkiye'nin Yıllık Güneş Işınım Dağılımı(Url-5, 2010)

Şekil 9.1'de de görüldüğü gibi Denizli, Türkiye'deki güneş ışınımı yüksek iller arasında yer almaktadır. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü'nün



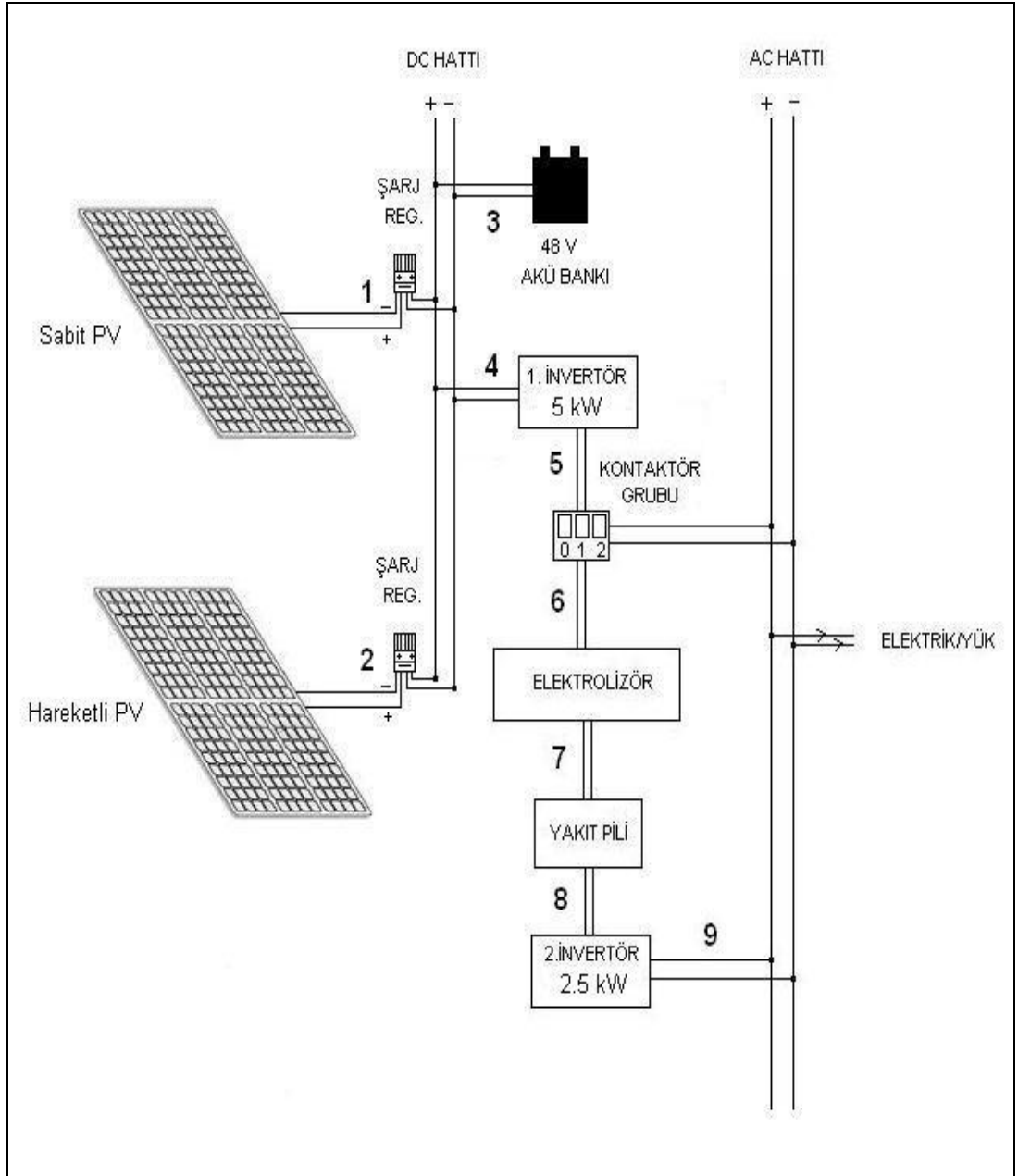
Şekil 9.4 Denizli İli Global Radyasyon Değerleri(kWh/m²-gün) (Url-5, 2010)

Gün içinde birim alana düşen ışınım değerlerinin aylara dağılımına bakıldığında Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında diğer aylara göre oldukça yüksek olduğu Şekil 9.4’de görülmektedir. Yüksek güneş ışınım değerlerinin ölçüldüğü Denizli’de bu yenilenebilir enerji kaynağının elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamak için kurulan sistemin şematik görünümü Şekil 9.5’de yer almaktadır.



Şekil 9.5 Sistemin Şematik Görünümü

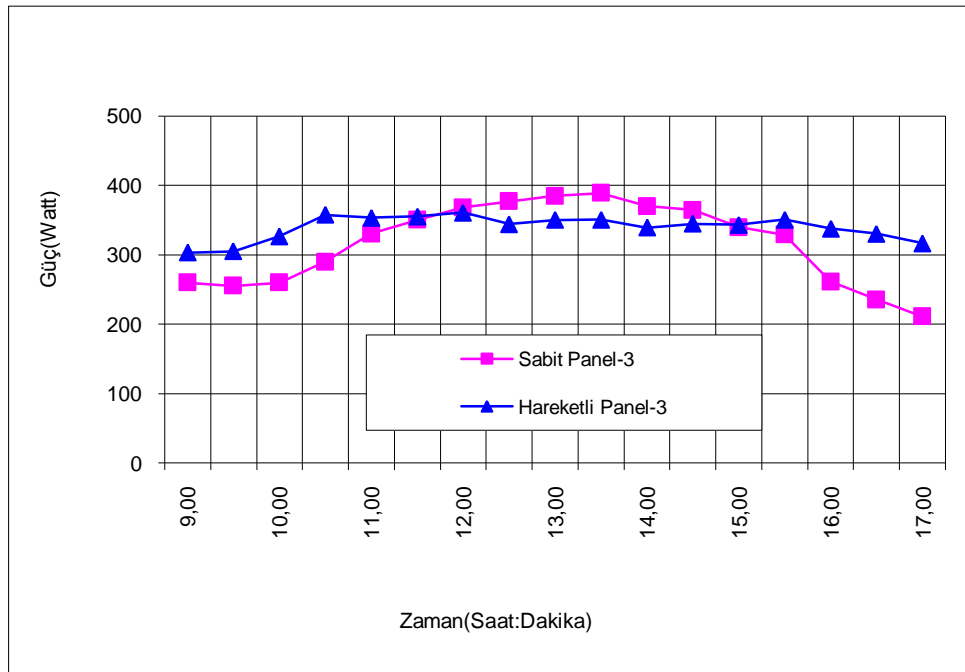
Sistemin performansını belirleyebilmek amacı ile yani enerji ve ekserji analizi için gerekli verileri elde edebilmek için belirli noktalarda PLC Veri Toplama Sistemi tarafından ölçümler yapılmış ve bu ölçümler bilgisayara kaydedilmiştir. performans analizi için gerekli ölçüm noktaları Şekil 9.6'da görülmektedir. Bu noktalarda akım ve gerilim değerleri ölçülmüş ve sistem elemanlarının performansları hesap edilmiştir.



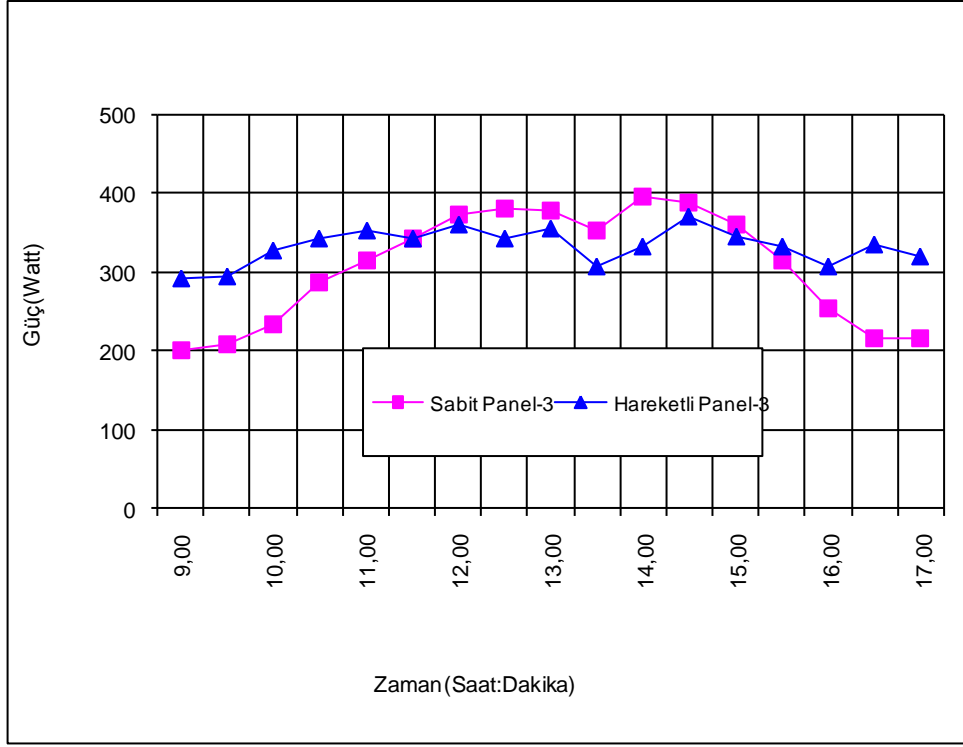
Şekil 9.6 Veri Ölçüm Noktaları

Sistemde yer alan sabit ve hareketli güneş pili panellerinin performanslarının belirlenmesi ve birbiri ile karşılaştırılması için yapılan deneysel çalışmalarda, paneller üzerine düşen güneş ışınımının oluşturduğu akım ve gerilim değerleri PLC Veri Toplama Sistemi tarafından bilgisayara kaydedilmiş, paneller üzerine düşen güneş ışınım değerleri; sabit ve hareketli paneller üzerine aynı açı ile monte edilmiş pyranometreler ile ölçülmüş ve yine PLC Veri Toplama Sistemi tarafından bilgisayara kaydedilmiştir. Performans hesabı için gerekli hava hızı, hava sıcaklığı gibi dış hava verileri Weatherlink yardımı ile ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan panel yüzey sıcaklığı; sabit ve hareketli panel yüzeylerine yerleştirilmiş termocupllar ile ölçülerek, datalogger aracılığı ile bilgisayara kaydedilmesi sağlanmıştır.

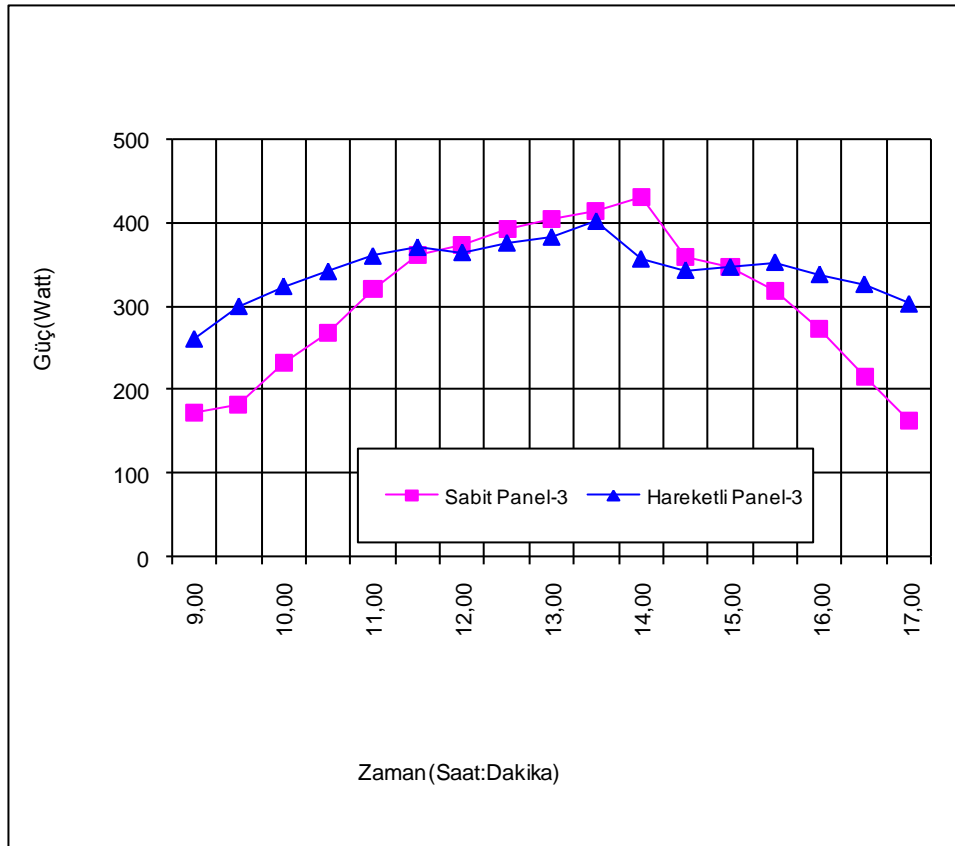
Mayıs ayı hava şartlarında yapılan deneysel çalışmada, sabit panel grubu ve hareketli panel grubundan elde edilen akım ve gerilim değerleri bir hafta boyunca yarım saatlik periyotla takip edilmiştir(Yılancı ve diğ., 2010). Şekil 9.6'daki veri ölçüm noktalarından 1 ve 2 numaralı noktalarda ölçülen sabit ve hareketli panellerin ürettiği güç değerlerinin karşılaştırması Şekil 9.7'de yer almaktadır.



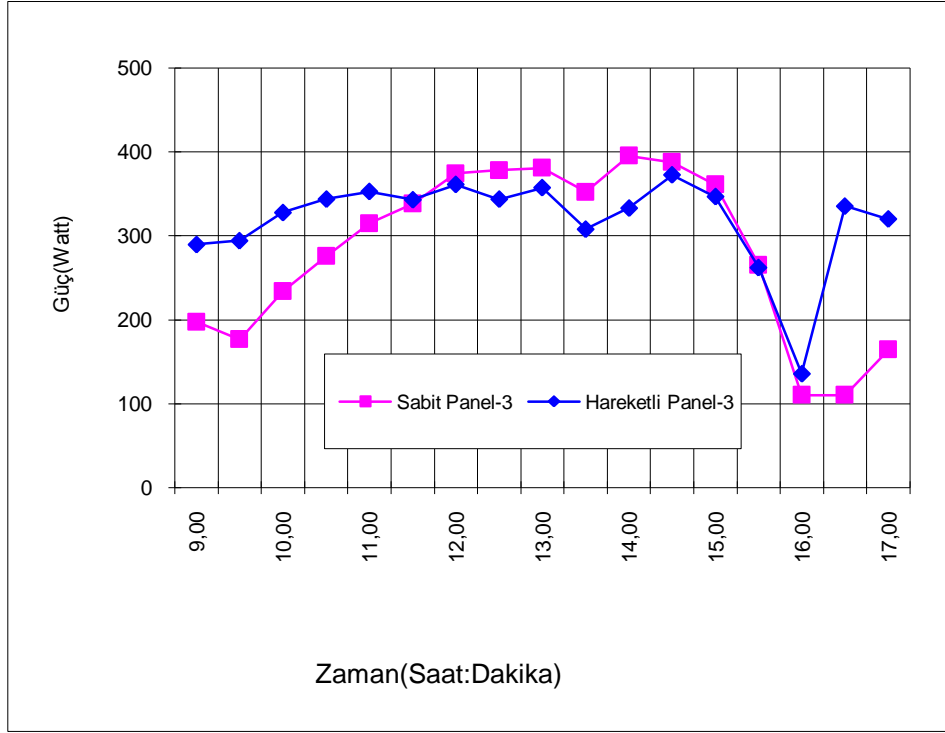
a) 1. Gün



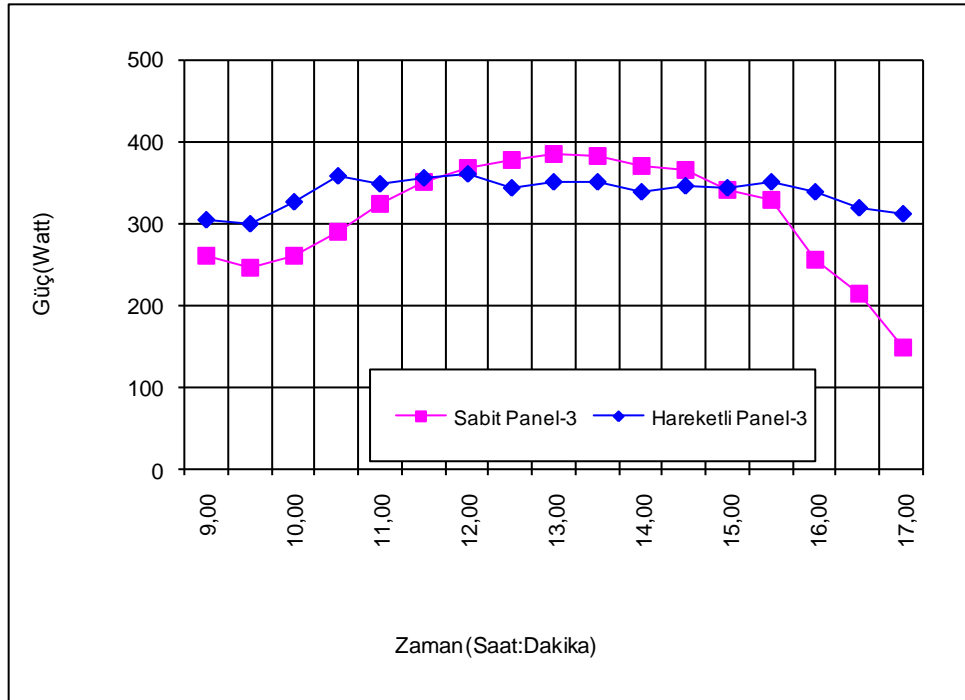
b) 2.Gün



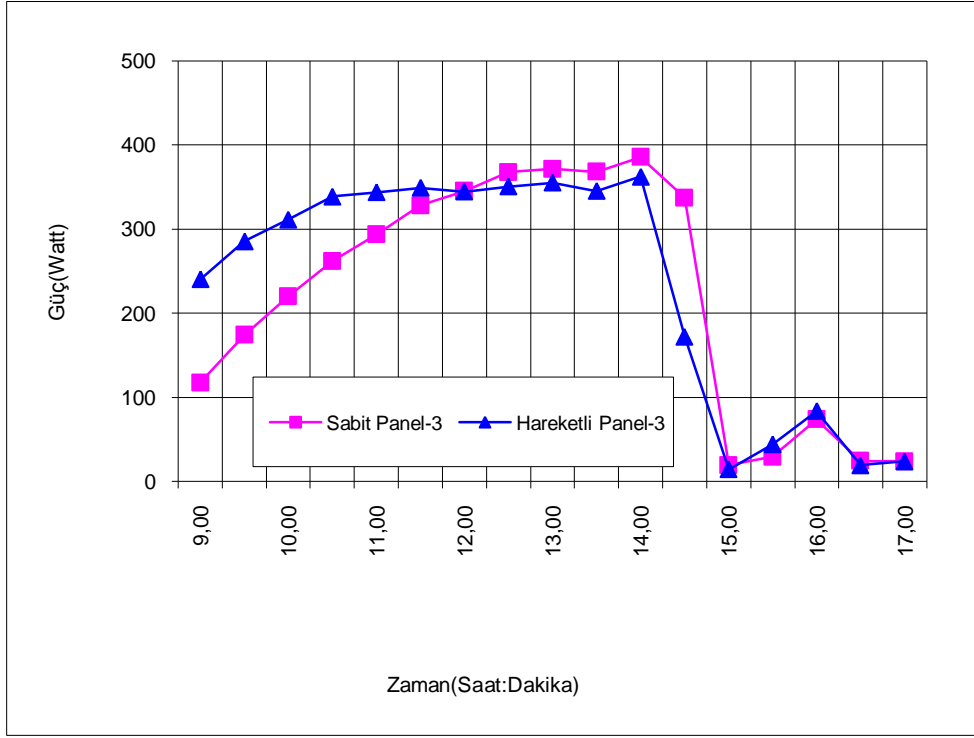
c) 3. Gün



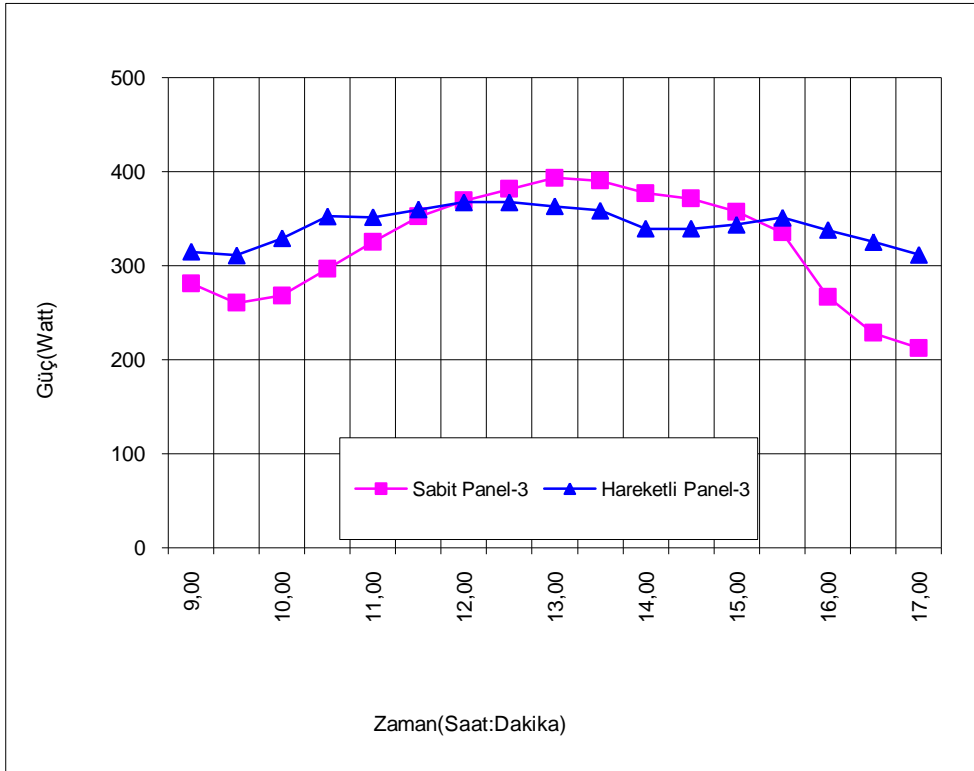
d) 4. Gün



e) 5. Gün



f) 6. Gün

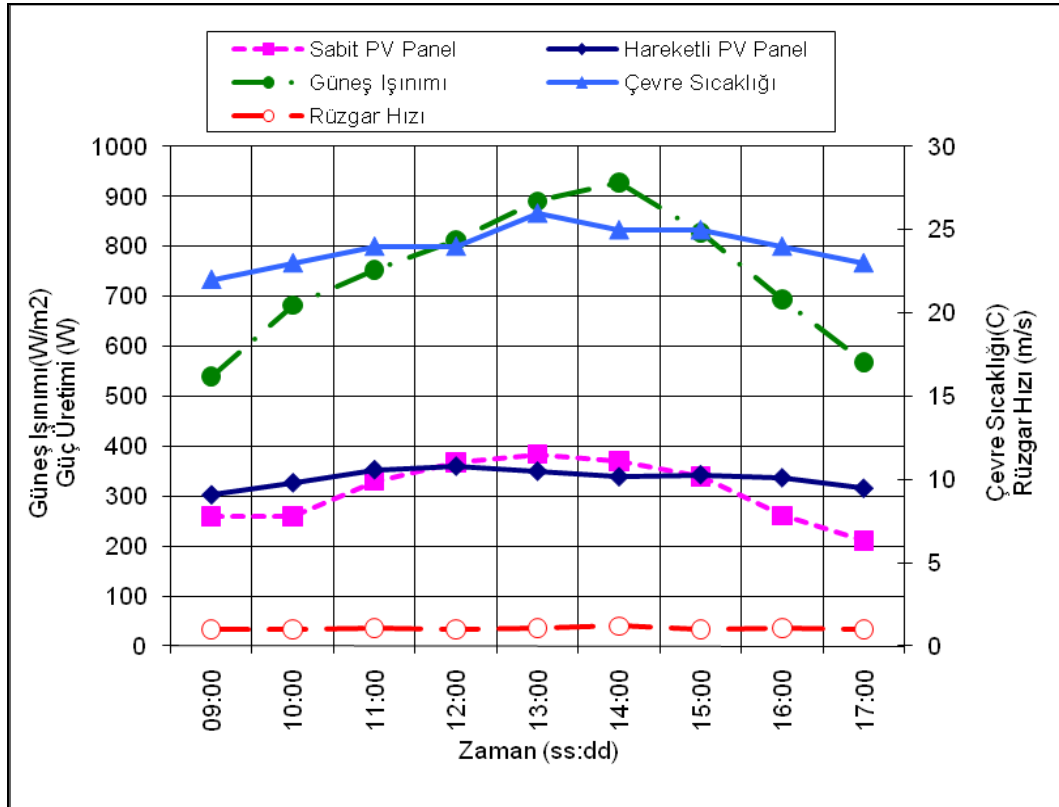


g) 7. Gün

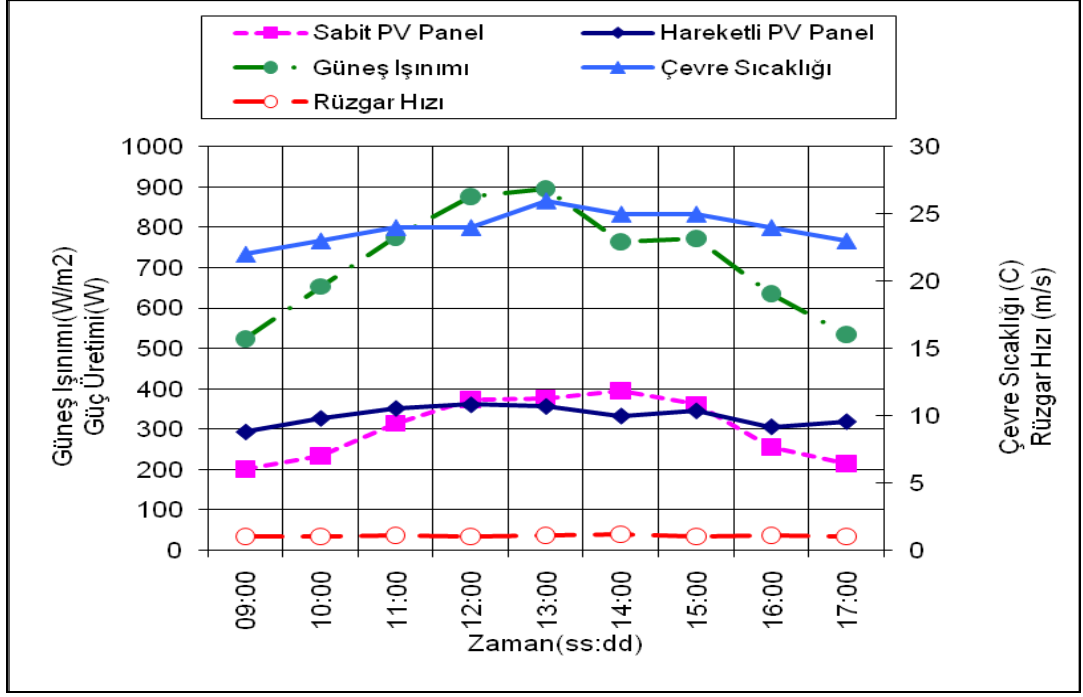
Şekil 9.7 Sabit ve Hareketli Panellere Ait Güç Değişim Grafikleri a) 1.Gün, b) 2.Gün, c) 3.Gün, d) 4.Gün, e) 5.Gün, f) 6.Gün, g) 7.Gün

Şekil 9.7’de yer alan grafiklerde de görüldüğü gibi hareketli panellerin ürettiği güç sabah ve akşamüstü saatlerinde sabit panelden daha yüksektir. Öğle saatlerinde ise sabit panellerin üretimi daha yüksek değerler almaktadır. Hareketli grubun üzerinde bulunduğu izleyicilerin sadece tek eksenle (doğu-batı) güneşi takip edebilmesi ve sabit panellerin yer ile 45^0 eğimli, hareketli panellerin ise yer ile 62^0 eğimli monte edilmesi gibi nedenler ile öğle saatlerinde sabit panellerin güç üretiminin hareketli panellerden daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

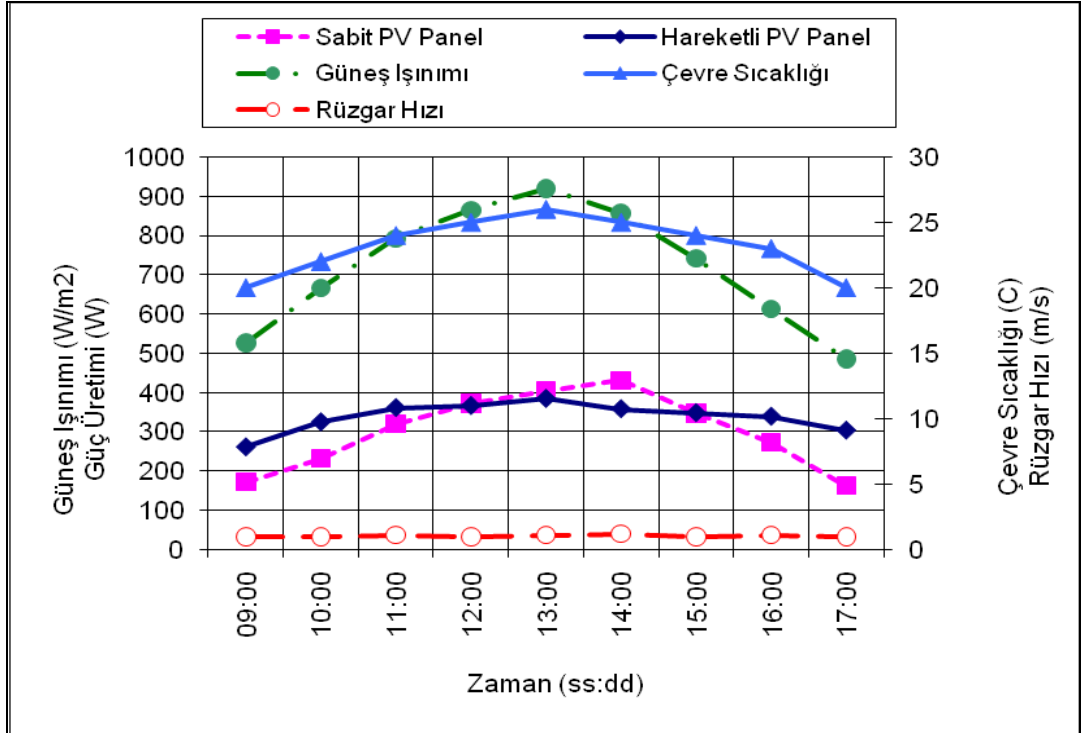
Panellerin güç üretimi yanında ekserji analizi için gerekli güneş ışınım değerleri, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi değerler de deneysel çalışma süresince takip edilmiştir. Şekil 9.8-9.14’de yer alan grafiklerde sabit ve hareketli panellerin güç üretim değerleri ile güneş ışınım değerleri, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi hesaplamaları etkileyen parametrelerin gün içindeki değişimleri aynı grafiklerde görüntülenmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi öğle saatlerinde çevre sıcaklığının artması ile birlikte güneş ışınım değerleri artmakta ve yine aynı saatlerde sabit panellerin güç üretim değerleri hareketli panellerin güç üretim değerlerinden daha yüksek olmaktadır.



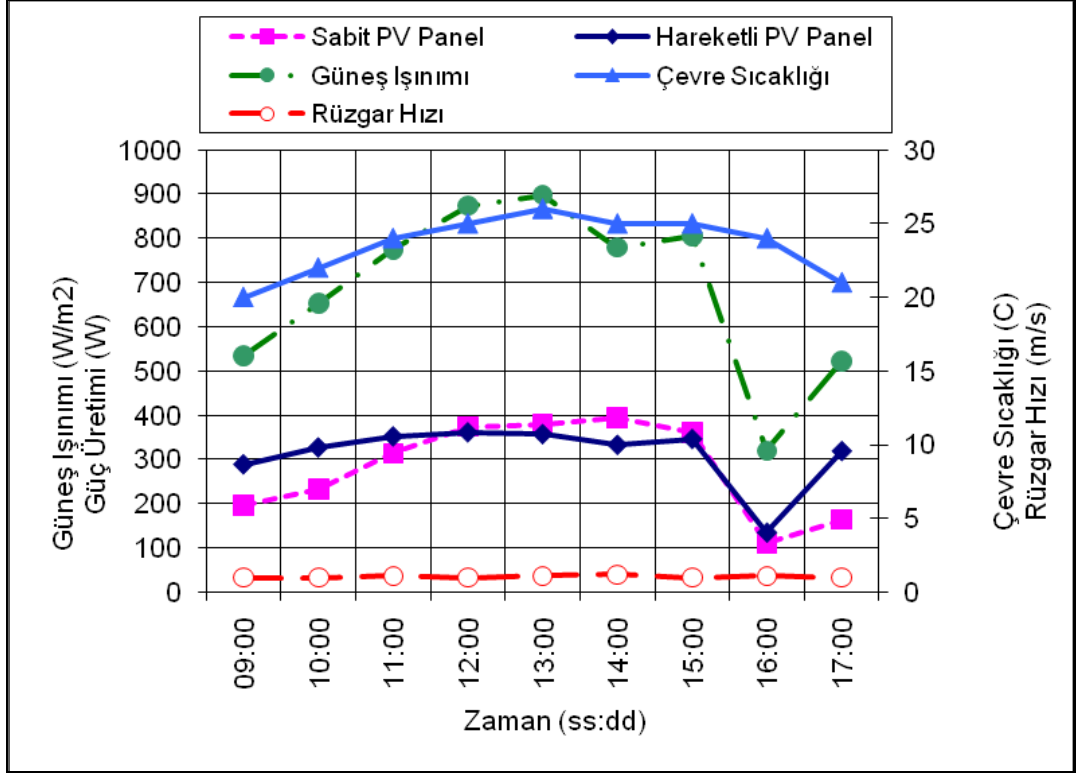
Şekil 9.8 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (1.Gün)



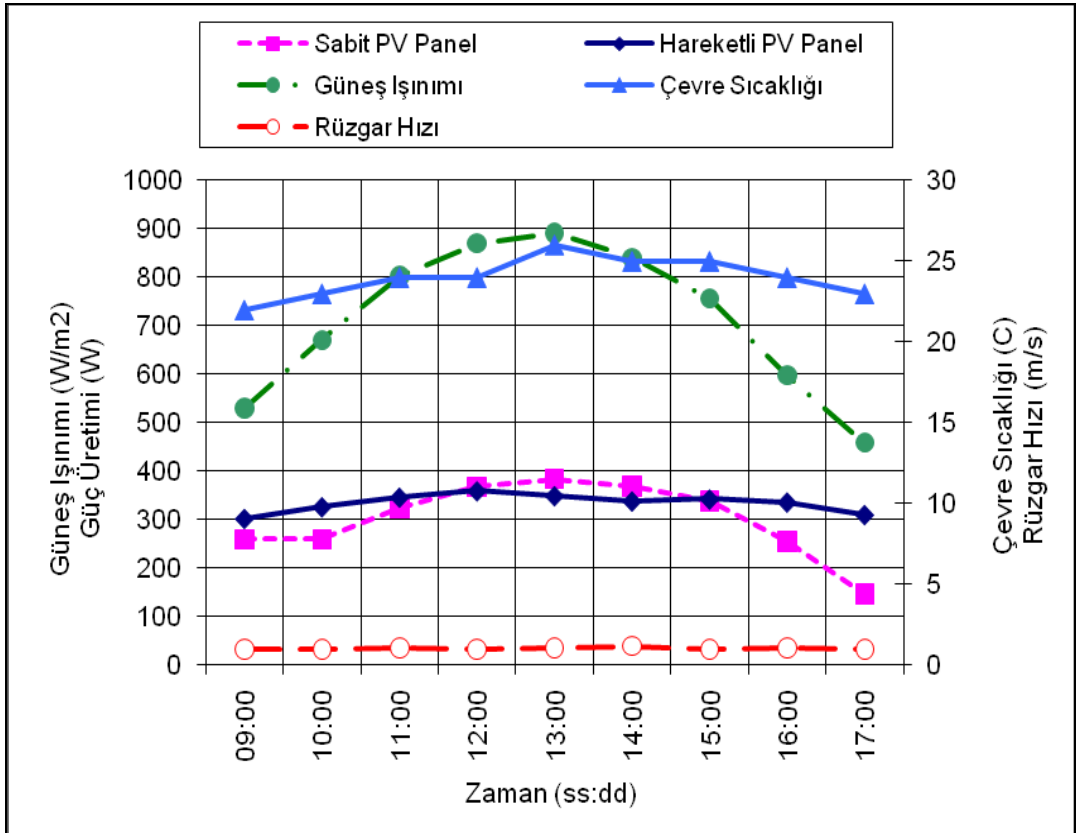
Şekil 9.9 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (2.Gün)



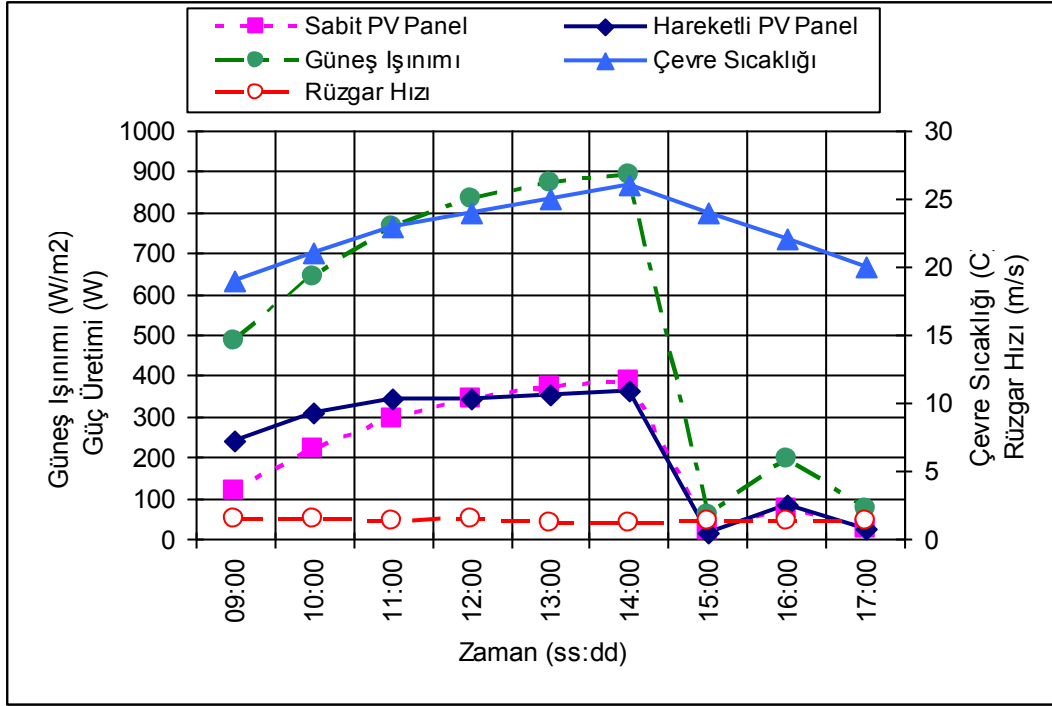
Şekil 9.10 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimleri (3.Gün)



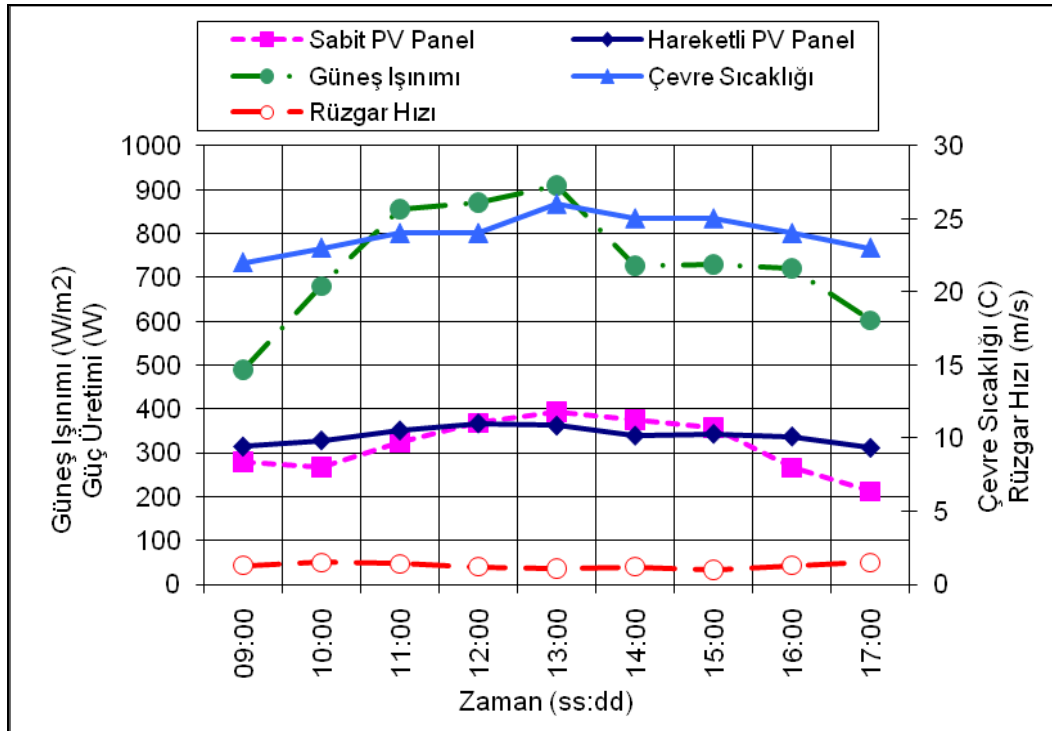
Şekil 9.11 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (4.Gün)



Şekil 9.12 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (5.Gün)



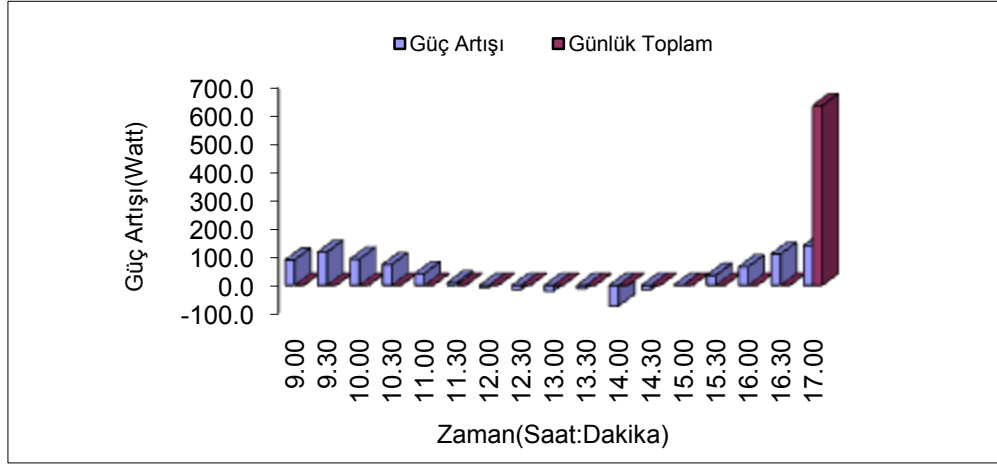
Şekil 9.13 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (6.Gün)



Şekil 9.14 Sabit ve Hareketli Panellerin Güç Değerleri, Güneş Işınım Değerleri, Çevre Sıcaklığı, Rüzgar Hızı Değişimi (7.Gün)

Yapılan ölçümler arasında en yüksek güç değerlerinin elde edildiği 3.Günde en büyük güç farkı saat 17:00'de 141,2 W'lık güç artışı ile gerçekleşmiştir. Öğle

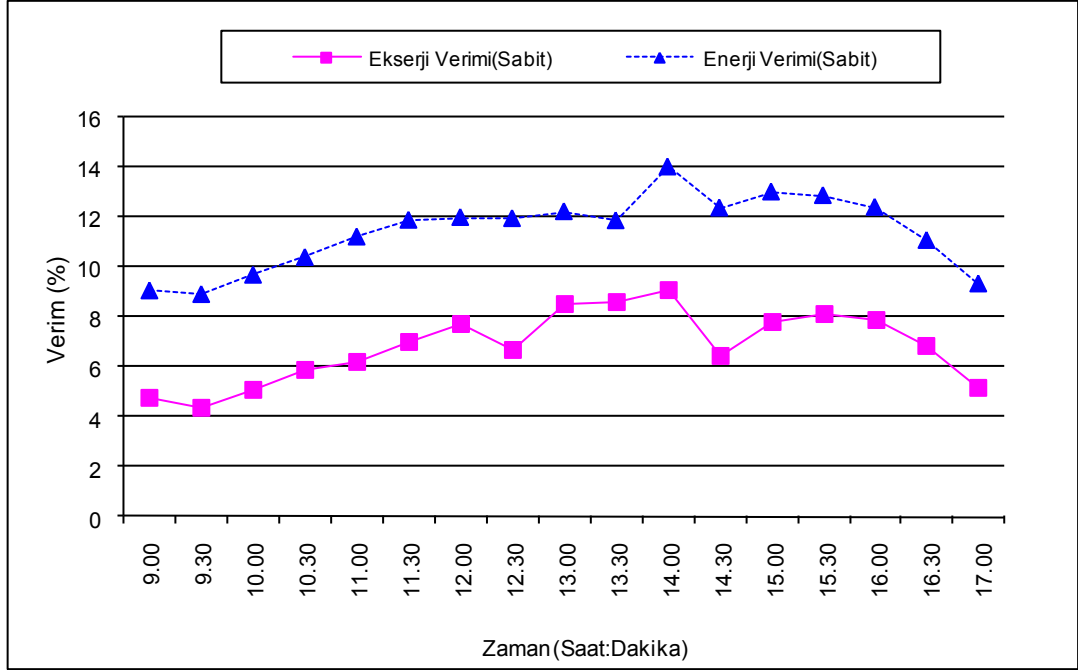
saatlerinde ise aradaki güç farkı azalmış ve saat 14:00'de sabit panel grubundan elde edilen güç artmıştır. Öğle saatlerinde hareketli güneş pili panellerinden daha fazla elektrik gücü elde edebilmek için kuzey-güney ekseninde de güneşten yararlanabilmesi için kuzey-güney ekseninde de hareketli olması durumunda hareketli panellerin öğlen saatlerinde daha yüksek güç üretebileceği düşünülmektedir. 3.Gündeki sabit paneller ile hareketli paneller arasındaki günlük ortalama güç artışı da Şekil 9.15'de verilmektedir.



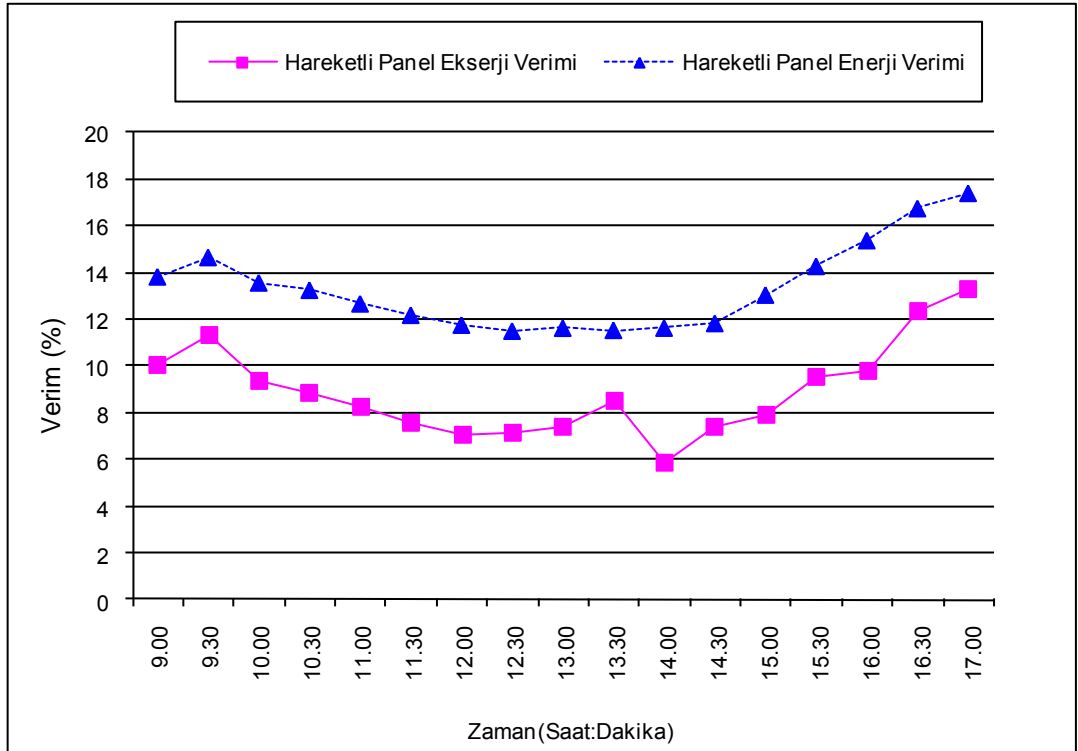
Şekil 9.15 Sabit ve Hareketli Panel Gruplarından Elde Edilen Güç Farkları (3.Gün)

Bir güneş pili panelinin enerji analizi; elektrik enerjisi ve termal enerji olmak üzere iki bileşenden oluşur(Yılancı, 2008; Şahin, 2007; Joshi, 2009; Sarhaddi, 2009). Güneş pili panelinden fotovoltaiik etki ile elektrik enerjisi elde edilirken güneş pili paneli güneş ışınımından kaynaklı olarak ısınmaktadır. Üretilen elektrik, ekserji olarak doğrudan yazılabilir. Kullanılmayan termal ekserji ise ekserji yıkımı olarak ifade edilebilir. Bölüm 8'de bahsedilen enerji ve ekserji verimi hesaplama yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmanın yapıldığı dönemde panellerin güç üretiminin en yüksek olduğu 3.Günde, sabit güneş pili panelinin enerji ve ekserji verim değerlerinin karşılaştırması Şekil 9.16'da, hareketli güneş pili panelinin enerji ve ekserji verim değerlerinin karşılaştırması Şekil 9.17'de yer almaktadır. Şekil 9.16'daki grafikte görüldüğü gibi sabit güneş pili panelinin en yüksek enerji verimi %14'lük değer ile saat 14:00 civarında ölçülmüştür. Sabit güneş pili panelinin en yüksek ekserji verimi değeri %9'luk değer ile yine saat 14:00 civarında ölçülmüştür. Hareketli güneş pili paneli için aynı gün yapılan ölçümler sonucu en yüksek enerji verimi %17,4'lük değer ile saat 17:00 civarında ölçülmüştür. Hareketli güneş pili

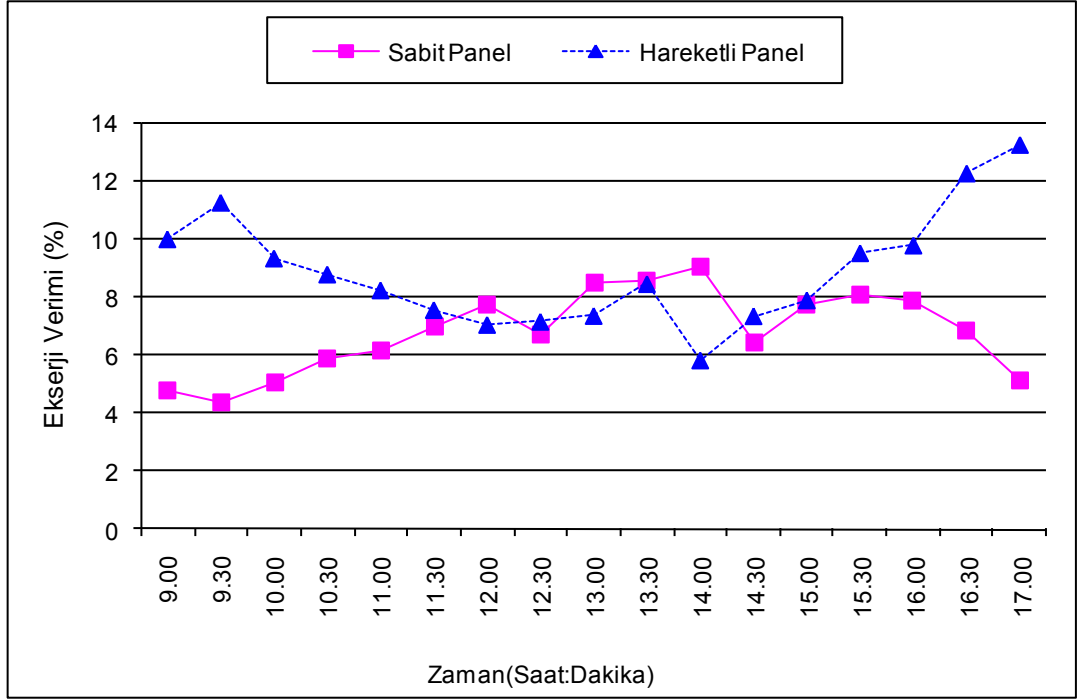
panelinin en yüksek ekserji verimi değeri %15,3'lük değer ile yine saat 17:00 civarında ölçülmüştür.



Şekil 9.16 Sabit Güneş Pili Paneli Enerji ve Ekserji Verimi

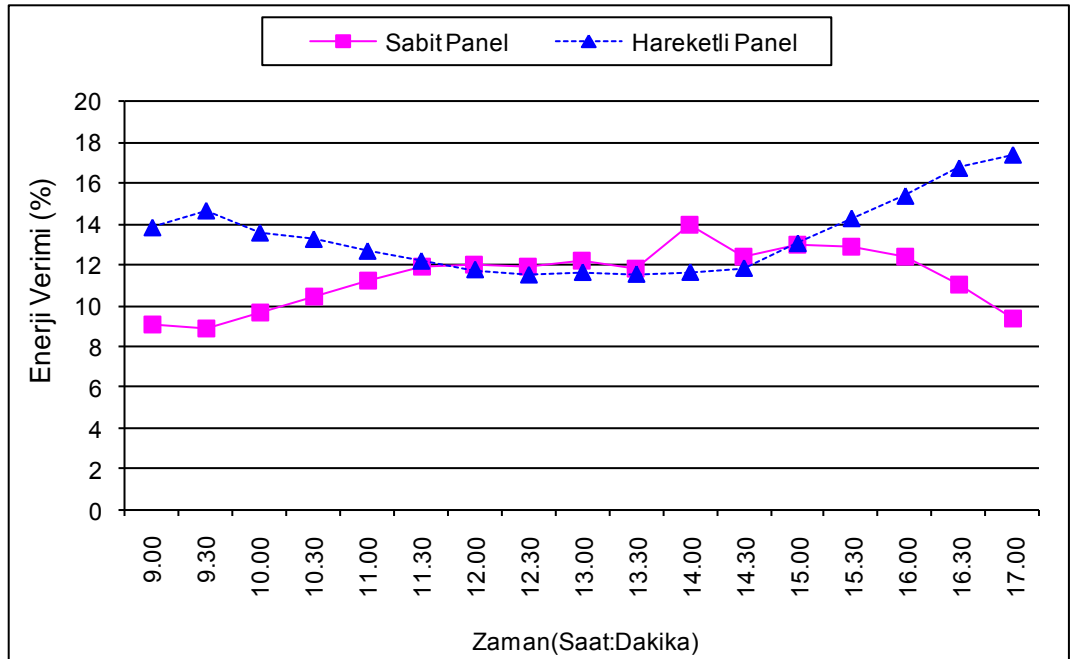


Şekil 9.17 Hareketli Güneş Pili Paneli Enerji ve Ekserji Verimi



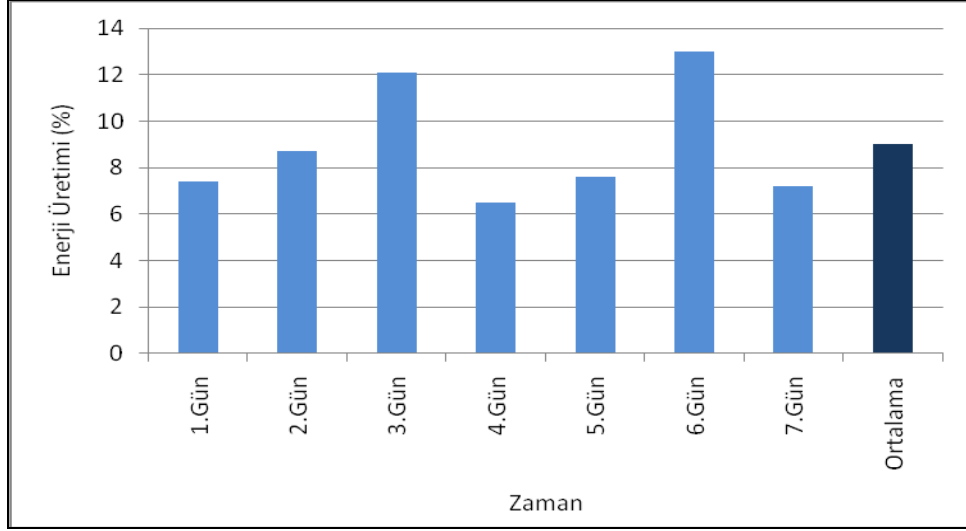
Şekil 9.18 Sabit ve Hareketli Panel Ekserji Verimi Karşılaştırması

Şekil 9.18’de sabit panel ile hareketli panelin ekserji verimi karşılaştırması görülmektedir. Sabah ve akşam saatlerinde hareketli panelin ekserji veriminin sabit panelden oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Öğlen saatlerinde ise hareketli panelin sadece doğu-batı yönünde güneşi takibi nedeni ile sabit panelin daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 9.19 Sabit ve Hareketli Panel Enerji Verimi Karşılaştırması

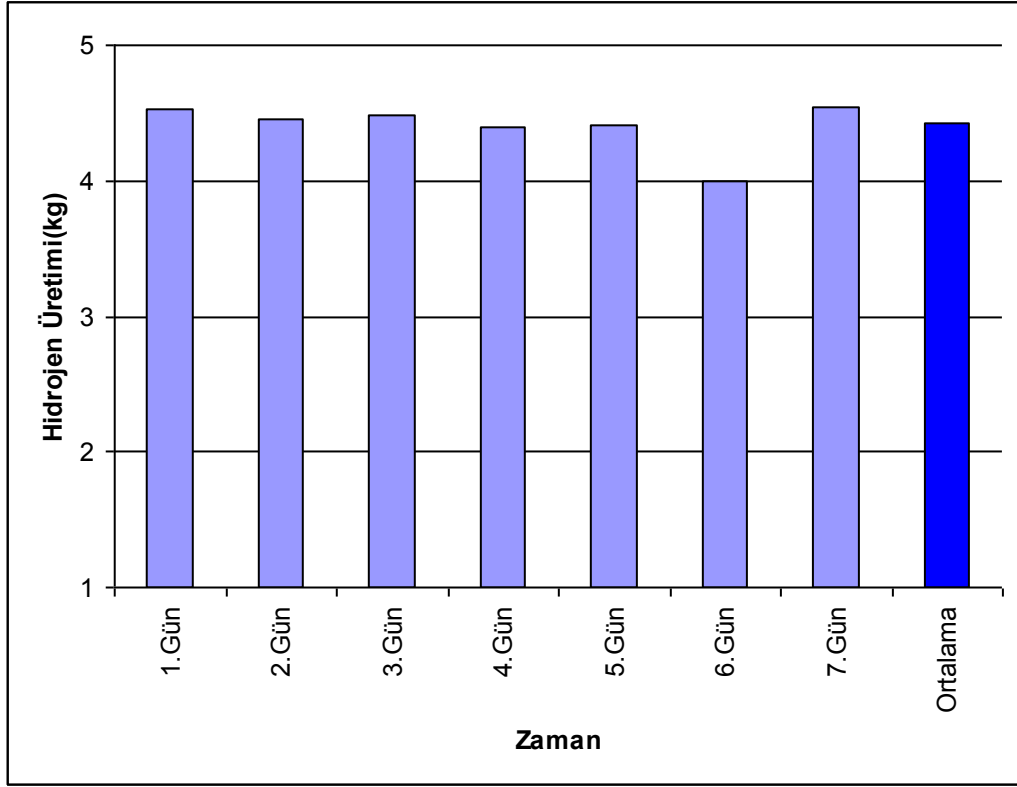
Şekil 9.19’da sabit panel ile hareketli panelin enerji verimi karşılaştırması görülmektedir. Ekserji verimi karşılaştırmasında olduğu gibi sabah ve akşam saatlerinde hareketli panelin enerji veriminin sabit panelden oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir(Yılmaz Ulu ve Öztürk, 2010). Öğlen saatlerinde ise sabit panelin daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Tek eksenli hareketli güneş pili panellerinin deneysel çalışma boyunca günlük ve ortalama enerji üretim değerleri Şekil 9.20’de yer almaktadır.



Şekil 9.20 Hareketli Panellerin Günlük ve Ortalama Enerji Üretimi

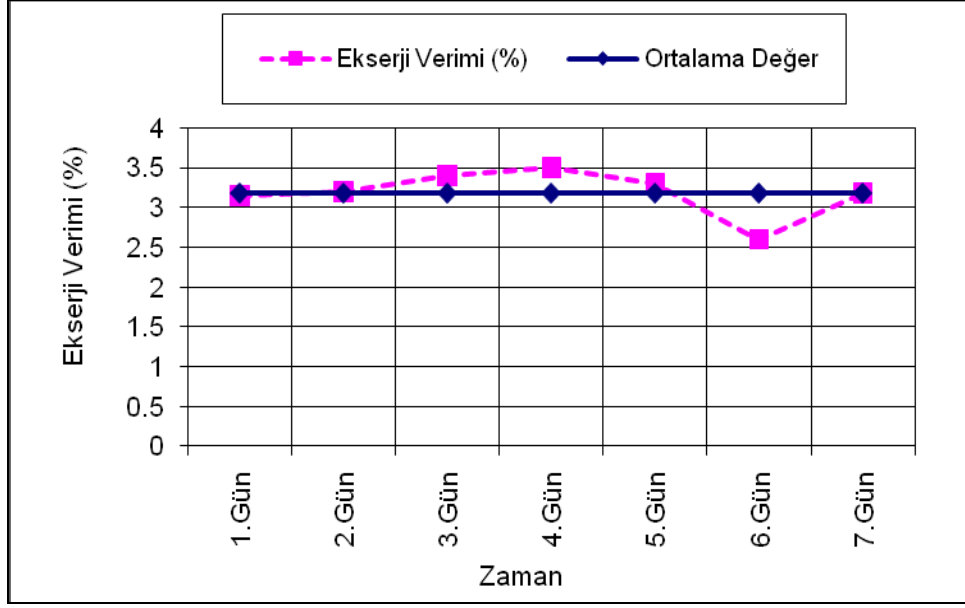
9.2 Elektrolizörün Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

Güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminde yer alan Proton Değişim Membran tipi (PEM) elektrolizörün ekserji verimi; güç tüketimi ve hidrojen üretimi değerlerine bağlıdır. Elektrolizörün güç tüketimi hesaplanırken sirkülasyon pompası, saflaştırma ünitesi, konvertör gibi yardımcı ekipmanların da güç tüketimleri dikkate alınmaktadır. Deneysel çalışmanın yapıldığı zaman aralığındaki güneş pili panellerinin ürettiği elektrik ile üretilen hidrojenin günlük ve ortalama değerleri Şekil 9.21’de yer almaktadır. Şekildeki grafikten de görüldüğü gibi sistemin haftalık ortalama hidrojen üretimi 4.43 kg’dır.

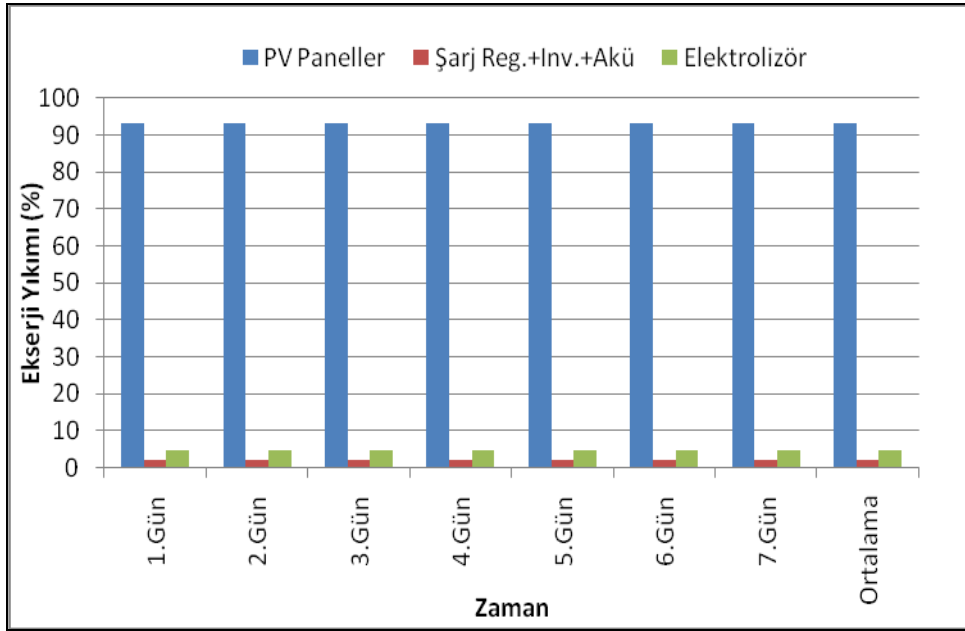


Şekil 9.21 PEM Tipi Elektrolizörün Günlük ve Ortalama Hidrojen Üretimi

Deneysel çalışmanın yapıldığı zaman aralığında sistemin ortalama ekserji verimi, Şekil 9.22’de görüldüğü gibi %3.18 olarak hesaplanmıştır. Verimin bu kadar düşük olmasının nedeni; güneş pili panellerinin güneş enerjisini elektrik enerjisine çok düşük verimle çevirmesidir. Sistemde oluşan ekserji yıkımlarının sistem elemanlarına dağılımı Şekil 9.23’de görüldüğü gibi en yüksek pay; güneş pili panellerinde %93.3’lük değer ile, ikinci en yüksek pay %4.76 ile elektrolizörde ve geri kalan pay ise diğer sistem elemanları olan şarj regülatörleri, invertörler ve akülere ait olarak hesaplanmıştır.

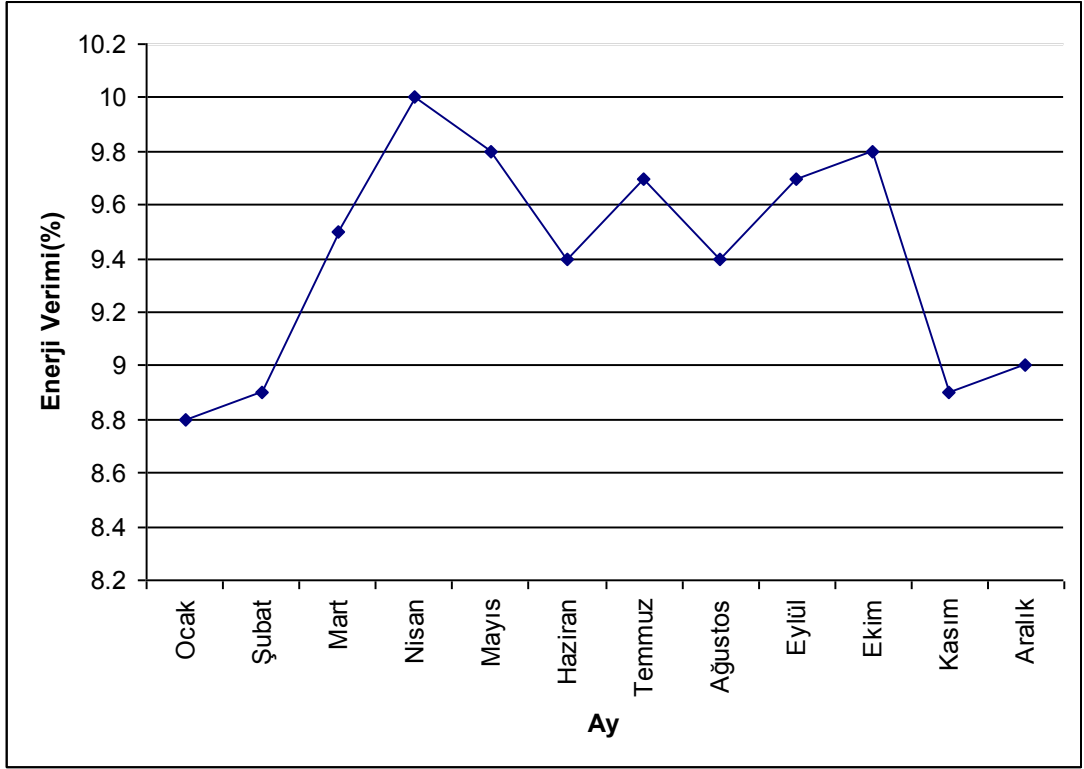


Şekil 9.22 Deneysel Çalışma Aralığında Günlük ve Ortalama Ekserji Verimi Değerleri

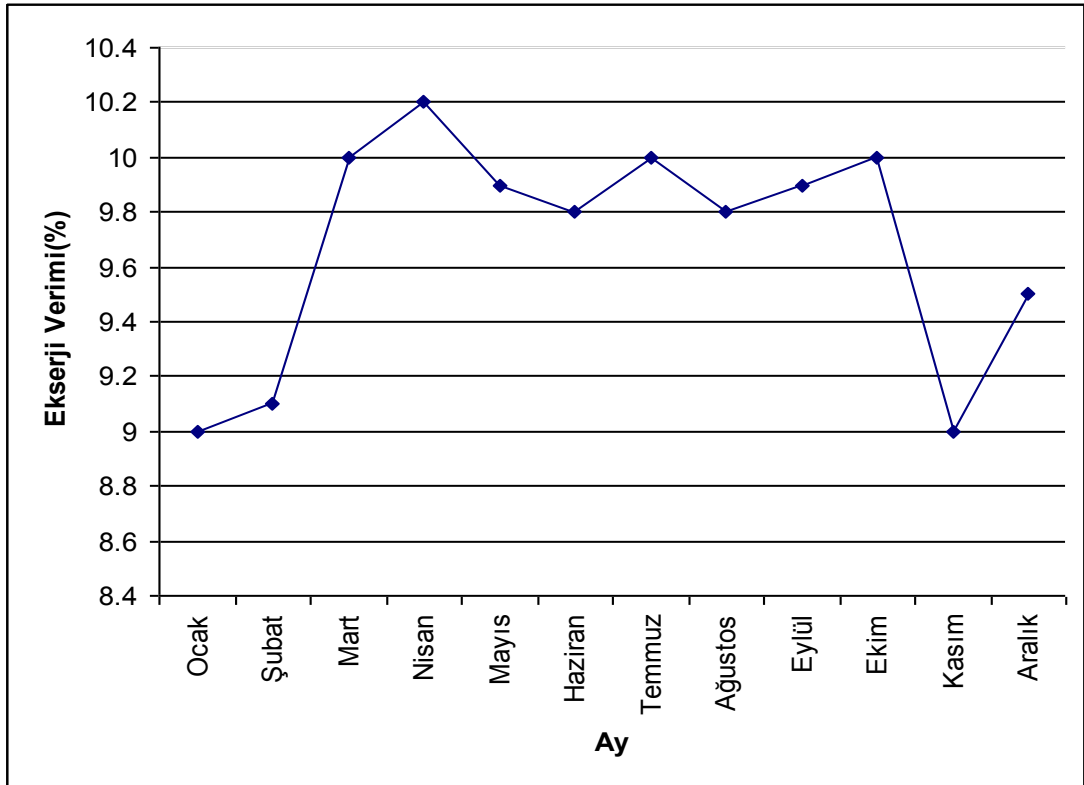


Şekil 9.23 Deneysel Çalışma Aralığında Günlük ve Ortalama Ekserji Yıkımı Değerleri

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sistemi'nin yıllık enerji verimi değerleri Şekil 9.24'de, ekserji verimi değerleri ise Şekil 9.25'de yer almaktadır.

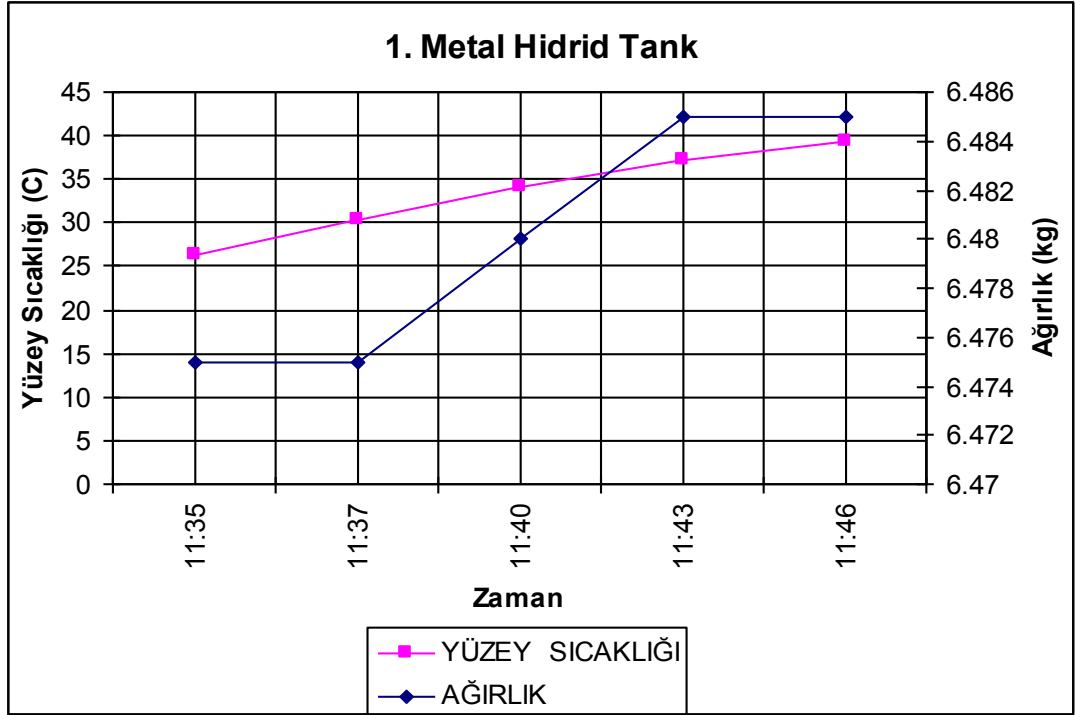


Şekil 9.24 Sitemin Yıllık Enerji Verimi Değerleri

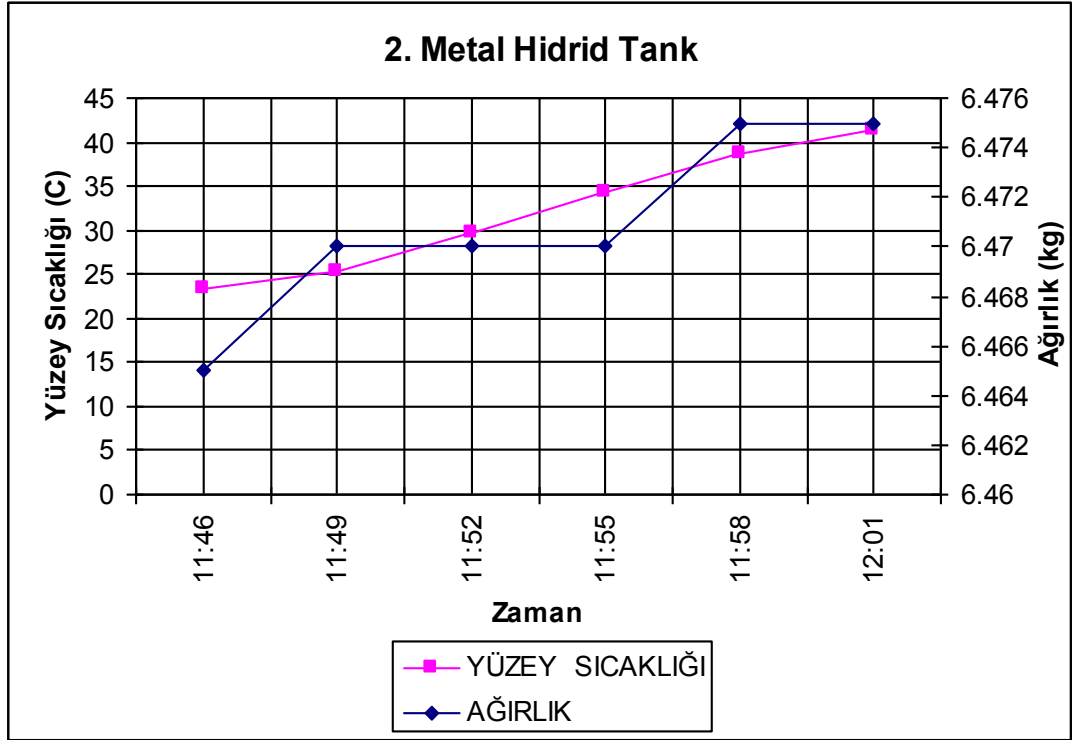


Şekil 9.25 Sistemin Yıllık Ekserji Verimi Değerleri

Metal hidrid tankların hidrojen dolum ve boşaltımı sırasında yapılan yüzey sıcaklığı ve ağırlık değişimleri grafiklerle değerlendirilmiştir. Hidrojen moleküler ağırlığının düşük olması nedeni ile tankların dolumu sırasında 3 dakika aralıklarla yapılan ölçümlerde ağırlık değişiminin çok hızlı gelişmediği gözlenmiştir. Metal hidrid tankların yüzey sıcaklığı ölçümlerinde dolum sonunda sıcaklığın 40 °C yi geçtiği belirlenmiştir. Ve sıcaklık değişiminin, ağırlık değişimine göre çok daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen grafikler Şekil 9.26 ve 9.27’de yer almaktadır.

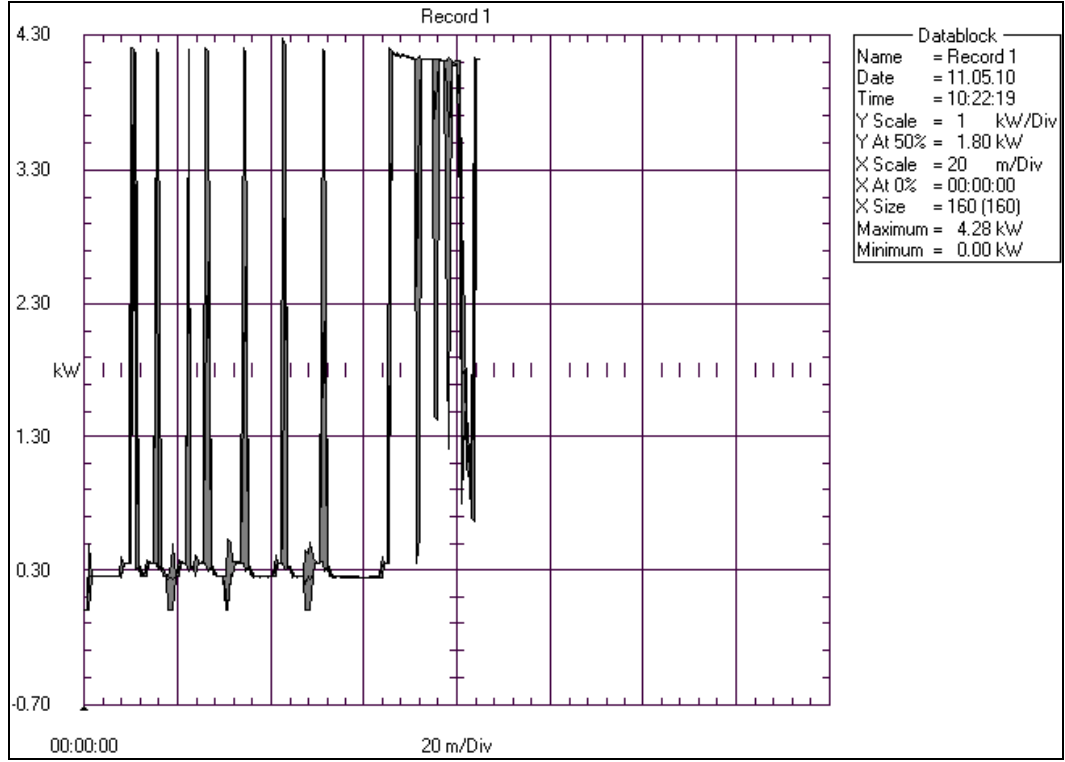


Şekil 9.26 1. Metal Hidrid Tankın H₂ Dolumu Sırasında Yüzey Sıcaklığı ve Ağırlık Değişimi

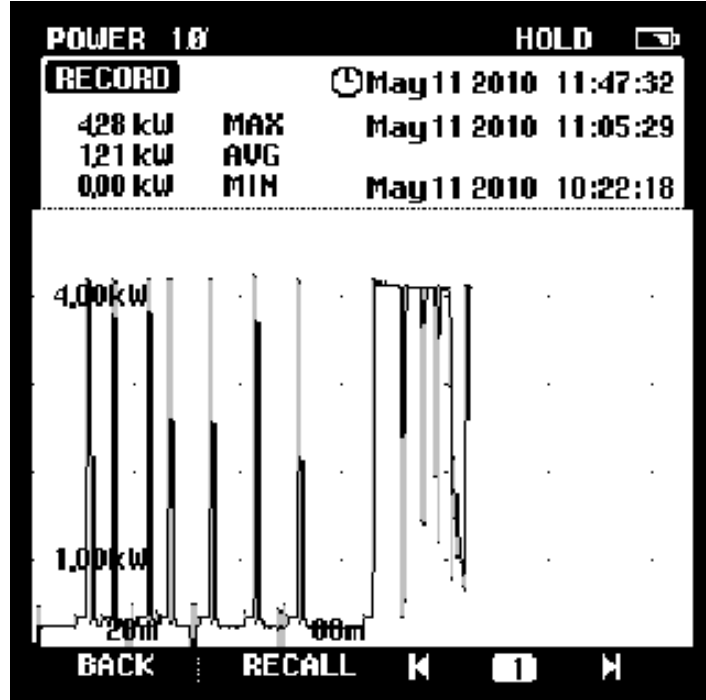


Şekil 9.27 2. Metal Hidrid Tankın H₂ Dolumu Sırasında Yüzey Sıcaklığı ve Ağırlık Değişimi

Grafiklerden de görüldüğü gibi metal hidrid tanklara H₂ dolumu sırasında üçer dakika aralıklarla yapılan yüzey sıcaklığı ölçümlerinde, başlangıçta minimum 22 °C olan yüzey sıcaklığı, dolum sonunda maksimum 42 °C 'ye yükselmiştir. Dolum sırasında metal hidrid tankların ağırlık değişimi minimum 6.465 kg ile maksimum 6.485 kg arasında gerçekleşmiştir. Güç analizörü ile ölçülen, metal hidrid tankların dolumu sırasında elektrolizörün H₂ üretimi sırasında çektiği güç grafikleri ve trendleri Şekil 9.26 ve 9.27'de yer almaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi güç trendi, dolum sırasında tankların ağırlık ölçümü nedeni ile belli aralıklarda sıfırlanmakta ve sonra tekrar maksimum değere 4.28 kW güç değerine ulaşmaktadır.



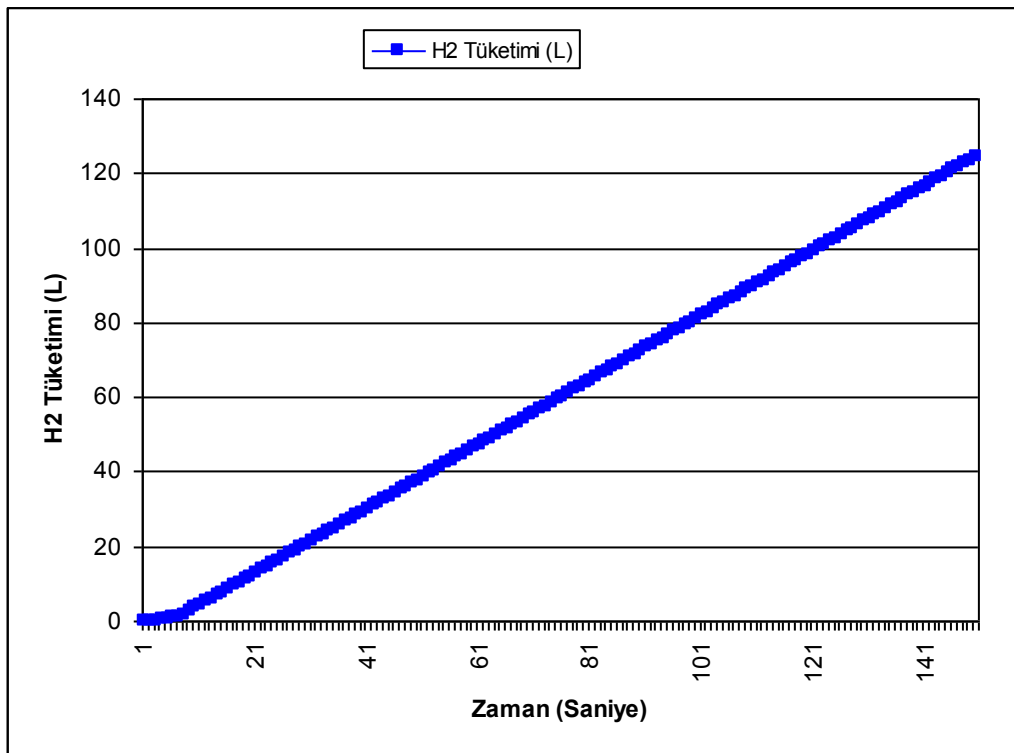
Şekil 9.28 Elektrolizörün Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Güç Trendi



Şekil 9.29 Elektrolizörün Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Güç Grafığı

9.3 Yakıt Pili Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

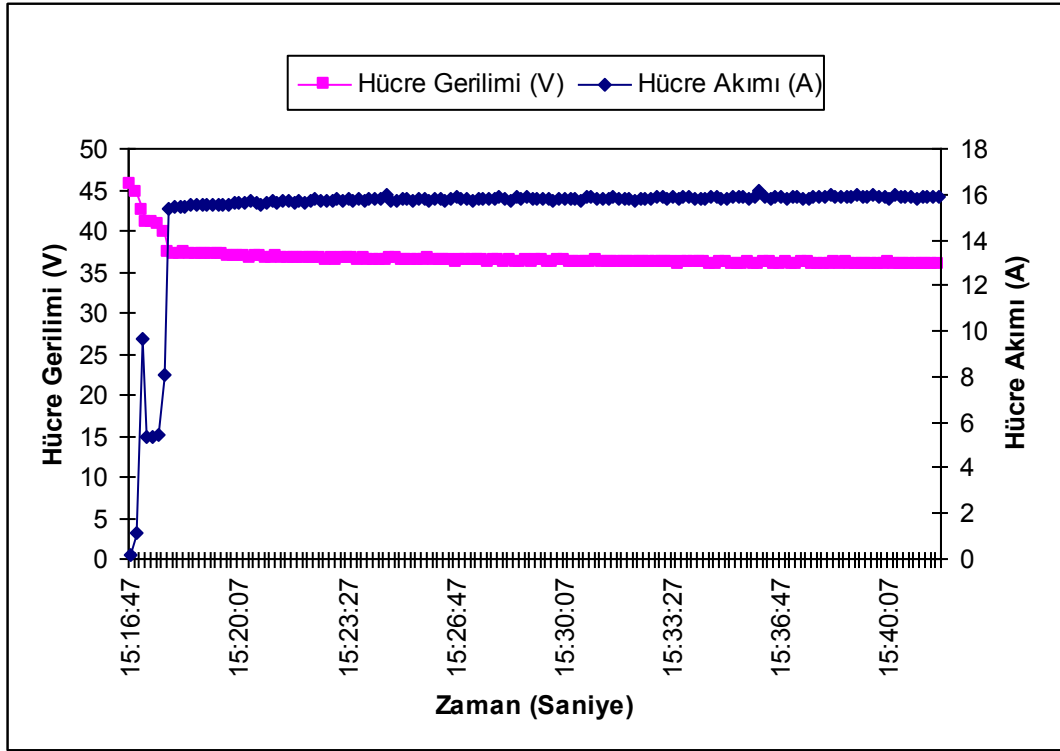
Yakıt pilinin enerji ve ekserji analizini belirleyebilmek için metal hidrid tanklarda depolanan H_2 , ortamda bulunan havanın içindeki O_2 gazı ile yakıt pili içinde reaksiyona girmesi ve reaksiyon sonucu üretilen elektriğin bir yük tarafından harcanması sırasında yakıt pili sisteminin yazılımından elde edilen verilerden faydalanılır. Yakıt pili tarafından üretilen elektrik, sabit yük sağlayan yük bankı tarafından çeşitli değerlerde yükler ile yüklenmiştir. 375 W yük altında yüklenen yakıt pili yazılımından elde edilen veriler ile elde edilen zamana bağlı H_2 tüketimi Şekil 9.30'da yer almaktadır.



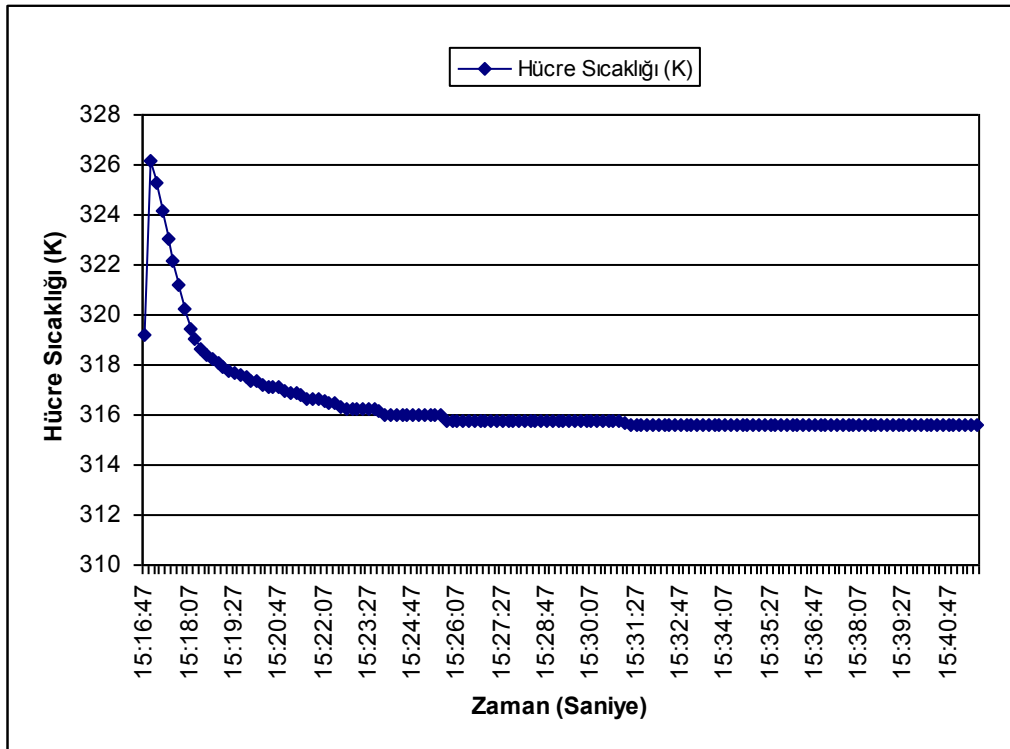
Şekil 9.30 Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı H_2 Tüketimi

Şekil 9.30'da yer alan grafikte görüldüğü gibi yakıt pili sisteminde elektrik üretimi sırasında H_2 tüketimi zamana bağlı lineer değişim göstermiştir. Elektrik üretimi sırasında yakıt pili hücrelerinde gelişen akım ve gerilimin zamana bağlı değişimi Şekil 9.31'de yer almaktadır. Grafikte de görüldüğü gibi, hücre akımı 16 A civarında, gerilim ise 37 V civarında sabit kalmıştır. Değerlerin sabit olmasının nedeni yük bankının sabit yük sağlamasıdır. Yakıt pili, yük bankası yerine klima veya buzdolabı gibi değişken yüklü bir cihaz ile yüklenmiş olsaydı, cihazların kompresörlerinin

devreye girip-çıkması sırasında yakıt pilinin akım ve gerilim değerlerinde dalgalanmalar gözlenirdi.

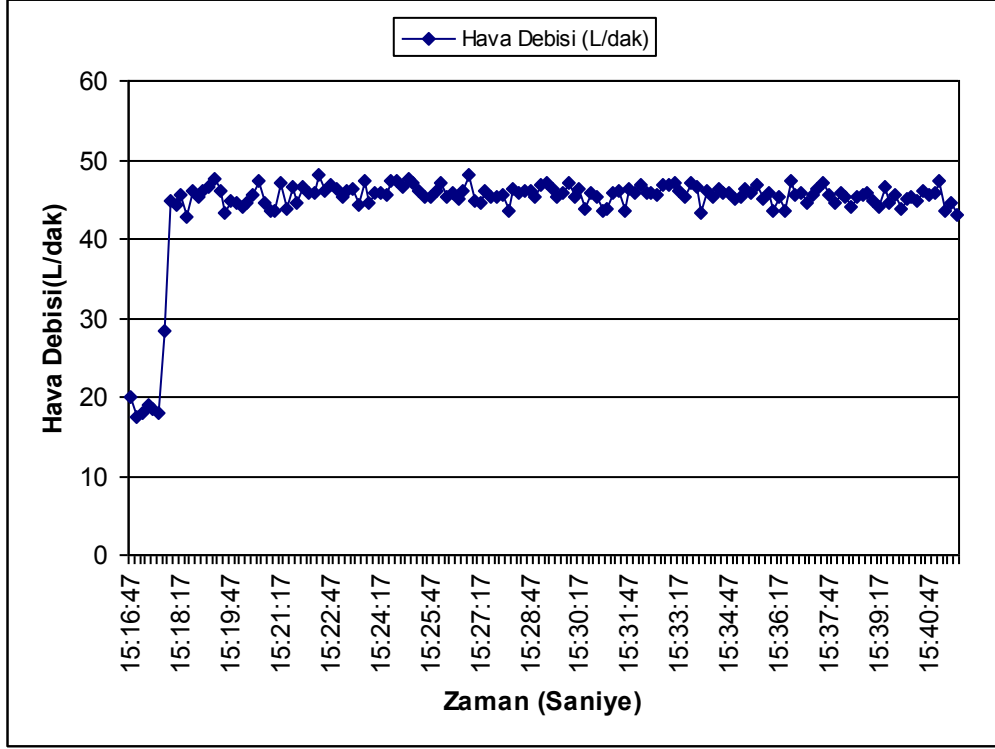


Şekil 9.31 Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Akım ve Gerilim Değişimi



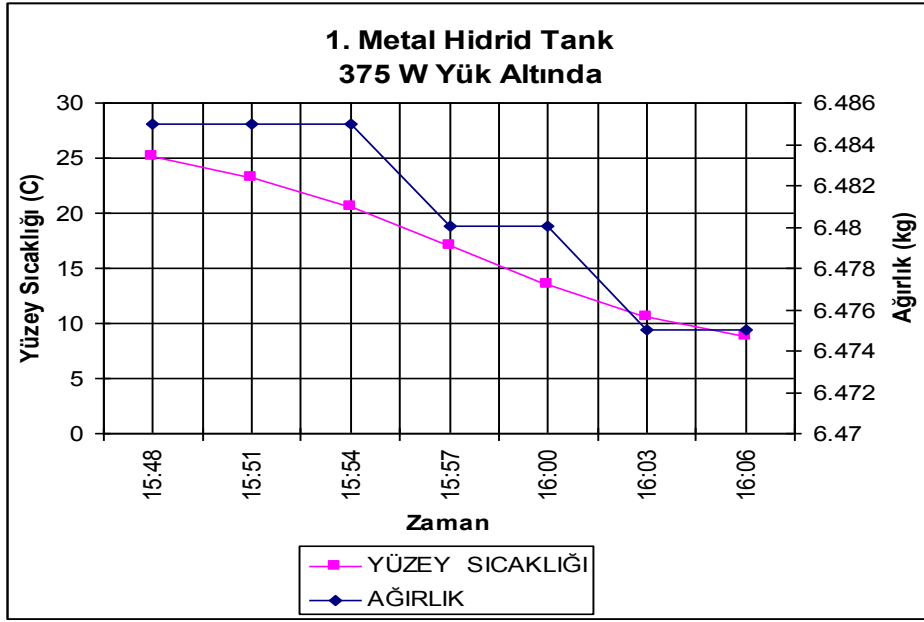
Şekil 9.32 Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Hücre Sıcaklığı Değişimi

Şekil 9.32’de yakıt pilinin hücre sıcaklığını 316 K’de sabit tutmaya çalıştığı görülmektedir. Yakıt pilinin elektrik üretimi sırasında bulunduğu ortamdan aldığı havanın zamana bağlı değişimi Şekil 9.33’de görülmektedir.

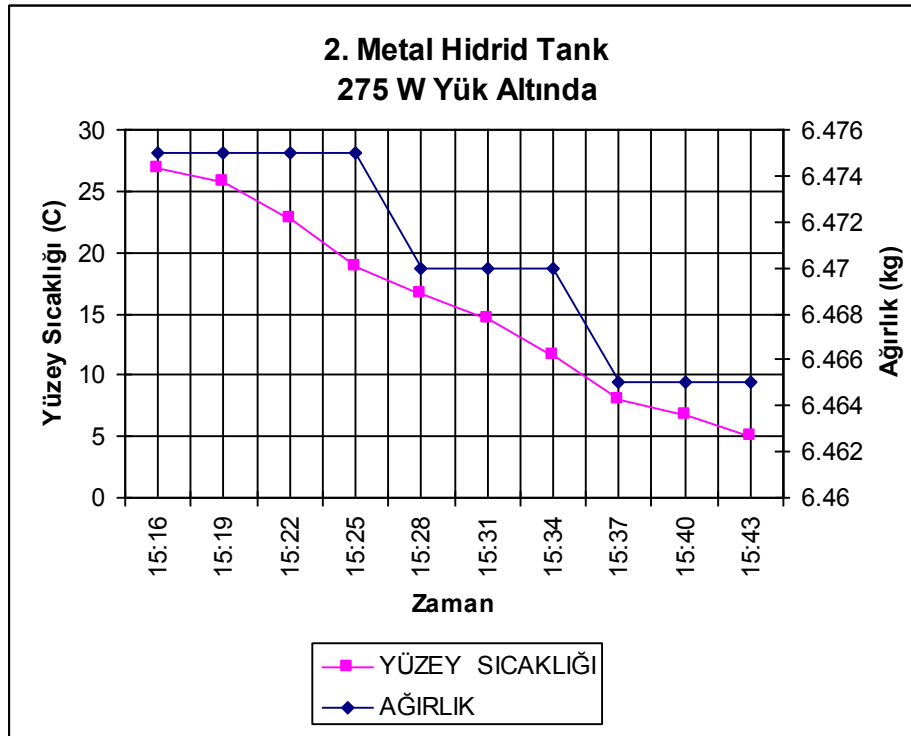


Şekil 9.33 Yakıt Pili Sisteminde Zamana Bağlı Hava Debisi Değişimi

Metal hidrid tanklarda depolanan H_2 'nin yakıt pili aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilerek, yük bankasından sağlanacak 375 W ve 275 W'lık sabit yükler altındaki davranışı Şekil 9.34 ve 9.35’de görülmektedir. Metal hidrid tanklardaki H_2 'nin tüketimi sırasında tank yüzeyindeki sıcaklık ve ağırlık değişimi üç dakika aralıkla ölçülmüş ve 275 W yük altında çalışan 2. Metal hidrid tankının yüzey sıcaklığının diğer tank sıcaklığından çok daha düşük değere ulaştığı tespit edilmiştir. Yük miktarı azaldıkça tankdaki H_2 'nin tüketim süresi uzamakta ve tank yüzey sıcaklıkları çok düşük değerlere ulaşmaktadır.



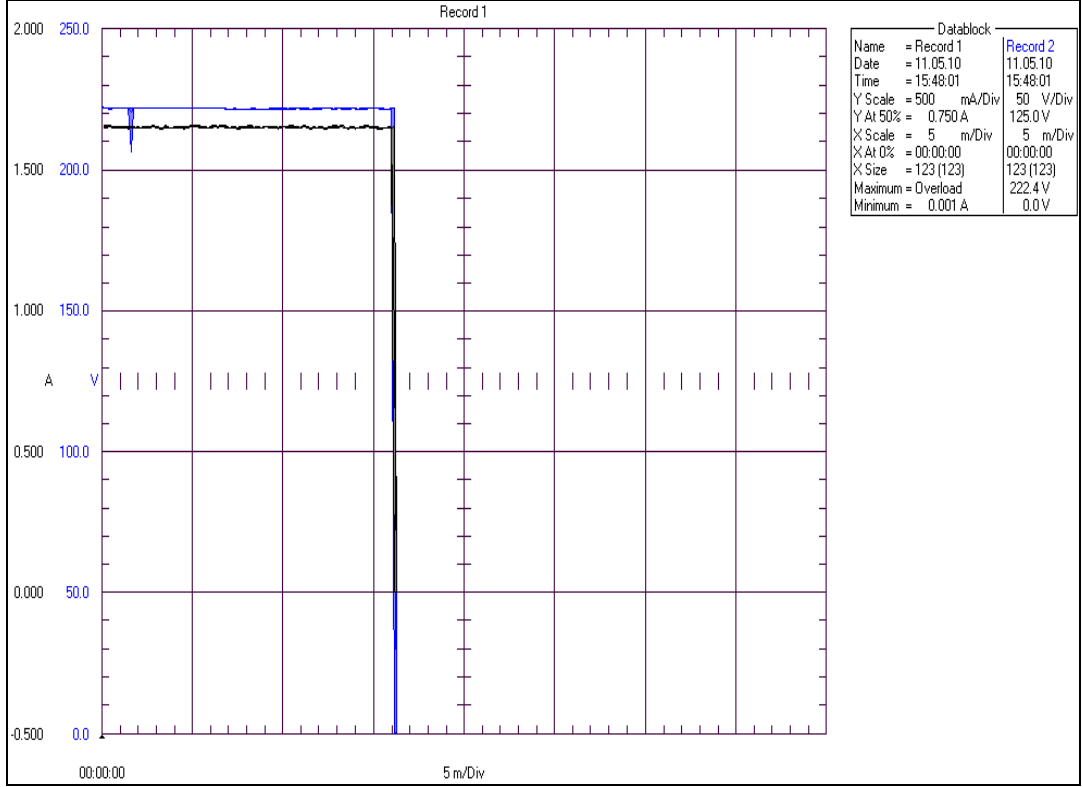
Şekil 9.34 1. Metal Hidrid Tank 375 W Yük Altında Boşaltım Grafiği



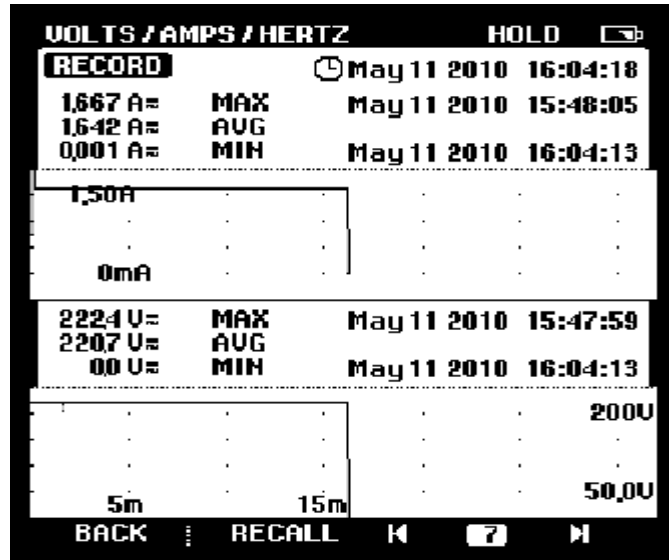
Şekil 9.35 2. Metal Hidrid Tank 275 W Yük Altında Boşaltım Grafiği

Metal hidrid tanklarda depolanan H_2 'nin boşaltımı; yakıt pili sisteminde H_2 'nin oksidant olarak hava ile birleşerek elektrik üretmesi ve üretilen elektriğin yük altında harcanması ile gerçekleşmektedir. Yük bankı tarafından sağlanan yük 375 W'lık sabit bir yük olduğu için akım-gerilim trendinde herhangi bir dalgalanma

gözlenmemiştir. Metal hidrid tankların boşaltımı sırasında güç analizör ile ölçülen akım-gerilim grafikleri ve trendleri Şekil 9.36 ve 9.37’de yer almaktadır.



Şekil 9.36 Yakıt Piliinin Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Akım-Gerilim Trendi

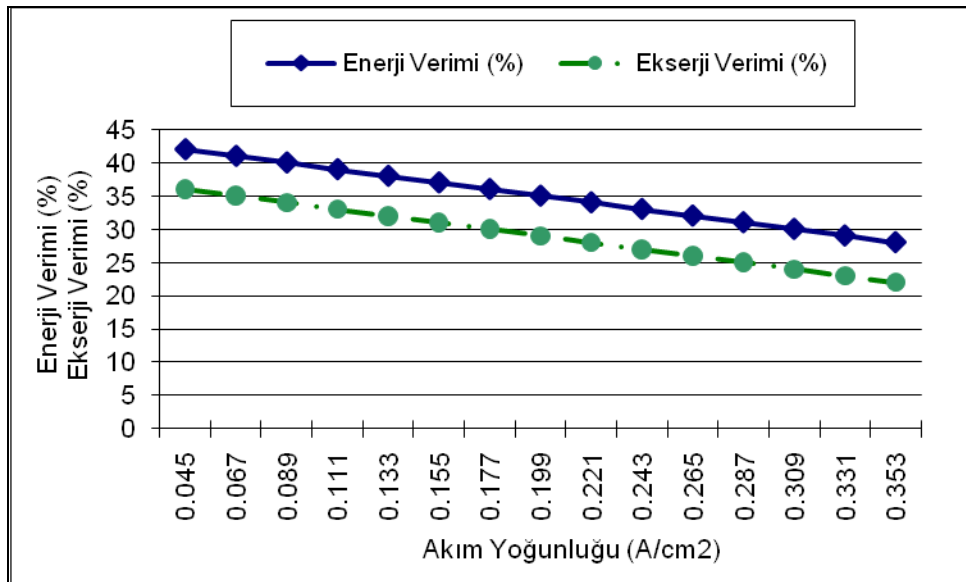


Şekil 9.37 Yakıt Piliinin Çalışması Sırasında Güç Analizörü ile Ölçülen Akım-Gerilim Grafiği

Yakıt pilinin performans analizi için genel olarak literatürde de kullanılan bazı kabuller bulunmaktadır.

- Tepkimeye giren gazlar sıkıştırılmaz ve laminer akışlıdır.
- Gazlar, ideal gaz olarak kabul edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilmiştir.
- Ölü hal basıncı $P_0=1$ bar ve ölü hal sıcaklığı $T_0=298$ K'dir.

Bu kabuller doğrultusunda yapılan hesaplamalar sonucunda yakıt pili sisteminin enerji verimi %28-42 arasında değer almış, ekserji verimi ise %22-36 arasında değer almıştır. Şekil 9.38'de sistemin enerji ve ekserji verim değerlerinin akım yoğunluğuna göre değişimleri yer almaktadır.



Şekil 9.38 Yakıt Pili Sisteminin Enerji ve Ekserji Veriminin Akım Yoğunluğuna Göre Değişimi

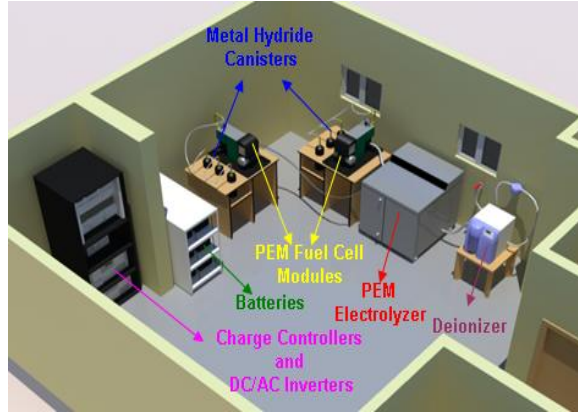
9.4 Temiz Enerji Evinde Yapılan Elektromanyetik Alan Ölçüm Sonuçları

Temiz Enerji Evi'nde elektromanyetik radyasyon ölçümleri, PMM 8053 model elektromanyetik radyasyon ölçüm cihazı ve 0-100 kHz frekanslı düşük frekans ölçüm probu ile gerçekleştirilmiştir (Yılmaz Ulu ve diğ., 2010). Ölçümler, ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komitesi) tarafından belirlenen periyodlar ile yani 6 dakikalık periyodlar ile yapılmıştır. Elektriksel alan yoğunluğu ölçümünde Volt/m, manyetik alan yoğunluğu ölçümünde MicroTesla

ölçüm birimleri kullanılmıştır. Şekil 9.39'da ölçüm yapılan Temiz Enerji Evi ve evde yer alan sistem elemanlarının yerleşim şekli görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 9.39 (a) Temiz Enerji Evi (b) Sistem Elemanları

Ölçümler, literatürde sıkça yer alan bir method ile alınmıştır. Elektromanyetik alan yoğunluğunu belirleyebilmek için ölçüm alanı küçük meshlere ayrılmış ve bu meshlerin kesişim noktalarında yerden 60 cm yükseklikte ölçümler yapılmıştır[7]. Görsel bir sonuç almak için Temiz Enerji Evi'ndeki elektromanyetik kirlilik kaynakları ile birleştirilmiş ve MapInfo yardımı ile harita şekline dönüştürülmüştür.

Ölçümler, 4 Mart 2009 tarihinde, 10:00-14:00 saatleri arasında alınmıştır. Ortalama çevre sıcaklığı 12°C ve ortalama güneş ışınım değeri 500 W/m^2 olarak Weatherlink ölçüm cihazı tarafından belirlenmiştir. Fotovoltaik paneller elektrik üretirken ve üretmez iken paneller etrafında ölçümler yapılmış ve ayrıca üretilen elektrik kullanılırken ve kullanılmazken yani sistem yükte iken ve yüksüz iken kullanılan cihazlar etrafında ölçümler yapılmıştır. Paneller tarafından üretilen elektriğin tüketilmesi amacı ile yük olarak Temiz Enerji Evi'nde bulunan 880 W gücündeki

klima ve 720 W'lık floresan ışıkları kullanılmıştır. Tüm ölçümler maksimum 8 Amper akım koşullarında yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen şekillerde, sistem elemanları aşağıdaki gibi numaralandırılmıştır;

1-Elektrik Dağıtım Kutusu

2-Şarj Regülatörü ve DC/AC İnvörtörler

3-Veri Toplama Paneli

4-Akü Bankı

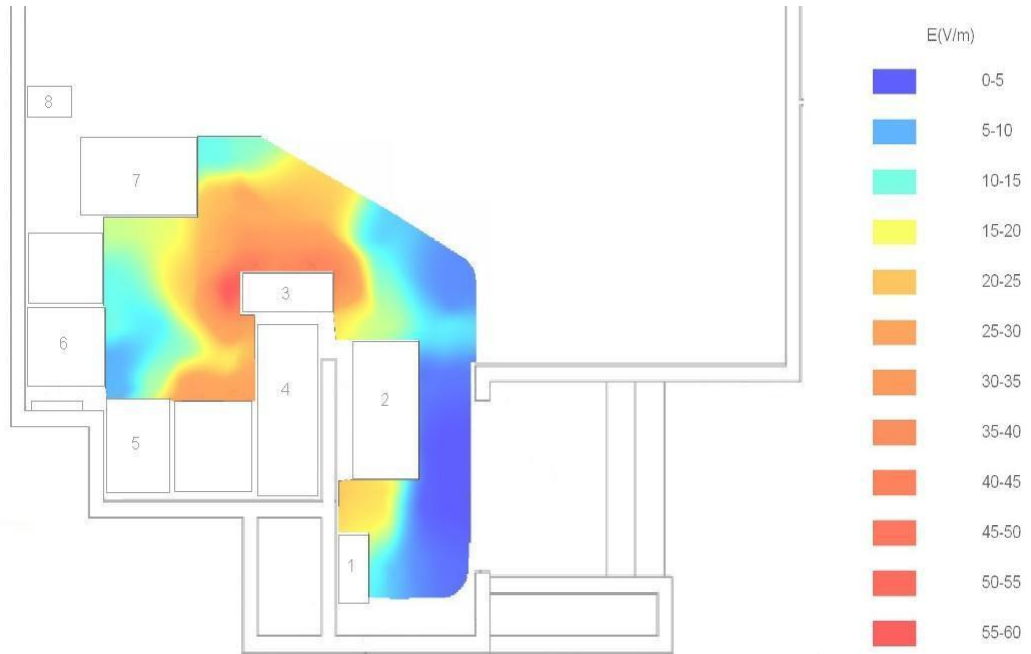
5-PEM Yakıt Pili Modülü ve Metal Hidrid Hidrojen Tankları (1.Grup)

6-PEM Yakıt Pili Modülü ve Metal Hidrid Hidrojen Tankları (2.Grup)

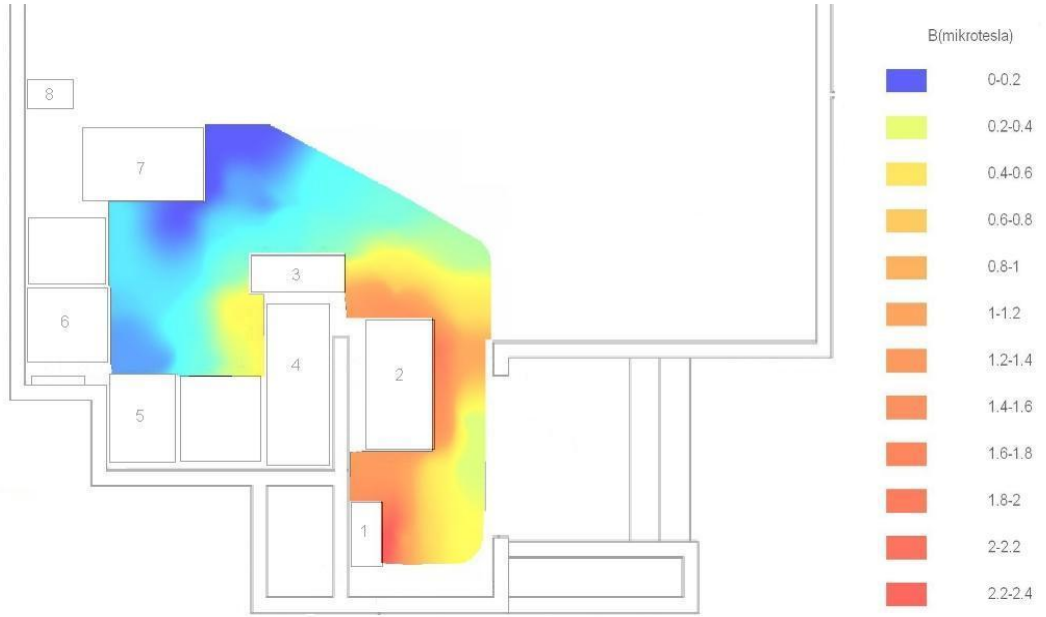
7-Elektrolizör

8-Deiyonizör

Şekil 9.40'da birinci durumda yani sadece PV paneller, aküler ve invertör devrede iken yani hiçbir yük bağlı değilken yapılan elektrik alan ve manyetik alan radyasyon değerleri ölçüm sonuçları yer almaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi elektrik alan radyasyon değeri Veri Toplama Paneli etrafında, manyetik alan radyasyon değeri ise invertör etrafında daha yüksek değerler almaktadır.



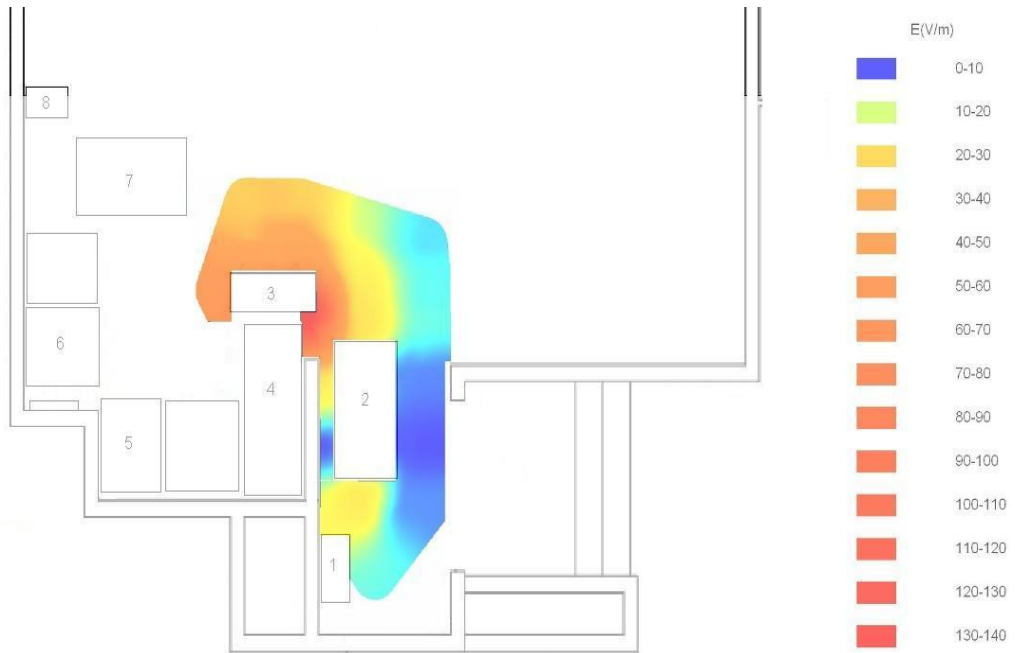
(a)



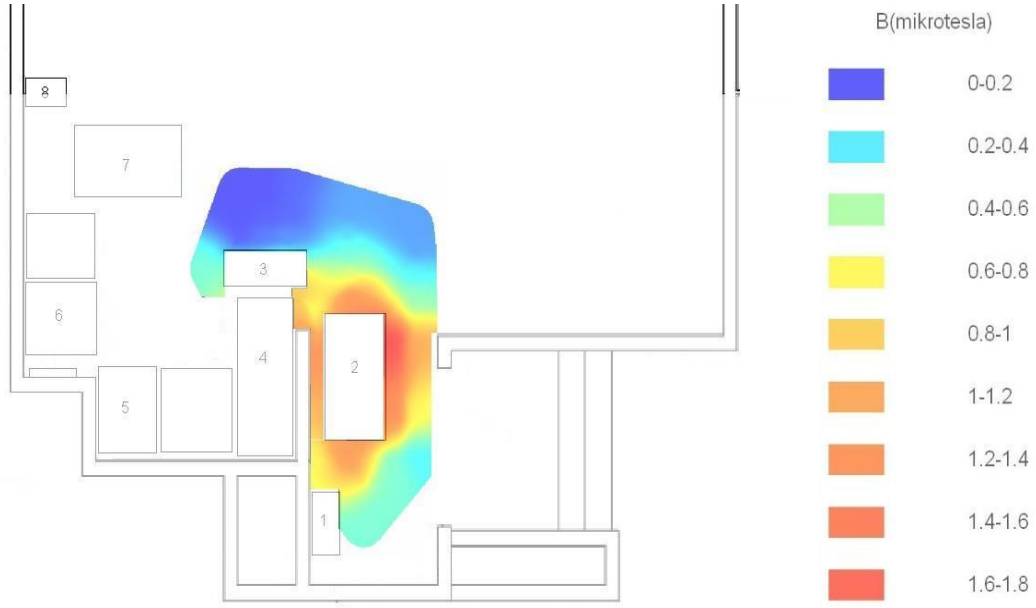
(b)

Şekil 9.40 Durum-I, Sadece PV sistem devrede ve Yüksüz (PV, aküler ve invertör)
a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu

Şekil 9.41’de PV sistem devrede ve yük olarak klima çalıştırılırken yapılan ölçümlerde Veri Toplama Paneli etrafında elektrik alan radyasyon değerlerinin, invertör etrafında ise manyetik alan radyasyon değerinin yüksek olduğu görülmektedir.



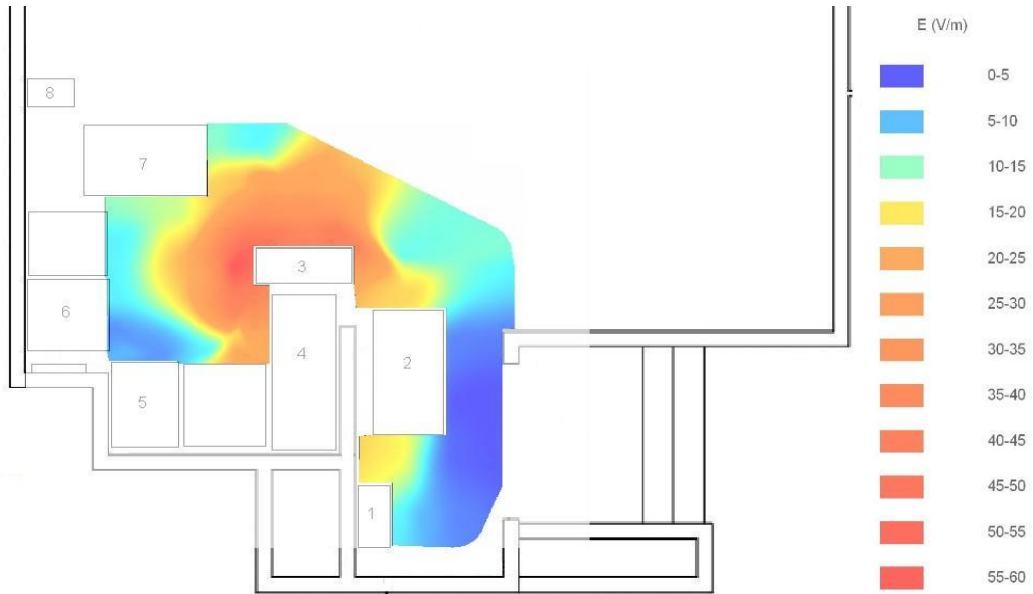
(a)



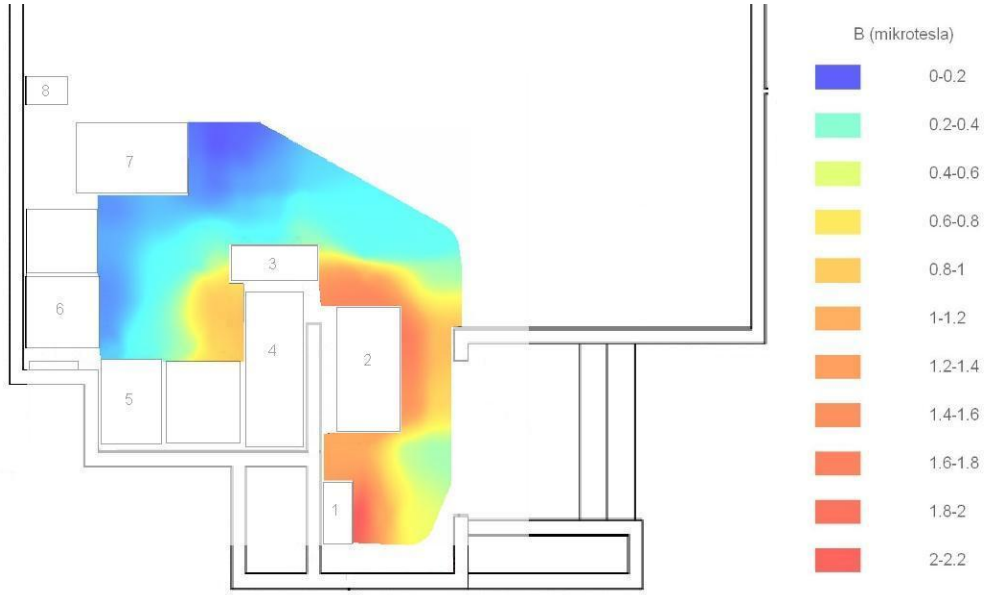
(b)

Şekil 9.41 Durum-II, PV sistem devrede ve Yükte (PV, aküler, invertör, yük(klima))
a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu

Şekil 9.42’de PV paneller devre dışı ve sistem klima ile yükte iken yapılan ölçümler yer almaktadır. Üçüncü durumda sistemin elektrik ihtiyacı akülerden karşılandığı için elektrik alan radyasyon değeri akü bankı etrafında yüksek değerlerde, manyetik alan radyasyon değeri ise invertör etrafında yüksek değerler almaktadır.



(a)

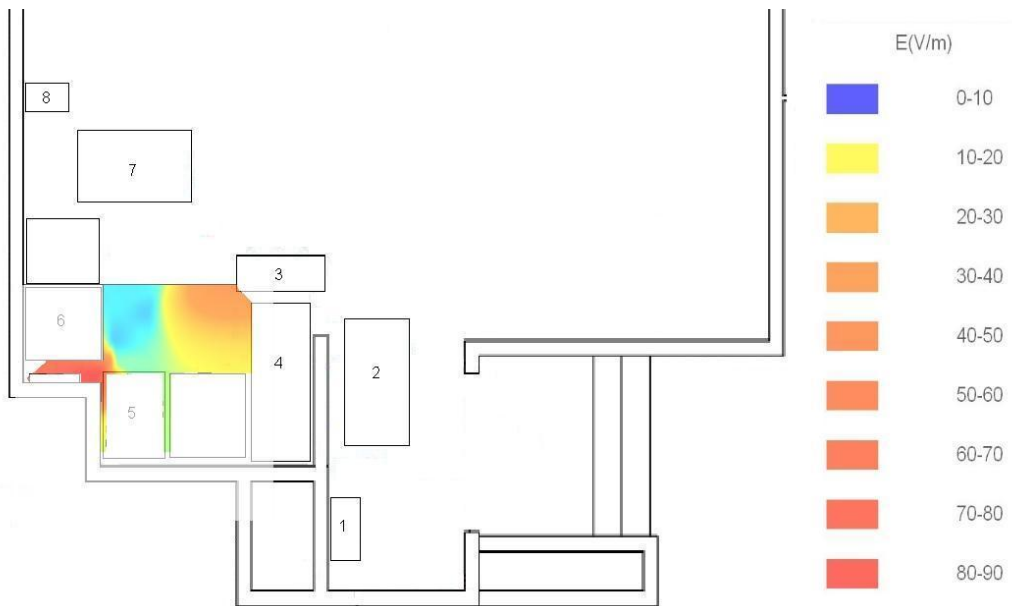


(b)

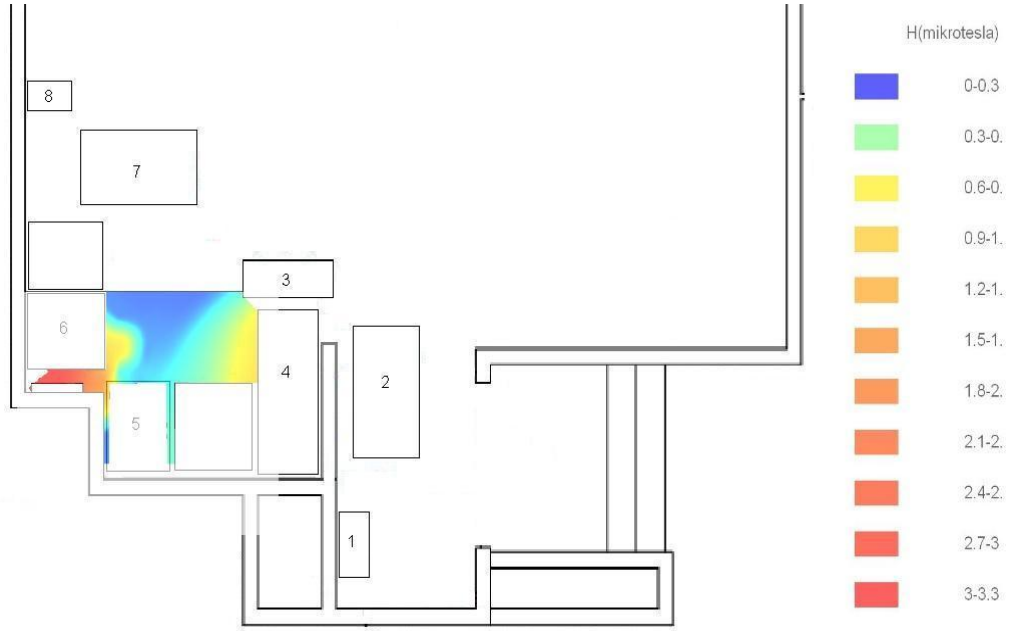
Şekil 9.42 Durum-III, PV sistem devre dışı ve sistem yükte (Aküler, invertör, yük(klima))

a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu

Şekil 9.43’de PV paneller ve yakıt pili devrede ve sistem 590 W’lık yükle yüklenmiş durumda. Dördüncü durumda, elektrik alan ve manyetik alan radyasyon değerleri yakıt pili yakınında yüksek değerler almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 9.43 Durum-IV, PV sistem ve Yakıt Pili Sistemi devrede ve Yükte (PV, aküler, elektrolizör, yük (590 W toplam)) a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu

Şekil 9.44'de elektrolizörün hidrojen üretimi sırasında yapılan ölçüm değerleri yer almaktadır. Hidrojen üretimi sırasında elektrik tüketen elektrolizörün, elektronik kontrol kartının yer aldığı arka tarafında ölçüm değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



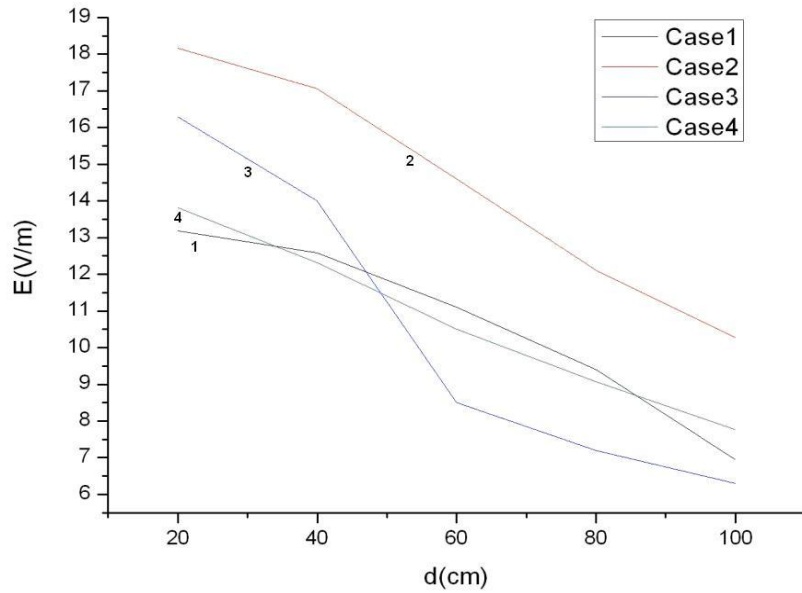
(a)



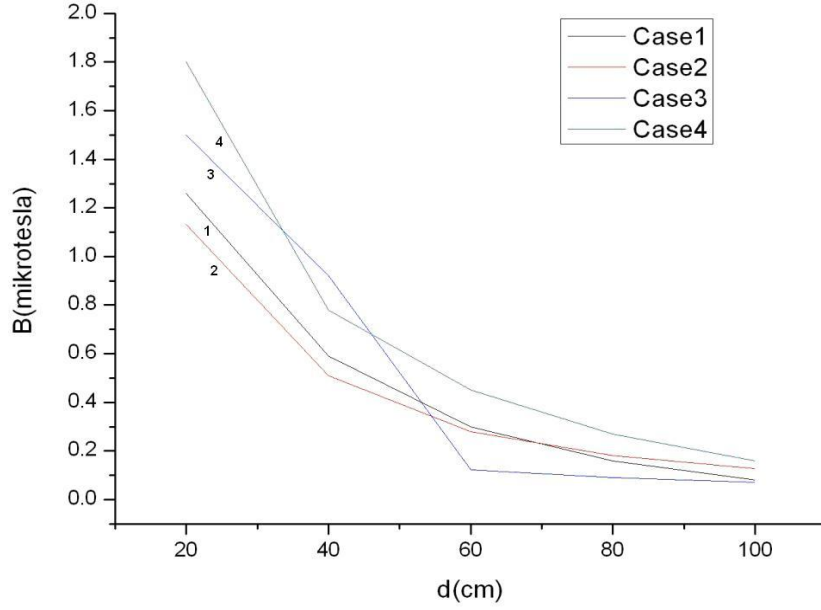
(b)

Şekil 9.44 Elektrolizör devrede a) Elektrik Alan Radyasyonu b) Manyetik Alan Radyasyonu

Şekil 9.45’de invertör önündeki elektrik ve manyetik alan radyasyonunun mesafeye göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi mesafe arttıkça elektrik ve manyetik alan değerleri azalmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 9.45 İnvörtör Önündeki Elektrik ve Manyetik Alan Radyasyonunun Mesafeye Göre Değişimi

PV paneller etrafında yapılan ölçümlerde elektrik ve manyetik alan değerlerinin diğer ölçümler yanında ihmal edilebilir derecede düşük olduğu tespit edilmiştir.

İyonize olmayan elektromanyetik alanların sağlık açısından etkilerini dikkate alarak, bu konuda sınırlama ve standart üreten en yetkili kuruluş ICNIRP'dır. ICNIRP(International Committee on Non-Ionising Radiation Protection), türetilmiş limitleri işyeri ve genel halk şeklinde ikiye ayırmaktadır(ICNIRP, 1998). ICNIRP, işyerleri için 25-820 Hz aralığında elektrik alan sınır değerini $500/f$ (kV/m), manyetik alan sınır değerini $20/f$ (A/m) şeklinde vermektedir. Genel halk için bu sınır değerler yine aynı frekans aralığında elektrik alan için $250/f$ (kV/m), manyetik alan sınır değeri $4/f$ (A/m) şeklinde tanımlanmıştır(Şeker ve Çerezci, 1991).

TSE'nin 1 Nisan 1996 yılında yayınladığı "İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Düşük Frekanslar (0-10 kHz)" isimli standartta 50 Hz'lik şebeke frekansı için, elektrik alan sınır referans değeri işçiler için 30 kV/m, genel halk için 10 kV/m olarak belirlenmiştir.

Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sistemi'nin kurulu bulunduğu Temiz Enerji Evi'nde 50 Hz'lik alan içinde yapılan ölçümler sonucunda elektrik alan değerlerinin, çıplak iletken kabloların bulunduğu Veri Toplama Paneli etrafında yüksek olduğu, manyetik alan değerlerinin ise Elektrik Dağıtım Kutusu etrafında yüksek olduğu, ICNIRP ve TSE standartlarında belirtilen sınırları aşmadığı anlaşılmaktadır.

Bu değerleri daha düşük seviyelere indirmek için de çıplak kabloların yalıtılmasının iyi bir sonuç vereceği düşünülmektedir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Küresel ısınmanın zararlı etkileri, ekonomik kriz, gelişen teknoloji, vb. sebepler, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın şekilde bulunan kaynak güneş olduğu için güneş enerjisi sistemleri üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda büyük hız kazanmıştır.

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Denizli coğrafi konumu itibari ile ülkemizin güneş ışınlarının yüksek oranda ulaştığı şanslı iller arasında yer almaktadır. Denizli'nin sahip olduğu yüksek güneş ışınımının hibrit bir sistemde incelemesini yapmak için Türkiye'de kurulan ilk Güneş-Hidrojen Hibrid Enerji Üretim Sistemi olma özelliği taşıyan ve tüm elektrik ihtiyacını güneşten karşılayabilen Temiz Enerji Evi 2007 yılında inşa edilmiştir. Kurulu mevcut hibrid sistemin performansını belirlemek amacı ile güneşten üretilen elektriğin yük bankası tarafından sağlanan sabit yük altındaki davranışı ve sistemin performans analizi deneysel olarak incelenmiştir. İnceleme ve hesaplamalar sonucunda, aynı sistemin Yılancı tarafından 2008 yılında tamamladığı doktora tezinde Homer bilgisayar yazılımı desteği ile elde ettiği sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sistem performansını belirlemek amacı ile enerji ve ekserji analizi yöntemi kullanılmıştır. Sistemi oluşturan elemanlardan güneş pili panellerinin, elektrolizörün ve yakıt pili sisteminin enerji ve ekserji analizi yöntemi ile verim değerleri hesaplanmıştır. Sistemin diğer elemanları olan şarj regülatörleri, invertörler ve aküler, elektrik enerjisini sadece kullanan cihazlar olduğu için enerji ve ekserji verimleri eşit olmaktadır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda yapılan hesaplamalarda; sabit güneş pili panellerinin enerji verimi değerlerinin %9 ile %14, hareketli güneş pili panellerinin enerji verimi değerlerinin ise %11,3 ile % 17 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elektrolizörün enerji verimi, hesaplamalar sonucunda ortalama % 54 olarak belirlenmiştir. Yakıt pili sisteminin

deneysel veriler sonucu hesaplanan enerji verimi değerinin %28 ile %42 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ekserji analizi sonucu hesaplanan verim değerleri ise sabit güneş pili panelleri için %4.3 ile %9.5 arasında, hareketli güneş pili panelleri için ise %6 ile %13.2 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elektrolizörün ekserji verimi, deneysel veriler doğrultusunda yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama % 51 olarak belirlenmiştir. Yakıt pili sisteminin deneysel veriler sonucu hesaplanan ekserji verimi değeri %22 ile %36 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen verim değerleri incelendiğinde güneş pili panellerinin enerji ve ekserji verimlerinin çok düşük olduğu belirlenmiştir. Doğu-batı ekseninde güneşi takip eden hareketli panellerin güney-kuzey ekseninde de güneşi takip etmesi durumunda verim değerlerinin değişiminin gözlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Elektrolizör ile üretilen H₂'in metal hidrid tanklara dolumu sırasında belli aralıklarda yapılan tank yüzey sıcaklığı ölçümlerinde sıcaklığın 22 °C'den 42 °C'ye çıktığı, yakıt pilinden elektrik üretimi sırasında kullanılan, metal hidrid tanklardaki H₂'nin tüketimi sırasında belli aralıklarda yapılan tank yüzey sıcaklığı ölçümlerinde sıcaklığın 27 °C'den 5 °C'ye indiği belirlenmiştir. Metal hidrid tanklara dolumu sırasında tank yüzeyinin soğutulması durumunda tankların depolama kapasitelerinin artacağı ve dolum süresinin kısılacaağı düşünülmektedir.

Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji retim Sisteminin bulunduğu Temiz Enerji Evi'nde sistem elemanlarının etrafında ve güneş pili panelleri etrafında yapılan elektromanyetik alan ölçümü sonucunda sistemde, standardı aşan elektrik ve manyetik alan radyasyon değerlerine rastlanmamıştır. Genel olarak elektrik alan değerlerinin, çıplak iletken kabloların bulunduğu Veri Toplama Paneli etrafında yüksek olduğu, manyetik alan değerlerinin ise Elektrik Dağıtım Kutusu etrafında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu değerleri daha düşük seviyelere indirmek için de çıplak kabloların yalıtılmasının iyi bir sonuç vereceği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda benzer konuda ileride incelenmesi önerilen konular:

- Hareketli güneş pili panellerinin iki eksende güneşi takip etmesi durumunda panel performansına etkileri incelenmelidir.
- Yakıt pili sisteminin verimini artırmak için yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek gerilim şartları altında çalışması incelenmelidir.

- Metal hidrid tankların dolumu sırasında tankların soğutulması ve tankların boşaltımı sırasında ısıtılmasının etkisi incelenmelidir.
- Maliyeti oldukça yüksek olan sistem elemanlarının, son zamanlarda başlayan yerli üretimleri ile sistem kurulumunun gelecekteki maliyeti takip edilmelidir.
- Sistem tarafından güneşten üretilen fazla elektriğin şebekeye satılması durumunda sistem maliyetinin amorti süresindeki değişim incelenmelidir.
- Hibrit sisteme rüzgar türbini eklenerek güneş ve rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acciani, G., Falcone, O. , Vergura, S.**, 2010: Analysis of the thermal heating of poly-Si and a-Si photovoltaic cell by means of Fem, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)*, Granada (Spain), March 23- 25.
- Amphlett, J.C., Baumert, R.M., Mann, R.F., Peppley, B.A., Roberge, P.R., Harris, T.J.**, 1995a: Performance Modeling Of The Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell. I. Mechanistic Model Development, *Journal Of Electrochemical Society*, 142, 1-8.
- Amphlett, J.C., Baumert, R.M., Mann, R.F., Peppley, B.A., Roberge, P.R., Harris, T.J.**, 1995a: Performance Modeling Of The Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell. II. Empirical Model Development, *Journal Of Electrochemical Society*, 142, 9-15.
- Atagündüz G.**, 1989: Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayınları No:2, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.
- Ay, M., Midilli, A., Dincer, I.**, 2006: Thermodynamic Modelling of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell, *International Journal of Exergy*, 3, 16-44.
- Ayvaz, Z.**, 1998: Hidrojen Enerjisine Giriş, *Kaynak Yayınevi*, 18-25.
- Barbir F.**, 2005: PEM Fuel Cells: Theory and Practice, *Elsevier Academic Press*, ISBN978-0120781423, 310.
- Bak T., Nowotny J., Rekas M., and Sorrell C.C.**, 2002: Photo-Electrochemical Hydrogen Generation from Water Using Solar Energy: Materials-Related Aspects, *International Journal of Hydrogen Energy*, 27, 991 – 1022.
- Bayrakçı, E.**, 1996: Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
- Bilgen, E.**, 2004: Domestic Hydrogen Production Using Renewable Energy, *Solar Energy*, 77, 47–55.
- BP Statistical Review of World Energy** (Haziran, 2009).

- Cownden, R., Nahon, M., and Rosen, M.A.,** 2001: Exergy Analysis of A Fuel Cell Power System For Transportation Applications, *Exergy International Journal*, 2, 112-121.
- Çengel, Y. A., ve Boles, M. A.,** 1996: *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Derbentli, T., McGraw-Hill – Literatür, İstanbul, 867s.
- Dinçer, İ.,** 2002: The Role of Exergy in Energy Policy Making, *Energy Policy*, Cilt No:30, Sayfa: 137-149.
- Duic, N., Graça M., C.,** 2004: Increasing Renewable Energy Sources in Island Energy Supply: Case Study Porto Santo, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 383–399.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,** 2009: Türkiye Enerji Raporu.
- El-Sharkh, M.Y., Rahman, A., Alam, M.S., Byrne, P.C., Sakla, A.A., Thomas, T.,** 2004: A Dynamic Model For A Stand-Alone PEM Fuel Cell Power Plant For Residential Applications, *Journal Of Power Sources*, 138, 199-204.
- El-Shatter T.F., Eskandar M.N., and El-Hagry M.T.,** 2002: Hybrid PV/fuel Cell System Design and Simulation, *Renewable Energy*, 27: 479–485.
- Gibson, T.L., Kely, N.A.,** 2008: Optimization of Solar Powered Hydrogen Production Using Photovoltaic Electrolysis Devices, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 5931-5940.
- Grigoriev, S.A., Porembsky, V. I., Fateev, V. N.,** 2006: Pure Hydrogen Production by PEM Electrolysis for Hydrogen Energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 171 – 175.
- Haraldsson, K., Wipke, K.,** 2004: Evaluating PEM Fuel Cell System Models, *J. Power Sources*, 126, 88-97.
- Hussain, M.M., Baschuk, J.J., Li, X., Dincer, I.,** 2005: Thermodynamic Analysis Of A PEM Fuel Cell Power System, *International Journal Of Thermal Sciences*, 44, 903-911.
- Hwang, J.J., Chang, W.R., Wen, F.B.,** 2008: Dynamic modeling of a solar hydrogen system under leakage conditions., *Int. J. Hydrogen Energy*, 33, 3615-3624.
- ICNIRP Guidelines,** 1998: Guidelines for limiting exposure time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields, *Health Physics*, 74(4), 494-521.
- Jeter, S.M.,** 1981: Maximum Conversion Efficiency for the Utilization of Direct Solar- Radiation, *Solar Energy*, 26, 231-236.
- Joshi, A.S., Dincer, İ., Reddy, B.V.,** 2009: Energetic and Exergetic Analyses of a Photovoltaic System, 35, 578-588.
- Kazım, A.,** 2004: Exergy Analysis of a PEM Fuel Cell at Variable Operating Conditions, *Energy Conversion and Management*, 45, 1949–1961.
- Kazım, A.,** 2005a: Hydrogen Production Through an Ocean Thermal Energy Conversion System Operating at an Optimum Temperature Drop, *Applied Thermal Engineering*, 25, 2236-2246.

- Kazım, A.**, 2005b : Effect of Higher Operating Pressure on the Net Change in Voltage of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Under Various Operating Conditions, *Journal of Power Sources*, 143, 9-16.
- Kotas, T.J.**, 1985: The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Butterworths.
- Kreuter, W., Hoffmann, H.**, 1998: Electrolysis: The Important Energy Transformer in a World of Sustainable Energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 23, 661-666.
- Lagorse, J., Sirnoes, M.G., Miraoui, A.**, 2008: Energy Cost Analysis of a Solar-Hydrogen Hybrid Energy System for Stand-Alone Applications, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 2871-2879.
- Licht, S.**, 2002: Efficient Solar Generation of Hydrogen Fuel-A Fundamental Analysis, *Electrochemistry Communications*, 4, 790-795.
- Linkous, CA.**, 1992: Hydrogen energy progress IX, Proceedings of the Ninth World Hydrogen Energy Conference. Paris (Fransa), 419.
- Lodhi, M.A.K.**, 1997: Photovoltaics and Hydrogen: Future Energy Options, *Energy Conversion & Management*, 38, 1881-1893.
- Mert, S.O., Dincer, I., Ozcelik, Z.**, 2006: Exergoeconomic Analysis of A PEM Fuel Cell System for Vehicles, *Summer Course on Exergy and its Applications*, Eskişehir, 14-16 Temmuz 2006.
- Miller A.**, 1966: Meteorology, Charls E., Merril Boks, Colombus, Ohio.
- Miansari, Me., Sedighi, K., Amidpour, M., Alizadeh, E., Miansari, Mo.**, 2009: Experimental and Thermodynamic Approach On Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance, *Journal of Power Sources*, 190, 356-361.
- Midilli, A., Ay, M., Dincer, I., Rosen, M.A.**, 2005a :On Hydrogen and Hydrogen Energy Strategies I: Current Status and Needs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9, 255-271.
- Midilli, A., Ay, M., Dincer, I., Rosen, M.A.**, 2005b:On Hydrogen and Hydrogen Energy Strategies II: Future Projections Affecting Global Stability and Unrest, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9, 273-287.
- Nagaia, N., Takeuchia, M., Kimurab, T., Okaa, T.**, 2003: Existence of optimum space between electrodes on hydrogen production by water electrolysis, *Int. J. Hydrogen Energy*, 28, 35-41.
- Ni, M., Leung, M.K.H., Leung, D.Y.C.**, 2008: Electrochemical Modeling of Hydrogen Production by Proton-Conducting Solid Oxide Steam Electrolyzer, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 4040-4047.
- Özgener, L., ve Hepbaşı, A.**, 2003: HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği ve Uygulamaları, *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 8-11 Ekim.
- Padin, J., Veziroğlu, T.N., Shahin, A.**, 2000: Hybrid Solar High-Temperature Hydrogen Production System, *International Journal of Hydrogen Energy*, 25, 295-317.

- Petela, R.**, 2003: Exergy of Undiluted Thermal Radiation, *Solar Energy*, 74, 469-488.
- Petela, R.**, 1961: Exergy of Radiation of a Perfect Gray Body, *Energetyka*, 5, 33-45.
- Penner, S.S.**, 2006: Steps Toward The Hydrogen Economy, *Energy*, 31, 33-43.
- Rowe, A., Li, X.**, 2001: Mathematical Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cells, *Journal of Power Sources*, 102, 82-96.
- Sahin, A.D., Dincer, İ., Rosen, M.A.**, 2007: Thermodynamic Analysis Of Solar Photovoltaic Cell System, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 91, 153-159.
- Saidi, M.H., Ehyaei, M.A. Abbasi, A.**, 2005: Optimization Of A Combined Heat And Power PEFC By Exergy Analysis , *Journal Of Power Sources*, 143, 179-184.
- Santarelli M., Cal M., and Macagno S.**, 2004: Design and Analysis of Stand-Alone Hydrogen Energy Systems with Different Renewable Sources, *International Journal of Hydrogen Energy*, 29: 1571 – 1586.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, A.**, 2009: Exergetic optimization of a solar photovoltaic (PV) array, *Journal of Thermodynamics*, <doi:10.1155/2009/313561>.
- Şeker, S., Çerezci, O.**, 1997: Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniv. Yayınları.
- Sevgi, L.**, 2005: Endüstriyel & Otomasyon Dergisi.
- Sevgi, L.**, 2004: Endüstriyel & Otomasyon Dergisi.
- Spanner, D.J.**, 1964: Introduction to Thermodynamics, Academic Press, London.
- Spiegel, C.S.**, 2007: Designing and Building Fuel Cells, McGraw-Hill, 500s.
- Stojić, D. Lj., Milica P. M., Sofija P. S., Šćepan S. M.**, 2003: Hydrogen Generation From Water Electrolysis—Possibilities of Energy Saving, *Journal of Power Sources*, 118, 315-319.
- Şen, Z.**, 2004: Solar Energy in Progress and Future Research Trends, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 367-416.
- Valverde, R.G., Miguel, C., Bejar, R.M., Urbina, A.**, 2008: Optimized Photovoltaic Generator- Water Electrolyser Coupling Through a Controlled DC-DC Converter, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 5352-5362.
- Würfel, P.**, 2005: Physics of Solar Cells, Wiley and Sons, ISBN 3-527-40428-7, 480s.
- Yılancı, A.**, 2008: Güneş-Hidrojenli Bir Sistemin Kurulması ve Performansının Analizi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Yılandı, A., Dincer, I., Ozturk, H.K.,** 2008: Performance Analysis Of A PEM Fuel Cell Unit In A Solar-Hydrogen System, *Inetrnational Journal Of Hydrogen Energy*, 33, 7538-7552.
- Yılandı A.,** 2010a: Enerji ve Ekonomi Ders Notları.
- Yılandı A.,** 2010b: Hidrojen Enerjisi ve Teknolojileri-Yakıt Pilleri Ders Notları.
- Yılandı A., Ozturk, H.K., Dincer, I., Yılmaz Ulu, E., Cetin, E., Ekren, O.,** 2010: Exergy Analysis and Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic-hydrogen Production System, *International Journal Of Exergy*,(Baskıda).
- Yılmaz Ulu, E., Cetin, E., Karakılınc, O.Ö., Yılandı, A., Öztürk, H.K.,** 2010: Analysis of a Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Energy System In Terms Of Electromagnetic Pollution, *International Review of Electrical Engineering*, Vol.5, No:4, 1600-1608.
- Yılmaz Ulu, E., Öztürk, H.K.,** 2010: Exergy Analysis Of A Solar-Hydrogen Hybrid Energy System, *International Review of Electrical Engineering*, Vol.5, No:5, (Baskıda).
- Zamfirescu, C., Dincer, I.,** 2009: How Much Exergy One Can Obtain From Incident Solar Radiation, *Journal of Applied Physics*, 105, 044-911.
- Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A.,** 2008: Model-based Optimal Control of a Hybrid Power Generation System Consisting of Photovoltaic Arrays and Fuel Cells, *Journal of Power Sources*, 181, 327-338.
- Url-1,** <http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/konut_ulas/bina_ulas.html>, alındığı tarih 10.05.2010.
- Url-2,** < <http://www.energy.itu.edu.tr/iTUOnerileri.pdf>>, alındığı tarih 02.03.2010.
- Url-3,**<<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>>, alındığı tarih 09.01.2010.
- Url-4,**<<http://www.kyocerasolar.de/products/pdf1/KC125GHT-2.pdf>>, alındığı tarih 17.06.2009.
- Url-5,** <<http://www.eie.gov.tr/duyurular/YEK/gepa/TURKIYE-GEPA.pdf>>, alındığı tarih 09.01.2010.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Eylem YILMAZ ULU

Doğum Yeri ve Tarihi: Zonguldak, 1976

Adres: Pamukkale Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Yılmaz Ulu, E.**, Cetin, E., Karakılınç, O.Ö., Yılandı, A., Öztürk, H.K., 2010: Analysis of a Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Energy System In Terms Of Electromagnetic Pollution, *International Review of Electrical Engineering*, Vol.5, No:4, 1600-1608.
- Yılandı A., Ozturk, H.K., Dincer, I., **Yılmaz Ulu, E.**, Cetin, E., Ekren, O., 2010: Exergy Analysis and Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic-hydrogen Production System, *International Journal Of Exergy*,(Baskıda).
- **Yılmaz Ulu, E.**, Öztürk, H.K., 2010: Exergy Analysis Of A Solar-Hydrogen Hybrid Energy System, *International Review of Electrical Engineering*, Vol.5, No:5, (Baskıda).