

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Seyfettin GÜREL**

**Danışman
Doç. Dr. Gamze GENÇ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2014
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Seyfettin GÜREL**

**Danışman
Doç. Dr. Gamze GENÇ**

**Ağustos 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Seyfettin GÜREL

İmza : 


YÖNERGEYE UYGUNLUK

“GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI”
adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma
Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Seyfettin GÜREL



Danışman

Doç. Dr. Gamze GENÇ



Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

Doç. Dr. Gamze GENÇ danışmanlığında **Seyfettin GÜREL** tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

08 /08 / 2014

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Gamze GENÇ

Üye : Prof. Dr. Beşir ŞAHİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gülşah ÖZİŞİK

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 26/08/2014 tarih ve 2014/38-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


26 / 08 / 2014

Prof. Dr. Kâzım Keşlioğlu

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyerek beni cesaretlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Gamze GENÇ'e, çalışmalarımın başarılı bir şekilde yürümesi için her türlü olanağı sağlayarak deneyimleriyle ve üstün bilgi birikimiyle her türlü konuda bizlere ışık tutan bölüm başkanımız Sn. Prof. Dr. Hüseyin YAPICI'ya ve Öğr. Gör. Mehmet Fatih KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca yardımcı olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Selçuk SARIKOÇ'a, Arş. Gör. Muhammet ÇELİK'e çalışmalarım sırasında manevi destekleriyle moral ve motivasyon sağlayan çalışma arkadaşlarım ve Arş. Gör. Onur KOŞAR'a ve Arş. Gör. Halil Hakan AÇIKEL'e teşekkür ederim.

Ayrıca; bugüne kadar ki bütün çalışmalarım her zaman yanımda olan çok değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Seyfettin GÜREL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2014

Danışman: Doç. Dr. Gamze GENÇ

ÖZET

Bu tez çalışmasında Kayseri-merkez için güneş enerjisinden hidrojen üretim potansiyeli güneş-elektrolizör hibrid sistemi kullanılarak araştırıldı. Hidrojen üretimi için, yüksek saflıkta hidrojen üretimi ve yakıt pilleriyle de çalışma olanağı sağlayan PEM tipi elektrolizör kullanıldı. Belirli bir alan için aylık ve günlük enerji potansiyeli, ele alınan bölgenin toplam global radyasyon miktarlarından hesaplanmıştır. Üretilen bu enerji ile farklı güçlerde elektrolizör kullanılarak hidrojen üretim miktarları belirlendi. Bunun için üç farklı durum ele alınarak; (i) 10 x10 kW , (ii) 5x20 kW, (iii) 1x100 kW güçlerinde elektrolizörler kullanılarak ayrı ayrı hidrojen üretim potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilen son durumda, 10x10 kW gücüne sahip elektrolizörden üretilen hidrojen miktarının diğerlerinden daha fazla hidrojen üretim potansiyeline sahip olduğu görüldü.

Ayrıca, hidrojen üretim miktarının, toplam güneş ışınımının en fazla olduğu yaz mevsiminde en yüksek seviyeye ulaştığı, farklı panellerin sahip olduğu verim değerlerine göre, hidrojen üretim miktarının değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi; Hidrojen enerjisi; Hidrojen üretimi; Elektroliz

INVESTIGATION OF PRODUCTION OF HYDROGEN FROM SOLAR ENERGY

Seyfettin GÜREL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, August 2014

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gamze GENÇ

ABSTRACT

In this thesis, the potential of hydrogen production was analyzed using solar-electrolyzes system. For the hydrogen production, PEM type electrolyzer was used with the properties of high purity hydrogen providing was availability of working with proper fuel cell. Daily and annually potential of energy was calculated from the total global radiation. With this energy, the quantity of hydrogen production was specified for different electrolyzes. Three different cases were examined; (i) 10 x10 kW , (ii) 5x20 kW, (iii) 1x100 kW for the hydrogen production. Taking everything into account, the 10 x10 kW electrolyzes had more hydrogen production potential than other cases.

It can be concluded that the quantity of hydrogen production reaches its maximum values in summer season (especially in July) depending on the fact that the total irradiation energy has the maximum values in these months. The potential of hydrogen production also changes with the efficiency of photovoltaic panels.

Keywords: Electrolysis, Hydrogen Energy, Hydrogen Production, Solar Energy

İÇİNDEKİLER

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

| | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------|--------------|
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI..... | ii |
| YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI | iii |
| KABUL VE ONAY SAYFASI..... | iv |
| ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR..... | v |
| ÖZET..... | vi |
| ABSTRACT | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | viii |
| KISALTMALAR VE SİMGELER..... | xii |
| TABLolar LİSTESİ..... | xiii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | xiv |
| GİRİŞ..... | 1 |

1. BÖLÜM

ENERJİ ve ÇEŞİTLERİ

| | |
|--|----------|
| 1.1. Enerji Tanımı..... | 3 |
| 1.2. Konvansiyonel Enerji Kaynakları | 3 |
| 1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Dünyadaki Durumu..... | 3 |
| 1.4. Dünyada Enerji İhtiyacı | 4 |
| 1.5. Türkiye'nin Enerji İhtiyacı | 6 |

2.BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

| | |
|--|-----------|
| 2.1. Giriş | |
| 2.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi..... | 9 |
| 2.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli | 10 |
| 2.2. Güneş Enerjisinin Avantajları Ve Dezavantajları | 13 |
| 2.2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları | 13 |
| 2.2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları..... | 13 |
| 2.3. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları | 13 |
| 2.4. Güneş Pilleri..... | 14 |
| 2.4.1. Güneş Pillerinin İç Yapısı..... | 15 |
| 2.4.1.1. P Tipi (alıcı) Yapı | 15 |
| 2.4.1.2 N tipi (verici=donör) Yapı | 16 |
| 2.5. Güneş Piliin Çalışma Prensiğini Oluşturan Temel Parametreler | 19 |
| 2.6. Güneş Pili Çeşitleri..... | 19 |
| 2.6.1. Tek Kristalli Silisyum Güneş Pili..... | 20 |
| 2.6.2. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pili | 20 |
| 2.6.3. Semi kristal Silisyum Güneş Pili | 20 |
| 2.6.4. Ribbon Silisyum Güneş Pili..... | 20 |
| 2.6.5. Polikristal Silisyum Güneş Pili..... | 20 |
| 2.6.6. Galyum Arsenit içeren Güneş Pili | 20 |
| 2.6.7. Amorf Silisyum (a-Si) Güneş Pili..... | 21 |
| 2.6.8. Kadmiyum Tellür(CdTe)Güneş Pili | 21 |
| 2.6.9. Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe₂ veya CIS) Güneş Pili..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 2.6.10. İnce Film Güneş Pili | 22 |
| 2.7. Güneş Pillerinde Verimlilik..... | 22 |
| 2.8. Fotovoltaik Paneller .. | 23 |
| 2.9. Fotovoltaik Sistemler ve Uygulama Alanları..... | 24 |
| 2.9.1. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler | 25 |
| 2.9.2. Şebekeye bağlı olmayan fotovoltaik sistemler | 26 |
| 2.9.3. Hibrit Bağlı Sistemler | 27 |

3. BÖLÜM

HİDROJEN VE ÜRETİM METOTLARI

| | |
|--|----|
| 3.1. Hidrojenin Tarihçesi | 28 |
| 3.2. Hidrojenin Temel Özellikleri | 30 |
| 3.3. Hidrojen Üretim Metotları..... | 31 |
| 3.3.1. Konvansiyonel Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi..... | 32 |
| 3.3.1.1. Kömürün Gazlaştırılması İle Hidrojen Eldesi | 32 |
| 3.3.1.2. Doğalgaz (Metan) Reformasyonu İle Hidrojen Eldesi..... | 33 |
| 3.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi..... | 34 |
| 3.3.2.1. Elektroliz yoluyla Hidrojen Üretimi | 34 |
| 3.3.2.2. Fotoelektroliz ile Hidrojen Üretimi | 36 |
| 3.3.2.3. Güneşin Termolizinden Hidrojen Üretimi..... | 37 |
| 3.3.2.4. Termokimyasal Çevrimler ile Hidrojen Üretimi..... | 38 |

4. BÖLÜM**LİTERATÜR TARAMASI****5. BÖLÜM****KAYSERİ İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

| | |
|---|-----------|
| 5.1. Kayseri İli İçin Güneş Enerjisi Potansiyeli | 60 |
| 5.2. Güneş – Hidrojen Hibrid Sistemleri ve Özellikleri | 61 |
| 5.3. Fotovoltaik panellerden üretilen elektrik enerjisi hesabı | 63 |
| 5.4. Hidrojen Üretimi Hesabı | 64 |

6. BÖLÜM**SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

| | |
|--|-----------|
| 6.1. Değerlendirme | 70 |
| 6.2. Sonuçlar ve tavsiyeler | 71 |
| KAYNAKLAR..... | 73 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 84 |

KISALTMALAR VE SİMGELER

| <u>Sembol</u> | <u>Anlamı</u> | <u>Birimi</u> |
|----------------------|---|-----------------------|
| PV | Fotovoltaik | -- |
| FF | Dolum Faktörü | -- |
| V_m | Güneş hücresinin maksimum voltajı | (V) |
| I_m | Güneş hücresinin maksimum akımı | (A) |
| V_{AD} | Güneş hücresinin açık devre voltajı | (V) |
| I_{AD} | Güneş hücresinin kısa devre akımı | (A) |
| P_{in} | Güneş hücresinin toplam gücü | (W) |
| η_m | Güneş hücresinin maksimum verimi | -- |
| S-I | Sülfürik asit- Iyot | -- |
| Cu-Cl | Bakır Klorür | -- |
| A | Alan | (m ²) |
| PV/T | Güneş Pili – Termal Sistem | -- |
| MTEP | Milyon Ton Eşdeğer Petrol | -- |
| HTE | Yüksek Sıcaklıklı Elektroliz | -- |
| Zn | Çinko | -- |
| O | Oksijen | -- |
| ZnO | Çinko oksit | -- |
| m_{elek} | Elektrolizörden Üretilen Hidrojen Miktarı | (kg) |
| I_{elek} | Akım | (A) |
| η_i | Akım Verimi | -- |
| V_{elek} | Elektrolizör Çalışma Voltajı | (V) |
| m_{yp} | Yakıt Pili İçin Gerekli Hidrojen Miktarı | (kg) |
| μ_{yp} | Faraday Verimi | -- |
| H | Ortalama Güneş Işınımı | (kWh/m ²) |
| PR | Fotovoltaik sistem kayıp oranı | -- |
| $V_{e, hücre}$ | Hücre voltajı | (V) |
| N_{elk} | Elektrolizörün hücre sayısı | -- |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1. Türkiye'nin Enerji arzının kaynaklara göre dağılımı [4]..... | 7 |
| Tablo 2.1. Güneş pillerinde ulaşılmış en yüksek verimlilikler [20]..... | 23 |
| Tablo 3.1. Hidrojenin diğer yakıtlarla karşılaştırılması [27]..... | 30 |
| Tablo 6.1. Üç ayrı elektrolizörden üretilen yıllık hidrojen üretim miktarları | 70 |
| Tablo 6.2. Üç ayrı elektrolizör için şebekeye verilecek olan aylık enerji (kWh) | 71 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1. | Kaynak Türlerine Göre Üretim Oranı (%) [1]..... | 4 |
| Şekil 1.2. | 2008-2035 Yılları Arası Dünya Enerji Tüketimi [3] | 5 |
| Şekil 1.3. | 2010-2040 Yılları Arası Dünya Enerji Tüketiminde Enerji Kaynaklarının Payı [3]. | 6 |
| Şekil 2.1. | Güneşten gelen ışınımın dağılımı [6]..... | 9 |
| Şekil 2.2. | Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası [kWh/m ² -yıl] [8]..... | 11 |
| Şekil 2.3. | Türkiye Güneşlenme Şiddeti [kWh/m ² -ay] [8]..... | 11 |
| Şekil 2.4. | Türkiye Güneşlenme Süreleri [8]..... | 12 |
| Şekil 2.5. | Güneş Pilinin Yapısı [15]. | 14 |
| Şekil 2.6. | Güneş Pilinden Güneş Paneli Dizilerine Geçiş..... | 15 |
| Şekil 2.7. | Silisyuma indiyum katılarak elde edilen P tipi malzeme [15]..... | 16 |
| Şekil 2.8. | Silisyuma arsenik katılarak elde edilen N tipi malzeme [15] | 17 |
| Şekil 2.9. | P-n kavşağının oluşumu sırasında oluşan nötr bölge [15]... .. | 18 |
| Şekil 2.10. | P-n kavşağının oluşumu [16]. | 18 |
| Şekil 2.11. | Silikon Güneş Pilinin I-V ve P-V karakteristikleri [17] | 19 |
| Şekil 2.12. | PV Panellerin Parellel ve Seri Bağlanması [21] | 23 |
| Şekil 2.13. | Fotovoltaik Sistemin Temel Elemanları [22]..... | 24 |
| Şekil 2.14. | Konut için şebekeye bağlı fotovoltaik sistem | 25 |
| Şekil 2.15. | Şebekeye bağlı fotovoltaik Santrali | 26 |
| Şekil 2.16. | Konut için Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem..... | 26 |
| Şekil 2.17. | Fotovoltaik- Rüzgar Türbini Hibrid Bağlı Sistem | 27 |
| Şekil 3.1. | Hidrojenin Üretim yöntemleri [29]..... | 32 |
| Şekil 3.2. | Kömürün Gazlaştırılması [30] | 33 |
| Şekil 3.3. | Doğalgaz (metan) reformasyonu akış şeması [28] | 33 |
| Şekil 3.4. | Suyun basit elektroliz ile ayrışması [31] | 34 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.5. PEM tipi elektrolizin çalışması [35] | 36 |
| Şekil 3.6. TiO ₂ elektrotlu foto elektrokimyasal hücrenin çalışması [39] | 37 |
| Şekil 3.7. S-I çevriminin şematik gösterimi [44] | 39 |
| Şekil 5.1. 2007-2012 yılları arası günlük global radyasyon değerlerinin değişimi | 60 |
| Şekil 5.2. 2007-2012 yılları arası aylık global radyasyon değerlerinin değişimi (kWh/m ² -gün) | 61 |
| Şekil 5.3. Güneş Enerjisi- Hidrojen Hibrid Sistemi Genel Elemanları | 62 |
| Şekil 5.4. Günlük Üretilen Enerji | 63 |
| Şekil 5.5. Aylık Üretilen Enerji | 64 |
| Şekil 5.6. 10 x 10 kW elektrolizör kullanarak üretilecek hidrojen miktarı | 66 |
| Şekil 5.7. 5 x 20 kW elektrolizör kullanarak üretilecek hidrojen miktarı..... | 67 |
| Şekil 5.8. 1 x 100 kW elektrolizör kullanarak üretilecek hidrojen miktarı..... | 67 |
| Şekil 5.9. Üç ayrı güçte elektrolizör için aylık üretilen enerji miktarı..... | 68 |
| Şekil 5.10. Panel veriminin yıllık hidrojen üretimi ile ilişkisi | 69 |

GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, insanların enerjiye olan ihtiyaçları da artmıştır. Yaşam kalitesindeki artışla orantılı olarak enerji tüketimi de hızla artmıştır. Fosil yakıtların bu artan enerji talebini karşılamakta yetersiz kalmasından dolayı, bu ihtiyacı karşılamak için dünya üzerinde var olan enerji kaynaklarının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi de her geçen gün artmaktadır. Buna ek olarak, fosil yakıtlardan dolayı atmosferde artan karbondioksit miktarı, bilim insanlarını temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarında yeni çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. Artan bu enerji ihtiyacını karşılayacak potansiyele sahip olması ve aynı zamanda sürekli ve temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji kaynağı olarak Güneş, önemli bir yere sahiptir.

Güneş, tüm enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Ülkemiz içinde bulunduğu coğrafi konum sebebiyle Güneş enerjisi potansiyeli bakımından dünya üzerindeki çoğu ülkeye göre daha iyi durumdadır. Bu yüzden Güneş enerjisinden olabildiğince faydalanmak amacıyla son yıllarda yapılan çalışmalar Güneş enerjili sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Son yıllarda devamlı yükselen bu enerji talebiyle birlikte güneş enerjisi ile elektrik üretimi de her geçen gün daha çok önemli hale gelmeye başlamıştır. Güneş enerjisinin kullanıldığı alanlar her geçen gün artarak genişlemektedir. Günlük hayatta insanların ısınma ihtiyacından askeri alana kadar birçok alanda kendine yer bulan bu sistemler, gelecekte teknolojik açıdan gelişmenin de temel unsuru olacaktır.

Sonsuz enerji kaynağı olarak güneş, dünyamızı ısıtmaya devam edecek ve tükenmeyecektir. Ancak güneşin her zaman sürekli bir enerji üretimi sağlayamamasından dolayı, bir enerji taşıyıcısı ya da depolama elemanına ihtiyaç vardır. Hidrojen, güneş enerjisinden çeşitli yöntemlerle elde edilebilmekte ve depolanabilmektedir. Elektrik üretiminde kesintisiz kullanım imkanı sağlayan hidrojen, çevre ile dost olmasından dolayı bu elementin kullanımını daha da artırmıştır. Yakıt olarak kullanımının yanı sıra, farklı yakıtlar için gerekli üretim yöntemleri içi enerji

taşıyıcısı olmasından dolayı hidrojen birincil enerji kaynağı olarak kullanılamamaktadır. İlerleyen yıllarda hidrojen ve hidrojen üretimi teknolojileri, şu anda olduğundan daha ileri bir konumda olacaktır. Hidrojenin üretimi için, ekserji ve enerji analizleri yapılarak, bu yöntemlerin verimlilikleri ve performanslarının artırılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

1.BÖLÜM

ENERJİ VE ÇEŞİTLERİ

1.1. Enerjinin tanımı

İnsanoğlunun en temel gereksinimlerinden biri olarak sıklıkla değişik alanlarda karşımıza çıkan enerji, en temel tanımıyla iş yapabilme yeteneği olarak bilinmektedir. Enerji, hayatın her alanında değişik biçimlerde (elektrik enerjisi, ısı enerjisi, manyetik enerji, nükleer enerji vb.) karşımıza çıkmaktadır. Ülkelerin kalkınma düzeyleri, enerji kullanımındaki artışı ile doğru orantılıdır. Dünya üzerinde bulunan gelişmiş ülkeler var olan enerji kaynaklarını en etkili ve verimli şekilde kullanarak, toplumların refah düzeyini artırmayı hedeflemişlerdir.

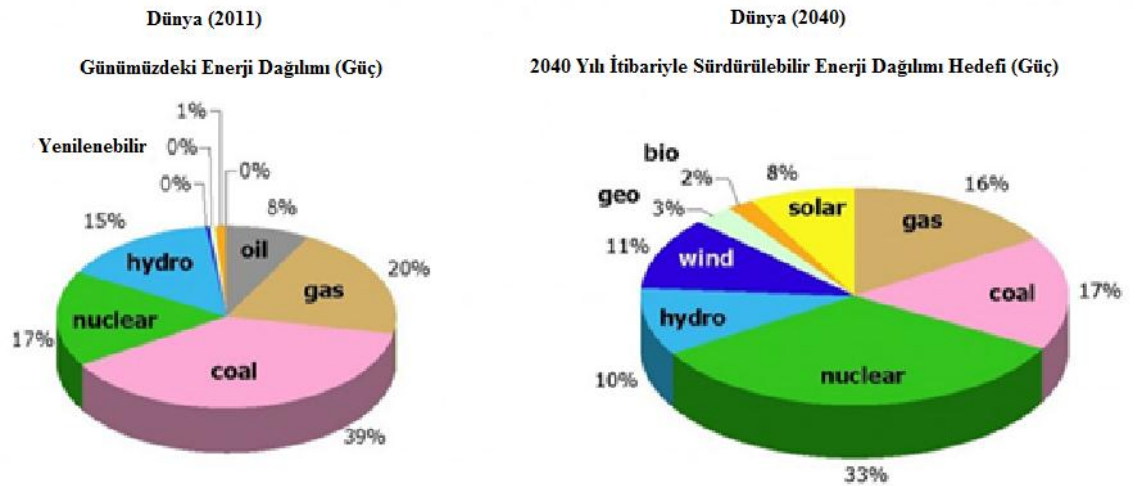
1.2. Konvansiyonel Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılan bu enerji kaynakları, yüzyıllar önce canlı organizmaların toprak altında çeşitli etkilerle bozunması ve biçim değiştirmesi sonucu oluşan enerji kaynaklarıdır. Evrende alışılmış enerji kaynakları olarak da bilinen bu kaynaklar, fosil kaynaklar (odun, kömür, petrol, doğalgaz vb.), hidrolik enerji ve nükleer enerjidir. Artan dünya nüfusuyla birlikte, daha çok enerji talebi ortaya çıkmıştır. Bu oluşan talebi karşılamak için, daha çok enerji tüketimi olmuş, bu tür kaynakların da kullanımı bu gelişmeye bağlı olarak gün geçtikçe artmıştır. Ancak bu kaynakların dünya üzerinde belli bölgelerde olması ve rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı tükenmesi beklenmektedir.

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Dünyadaki Durumu

Bu tür enerji kaynakları, temelini güneşin oluşturduğu, güneş var oldukça tükenmeyecek olan temiz ve çevre ile dost, sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Şekil 1.1'den de görüldüğü gibi, 2011 yılında Güneş enerjisinin toplam enerji

dağılımındaki payı %0 iken, 2040 yılında bu payın %8'e ulaşması beklenmektedir. 2011 yılında hidroelektrik santrallerden elde edilen enerjinin payı %15 ve nükleer enerjinin, payı %5 olarak gerçekleşirken, 2040 yılında hidroelektrik santrallerin toplam enerji üretimindeki oranının %10 değerinde olması beklenirken, nükleer enerjinin payını % 33 olması beklenmektedir [1].



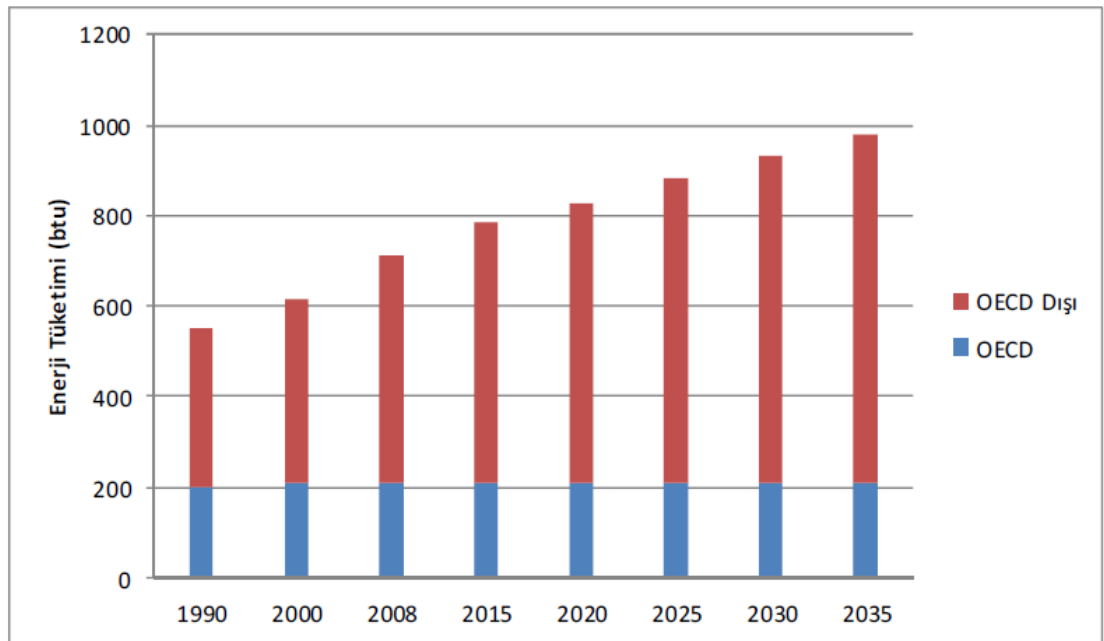
Şekil 1.1. Kaynak Türlerine Göre Üretim Oranı (%) [1].

Son yıllarda fosil yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan mevsimsel değişiklerin önüne geçmek amacıyla tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi daha da artmıştır. Bunun sonucunda bu alandaki çalışmalar da hız kazanmıştır. Bilinen fosil yakıt rezervlerinin toplamı 2454 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) kadardır. Ülkemizde kullanılmış veya kullanılabilecek 25 Mtep/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgar ve 32 Mtep/yıl biokütle enerji potansiyeli bulunmaktadır [2].

1.4. Dünyada Enerji İhtiyacı

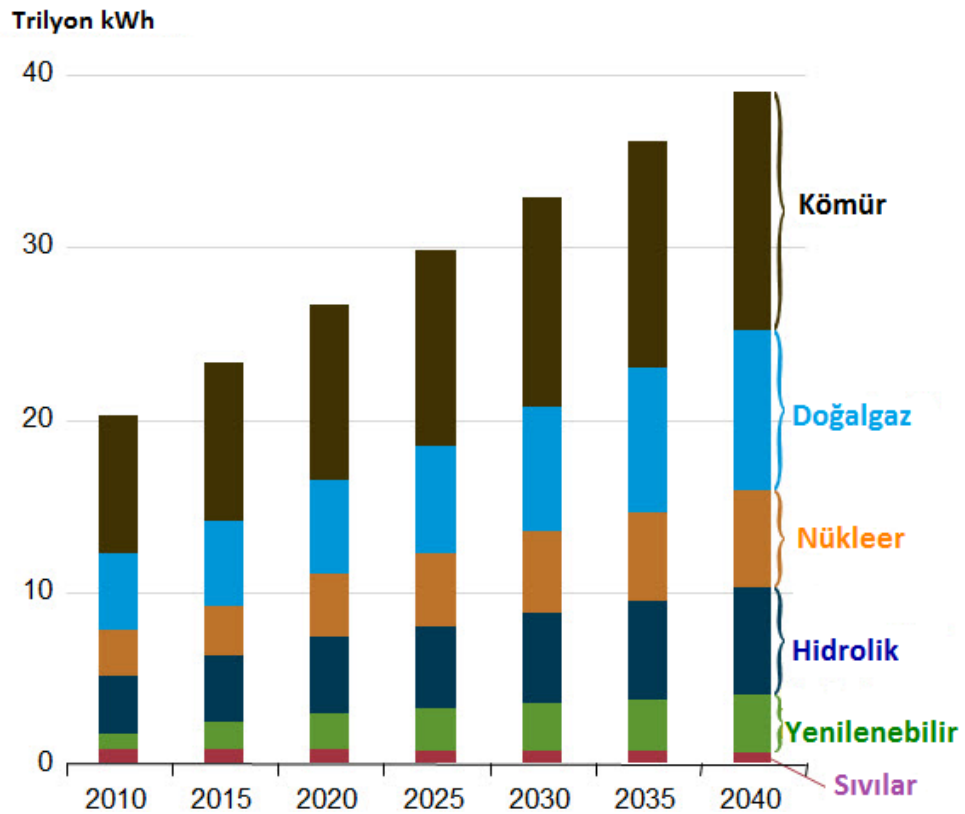
İnsanların hayatlarında en önemi unsur olan enerjinin önemi, dünyadaki gelişmeler ve teknoloji ile daha çok artmıştır. Bu ihtiyaç ise insanları daha çok enerji kullanımına sevk etmiştir. Bunun doğal sonucu olarak her geçen yıl enerji tüketimi daha da artmaktadır. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, 2011 yılında Amerikan Enerji Bilgi Dairesince yürütülen bir çalışmaya göre, 2008-2038 yılları arasında enerji sarfiyatının %35 yükseleceği tahmin edilmektedir. Dünya çapında yıllara göre enerji kullanımında, toplam enerji kullanımının 2008 yılında 505 katrilyon btu, 2035

yılında ise 770 katrilyon btu olması tahmin edilmektedir. Enerji tüketiminin büyük kısmı, OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkelerince gerçekleştirilmektedir. 1990 yılı ile 2038 yılları arasındaki enerji tüketim miktarlarına bakıldığında zaman, sanayileşmiş ve zengin ülkelerde enerji tüketiminin %18 artması, gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelere bu oranın %85'lere ulaşacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 1.2 2008-2035 Yılları Arası Dünya Enerji Tüketimi [3]

Şekil 1.3'de görüldüğü gibi, ihtiyaç duyulan enerjinin üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının oranlarına bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak elektrik üretimindeki payı her yıl %2.8 artarken, bu oran nükleer enerji ve doğalgaza dayalı üretimde yıllık %2.5 civarında kullanım oranında bir kullanıma sahiptir. Kömüre dayalı üretim nispeten az bir oranda elektrik üretiminde kullanımı artsa da, 2040 yılına kadar kömürün enerji üretiminde en önemli paya sahip olacağı beklenmektedir [3].



Şekil 1.3 2010-2040 Yılları Arası Dünya Enerji Tüketiminde Enerji Kaynaklarının Payı [3]

1.5. Türkiye'nin Enerji İhtiyacı

Dünya üzerindeki gelişen ve gelişmekte olan tüm ülkelerde olduğu gibi artan enerji talebini karşılamak amacıyla, büyümesini ve gelişmesi hızlandırarak sürdüren Türkiye'nin de enerjiye olan ihtiyacı son yıllarda daha da artmıştır. Bu talebi cevap vermek amacıyla, fosil enerji kaynakları vasıtasıyla üretilen enerjinin yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjiye olan ihtiyaç da artacaktır.

Son yıllarda kalkınma hızını artıran ülkemizin enerji arzı, 2012 yılı için 120.093 milyon ton petrol eşdeğerine ulaşmıştır. Tablo 1.1'den görüldüğü gibi, bahsi geçen yılda enerji arzının %32.7'lik oranıyla kömür ilk sıradadır. Daha sonra %31.1 ile doğalgaz, %26 ile petrol ve geriye kalan ise ağırlıklı olarak hidrolik olmak üzere yenilenebilir ve diğer kaynaklardan karşıladığı görülmüştür. 2012 ve 2010 verileri karşılaştırıldığında, enerji kaynağı olarak güneş, rüzgar ve kömürün arzdaki payının arttığı, bunun aksine odun ve petrolün ise arzdaki payının azaldığı görülmüştür.

Enerji sektöründe yakalanan bu artış, çoğu gelişmiş ülkelerdeki artışı geride bırakmış; son 10 yılda elektrik ve doğalgaz talep artış oranları bakımından Avrupa'da ilk sırada yer almayı başarmıştır [4].

Tablo 1.1: Türkiye'nin Enerji Arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı [4]

| | 2010 (bin tep) | 2010 (%) | 2011 (bin tep) | 2011 (%) | 2012 (bin tep) | 2012 (%) |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| Kömür* | 33531 | 30.7 | 35481 | 31.3 | 39295 | 32.7 |
| Doğalgaz | 34907 | 31.9 | 36909 | 32.2 | 37373 | 31.1 |
| Petrol | 29221 | 26.7 | 30,499 | 26.6 | 31205 | 26.0 |
| Hidrolik | 4454 | 4.1 | 4501 | 3.9 | 4976 | 4.1 |
| Odun | 3392 | 3.1 | 2446 | 2.1 | 2350 | 2.0 |
| Jeo. Isı, Diğer Isı | 1391 | 1.3 | 1463 | 1.3 | 1463 | 1.2 |
| Hayv. Ve Bitkisel Artık | 1166 | 1.1 | 1091 | 0.9 | 1115 | 0.9 |
| Jeotermal | 575 | 0.5 | 597 | 0.5 | 773 | 0.6 |
| Güneş | 432 | 0.4 | 630 | 0.5 | 768 | 0.6 |
| Rüzgar | 251 | 0.2 | 406 | 0.3 | 504 | 0.4 |
| Biyoyakıt | 12 | 0.01 | 18 | 0.02 | 23 | 0.02 |
| Toplam | 109266 | | 114480 | | 120093 | |

* kömür, taş kömürü, linyit, asfaltit, p.kok ve kok toplamını ifade etmektedir.

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

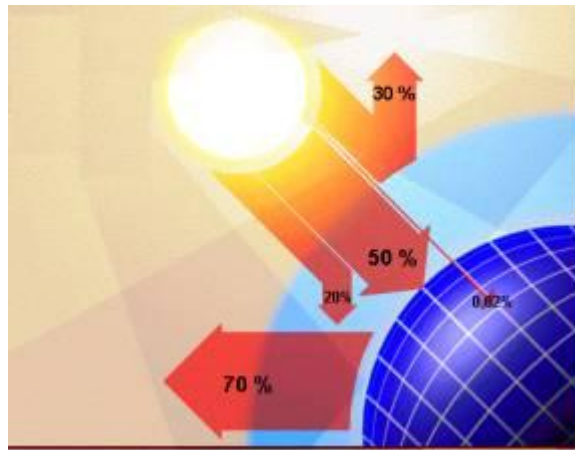
2.1. Giriş

Güneş, dünyamıza ve sisteminde bulunan diğer gezegenlere enerji veren sonsuz enerji kaynağıdır. Yaşam kaynağı olarak güneş, dünyamızda oluşan diğer enerji kaynaklarının da oluşumunda büyük rol oynamaktadır. Güneş, bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli enerjiyi sağlar. Doğada görülen bazı enerji çeşitlerinin de temelini Güneş oluşturmaktadır. Rüzgar, güneş ışınlarının sıcaklık farkından dolayı oluşmaktadır. Fosil yakıtlar (Kömür, petrol vs.) ise, güneş ışınımının kimyasal özelliğinden dolayı meydana gelirler. Dünya atmosferinin dışında Güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir; ancak yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Güneş, aynı zamanda bir termonükleer reaktördür. Güneş içerisinde hidrojenin helyuma sürekli dönüştüğü füzyon tepkimeleri sürekli şekilde gerçekleşir ve tepkimeler sırasında oluşan kütle kaybı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılır. Geçmişten günümüze güneşin içinde devam eden bu dönüşüm tepkimelerinden yola çıkarak, bol ve temiz bir enerji kaynağı olarak güneş hem fosil yakıtlara alternatif olabilecek, hem de daha milyarlarca yıl dünyamızı ısıtmaya devam edecektir.

Güneş, çapı 1.4 milyon km, 5 milyar yaşında olduğu tahmin edilen ısı, ışık ve enerji kaynağıdır. Yapısının tamamına yakını Hidrojen ve Helyum gazlarından oluşmaktadır. Hacmi dünyanın hacminden 1.3 milyon kat daha fazladır ve kütlesi itibariyle dünyanın 332.000 katıdır. Ayrıca dünyaya en yakın yıldızdır. Dünyadan uzaklığı 149.500.000 km'dir. Güneş kendi ekseninde 70.000 km hızla döner ve bir turunu 25 günde tamamlar. Güneşte hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında büyük bir enerji açığa çıkar. Saniye de 600 milyon ton hidrojen, helyuma dönüşmektedir. Bu olay sırasında kırmızımsı bir alev 15-20 bin km yükselir bu olaya güneş fırtınası denir. Güneşin sıcaklığı 6000°C ve

merkezindeki sıcaklık ise 1.5 milyon°C dolayındadır. Güneş ışınları 8 dakika yeryüzüne ulaşmaktadır ve güneşin üç günde yaydığı enerji dünyadaki tüm enerjilerin toplamından fazladır [5].

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, dünyadan gelen güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30 civarı atmosfer tarafından geri yansıtılmaya uğrar. Gelen ışınımın %50’si atmosferi geçtikten sonra dünyaya ulaşır. Bu olayla birlikte rüzgar hareketleri de başlamış olur. Geri kalan ışınımın %20’si atmosfer ve bulutlarda tutulurken, %1’den az güneş ışınımı ise bitkilerin fotosentez olayında kullandıkları kısımdır [6].



Şekil 2.1 Güneşten gelen ışınım dağılımı [6].

2.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Türkiye’de güneş enerjisi alanındaki çalışmalar henüz başlangıç seviyesindedir. En önemli gelişmesini 1973’teki dünyada olan enerji darboğazı ile birlikte, bu tarihten sonra özellikle 1975 senesinden itibaren öncelikli olarak sıcak su sistemleri olmak üzere, bu alandaki uygulamalar artmıştır. Güneş enerjisi hakkında ilk büyük çaplı kongre 1975 yılında İzmir’de düzenlenmiştir. Aynı yıl bu alandaki ilk güneş enerjisi uygulaması Orta doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından gerçekleştirilmiştir [6].

Güneş enerjisi uygulamaları hakkında tek enstitü Ege Üniversitesi altında kurulmuştur. Bu alandaki çalışmalar ağırlık olarak, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından yürütülmektedir. 1980’li yıllarla birlikte Tübitak Marmara Araştırma Merkezi tarafından düşük sıcaklıkta güneş enerjisi

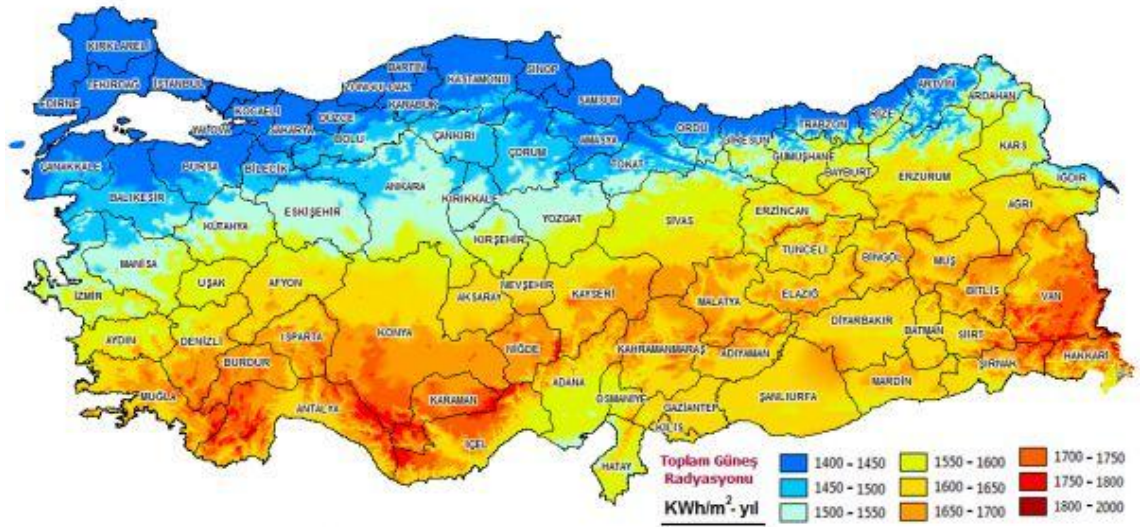
sistemlerinin tasarımı ve modellenmesi hakkındaki çalışmalara daha çok ağırlık vermiştir. Aynı zamanda, Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü (YEGM) güneş pilleri, güneş enerjisi ile ısıtma ve diğer sistemler hakkında çalışmalara destek verirken, son yıllarda enerji kaynaklarının tespiti ve potansiyelini hakkındaki çalışmalara da ağırlık verilmiştir. Yeni geliştirilen teknolojilerden olan düzlemsel ve silindirik parabolik kolektörlerin üretimi ve pazarlanması konusundaki çalışmalar Makine Kimya Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Bütün gerçekleşen bu adımlara baktığımız zaman, yapılan çalışmalar genelde güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve güneş enerjisi teknolojileri çerçevesinde gelişmiştir.

2.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye 36° - 42° Kuzey enlemleri, 26°-45° Doğu boylamları arasında yer alır. Bunun sonucu olarak, Türkiye dört mevsimin belirgin olarak yaşandığı ılıman kuşakta yer alır. Türkiye’nin 9.8 MTEP’ü ısıtma uygulamaları olmak üzere yıllık 36.2 MTEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın on ayı boyunca bu potansiyelin teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün %63’ünden ve tüm yıl boyunca %17’sinden yararlanılabilir [7].

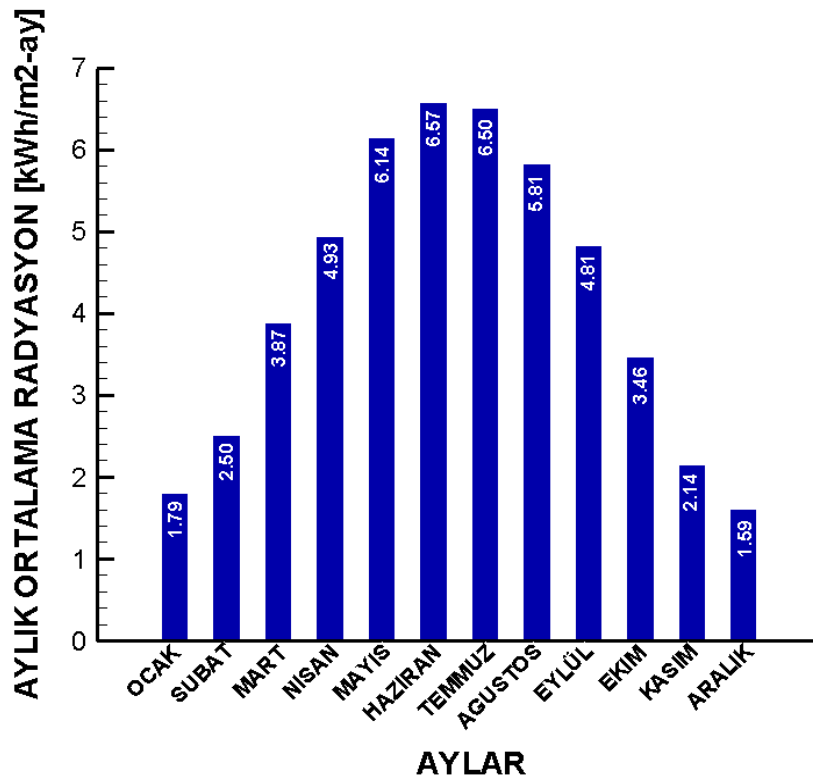
Türkiye, içinde bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneş enerjisi bakımından çok iyi konumdadır. 1966-1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşlerinde ölçülmüş olan ışıma şiddeti ve güneşlenme verilerinden yararlanarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye’nin yıllık ortalama toplam ışıma şiddetinin 1311 kWh/m² olduğu, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin ise 2640 saat olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2.2’de Türkiye haritası üzerinde güneş enerjisi bakımından Türkiye’nin bölgelere göre aylık güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme sürelerine bakıldığında, Türkiye’de en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken, en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge Karadeniz Bölgesi olduğu görülmektedir [8].



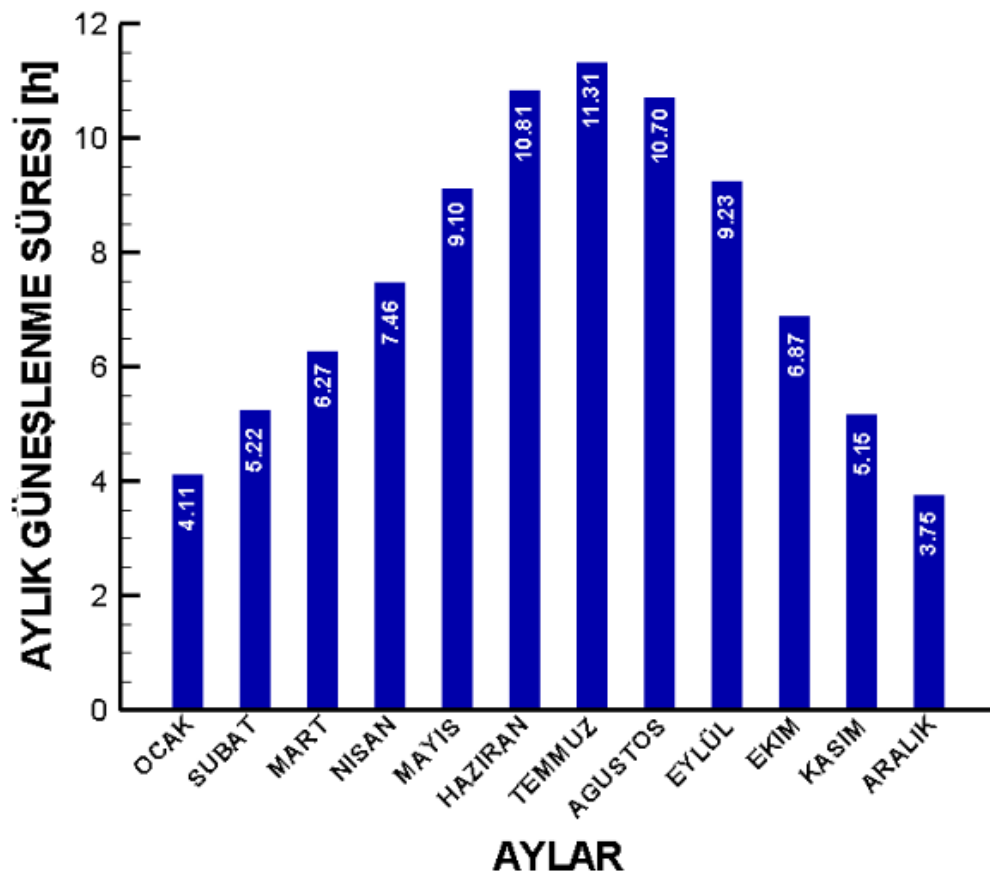
Şekil 2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası [kWh/m²-yıl] [8]

Şekil 2.3'de ülkemizin aylara göre güneş enerjisi potansiyeli verilmektedir. Global radyasyon değeri Aralık ayında en düşük olduğu görülmektedir. Bu değer Haziran ayında ise en fazla değere ulaşmıştır [8].



Şekil 2.3. Türkiye Güneşlenme Şiddeti (kWh/m²-ay)[8]

Şekil 2.4’de Türkiye’nin aylara göre güneşlenme süreleri verilmiştir. Güneşlenme süresi, Aralık ayında en düşük değere sahiptir. En yüksek değerini ise Temmuz ayında almıştır. Kurulacak bir güneş enerjisi sistemi ile en fazla enerji bu ayda temin edilebilir [8].



Şekil 2.4. Türkiye Güneşlenme Süreleri [8]

2.2. Güneş Enerjisinin Avantajları Ve Dezavantajları

2.2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

Enerji kaynağı olarak güneş, temiz ve bol olması sebebiyle tercih sebebidir. Atmosfere sera etkisi yapan gazlar üretmediğinden çevre dostudur. Güneş enerjisi her ölçekte uygulamada, özellikle yerel uygulamalarda enerji üretimi için uygundur. Hiçbir karmaşık teknolojiye gerek duymadığından dolayı, enerjiden rahatça yararlanılabilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinde mekanik yıpranma olmaması, modüler olması ve on yıllık bir süre boyunca sorunsuz şekilde çalışması gibi olumlu yönleri vardır.

2.2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve her zaman istenilen enerji üretimi olmayabilir. Bir başka ifadeyle, güneş enerjisinden elde edilecek enerji sürekli değildir, kesintilere uğrayabilir. Özellikle enerjiye en çok ihtiyaç duyulan kış aylarında enerji üretimi az olmakla birlikte, geceleri hiç enerji üretimi olmamaktadır. Güneşten enerji üretimi yapmak için kurulacak olan sistemlerin maliyetleri, bu alanda yeterli teknolojinin olmamasından dolayı yüksektir. Birim yüzeye gelen güneş ışınım yetersiz olduğundan, daha büyük yüzeye ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

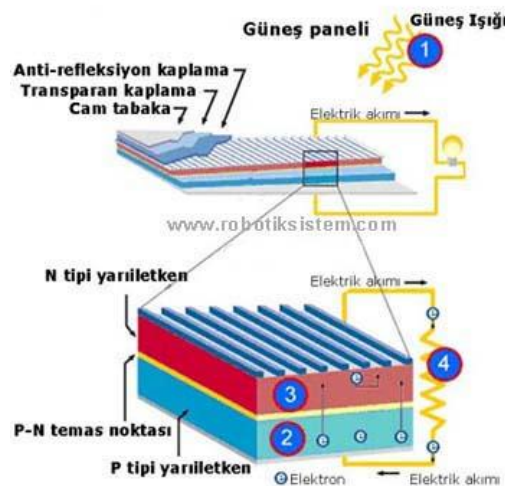
Enerji üretiminde çeşitliliği sağlamak amacıyla değişik enerji kaynaklarından enerji elde etmek için çalışmalar gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar değişkenlik göstermekle birlikte, meskenlerin sıcak su üretiminden, bitkilerin kurutulmasına; büyük ve küçük çaplı elektrik üretiminden, güneşle çalışan su pompalarına kadar birçok alanda kendine yer bulmaktadır [9].

Temel olarak güneş enerjisi uygulamaları, ısı sistemleri ve fotovoltaik sistemler olmak üzere iki çeşittir. Isı sistemleriyle, direkt güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı hiçbir işleme uğramadan kullanılacağı gibi, elektrik üretimi amacıyla da kullanılabilir. Isı sistemlerinin direkt ısı uygulamaları, bina ısıtma ve soğutması, seraların ısıtılması gibi uygulama alanlarıdır. Bunun yanında elektrik üretim amaçlı yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri vasıtasıyla çok yüksek sıcaklıklarda güneş enerjisini toplayarak çok yüksek güç üretimi de mümkündür [10].

Fotovoltaik sistemler ise üzerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirirler. Bu sistemlerin şebekeye bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak uygulamaları mevcuttur. Şebekeye bağlı olmayan sistemlerin her alanda uygulamasını görmek mümkündür. Yerleşim yerlerinden uzak yerlerde, zirai işlemlerde kullanılmak üzere su pompalamada, haberleşme ve hava gözlem istasyonlarında, uzay araçlarında ve daha birçok alanda örneklerini görmek mümkündür [11]. Şebekeye bağlı sistemler ise, küçük ve büyük uygulamalar için ikiye ayrılır. Büyük çaplı şebekeye bağlı sistemler ise, çok yüksek miktarlarda elektrik üretimi amacıyla geniş arazilere kurulan yüksek kapasiteli enerji santralleridir [12].

2.4. Güneş Pilleri

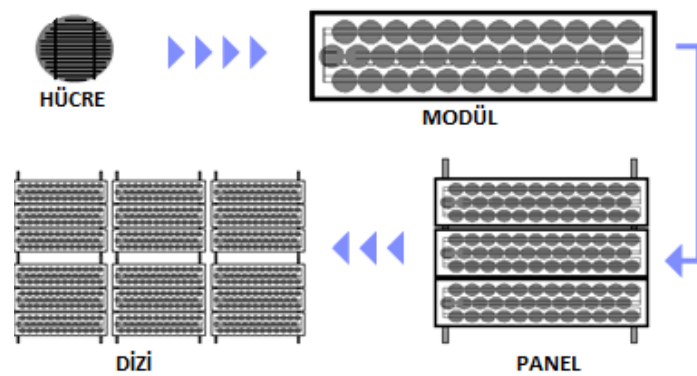
Güneş pilleri, Güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretiminde sıklıkla kullanılan, yüzeylerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemelerdir. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi bu işlem, ayrıca Fotovoltaik etki olarak da bilinmektedir. Fazla elektrona sahip P tipi yarıiletken malzeme üzerinden güneş ışığı elektron koparır. Ayrılan bu elektronların N tipi malzemeye akması sonucu elektrik oluşur [13]. Üretilen elektrik doğru akım olup, değişik uygulamalar için ihtiyaç duyulan alternatif akım’a da çevrilebilir veya bu enerji daha sonra kullanılmak amacıyla bataryada depolanabilir [14].



Şekil 2.5. Güneş Pili Yapısı [15]

2.4.1. Güneş Pillerinin İç Yapısı

Güneş pilleri genelde silikon malzemeden yapılır. Güneş enerjisinden gelen ışık, yarı iletken malzemeye ulaştığında malzeme tarafından emilir. Bu emilen enerji, yarı iletken malzemedeki var olan elektron bağına zayıflatarak, burada bir elektrik akımı oluşmasını sağlar. Bu iletkenler üzerine yerleştirilen metal levhalarla, bu elektrik akımı toplanır. Elde edilecek güç miktarı, birden fazla güneş pilinin paralel ya da seri olarak bağlanmasıyla artırabilir.



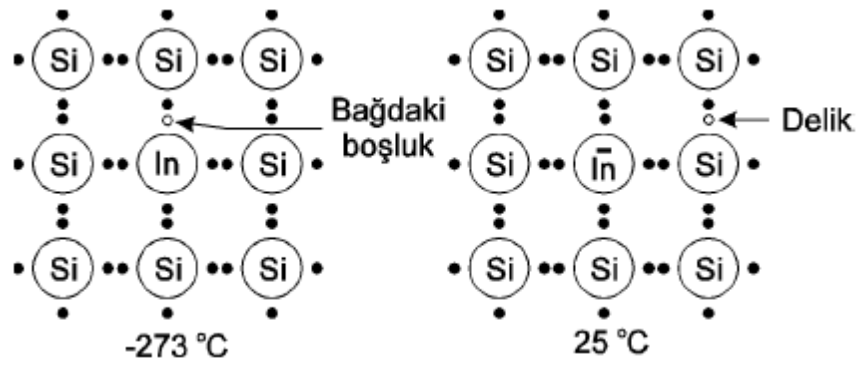
Şekil 2.6. Güneş Pilinden Güneş Paneli Dizilerine Geçiş

Elde edilen bu yapı güneş modülü (fotovoltaikmodül) olarak adlandırılır. Bu modüllerde birbirine aynı bağlantı şekilleri yapılarak bir fotovoltaik dizi oluşturmak da mümkündür. (Şekil 2.6)

Güneş pilinde kullanılacak malzemenin tipi, katkı maddesine göre değişkenlik göstermektedir. Katkılama işlemi, saf yarı iletken malzemenin eriyik içerisine gerekli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle yapılır. Bunun sonucu olarak, güneş pillerinde kullanılan p veya n yarı iletkenlerinin çeşidi, kullanılan katkı malzemesine göre değişecektir.

2.4.1.1. P Tipi (alıcı) Yapı

Periyodik tabloda 3A grubunda bulunan bor, indiyum, alüminyum katkı maddelerinden biri kullanılarak, önceden belirlenen miktarlarda silisyum veya germanyum tabana eklenerek elde edilir. Şekil 2.7’de, silisyuma indiyum eklenerek elde edilen bir malzeme gösterilmiştir [16].

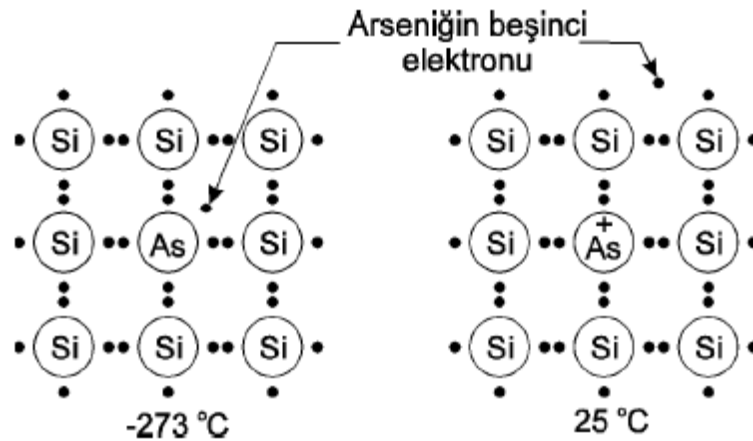


Şekil 2.7. Silisyuma indiyum katılarak elde edilen P tipi malzeme [15].

İndiyum gibi 3A elementlerinin son yörüngesinde 3 elektronu olduğundan dolayı (valans elektronu 3 olduğundan dolayı), silisyumun kristal yapısında bir elektron eksikliği meydana gelir. Bu duruma boşluk ya da hol denir ve bu bölgenin pozitif yüklü olduğu kabul edilir.

2.4.1.2 N tipi (verici=donör) Yapı

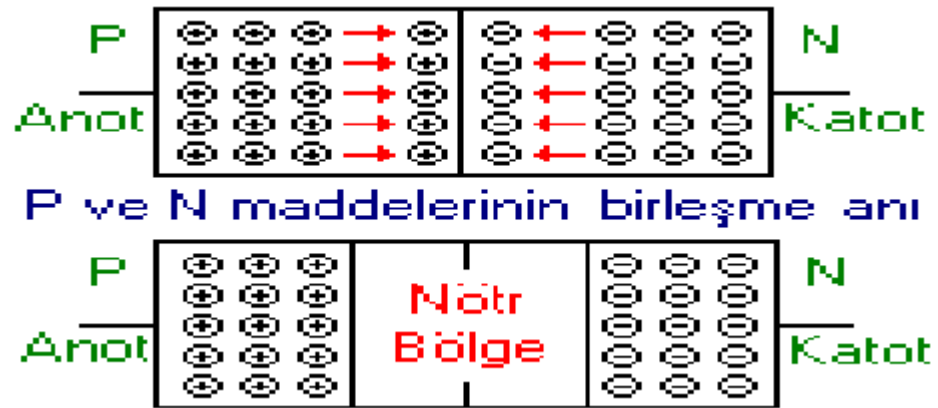
Periyodik tablonun 5A grubunda bulunan fosfor, bizmut, arsenik, antimon katkı maddelerinden biri kullanılarak, daha önce belirlenen ölçülerde germanyum veya silisyum tabana eklenmesi vasıtasıyla elde edilen bir yapıdır. Şekil 2.8’de silisyum tabanlı bir malzemeye arsenik katılarak elde edilen malzemenin sıcaklıkla bağlantısı görülmektedir [15]. P tipi malzemede olduğu gibi burada da arsenik atomunun 5 valans elektronu, silisyum kristalinin yapısına uymaz. Yalnızca dört elektronu bağ yapar, son elektron hiçbir şekilde bağ oluşumuna katılmaz. Bu bağ oluşumuna katılmayan elektron, mutlak sıfır sıcaklık(-273⁰C)’de atoma neredeyse bağlı değildir. Bu elektron, oda sıcaklığında aldığı enerji ile serbest elektron olur, bu elektronun atomdan ayrılması ile delik oluşumu gözlenmez. Arsenik atomu ise elektron kaybettiğinden pozitif yükle yüklenir, durumu değişmez.



Şekil 2.8. Silisyuma arsenik katılarak elde edilen N tipi malzeme [15].

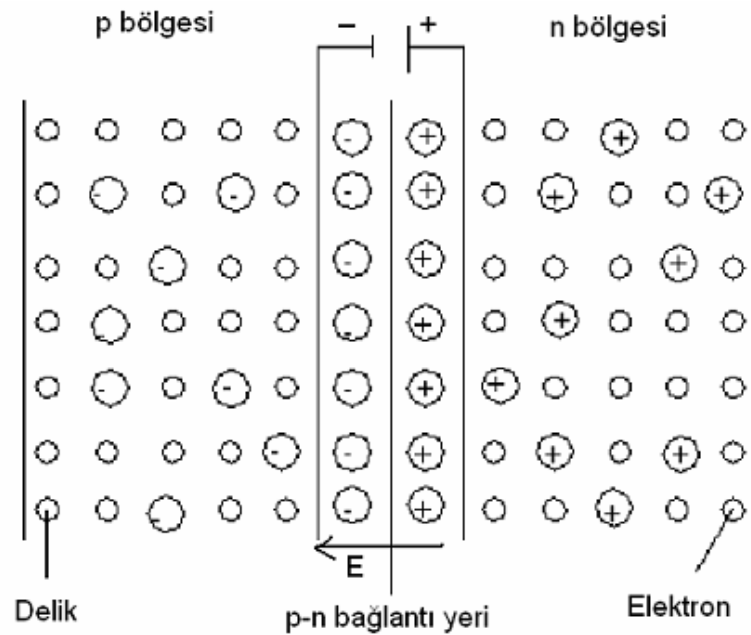
Katkılandırma işlemleri sonucunda elde edilen p ve n yapılarının birleştirilmesiyle oluşturulan yapıya p-n eklemi denir. P-N eklemi, lineer olmayan elektronik devre elemanları olan diyot, transistör ve diğer yarıiletken tabanlı malzemelerin temelini oluşturur. Fotovoltaik pillerde enerji dönüşümü için kullanılmaktadır. P-n eklemin güneş pili görevi görmesi için, eklemin bulunduğu bölgede fotovoltaik dönüşümün sağlanması gereklidir. Bu dönüşüm için iki adım vardır. İlk adımda, bu bölgeye ışık düşürülerek elektron-delik çiftleri yaratılır. Bir sonraki adımda ise, yine aynı yere bulunan elektrik alan ile bu elektron-hol çiftleri birbirinden ayrılır.

Eklemde kullanılan p ve n yarıiletkenler, bir yasak enerji bandıyla ayrılmış, iki enerji bandından oluşur. Buradaki bandlar valans bandı ve iletken bandıdır. Yine bu yasak enerji aralığına eşit ya da daha büyük bir enerjiye sahip bir foton yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, sahip olduğu enerjiyi valans bandda bulunan bir elektrona aktararak elektronun iletkenlik bandına geçişini sağlar. Bu olayın sonucu olarak da elektron hol çifti oluşur. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi, p-n eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelen aynı olay sonucunda, burada bulunan elektron-hol çiftleri aynı ortamda bulunan elektrik alan tarafından birbirinden uzaklaşır. Bu sırada, elektron ve delikler karşı bölgeye geçtikleri anda birbirlerini yok ederler. Bu durum, elektron-delik geçişinde kesintilere sebep olduğundan dolayı süreksizlik meydana getirir. Bu süreksizlikten dolayı o bölgede bir nötr bölge oluşur [16].



Şekil 2.9. p-n kavşağının oluşumu sırasında oluşan nötr bölge [15]

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi birbirinden bu şekilde ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin çıkışında bir enerji oluşturur. Aynı olay, bir sonraki gelen fotonun güneş pilinin üstüne çarpmasıyla tekrarlanır ve bu şekilde devam eder [16].



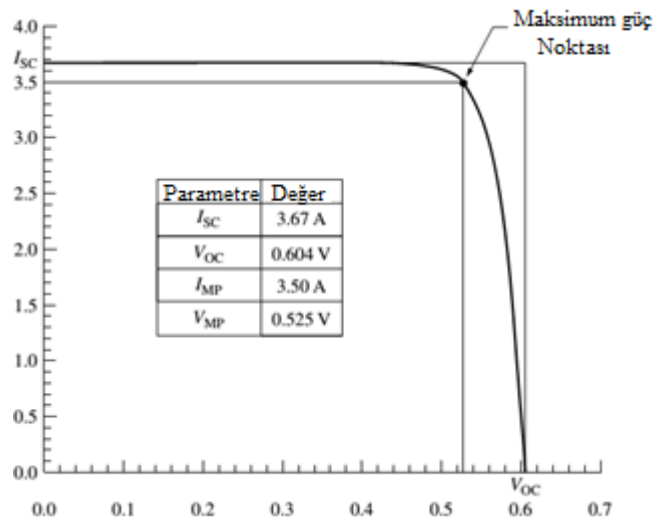
Şekil 2.10. p-n kavşağının oluşumu [16]

Güneş pili yapımında, büyük oranda silisyum, galyum arsenit ve kadmiyum tellür gibi anorganik yarı iletken element veya bileşikler kullanılır. Kullanılan bu malzemeler, enerji boşluklarına göre veya serbest elektron miktarına göre sınıflandırılır. Silisyum 1.1eV'luk bir enerji boşluğuna sahiptir. Galyum arsenit 1.43 eV enerji boşluğuna

sahiptir. Germanyumun enerji boşluğu 0.7V'dur. Düşük enerji boşluğuna sahip olduğu için, germanyum silisyuma göre daha iletkenidir [16].

2.5. Güneş Pilinin Çalışma Prensiğini Oluşturan Temel Parametreler

Herhangi bir fotovoltaik pilin, üreteceği gücü ve performansını belirleyen ana parametreler vardır. Güneş pilinin çalışmasını etkileyen bu temel değişkenler, açık devre voltajı (V_{ad}), kısa devre akımı (I_{kd}) ve maksimum güç noktası (P_m)'dir. Açık devre voltajı (V_{ad}), güneş pilinden elde edilebilecek maksimum voltajdır ve akım sıfır değerini aldığı zaman bu parametre görülür. Kısa devre akımı (I_{kd}) ise, fotovoltaik pilin çıkış uçları kısa devre edilerek ve tamamen aydınlık bir ortamda ölçülen akım değeridir. Kısa devre ve açık devrenin sıfır olduğu durumlarda, üretilecek güç de sıfır olacaktır. Şekil 2.11'de bir silikon güneş pilinin akım-voltaj karakteristikleri verilmiştir [17]. Ayrıca eğri üzerinde güneş pilinden maksimum gücün alındığı maksimum güç noktası da belirtilmiştir. Bu noktada; ulaşılan voltaj değeri V_{MP} , elde edilen akım değeri ise I_{MP} olmaktadır.



Şekil 2.11. Silikon Güneş Pilinin I-V ve P-V karakteristikleri [17]

2.6. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pili teknolojisi, son yıllarda teknolojiye yaşanan hızlı gelişimden payını almış ve yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli malzemelerle üretilen birçok güneş pili çeşidi piyasaya çıkmıştır. Güneş enerjili sistemlerde sıklıkla tercih edilen güneş pili yapıları

temelde üç yapıya dayanmaktadır. Bunlar tek kristalli, çok kristalli ve amorf yapılı güneş pilleridir.

2.6.1. Tek Kristalli Silisyum Güneş Pili

Silisyum tabanlı, yüksek verime sahip olan bu güneş pili; bir parça halinde alınıp, ince parçalara ayrışma gerektiğinden dolayı çok masraflıdır. Yüksek maliyetine ve çevre şartlarına rağmen elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre koruyabilmesinden dolayı yaygın olarak tercih edilirler. Bu pillerin verimi yaklaşık % 15'tir.

2.6.2. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pili

Bu çeşit güneş pilinde, malzemenin kalitesi damarlarının büyüklüğü ile orantılıdır. Malzemenin damarlı yapısı, elektriksel özelliklerinde sorunlara yol açacağından, tek kristalli panellere göre verimliliği daha küçüktür. Çok kristalli silisyumun üretimi daha basittir ve bunun sonucu olarak bu pilin maliyeti oldukça azdır.

2.6.3. Semi kristal Silisyum Güneş Pili

Sıvı silisyumun soğutulmasıyla oluşan küçük silisyum taneciklerinden meydana gelir. Sahip olduğu verim yaklaşık % 14 olup, bu verim bir arada bulunan taneciklerin sınırlarındaki kayıplara bağlı olarak değişmektedir.

2.6.4. Ribbon Silisyum Güneş Pili

Hala laboratuvar şartlarında çalışmaları sürmekte olan bu güneş pili, malzeme kaybını en aza indirmek için, silisyum tabaklarının şerit levha şeklinde bir araya getirilmesiyle yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda %14 düzeylerinde verime sahiptirler.

2.6.5. Polikristal Silisyum Güneş Pili

Ribbon Silisyum Güneş pilinin üretim teknolojisiyle yapılırken, yapısı polikristal özellik gösterir. Laboratuvar çalışmalarında verim geliştirme çalışmaları devam eden bu pilin, verimi %10 dolaylarındadır.

2.6.6. Galyum Arsenit içeren Güneş Pili

İçerik bakımından silikona benzer bir kristalize yapıya sahip olan, yüksek seviyelerde ışın emme özelliği olan ve galyum ve arsenit elementlerinden meydana gelen yarıiletken

malzemedan yapılan, yüksek verimle (%25-%30) enerji üretebilen bu piller, silikon tabanlı güneş pillerine göre daha avantajlıdır. Galyum arsenit güneş pili, uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılır.

2.6.7. Amorf Silisyum (a-Si) Güneş Pili

Amorf silikon pilleri, diğer silikonlu yapılardan farklı olarak belirli bir yapıya sahip değildir. Bu yüzden şekilsiz silikonlu güneş pilleri olarak da bilinir. Tek kristal yapısına sahip silikon güneş pillerine göre 40 kat daha güneşi emme özelliğine sahip olduğundan dolayı, en önemli tercih sebebidir. Çok daha az silikon malzemesi gerektiren bu yapı, hafif ve modüler olması dolayısıyla, kullanılacak alanlarda rahatlık sağlar. Amorf silisyum tipi güneş pilinin yüzeyi cam, paslanmaz çelik ve plastik gibi pahalı olmayan malzemelerden üretilebilir. “İstifleme” adı verilen üretim tekniği sayesinde, güneş hücreleri birden çok kat şeklinde birleştirilebilir, verimlilik oranları %6-8 arasına kadar yükselir. Bu pillerin çıkış gücü az olduğundan dolayı, genelde hesap makineleri gibi küçük uygulama alanlarında kendine yer bulmuştur.

İlk başlarda amorf silisyum güneş pilleri bariyer yapısına sahipken, daha sonra p-i-n yapısı tasarlanmıştır. Bu pillerin verimleri oldukça düşük olup, %5-8 arasında değişmektedir. Amorf silisyum malzemesinin içinin rastgele dizilişinden dolayı, elektriksel verim düşmektedir. Ancak yarı iletkene %5-10 oranında hidrojen ilave edilmesiyle, bu piller fotovoltaiik prensibiyle enerji dönüşüm için istenilen seviyeye getirilebilirler.

2.6.8. Kadmiyum Tellür (CdTe) Güneş Pili

Çok kristalli bir yapıya sahip olan CdTe ile yapılan bu tip güneş pilleri, bu alanda yapılan çalışmalarda öne çıkan maliyetleri çok aza indirgeyeceği düşünülmektedir. CdTe, sahip olduğu 1.5eV yasak enerji bandı ile güneş spektrumundan en faydalı enerji çevrimi için lazım olan değere çok yakındır. Kadmiyum Tellür güneş pilleri, geniş yüzey alanlı üretimlere olanak sağlarken, diğer yandan yüksek soğurma özelliğine sahiptir. Basit ve pahalı olmayan yöntemlerle üretilen bu güneş hücreleri, amorf silisyum tabanlı güneş pilleri gibi %7 civarlarında bir verimlilik değerine ulaşmaktadır. Kadmiyum Tellür tabanlı güneş pili kullanılırken, birim üzerinde kullanılan çok az miktarda kadmiyum tehlikelidir ve bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için üretim esnasında bazı önlemler alınmaktadır.

2.6.9. Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe₂ veya CIS) Güneş Pili

Bakır indiyum ve selenyumdan yapılan bu güneş pilleri, CIS güneş pili olarak da bilinirler. 5 µm kalınlığında sahip olduğundan dolayı ince bir yapıya sahiptir. Bu durum ise, maliyetini azaltan en büyük etkidir. CIS güneş pilleri, bant genişliğinin büyük bölümünü kullandığı için olumsuz hava şartlarında dahi kararlı bir yapıya sahiptir. Üzerlerine gelen ışığı büyük oranda emme absorbe etme özelliğine sahiptir. Karmaşık yapısından dolayı üretimi zorlukla yapılmaktadır ancak yüksek verimlere ulaşmaktadır. Küçük ölçekli uygulamalarda verimi %18 iken, büyük çaplı uygulamalarda %15 verime kadar erişilmiştir. Bu verimlilik değerleri, Galyum elementinin güneş piline dahil edilmesiyle daha da artırılabilir. Bu teknoloji, şeffaf güneş pili üretiminde de kullanılabilmesinden dolayı, gelecekte bina pencereleri veya güneş kolektörü sistemlerine de entegre edilebilir.

2.6.10. İnce Film Güneş Pili

Üçüncü nesil güneş pili olarak, son teknolojik gelişmelerle geliştirilen ince film güneş pili, Silisyum Hidrojen alaşımı bir maddeden yapılmış bir ince film katmandan oluşur. İnce film güneş hücresi yapılırken, kullanılan silisyum miktarındaki bin kat daha az azalma olmaktadır. Bu da maliyet açısından bu güneş hücrelerinin daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Hücreler arasında karmaşık bağlantılar yerine tümlü devre teknolojisi ile bağlantıların yapılması ve silisyumun ergitilmesi için yüksek enerji sarfiyatına gerek olmaması gibi sebeplerden dolayı, bu teknoloji ile tasarlanan güneş pilleri daha kullanışlıdır. Üretim sırasında daha az malzeme ve enerjiye ihtiyaç duyduğundan, çoklu üretim için uygundur [18].

2.7. Güneş Pillerinde Verimlilik

Güneş pillerinin verimliliği; atmosfer şartları, güneşin soğrulmasından dolayı oluşan kayıplar, güneş açılarının geliş açısı, koruyucu camın geçirgenliğinin, eklem verimliliği gibi bir çok iç ve dış etmenlere olarak değişmektedir. Bu alanda verimliliği artırmaya yönelik son yıllarda yapılan çalışmalara bağlı olarak, bu konuda var olan bilgiler yeniden güncellenmektedir. Tablo 2.1'de güneş pillerinde elde edilen son verimlilikler verilmektedir [20].

Tablo 2.1. Güneş Pillerinde ulaşılmış en yüksek verimlilikler [20]

| Güneş Hücresi Malzemesi | Hücre Verimi (Laboratuvarda) % | Hücre Verimi (Üretimde) % | Modül Verimi (Seri üretimde) % |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Monokristal silikon | 24.7 | 18 | 14 |
| Polikristal silikon | 19.8 | 16 | 13 |
| Ribbon silikon | 19.7 | 16 | 13 |
| Kristal ince film silikon | 19.2 | 9.5 | 7.9 |
| Şekilsiz (Amorf) silikon | 13.0 | 10.5 | 7.5 |
| Mikromorf silikon ^a | 12.0 | 10.7 | 9.1 |
| Hibrit HIT hücre | 20.1 | 17.3 | 15.2 |
| CIS, GIS | 18.8 | 14 | 10 |
| Kadmiyum tellürid | 16.4 | 10 | 9 |
| III-V yarı iletkenli | 35.8 ^b | 27.4 | 27 |
| Boyaya duyarlı hücre | 12 | 7 | 5 ^c |

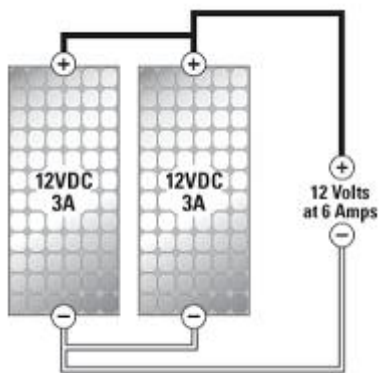
^a Kararlı halde

^b Yoğunlaştırılmış ışınım altında ölçülen

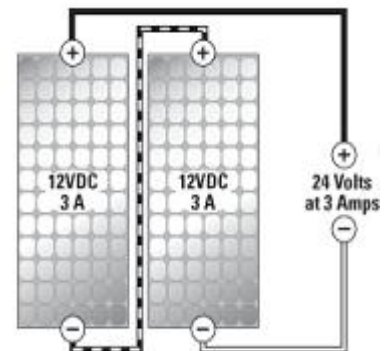
^c Az miktarda üretim

2.8. Fotovoltaik Paneller

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde, elde edilecek güç miktarını artırmak için çok sayıda güneş pili değişik bağlantılar yapılarak, güneş modülü (PV panel) adı verilen yapılara dönüştürülür. Fotovoltaik panelleri aynı güçte olmak şartıyla seri, paralel ya da seri ve paralel bağlantı yaparak, gerilim veya akım değerleri artırabilir.



(a)



(b)

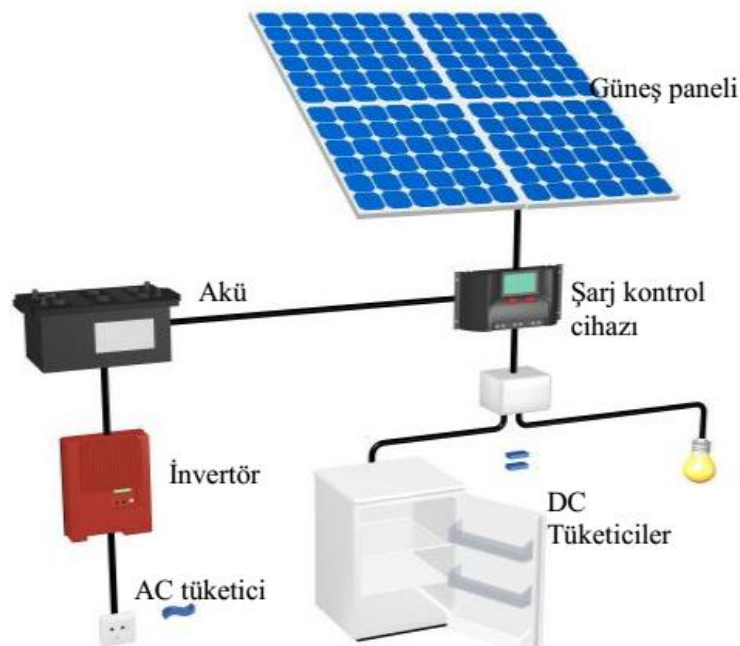
Şekil2.12. (a) PV Panellerin Parellel Bağlanması (b) PV Panellerin Seri Bağlanması [21]

Şekil 2.12 (a)'da görüldüğü üzere, iki adet 12 Volt 3A'lık güneş paneli paralel bağlandığında toplam akım, bu iki panelin her birinin akımlarının toplamına eşittir. Benzer durumda 2.12 (b)'de yine aynı durum geçerlidir. Paneller birbirine seri bağlı olduğu için, toplam voltaj, bu iki panelin voltajlarının toplamına eşittir [21].

2.9. Fotovoltaik Sistemler ve Uygulama Alanları

Fotovoltaik paneller ile çeşitli yardımcı elemanlar (şarj regülatörü, evirici, akü) vasıtasıyla elektrik üretmek için tasarlanan sisteme Fotovoltaik Sistem adı verilir.

Fotovoltaik sistemlerin en temel elemanlarından bir tanesi aküdür. Bu cihaz, güneşin olmadığı durumlarda veya gece süresince, güneş varken üretilen enerjiyi depolamak için kullanılır. Şarj regülatörü ise, bu üretilen elektriğin kullanım durumuna göre sistemden kesilmesini veya sisteme dahil edilmesini sağlar. Bu sayede, kullanılan akünün aşırı şarj ve deşarj olması engellenir. Bazı uygulamalar için ihtiyaç duyulan alternatif akım elektriğin elde edilmesi için, fotovoltaik panelden elde edilen DC elektrik, bir invertör kullanılarak zamanla büyüklüğü değişen ve belli bir frekansa sahip olan AC elektriğe çevrilir. Şekil 2.13'de fotovoltaik sistem temel elemanları ile verilmektedir [22].



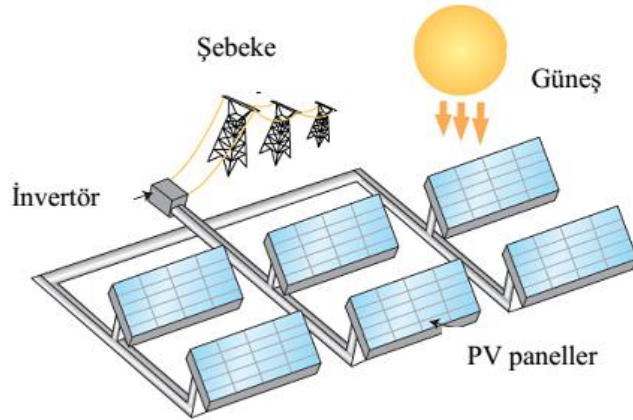
Şekil 2.13. Fotovoltaik Sistemin Temel Elemanları [22]

2.9.1. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler

Güneş enerjisi aracılığıyla ürettiği elektrik gücünü hiçbir yerde depolamadan (akü vb.) direk şebekeye veren, ihtiyaç anında şebekeye bu elektriği satan ya da alan sistemlere şebekeye bağlı sistemler denir. Bu sistemler, yüksek güçlerde üretim yapan santraller olabildiği gibi aynı zamanda bina elektriğini karşılamak için daha çok tercih edilmektedir. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi eğer sistem bir evin elektriğini karşılayacaksa, bu elektriği harcayabilir; ihtiyaç olduğunda sisteme bu elektriği verebilir veya alabilir. Burada, elektriğin bir akü ile depolanıp veriminin düşmesi yerine, üretilen elektrik sisteme verilerek veya alınarak, şebeke bir depolama ünitesi olarak düşünülebilir. Bir başka şebekeye bağlı sistem ise güneş pilleriyle üretilen büyük güçlerde (kW’tan MW’a kadar) elektriği şebekeye satan sistemlerdir. Şekil 2.15’de görüldüğü gibi bu tür sistemler, dünya üzerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD’de Şubat 2014’te açılan Ivanpah santrali net 377 MW güç üretimi yapmaktadır [23].



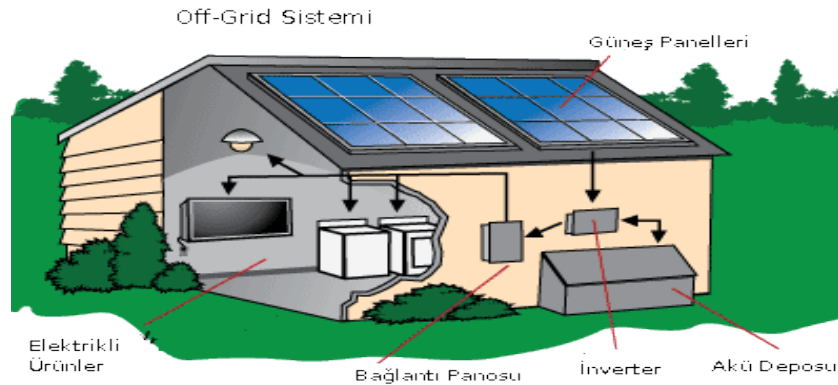
Şekil 2.14. Konut için Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem



Şekil 2.15. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Santrali

2.9.2. Şebekeye bağlı olmayan fotovoltaik sistemler

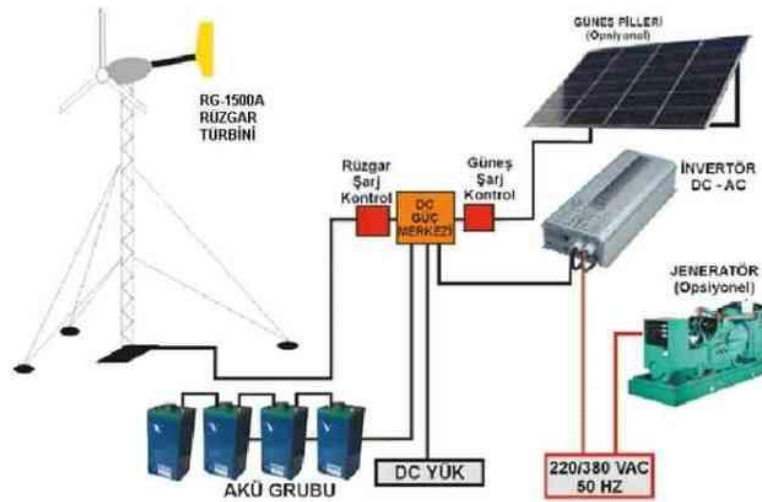
Güneş ışınımından yararlanarak ürettiği elektrik enerjisini aküde depolayarak, gerekli olan güç ihtiyacını karşılamak için kurulan sistemlerdir. Şekil 2.16'da bir konut için şebekeden bağımsız elektrik üreten sistem olup, güneşin az olduğu zamanlarda ve ya gece kullanmak amacıyla, gündüz üretilip aküde depolanan elektrik kullanılır. Akünün devamlı dolup boşalmasından dolayı oluşabilecek sıkıntıları önlemek için, bir denetleme birimi sisteme dahil edilir. Alternatif akım ile çalışan cihazları şebekeyle uyumlu hale getirmek için, sisteme bir invertör eklenerek; güneş panellerinin ürettiği DC voltaj, AC voltaja çevrilir. Genellikle elektrik şebekesine ulaşamayan ya da bazı zorlukları olan yerlerde tercih edilirler. Sisteme daha sonradan iyileştirme amaçlı ilave elektronik elemanlar da dahil edilebilir. Ayrıca, panel verimini artırmak amacıyla panelleri olabilecek en üst düzeyde çalıştırmak için Maksimum Güç Noktası İzleyicili Modül (MPPT) de bulunur.



Şekil 2.16. Konut için Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem

2.9.3. Hibrit Bağlı Sistemler

Güneş paneli sistemlerinin yanı sıra, diğer bir yenilenebilir enerji kaynağını kullanan sistemlerle (rüzgar türbini vb.) birlikte birden fazla elektrik sistemi olan sistemlerdir. Sistem, kritik anlarda sürekli enerji sağlamak için tasarlanmıştır. Bir başka ifadeyle, bir enerji kaynağında sorun çıktığı zaman, diğer enerji kaynağından üretilen güçle sistem tarafından kullanıcıya devamlı elektrik sağlanır. Burada kullanılacak olan ikinci enerji kaynağı yenilenemez enerji kaynağı da olabilir. Şekil 2.17, hibrid bağlı bir PV panel – Rüzgar Türbini sistemin temel bileşenlerini vermektedir.



Şekil 2.17. Fotovoltaik – Rüzgar Türbini Hibrid Bağlı Sistem

Bu sistemin avantajı her iki elektrik türünün de (Alternatif Akım ve Doğru akım) aynı anda elde edilebilmesidir. Hem doğru akım hem de alternatif akım tüketicileri aynı anda elektrik ihtiyaçlarını karşılama şansına sahiptir. Bu tür sistemlerin olumsuz yanı ise, güneş veya rüzgar sistemlerinden ayrı ayrı elektrik üretim maliyetinden daha fazla maliyeti olmasıdır. Bütün fotovoltaik sistemlere (şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız) uyumludur, kolayca bu sistemlere entegre edilebilir.

3. BÖLÜM

HİDROJEN VE ÜRETİM METOTLARI

3.1. Hidrojenin Tarihçesi

Hidrojen, tarihte ilk olarak 1520 yılında İsveçreli Simyacı Paracelsus tarafından asitlerin bazı metaller üzerine yarattığı etkiyi incelerken elde edilmiştir. İlk defa keşfi ise 1766 yılında İngiliz fizikçi Cavendish tarafından gerçekleştirilmiştir [24]. 1781 yılında Fransız Kimyacı Antoine-Laurent de Lavoisier tarafından, Yunanca suyun yanmasıyla oluşan anlamına gelen Hidrojen ismi verilmiştir. 1902 yılında, ilk ticari elektroliz ünitesi Oerlikon tarafından kurulmuştur. 1931 yılında hidrojenin izotopu olan Döteryum bulunmuştur. 1969 yılında ise hidrojenin yararlanabilir özelliklerinden yola çıkarak, hidrojen enerjisi kavram olarak geliştirilmiştir [25].

Günümüzde fosil yakıtlar, özellikle kömür, geçen yüzyılda sanayi devriminin gerçekleşmesi ile birlikte insanlığın hizmetinde ve yaşam şartlarının yükseltilmesinde çok önemli bir unsur olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte, dünyada artan enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlardan üretimi çok daha fazlalaşmıştır. Konvansiyonel enerji kaynağı olarak petrolün taşıma açısından kolaylığı en önemli tercih sebebidir. Bunun yanında, endüstride oldukça tercih edilen doğalgaz da, birçok avantajı dolayısıyla çoğu uygulamada yer almaktadır. Ancak, özellikle belli coğrafyalarda, sınırlı rezervleri olan doğalgaz, petrol, kömür gibi yenilenemez enerji kaynakları, atmosfere yaydıkları CO₂ başta olmak üzere sera gazları, güneş ışığının atmosfer tarafından daha çok tutulmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda, yeryüzü sıcaklığı her geçen sene daha da artmaktadır. World Energy Outlook temel senaryosuna göre, enerji kaynaklı oluşan CO₂ salınımı, 2035 yılında 37 Gt'a kadar çıkacaktır. Bu a

rtışın ise, dünya sıcaklığı etkisinin 3.6⁰C olacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu kaynakların miktarının hızla alması, maliyetlerinde de yükselme meydana getirmektedir. Birleşmiş Milletler kuruluşu altında düzenlenen ve temel amacı küresel ısınmayı ve etkilerini incelemek olan Hükümetler arası İklim Paneli (IPON) ve Kyoto Protokolü ile dünya genelinde karbon emisyonu ve karbondioksit salınımı sınıflandırması düzenlemeleri çalışmaları sürdürülmüştür. Enerjinin temel olarak verimli, güvenli, sürdürülebilir ve temiz olması onun kalitesini belirler. Konvansiyonel enerji kaynaklarının atmosfere olumsuz etkisi, ilerde bu enerji kaynaklarının tükenerek olması, güvenlik açısından bazı sıkıntıların olması insanoğlunu bu enerji kaynaklarına alternatif olabilecek arayışlara girmesine zorlamıştır. Ancak bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında sistem ilk yatırım maliyetinin fazlalığı ve bu enerji kaynaklarının sürdürülebilir olmaması gibi sorunları vardır. Teknolojik gelişmelerle birlikte ilk yatırım maliyetlerinin önemli ölçüde düşeceği söylenebilir. Özellikle hem yerel hem kamu sektörlerinde yürütülecek projeler ve bunlara ayrılacak bütçelerle, bu teknolojiler daha fazla pazarda yerini alacak ve bunun sonucu olarak çok fazla olan maliyetler önemli ölçüde düşecektir. Enerji sürdürülebilirliğini etkileyecek daha önemli bir sorun ise güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmaması ve değişken bir yapıya sahip olmasıdır. Zira bu enerji kaynaklarından enerji üretimi, adı geçen kaynakların değişken yapılarından dolayı, saatlik, aylık veya mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Bu sorunu aşmanın yolu ise buradan elde edilecek elektrik enerjisini depolamak mantıklı bir yol olabilir. Ayrıca fosil yakıtların çevreye yarattığı etkiler, elde edilirken yaşanan zorluklar ve zaman içinde tükenerek olması gibi sorunlar, hidrojen için geçerli değildir. Hidrojen; çevreyle dost, kolay elde edilebilir ve depolanabilir olması nedeniyle günümüzde ve gelecekte geçerli bir alternatif olarak yerini koruyacaktır.

Enerji taşıyıcısı olarak bilinen hidrojen, yüksek verimi ve çevre ile dost olması nedeniyle enerji üretimi konusundaki uygulamalarda kendine yer bulmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı(IEA)'nın raporuna göre, Çin, Hindistan ve Bangladeş'in kırsal kesimlerinde yaşayan 1 milyar insanın elektriksiz yaşamaya devam edeceği belirtilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında, yerel bazlı elektrik üretimi yapan sistemlerin hidrojenle bu enerji ihtiyacını sürekli olarak karşılayabileceğinden, bu sistemlerin gerekliliği zaman içinde ortaya çıkacaktır. Hidrojen alanında yapılacak daha

çok çalışmayla, enerji üretimi ve depolanması konularında, dünya üzerinde var olan birincil enerji kaynaklarının yerine geçebileceği düşünülmektedir.

3.2. Hidrojen Temel Özellikleri

Fiziksel özellik açısından moleküler yapıya sahip olan hidrojen, doğada bol miktarda bulunmaktadır. Doğada en basit atom yapısına sahip olan bu element, atmosferde çok az bulunur. Hidrojenin ayrıca kütle numarası 2 ve 3 olan iki ayrı izotopu bulunmaktadır. Bunlardan birincisinin ismi döteryum(D), diğeri ise trityum(T)'dur. Bu iki izotop, en çok hidrojen bileşiklerinde bilhassa suda çok bulunur. Havadan 14.4 kat daha hafif olmakla beraber, yoğunluk bakımından doğalgazın 1/9'u ve sıvı durumunda benzinin 1/10'udur [26]. Hidrojen, doğada bilinen tüm yakıtlar içerisinde en fazla enerji ihtiva eden elementtir, üst ısı değeri 141 MJ/kg'dür. 1kg hidrojen, 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerji kapasitesine sahiptir. Verimlilik bakımından, petrol ve türevi yakıtlarına göre 1.33 kat daha verimlidir. Rengi ve kokusu olmayan hidrojen, molekül ağırlığının çok düşük olması sebebiyle hızlı yayılabilen bir yapıya sahiptir. Öyle ki, molekül ağırlığı 16 olan metan (CH₄) gazına göre 4 kat daha fazla hızlı yayılabilir. En çok bilinen bileşiği sudur. Tablo 3.1'de hidrojen ile farklı yakıt türlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Yoğunluk miktarı göz önüne alındığında, hidrokarbon içeren benzin ve metan yakıtlarına göre çok daha hafif olduğu görülmektedir. -252.77⁰C sıcaklıkta hidrojen sıvı hale getirebilir.

Tablo 3.1. Hidrojenin diğer yakıtlarla karşılaştırılması [27]

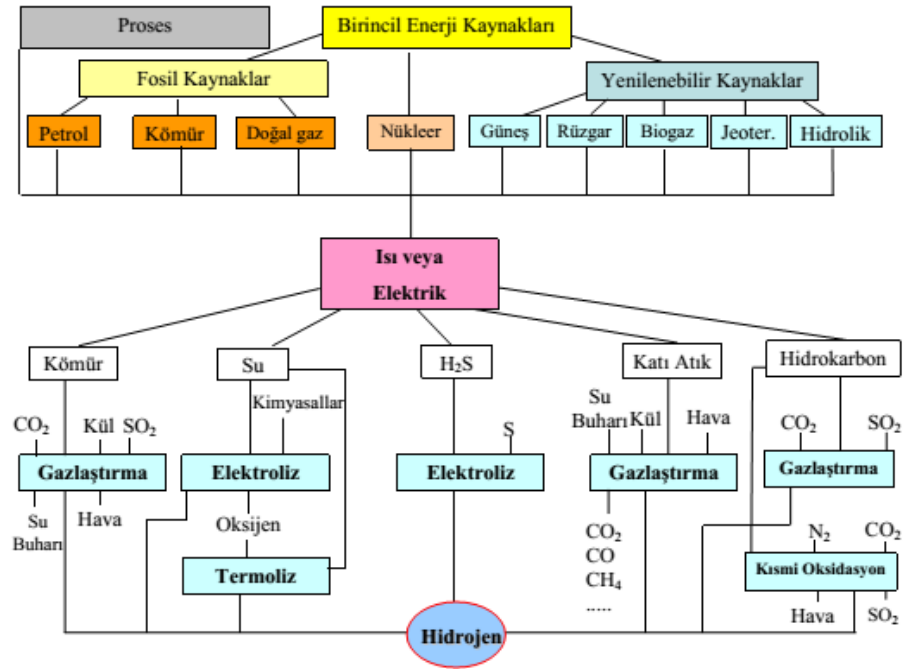
| Özellikleri | Benzin | Metan | Hidrojen |
|---|---------|----------|----------|
| Yoğunluk, kg/m ³ | 4.40 | 0.65 | 0.084 |
| Hava içindeki difüzyonu, cm ² /s | 0.05 | 0.16 | 0.61 |
| Sabit basınçta özgül ısısı, kJ/kg K | 1.20 | 2.22 | 14.89 |
| Havada ateşleme sınırı, % hacim | 1.0-7.6 | 5.3-15.0 | 4.0-75.0 |
| Havada ateşleme enerjisi, MJ | 0.24 | 0.29 | 0.02 |
| Ateşleme sıcaklığı, ⁰ C | 228-471 | 540 | 585 |
| Havada alev sıcaklığı, ⁰ C | 2197 | 1875 | 2045 |
| Alev Yayılması, % | 34-42 | 25-33 | 17-25 |

Kimyasal özellikler bakımından hidrojen molekülü, +1 değerli bir çekirdek ve 1 elektrondan oluşur. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, moleküler halde bulunur. Bunun nedeni ise, hidrojen atomunun yapı gereği normalde çok reaktif olmasından kaynaklanmaktadır. Hidrojen yakıt kaynağı olarak kullanıldığında, atmosfere gönderilen ürün yalnızca su ve su buharı olmaktadır. Fosil yakıtların dünyamıza bıraktığı gazların sera etkisi dikkate alındığında, hidrojenin önemi bir kez daha öne çıkmaktadır. Hidrojenin, hem alternatif enerji kaynaklarından hem de konvansiyonel enerji kaynaklarından elde edilmesi mümkündür. Hidrojen, halojenlerle, halojenürleri oluşturur. Asit ve bazlarla tepkimeye girmez ancak asal gazlar hariç tüm gazlarla bütün elementlerle bileşik oluşturur. Metal veya ametal birçok elementle tepkimeye girerek, hibridleri oluşturur. Hidrokarbonlu bileşikleri(C_2H_6, C_3H_8) oluşturan temel elementtir.

Hidrojen ayrıca yüksek sıcaklık ve basınç altında herhangi bir katalizör ile karbon monoksit ile tepkimeye girerek, metil alkol oluşturur. Boron ($NaBH_4$), metal hidrat bileşikleri arasında en güvenilir hidrojen kaynakları ve depolarıdır. %50 ve daha fazlası konsantrasyondaki çözeltisi yakıt olarak kullanılabilir ve alevlenmez. Ülkemiz Boron rezervleri bakımından birinci sıradadır. Hidrojenin bir diğer kaynağı ise H_2S 'dür. Karadenizin 60 metre derinliğinden sonra 2.5-3 milyon ton arası hidrojen sülfür vardır. Bu potansiyel yine hidrojen kaynağı olarak dikkate alınabilir [28].

3.3. Hidrojen Üretim Metotları

Hidrojen, doğada bileşikler şeklinde bulunan bir elementtir. Şekil 3.1'de belirtildiği gibi hem fosil hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi yapılabilir [29]. Şu anda hidrojen üretimi büyük çoğunlukla yenilenemez enerji kaynaklarından yapılmaktadır. Dünya üzerinde fosil kaynakların yakın gelecekte tükenmesi, bilim adamlarını alternatif enerji kaynaklarından da hidrojen üretimi konusundaki çalışmalarını artırmalarını sağlamıştır. Günümüzde hidrojen hala birçok alanda kullanımdadır. En çok kullanım alanı ise endüstri ve taşıtlardır. Endüstride desülfürizasyon işlemlerinde, kimyasal üretim işlemlerinde hidrojen peroksit, amonyak ve sentez gazı üretiminde kullanımdadır. Ayrıca teknolojinin de gelişmesiyle uzay araçlarında da hidrojen yakıt olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Hidrojenin üretilme yöntemleri [29]

Hidrojenden güç üretimi yapmak için yakıt hücreleri de kullanılmaktadır. Temel olarak hidrojen üretim teknolojileri konvansiyonel enerji kaynaklarından ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanabilmektedir.

3.3.1. Konvansiyonel Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi

Bu yöntem kullanılarak hidrokarbonlardan oluşan fosil yakıtların hava ve oksijen ile ısıtılması sonucu bir ortamda birleştirilmesi sonucunda hidrojen üretimi yapılabilmektedir. Bu olayın sonucunda, H_2 , CO_2 ve CO oluşmaktadır. Bir başka hidrojen üretim teknolojisi ise hidrokarbon içeren yakıtların buhar veya hava olmadan ısıtılması sonucu hidrojen ve karbona parçalaması işlemidir.

3.3.1.1. Kömürün Gazlaştırılması Yöntemi İle Hidrojen Elde Edilmesi

Bilinen en eski hidrojen elde edilmesi yöntemi kömürün gazlaştırılmasıdır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, $900^{\circ}C$ sıcaklıkta ve yüksek basınç altında kömür, belirli oranlarda oksijen veya havaya ve buhar altına bırakılır. Bu işlemin sonucunda, hidrojenin oluşması için gerekli olan birçok tepkime oluşumu gözlenir. Burada hidrojen üretimi esnasında, çok fazla miktarda CO gazı ortaya çıkmaktadır. Bu gazın CO_2 'e dönüşmesi

Bu yöntemle hidrojen üretimi yapılırken, aşağıda verilen tepkimeler gerçekleşir:

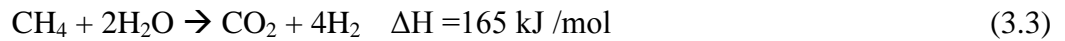
Metal Reforming Tepkimesi:



Sift Tepkimesi:



Toplam Tepkime:

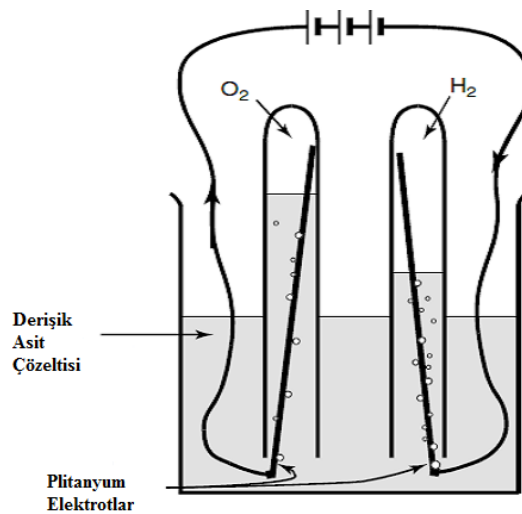


Metan reformasyonu kullanılarak yapılan hidrojen üretiminin verimi %72-85 arasında değişir. Bu sistemin çok yüksek sıcaklıklar gerektirmesi ve fosil kaynakların kullanımından dolayı ortamda bulunan karbondioksitten dolayı temiz bir işlem değildir.

3.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi

3.3.2.1. Elektroliz Yoluyla Hidrojen Üretimi

Suyun doğru akım kullanılarak, hidrojen ve oksijene ayrılması işlemine elektroliz denir. İlk defa bu işlem 1839 yılında William Grove tarafından derişik asit dolu kabın içerisinde iki elektrotla yaptığı deneyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'de su, üzerinden elektrik akımı geçirilerek hidrojen ve oksijen elde edilmiştir [31].



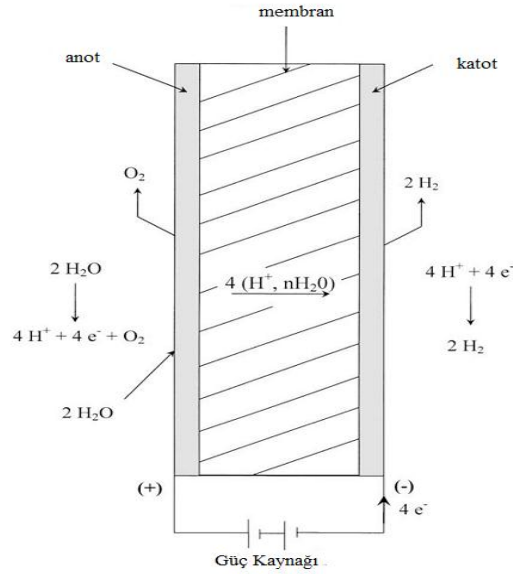
Şekil 3.4. Suyun basit elektroliz ile ayrışması [31]

Bu en basit yöntemle, suyu elektroliz işlemi ile hidrojen ve oksijene ayırmak için elektrolizörler kullanılmaktadır. Temel olarak kullanılan iki tür elektrolizör vardır. Bunlar Alkalin Elektrolizör ve Proton Değişim Membranlı (PEM) Elektrolizör olarak bilinmektedir. Elektrolizörler, hareketli parçalarının olmaması, büyük aralıktaki kapasitede çalışabilmesi ve yenilenebilir enerji ile olan uyumu ve doğru akım üretmesi nedeniyle öne çıkmaktadır.

Alkalin Elektrolizör: Günümüzde her yerde en çok kullanılan elektrolizörlerdir. Alkalin elektrolizör içerisinde yaklaşık %25-30 civarında KOH bulunur. Bir süre saflaştırma işlemlerinden sonra, üretilen hidrojenin belirtilen saflığa ulaşması olasıdır. Bu elektrolizörlerde hidrojen üretimi %80 civarındadır. Artan sıcaklıkla birlikte sıvı elektrolitte oluşan yüksek korozyon ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve alkalin elektrolizörün ömrünü 10 sene ve üzerinde tutmak için, korozyon mekanizması bilinmelidir [32].

Proton Değişimli Membranlı (PEM) Elektrolizör: Hidrojen üretiminde yine ticari amaçlı olarak kullanılan bu elektrolizör, PEM yakıt pilinin çalışma prensibine göre çalışır. PEM yakıt pillerinde membran, ayırıcı bir devre ve iyon iletimi görevlerini üstlenmektedir. Burada iyonların rahatça geçmesi için, yüksek saflıkta iyonize edilmiş suya gereksinim vardır. Membranın yüksek fiyatı, malzemelerin fiyatlarındaki fazlalık da bu yapıya dayalı olan PEM elektrolizörlerin yaygınlaşmasını engellemiştir. Tüm bu dezavantajlarına rağmen, yüksek saflıkta hidrojen üretimi(%99.999) ve yüksek verime (%95.1) sahip olması nedeniyle avantajlı yönleri sahiptir [33]. Alkali elektrolizörlerin bir üstün yanı daha ise, basıncın, sıcaklığın ve akım yoğunluğunun fazla olduğu ortamlarda kullanıma uygundur. Ayrıca, yüksek basınç altında 300 bara kadar çalışabildikleri için, denizaltı ve uzay uygulamalarında da kullanımı mümkündür. PEM elektrolizörün çalışması Şekil 3.5’de ayrıntılı şekilde verilmektedir [35].

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi, anot, katot ve elektrolitten oluşan bir PEM elektrolizörde, anottan hücreye giren su, anot katalizör tabakasında hidrojen iyonu ve oksijene ayrılır. Buradaki oksijen gazı yine anottan dışarı gönderilirken, serbest halde bulunan hidrojen iyonu membrandan geçerek katot katalizör katmanında elektron alarak hidrojen gazı olur [34].



Şekil 3.5. PEM tipi elektrolizin çalışması [35]

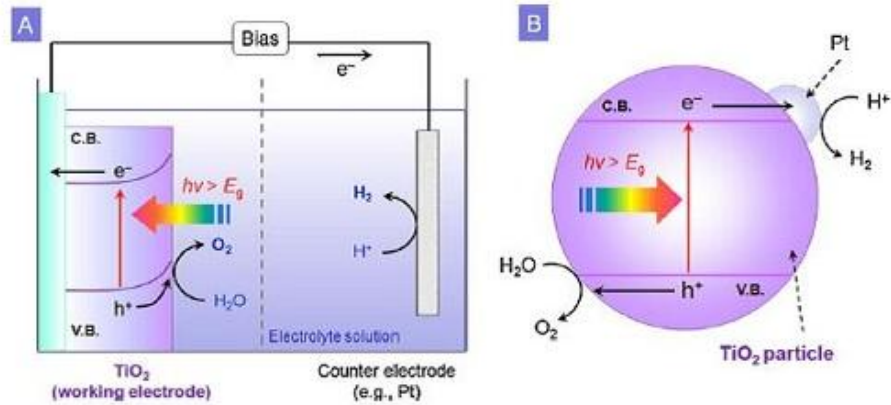
PEM elektrolizörler, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından da hidrojen üretiminin mümkün olduğu gerçeğinin ortaya çıkmasından bu yana, çok mantıklı ve uygulanabilir bir alternatif haline gelmiştir. PEM elektrolizörlerin, düşük sıcaklıkta çalışabilmesi, yüksek verimlilikleri ve yüksek saflıkta hidrojen üretebilmesi gibi özellikleriyle rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretiminde kullanılabilmesi mümkün olmuştur [36].

3.3.2.2. Fotoelektroliz ile Hidrojen Üretimi

Fotoelektroliz, ışık enerjisi yardımıyla suyun içerisine daldırılan bir yarı iletkenle hidrojen ve oksijene parçalanması işlemidir. Suyun parçalanması için gereken gerilimi yine bu yarı iletken yapmaktadır. Bu işlemin sonunda aynı zamanda elektrik de üretilir. İşlem sırasında hidrojeni oluşturan tepkimede elektronlar elektrolite giderken, aynı zamanda bu elektronlarla oksijen oluşumunu sağlayan tepkimeye elektron kazandırılır. Bu yöntemle, güneş enerjisi ile suyun elektrolizi bir tane fotoelektrod ile yapılabilmektedir [37].

Burada suyun fotoelektrolizinden elde edilecek verim, fotoelektrodun dayanabilirliğine, kullanılan malzemenin çeşidine ve güneş spektrumunun bütün fotonları emmesi gibi değişkenlere bağlıdır [38].

Sistemin verimini artırmak için yapılan çalışmalar, fotoelektrod malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Şekil 3.6'da çalışmalarda çoğunlukla incelenen TiO₂ elektrotlu foto elektrokimyasal hücrenin çalışması şematik olarak görülmektedir [39].

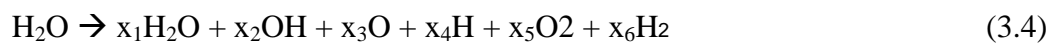


Şekil 3.6. TiO₂ elektrotlu foto elektrokimyasal hücrenin çalışması [39]

Foto elektroliz verimi hakkında son yıllarda yapılan çalışmalarda, GaAs içeren foto elektrotlar %18 civarında bir verim ile çalışmaktadır. Ancak çözeltinin içindeki oluşabilecek korozyonlardan dolayı sistemin verimi düşük olmakla birlikte, uzun ömürlü olmasından dolayı ileride başarılı bir ticari alternatif olacağını kanıtlamıştır [40].

3.3.2.3. Güneşin termolizinden Hidrojen Üretimi

Bu yöntem kullanılarak, Denklem 3.4'de verildiği gibi tek adımlı bir tepkime ile su kullanılarak hidrojen üretilir.



Ancak bu ayrışma tam olarak gerçekleşmemektedir. Çünkü bu ayrışma için çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. İşlem sırasında ayrılan hidrojen ve oksijenlerin tekrar su bileşiği oluşturma ihtimali olduğu için, yüksek sıcaklıklara dayanan membran teknolojisi bu birleşmeyi engellemek için gereklidir. Bu konu üzerinde ısı geri kazanımı ile verimlilik artırılması konusunda çalışmalar olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklara dayanacak membran teknolojisi de gerektirdiğinden ilerleyen yıllarda hidrojen üretimi için geçerli bir yöntem olmayacağı düşünülmektedir [41].

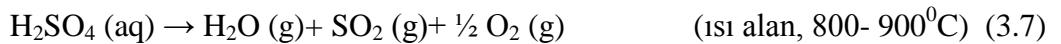
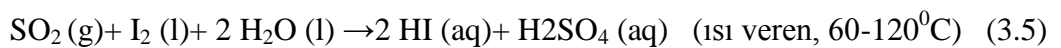
3.3.2.4. Termokimyasal Çevrimler İle Hidrojen Üretimi

Hidrojen üretimi esnasında, termoliz için gereken sıcaklıktan daha az sıcaklıklarda suyun kimyasal ayrışmasını sağlayan üretim yöntemine **Termokimyasal Çevrim** denir. Bu yöntemin diğerlerine göre olumlu yanı termokimyasal çevrim kullanıldığında daha fazla verim elde etmenin mümkün olmasıdır. Her çevrim birden çok adım içerir ve bu adımlar arttıkça daha çok tepkime devreye girer. Güneş enerjisinden hidrojen üretimi için uygun olan bazı çevrimler sırasıyla verilmiştir.

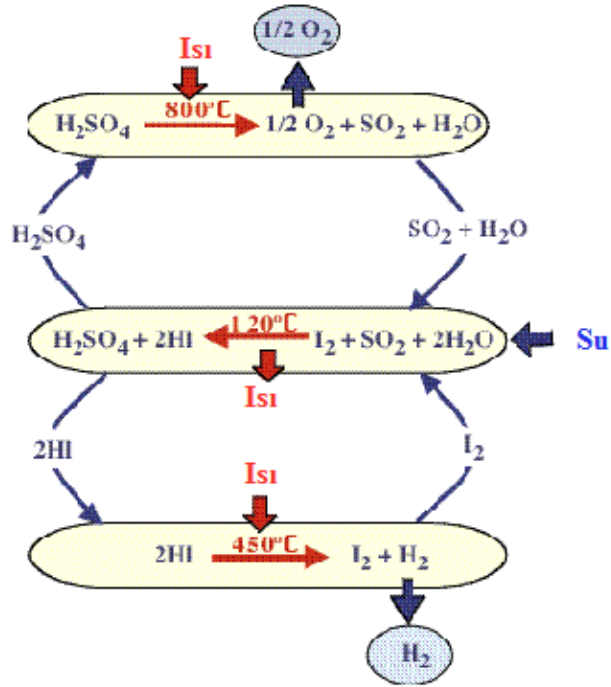
Sülfürik asit – İyot Termokimyasal Çevrimi

Sülfürik asit-iyot çevrimi, termokimyasal çevrimlerin en önemlisidir. Üç ayrı sıcaklıkta gerçekleşen, üç kimyasal tepkimeden oluşan bu çevrim; ilk defa General Atomics tarafından denenmiştir. Son 30 yılda hidrojen üretimi için en umut verici çevrim olarak sunulmuştur [42].

En temel tepkime olan birinci tepkime Bunsen tepkimesi olarak da bilinmektedir. Tepkime, 60-120⁰C sıcaklık arasında ısı alan bir tepkimedir. İkinci tepkime ise, hidroiyodik asitin ayrışması tepkimesidir. Isı alan bir tepkime olup, 800-900⁰C arasında gerçekleşmektedir. Son adım ise sülfürik asidin ayrışması tepkimesidir. Bu tepkime de ısı alan bir tepkimedir ve 800-900⁰C arasında gerçekleşir [43].



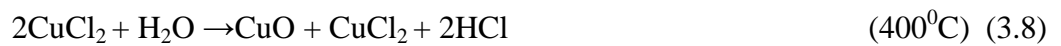
Bu çevrimin basamakları Şekil 3.7’de detaylı olarak verilmektedir [44].



Şekil 3.7. S-I çevriminin şematik gösterimi [44]

Bakır Klorür Termokimyasal Çevrimi

Nükleer reaktörlerde ve yoğunlaştırıcı güneş güç sistemleri gibi daha az sıcaklık (530°C) oluşan yerlerde kullanılabilen bu çevrim, beş adımdan oluşmaktadır [45].



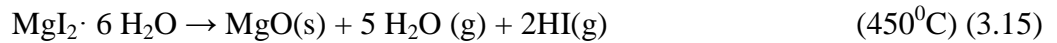
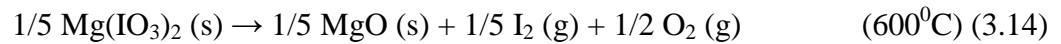
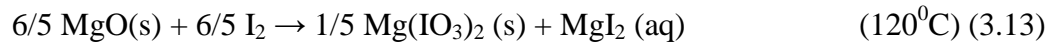
Çevrimin birinci adımı bir akışkan yatak kullanarak gaz halinde HCl bileşiğinin üretimi basamağıdır. İkinci adımı oksijen üretiminin yapıldığı adım, üçüncü adım bakır (Cu) elementinin elde edildiği basamaktır. Dördüncü adımda bakır klorür bileşiği kurutulur ve beşinci adımda ise hidrojen üretimi yapılmaktadır [46].

Cu-Cl çevrimi düşük dereceli atık ısıyı yararlı hale getirirken, düşük elektroliz voltajı gerektirmektedir. Diğer çevrimler ile karşılaştırıldığında düşük sıcaklıklarda yüksek verimle çalışması, bu çevrimin değişik uygulamalarda kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır [45].

Magnezyum – İyot Termokimyasal Çevrimi

Düşük sıcaklıklarda hidrojen üretimi için en uygun çevrimlerden birisi de Magnezyum-İyot çevrimidir [46].

Cu-Cl çevrimi ile benzer özellikler taşıyan bu çevrimde, hidrojen üretimi 4 adımda gerçekleşir [48].



Bu tepkimelerde, belirli kimyasal ayrışmalarının oluşması için bazı şartlar vardır. 1. Adımda MgO'dan, Mg(IO₃)₂'ye dönüşüm işlemi tam olarak gerçekleşmemiştir. Bu çevrimde tepkimenin konsantrasyonu ve stiyokiyometresinin, dönüşümün tam olarak engellediği görülmüştür [50]. Çevrimin en olumlu yanları tepkimenin olduğu sıcaklığın çok yüksek olmaması, tepkime sonunda oluşan ürünlerin kolayca elde edilebilmesidir [46].

4. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Hızla artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla son yıllarda fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarından da enerji üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaynakların içerisinde güneş'in önemli bir yeri vardır. Son yıllarda güneşten daha fazla ve verimli yararlanmak amacıyla çalışmalar hız kazanmıştır. Bu bölümde, fotovoltaik paneller ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları hakkında bilgi verilecektir. Kim et al. [49] seri olarak birbirine bağlanmış fotovoltaik panelleri DC-DC dönüştürücü ile bağlayarak, bu sistemi yüksek verimli bir tasarım olarak incelemişlerdir. Bunun için, dönüştürücünün çıkışına bir kapasitör bağlayarak, fotovoltaik panelin çıkışına eklenmiştir. Bu tasarlanan sistem sayesinde düşük voltajlarda verimi %94'ten az olan dönüştürücünün verimi %95-98 aralığında değerlere ulaşmıştır. Yang vd. [50] çalışmalarında Hong Kong için tasarlanmış şebekeye bağlı bina yüzeyine yerleştirilen dört aşamada toplam 55 m²'ye yerleştirilen PV panel sisteminin enerji performansını incelemişlerdir. Bu sistemin enerji analizi, simülasyon sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde etmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonucunda sistemin enerji verimi %9'a ulaşırken, kullanılan invertörlerin verimi %86-87 aralığında belirlenmiştir. Deneysel sonuçların ışığında sistemin güneşli günlerde 250 m²'lik bir yerin aydınlatmasını karşılayabilecek yeterli elektrik üretilebilmektedir. Yordanov vd. [51] kristal silisyum tipi PV panelin seri direncinin her bir ışık seviyesi altında oluşan I-V grafiklerinin elde edilmesi için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu işlem yapılırken seri bağlı direnç ile yarı logaritmik olarak elde edilen I-V çizimlerine dayanmaktadır. Deneyler sırasında ele alınan silisyum tabanlı iki ayrı modülden elde edilen sonuçlarda bazı hatalar olduğu gözlenmiştir. Alınan bu değerlerin sıcaklığa bağımlılığı teori ile de birleşmiştir. Seri direncin PV panelinin ideallik faktörüne etkisi ilk defa bağıntıyla ifade edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda daha önce

literatürde şu ana kadar yer almayan m-I grafiklerini sunmuştur. Perpignan vd. [52] daha önce değişik zaman çözümleri yapılarak analiz edilen güneş ışınımının değişiminin analizini bu çalışmada İspanyanın 4 ayrı veritabanı için ışınım modelleri ve üretilen enerji miktarı arasındaki ilişkiyi açıklamışlardır. Çalışmalarında değişik zaman aralıklarında oluşan güneş ışınımı değerlerini PDF(Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu) ile analiz ederek, saatlik veriler yerine daha da güvenilir güneş ışınımı değerleri elde edileceğini göstermişlerdir. Chintavee ve Keyjoy [53], rüzgar ve güneş gibi kontrol edilemeyen enerji kaynaklarını kullanarak enerji üreten mikro şebeke bağlantılı sistemlerin PV üreticinin performans ve verimlilik analizlerini yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda üreticinin ortalama performans oranı ve toplam PV santralinin verimlilikleri %73.6 ve %10.41 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin kış ve yaz mevsimlerinde daha da yüksek olduğu belirlenmiştir. Güngör vd. [54], açık gün modelini kullanarak yatay ve diğer eğim açılara gelen güneş ışınlarının aylık ve saatlik ortalamalarını bir algoritma ile hesaplamışlardır. Bu çalışma, binaların en yüksek güneş ışınımı kazançlarının hesaplamasında kullanılabilir olan verilerdir. Sonuçta elde edilen güneş ışınımı değerlerinin kurulacak olan sistemlerin maksimum düzeyde çalışmasında etkin rol oynayacağı belirtilmiştir. Buna ek olarak, algoritma ile hesaplanan değerlerin iklimlendirme için de kullanılabilineceği açıklanmıştır. Hilali vd. [55], fotovoltaik panellerden üretilen hidrojenin depolanması konusunda yaşanan sıkıntıları çözmek amacıyla birleşik Fotovoltaik-Yakıt pili-Elektrolizör sisteminin deneysel olarak incelenmesi üzerinde çalışmışlardır. Bu sistem ile yapılan deneysel araştırmaların sonucunda depoda bulunan hidrojenin belirli bir gücü belli bir zaman aralığında karşılayabildiği, daha küçük güçteki elektriksel yükler için yakıt pilinin çalışma süresinin devreye girdiği belirlenmiştir. Bunun yanında, yapılan deneyler esansında herhangi bir hata veya sıkıntıyla karşı karşıya kalınmamış ve bu durumda sistemin uygulanabilirliği açısından daha uygun olduğunu göstermiştir. Chennouf vd. [56] yaptıkları çalışmada Cezayir’de bir şehirde güneş enerjisinden hidrojen üretimi için yapılan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada değişik NaOH yoğunluklarıyla alkali tipi elektrolizör fotovoltaik panellerle beslenmiş ve bu sistem değişen giriş voltaj ve akım gerilimlerine göre incelenmiştir. Yapılan radyasyon ölçümleri sonucunda çalışma yapılan şehrin çok büyük bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Elektrolizörün yararlı verimini düşük voltajlar altında en yüksek değerlerini aldığı, bu yüzden en iyi voltaj çalışma aralığı olarak bu aralığın seçilmesinin uygun

olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, yükselen sıcaklık ve elektrolizör yoğunluğunun hacim akışını, akım yoğunluğunu ve yararlı verimin artmasına izin vermiştir. Buradan yola çıkarak hidrojen üretiminin yüksek sıcaklıkta ve en uygun NaOH yoğunluğunda en iyi seviyeye ulaştığı görülmüştür. Ramakrishna vd. [57] var olan aşırı enerji talebini karşılamakta yetersiz kalan anlık güç arzını karşılamak Darbe Genişlik Modülasyonu ile çalışan ve hem güneş enerjisi hem de depolama bataryalarıyla çalışan verimli ve uzun ömürlü ara yüzlü bir evirici tasarlamışlardır. Bu evirici batarya seviye kontrolü, mikroşlemci ile kontrol edilen şarj-akım kontrolü ünitesi ve DC/AC Maksimum Güç Noktası İzleyicisinden oluşmaktadır. Bu sistem yardımıyla yer ve uygulama ne olursa olsun güvenli ve sürdürülebilir elektrik üretimi yapılabilir. Bunun yanında olası elektrik kesintilerinde yüksek kaliteli AC gücü yine bu sistem sağlamaktadır. Daha büyük güç gerektiren uygulamalarda bu izole eviricilere daha çok ihtiyaç duyulabilir.

Gules vd. [58], maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) ve şebekeden bağımsız fotovoltaik panelin paralel bağlanmasıyla oluşan sistemin tasarımını, analizini ve uygulamasını yapmışlardır. PV panelden güç üretimi sırasında sisteme paralel bağlanan MPPT sisteminin güç çeviriciden dolayı oluşan kayıpların olumsuz etkisini azalttığı görülmüştür. Wang ve Hsu [59] yaptıkları çalışmada fotovoltaik panellerde sıklıkla görülen kısmi beş değişik bağlantı yaparak (basit seri, seri-paralel, karşılıklı bağlı(TCT), köprü bağlantılı ve bal peteği) kısmi gölgelenme altında güç üretimindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda en iyi performansın karşılıklı bağlı şekilde bağlanan PV panellerde görülmüştür. F. Almonacid vd. [60] fotovoltaik jeneratör tarafından üretilen yıllık enerjinin dört ayrı yöntemle karşılaştırmışlardır. Bunlardan üç tanesi daha önce kullanılan klasik yöntemler olup, dördüncü ve yeni yöntem yapay sinir ağlarıyla geliştirilen bir yöntemdir. Çalışmaların sonunda yapay sinir ağları ile geliştirilen son yöntemin üretilecek enerji miktarını tahmin etmede hata payını %6 - %8 arasına azaltabileceği görülmüştür. Aras vd. [61], yatay yüzeyde Türkiyenin Orta Anadolu Bölgesinde bulunan 12 il için aylık ortalama günlük güneş ışınımı tahmin etmek için yeni bir hibrid model üzerine bir çalışma yapmışlardır. 1964 yılından beri toplam güneş ışınımı ve güneş ışığı süresinin Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ölçülmesine rağmen aylık ortalama günlük ışınım henüz ölçülmemiştir. Bu çalışmada 12 ayrı il için ayrı ayrı hibrid model elde edilmiştir. Elde edilen bu modeller formülle ifade edilerek, en iyi formülün kübik formülü olduğu tespit

edilmiştir. Bu modeller de güneş enerjisi sisteminin performansı hakkında en iyi bilgiyi verebilecektir. Zhou vd. [62] fotovoltaik panellerin akım-voltaj grafiklerine dayanarak, mühendislik uygulamalarında PV modülün performansını tahmin etmek için yeni ve basit bir model tasarlamışlardır. PV modülün performansının güneş ışınımı yoğunluğu ve modül sıcaklığına bağlılığını ifade etmek için beş adet parametre tanımlanmıştır. Buna göre; kısa devre akımı, açık devre voltajı, dolum faktörü, PV modülün maksimum çıkış voltajı değişen güneş ışınımı ve modül sıcaklıklarına göre karar verilebilir. Bu model fotovoltaik panellerin gerçek gücünü hesaplamak isteyen mühendisler için basit ve kullanışlı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada modelin doğruluğu, ölçülen değerlerle tahmin edilen değerlerin karşılaştırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Yeni geliştirilen bu modelin tüm hava şartlarında sağlandığından emin olmak için, doğrulama güneşli ve bulutlu durumda sürdürülmüştür. Her bir durumda, simülasyon modelinin dört mevsim için de doğrulandığı tespit edilmiştir.

Lo Brano vd.[63] çalışmalarında PV panellerin çıkış gücünü tahmin etmek için değişik yapay sinir ağları topolojilerine dayalı sahip uyarlanabilir bir yaklaşım sunmuşlardır. İki ayrı PV panele kalibre edilmiş iki ayrı yükle veri alınmıştır. Fotovoltaik panelin çıkış gücünün analizini yaparken gerekli bilgileri yerel iklim bilgilerine ihtiyaç duyulmuştur. İklimsel değişikliğin elektrik üretimine etkisini araştırmak için, yapay sinir ağları hava verisi(hava sıcaklığı, güneş ışınımı ve rüzgar hızı) denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, oluşturulan modelin kısa vadede güç üretimi tahmin problem için uygun olduğunu desteklemiştir. Yapay sinir ağlarının performans analiziyle panelden üretilen gerçek çıkış gücü karşılaştırıldığında %0.05-1 arasında bir gerçekleştiği görülmüştür. Sonuçlar yüksek doğruluk ve kısa hesaplayabilme zamanıyla uyarlanan tekniklerin PV Panellerin çıkış gücünü tahmin edebilmektedir. Bakirci [64] çalışmasında Türkiye için güneş enerjisi uygulamaları için en iyi eğim açılarını bulmaya çalışmıştır. Türkiye'nin 8 büyük ili için ölçülen güneş ışınımı değerleri ele alınmıştır. Sonuç olarak, bir yıl boyunca en uygun eğim açısının 0^0 ile 65^0 arasında değiştiği görülmüştür. En iyi eğim açısı en düşük değerini Haziran ve Temmuz aylarında 0^0 olarak alırken, bu değerde ortalama günlük toplam ışımaya genelde en yüksek değerde olmuştur. Buna ek olarak, optimum eğim açısı kış aylarında özellikle Aralık ayında artırmıştır. Buna benzer olarak, Türkiye'de kullanılan güneş kolektörlerinin optimum eğim açılarını tahmin etmek için bazı istatistiksel hata testleri ile karşılaştırılmıştır. Fıratoğlu vd. [65] bu çalışmada Fotovoltaik

panel-Maksimum Güç Noktası İzleyicisi birleşimi sistemlerin sabit bir güçte kullanımına yönelik optimum şartları araştırmışlardır. Bu çalışma yapılırken hedeflenen durum ihtiyaç duyulan gücü olabildiğince az miktarda panelle sağlamaktır. İlk kısımda maksimum toplam radyasyon açısı faktörü ve maksimum kullanılabilir paneli sağlayan durumlar ele alınmıştır. Sonra bu koşullarda MPPT yardımıyla PV Panellerden üretilebilecek en yüksek volt ve akım değerleri belirlenmiştir. Çalışmada bu kombinasyonun işlenebilmesi için, grafiksel bir yöntem önerilmiştir. Bu metot sayesinde, 37° için yılın herhangi bir anındaki bulanıklık değerinden yararlanılarak PV – MPPT sisteminin sabit yük uygulaması için gerekli panel adedi bulunabilir. Charalambous vd. [66] literatürde var olan PV/T kolektörleri ile ilgili bir yorum sunmuşlardır. Bu çalışma değişik kolektör tiplerinin ısı ve elektrik analizinin çıktısını vermektedir. Burada sistemin çalışmasını etkileyen değişkenler, belirli şartlara göre etkilenmektedir. Sonuç olarak PV/T panellerin gelecekte daha çok kullanılacak olan araç olarak görülmektedir. Deneysel ve sayısal sonuçlardan oluşturulan modellere bakıldığında PV/T panellerin verimleri %60-70 arası değişmektedir.

El Chaar vd. [67] fotovoltaik panellerin var olan teknolojilerinin gelişimi hakkında bir çalışma yapmışlardır. Hala son yıllarda kullanılan dört ayrı fotovoltaik panel teknolojileri hakkında detaylı bilgi verilmektedir: kristal, ince film, birleşik ve nanateknoloji. Ayrıca uzay uygulamalarında kullanılan PV paneller ele alınırken, fotovoltaik panellerin uygulamaları da kısa bir biçimde özetlenmiştir. Joshi vd. [68] fotovoltaik ve termal fotovoltaik sistemlerin performans karakteristiklerini enerji ve ekserji verimliliklerine bağlı olarak incelemişlerdir. Ekserji analizi, ekserji akışı, kayıpları ve enerji, ekserji, güç çevrimi verimliliklerini bulmak için fotovoltaik sisteme ve elemanlarına uygulamışlardır. Sistemin enerji verimliliği Termodinamiğin 1. Kanununa göre hesaplanmış ve aynı şekilde Termodinamiğin 2. Kanunıyla uyumlu olarak ekserji verimliliği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken iki ayrı model kullanılmıştır. Birinci model termodinamiğin temel kanunlarına dayanırken ikinci model güneş ışınımının kimyasal potansiyeline dayanmaktadır. Sonuçta ekserji verimliliğinin PV panel sistemi için daha düşük olduğu görülmüştür. Enerji verimliliğinin PV sistem için %33, PV/T sistemi için %45 olduğu, aynı zamanda PV/T sistemi için ekserji verimliliğinin %11.3 ile %16 arasında değiştiği; bu değerlerin PV sistem için %7.8 ile % 13.8 arasında değiştiği bulunmuştur. Sistemlerin enerji ve ekserji yüzdelerinde oluşan fark güneş ışınımının artmasıyla daha çok artmıştır.

Sensoy vd. [69], Türkiye'nin güneş potansiyelini modellemek için coğrafi değişkenleri belirli noktalarda ölçerek, belirli parametrelerle birlikte Türkiye'nin hangi bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli bakımından uygunluğunu araştırmışlardır. Bu çalışmalar yapılırken uzay interpolasyon yöntemiyle birlikte; yön, enlem, bağıl nem ve bulutluluk verileriyle birlikte ışınım değerlerini aylık olarak modellemişlerdir. Çalışmaların sonucunda en iyi sonuçların bağıl nem ve bulutluluk verilerinin kullanıldığı çalışmalarda elde edilmiştir. Miri ve Mraoui [70], Cezayir'de değişik bölgelerde güneş santralleri kurularak yapılan çalışma güneş enerjisiyle birlikte su buharının elektrolizinden elde edilen yüksek sıcaklıklarda hidrojen üretimi santrali tasarımı ile alakalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Elektrik üretimi fotovoltaiik pillerle yapılmıştır ve su buharı güneş yoğunlaştırma santrali aracılığıyla sağlanmıştır. Bu çalışmada hidrojen üretim oranı güneş enerjisi ışımasının çeşitli değerleri için verilmiştir. Bu çalışmada termodinamik ve fotovoltaiik bir hibrid güneş enerjisi sistemi kullanılmıştır. Burada termal çevrim yüksek sıcaklık ve basınçta, 1kg/s'lik su buhar akış tarafından sağlanmıştır. Cezayir'in değişik bölgelerine kurulan yerler sayesinde yapılan nümerik simülasyon ölçümlerde, Cezayir'in güneyinde bulunan Tamanrasset bölgesindeki yıllık hidrojen üretiminin en fazla olduğu belirlenmiştir. Diğer bölgelerdeki üretimin ise eşit olduğu görülmüştür. Akyüz vd. [71] çalışmalarında fotovoltaiik panel ve PEM elektrolizörden oluşan bir istemi ele belirli bir güneş ışınım altında üretilecek hidrojen üretim miktarını incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda en fazla hidrojen üretim oranının 600 ve 650 W/m²'de olduğu belirlenmiş, yıllık hidrojen üretim miktarının metrekare başına 2.97 kg olduğu gözlenmiştir. Burada üretilen hidrojen miktarının toplam üretilen hidrojen %8.1'i olduğu görülmüştür.

Lin vd. [72] düşük verimle çalışan fotovoltaiik panellerin veriminden dolayı PV panelin çıkışındaki gücün artmasını sağlamak amacıyla Maksimum Güç Noktası İzleyicisi sistemini matematiksel bir yöntem geliştirerek yeni bir algoritma geliştirerek artırmaya çalışmışlardır. Geliştirilen bu algoritma ile takip zamanı daha da kısaltılarak gerçek değer ile algoritma ile iyileştirilen değer arasında %2'lik ortalama hata oluşmuştur. Bu geliştirilen yeni sistem sayesinde, üretilen maksimum gücün yüke aktarımı sağlanmış, takip zamanı azaltılmış ve basit bir mikroişlemci ya da gömülü sistem halinde uygulanması kolay olmuştur. Bakırcı [73] yaptığı çalışmada, Erzurum ili için yatay yüzeye gelmekte olan anlık global güneş ışınımını bir algoritma geliştirerek hesaplamış ve ölçülen bu

değerle hesaplanan değerler karşılaştırıldığında bu iki değerlerin birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. Sonuç olarak elde edilen bu doğru değerler ile Erzurum ili için ileride yapılması düşünülecek Güneş enerjili sistemlerin kurulumu ve teknolojisi buna uygun olarak yapılabilir olacaktır. Bulut vd. [74], Türkiye'nin bütün bölgelerini ele alabilecek şekilde seçilmiş 15 il için güneş enerjisi sistemlerinin projelendirmesinde ihtiyaç olabilecek parametrelerini vermesi amacıyla eşitlikler vermişlerdir. Bazı eşitliklerin belirlenmesinde Devlet Meteoroloji işlerinden belirli yıllar arasında eşitlikler elde etmişlerdir.. Bu elde edilen eşitlikler sonucundaki değerle ölçülen değerler karşılaştırıldığında, bu eşitliklerin yakın bir sonuç verdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak, eşitliklerden elde edilen değerlerle havanın diğer tüm özelliklerini de istenilen zaman belirlemek mümkündür. Dubey ve Tiwari [75], seri bağlı şekilde sulu hibrid kısmen kaplanmış PV/T panellerin performansını teorik modeli kullanarak değerlendirmişlerdir. Bağlanan kollektör sayısına göre temel enerji denge ve bilgisayar tabanlı hibrid modeller kullanılarak analitik modeller elde edilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar, Hindistan'da dört farklı iklim koşullarında, beş değişik şehir için termal enerji, ekserji ve enerji verimleri kollektör sayısını değiştirerek detaylı analizini yapmışlardır. Çalışmaların sonucunda kısmen kaplanmış PV/T panellerin sıcak su üretimini ve elektrik üretimini birleştirmişti ve bu da sadece sıcak suyu ihtiyacı olan ya da sadece elektrik üretimi ihtiyacı olan tüketiciler için yararlı olduğu belirtilmiştir. Yıllık 5 ayrı şehir için yapılan bu çalışmalar sonucunda Jodhpur şehrinin bu tip sulu kollektörleri kurmak için en iyi yer olduğu belirlenmiştir. PV/T panellerin ayrıca azalması konusunda da yardımcı olduğu hatta Delhi'de bulunan konutların %10 civarında konutta dahi yıllık kazanç getirdiği belirtilmiştir. Şahin ve Okumuş [76] çalışmalarında öncelikle bir güneş pilinin matematiksel modelini elde etmiş, daha sonra bu elde ettikleri modeli Matlab/Simulink yarımı ile simüle etmişlerdir. Program aracılığıyla hazırlanan benzetim modeli ile güneş panelleri bağlantı şekilleri ve sayıları değiştirilmiş, değişen sıcaklık değerleri, malzeme yapısı ve verimle ilgili değerlere göre oluşan yeni grafikler incelenerek sayısal sonuçlarla birlikte değerlendirilmiştir. Sonuçta elde edilen veriler, ideal bir kaynağın sahip olduğu yapıda olduğu için benzetim sonuçlarının başarılı olduğu ve daha karmaşık sistemler için uygulanabileceği belirtilmiştir.

Mellit vd. [77], 50 W silikon-polikristal fotovoltaik bir modülden üretilebilecek güç miktarını tahmin etmek için, güneşli ve bulutlu günler için iki ayrı durumu yapay sinir ağları(YSA) kullanarak modellemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, YSA ile modellenen bu sistem tarafından üretilen gücün tahmini diğer kullanılan sistemlerden daha doğru gerçekleşmiştir. Ayrıca PV panel için geliştirilen bu YSA modeli şebekeye bağlı şebekeye bağlı olmayan sistemlerin güçlerinin tahmini için de kullanılabilineceği belirtilmiştir. Green [78], fotovoltaiklerle ilgili son yıllarda geliştirilen son teknolojileri ele alarak amorf silikon/ hidrojen alaşımlarının ya da polikristal birleşik yarı iletkenlerin piyasada daha çok yer aldığını belirtmiştir. Yeni gelişmelerle birlikte daha önceleri fotovoltaik panellerde kullanılan ince film teknolojilerinin maliyet, kararlılık, üretilebilirlik, dayanıklılık ve toksin gibi etkileri, Avusturya'da gerçekleştirilen cam – silikon teknolojileri ile birlikte daha iyi duruma gelecek gibi gözükmektedir. La Manna vd. [79] düzgün olmayan güneş ışınımından dolayı kaynaklanan uyumsuzluk ve kısmi gölgelenmeden dolayı oluşan güç azalmasının önüne geçmek için umut verici bir teknik olan fotovoltaik paneller arasındaki bağlantılarının değiştirilebilir bir elektriksel bağlantı şekline getirmek için yeni stratejiler sunmuşlardır. Bu kapsamda, değişik bağlantı biçimleri değişik parametreler göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda hala bazı ticari kuruluşlar seri-paralel topolojisini tercih etse de, toplam çapraz bağlı (TCT) topolojisi daha masraflı kablolama gerektirse de, daha etkin optimizasyon algoritmaları ve daha fazla esneklik getirdiği belirtilmiştir.

Zheng vd. [80], daha verimli ve güvenilir fotovoltaik enerji çevrim teknolojileri geliştirmek için, PV sistemin değişik dönüştürücü tasarımlarındaki ve kısmi gölgelenme ve atlatma diyotu sisteme bağlandığında oluşan enerji çıkışı merkezi, dizi ve mikro-dönüştürücü tabanlı PV sistemler için karşılaştırmışlardır. Mikro-dönüştürücü tabanlı PV sistemler ile karşılaştırıldığında, merkezi dönüştürücülü PV sistemleri büyük ölçekte atlatma diyotu bağlantısına sahip PV sistemlerin verimliliğini, güvenilirliğini ve performansını artırmada ekonomik bir çözüm olabileceğini bulmuşlardır. Ayrıca PV dizilerinin kısmi gölgelenmeden nasıl etkilendiğine dair araştırmalar da yapmışlardır. Gölgelenme olmadan, her üç dönüştürücülü sistem için de PV sistemi aynı enerji verimine sahip olmuştur. Gölgelenme altındayken ve atlatma diyotu yokken, mikro-dönüştürücü tabanlı PV sistemi maksimum enerji verimine sahipken, merkezi dönüştürücü tabanlı PV sistem en az enerji üretimine sahip olmuştur. Ancak mikro

dönüştürücü tabanlı PV sistem maliyetli ve hala PV panellerdeki gölgelenmeden dolayı oluşan enerji kaybını engellemekte yetersiz kaldığı da belirtilmektedir. Atlama diyotları ile PV sistemin verimliliği özellikle her bir hücrede bulunan atlama diyotunun küçük olmasından dolayı geliştirilebileceği bulunmuştur. Çalışmada aynı zamanda merkezi dönüştürücülü tabanlı uygun şekilde yapılmış atlama diyotları dayalı PV sistemlerin, fotovoltaik sistemlerin veriminin performansının ve güvenilirliğini artırmanın en etkin ve ekonomik yolu olduğu belirtilmiştir.

Fthenakis [81], fotovoltaik hücreler için kullanılan ince filmlerin yaşam döngü analizi ile çeşitli parametrelerini ve çevreye etkilerinin potansiyelini araştırmıştır. Araştırmalar sonunda daha ince güneş hücreleri ve geri dönüşüme harcanan modüllerin maliyeti ve çevresel etkileri üzerinde durmuştur. İnce film teknolojilerinin güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinde en ucuz teknoloji olduğunu belirtmiş, teknolojik ve ekonomik yönden sıkıntılar olmasına rağmen CO₂ emisyonunu azaltma yönünde yenilenebilir enerji alanında büyük rol oynayacağını belirtmiştir. Abdallah [82], düz plakalı fotovoltaik panellerin çıkış gücünü ve voltaj-akım karakteristiklerini etkilerini değişik güneş takip sistemleriyle deneysel olarak incelemiştir. İki eksenli, bir dikey eksenli, bir eksenli doğu-batı ve bir eksenli kuzey-güney sistemleri tasarlanarak ve kurularak, izlemenin elektriksel voltaja akıma ve güce değişik yükler altındaki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, izleme sistemi kurulduğu zaman volt-amper karakteristikleri izleme yüzeylerinde sabit yüzeye göre çok daha büyük olmuştur. İki eksenli izleme sistemi kullanıldığı zaman elektriksel kazanç % 43.87'e kadar yükselmiştir.

Lan vd. [83], PV(fotovoltaik) sistem kapasitesinin genişletilmesinin devam etmesiyle, en büyük fotovoltaik enerji üretimin gücü haline taşımak için verilen bir ağ tanımlamanın bu sorunu çözmek için acil bir ihtiyaç olması üzerinde durmuşlardır. Dağıtım ağı gerilim dağıtım PV ve eğim çizgisi etkisini analiz edilerek, ağ güvenliği açısından, güç PV model bilgi işlem erişim oluşturmuştur. Bu doğruluğu ve etkinliğini doğrulamak gerçek dağıtım sistemi tarafından Matematiksel model ve onun analiz çözümü için iki alt numaralandırma yöntemi ile birleştirilmiştir. Ayrıca giriş gücüne PV santral erişim konumunu analiz edilmiştir. Bu yöntemle sonuç olarak güç hesaplama modeli, iki erişim noktaları güç optimizasyon modeli algoritmalar kullanarak tasarım yöntem fotovoltaik güneş enerjisi santrali erişim kurulabileceği belirtilmiştir. PV santral

dağıtım ağına giriş gücü daha fazla erişim kurulduğunda durum çalışması bulunmuştur. Bu çalışmada önerilen güç hesaplama modeline erişim kolayca düşünüldüğü zaman sistem fotovoltaik güç istasyonu sayısına göre işletim kısıtlamaları, çeşitli düşük, optimizasyonu yöntemi sonuç verebilmektedir. Kelly ve Gibson [84] yaptıkları çalışmalarda güneş enerjisini kullanarak su elektrolizi ile hidrojen üretebilen ucuz ve basit foto-elektrokimyasal reaktörlerin (PECs) tasarımını, yapımını ve testini ele almışlardır. Bu sistemde PV sistemi elektrolitin içine yerleştirilmesi ile birlikte reaktörün güneş enerjisi yoğunlaştırıcısı olarak kullanabilmesi mümkün olmuştur. Akyuz vd. [85] bir PV-rüzgar hibrid sisteminde her bir sistem için enerji verimliliği, hidrojen üretim kapasitesini Matlab- simulink programı kullanarak incelemişlerdir. Fazla elektrikten dolayı üretilen hidrojen miktarı Haziran ayında 14.4 kg olmuştur. Bunun sebebi ise yüksek rüzgar hızı ve güneş radyasyonu olarak belirtilmiştir. PEM tipi elektrolizörün 35⁰C-70⁰C sıcaklıkları arasında enerji verimliliği %64 ile %70 arasında değişen değerler bulunmuştur. Elektrolizörün enerji verimliliği %64 ile %70 arasında gerçekleşmiştir. Hibrid sistem halinde elektrolizör sisteme dahil edildiğinde; PV-elektrolizör sisteminin verimi çok dar bir aralıkta değişim gösterse de (%7.9-%8.5), rüzgar-hidrojen sisteminin toplam verimi %5 ile %14 arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca Nisan ve Temmuz ayları arasında atık elektrik enerjisinden üretilen hidrojen miktarı 30.4 kg olarak elde edilmiştir. Honnery ve Moriarty [86] güneş ve rüzgar enerjisinden hidrojen üretiminin, gelecekte enerji talebini karşılamak için rüzgar – hidrojen hibrid sistemi üzerine çalışmışlardır. Toplam rüzgar enerjisi dünya yüzeyinde km² başına 2 MW türbin konularak tahmin edilmiştir. Hidrojen üretimi ise düşük basınçlı elektroliz ve yüksek basınçlı gaz boru hattı ile yapılmıştır. Kurulacak rüzgar türbinleriyle yıllık 516 EJ enerji üretilebileceği ve bu üretilen enerjiden hidrojen üretimi için gerekli olan 116 EJ enerji tüketileceği belirlenmiştir. Gökçek [87], değişik güç oranlarında küçük çaplı bir rüzgar gücüyle çalışan elektroliz sisteminden hidrojen üretiminin tekno-ekonomik hesaplamasını ele almıştır. Analizi yapmak için Kırklareli için saatlik zaman ölçümleri kullanılarak hidrojen üretim maliyeti çıkarılmıştır. Enerji üretiminin hesaplamasını yapmak için şebekeye bağlı ve şebekeye bağımsız durumları ayrıca ele alınmıştır. Yıllık üretilen elektrik enerjisinin ve hidrojen üretiminin direk yüksekliğine bağlı olarak değişmiştir. Şebekeye bağlı sistemde artan elektrik enerjisi şebekeye satıldığından daha karlı düşünülebilir. Genç vd. [88] bu çalışmada Kayseri-Pınarbaşı bölgesi rüzgar/elektroliz sistemi kullanılarak hidrojen üretim potansiyeli ve

maliyetleri düşünölmüştür. Maliyetleri ve üretilen hidrojeni hesaplamak için; üç ayrı direk yüksekliğinde ve bir 120 kW ve 3 adet 40 kW elektrolizör kullanılmıştır. Hesaplamaların sonuçlarına göre, direk yüksekliğinin yüksekliği arttıkça, üretilen hidrojen miktarı ve elektrolizörlerin maliyeti düşmüştür. Burada arta kalan enerjiden güç üretmek için sisteme PEM yakıt pili yerleştirilmiştir. PEM yakıt pilinin tercih edilmesinin sebebi düşük sıcaklıklarda çalışması, yüksek akım yoğunlukları ve daha hızlı ve kapamaya izin vermesidir.

Balta et. al. [89], jeotermal enerjiden 4 adımlı yeni Bakır klorür çevrimi kullanarak suyun ayrışmasından hidrojen üretiminin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Bunun yanında, sistemin toplam veriminin ve her bir adımının referans alınan çevre sıcaklığı, tepkime sıcaklıkları ve toplam çevrim performansından nasıl etkilendiğini araştırmıştır. İki değişik şart ve parametreler ele alınarak yapılan çalışmada Cu-Cl çevrimi için toplam enerji ve ekserji verimleri %21.67 ve %19.35 olarak elde edilmiştir. Ekserji veriminin, referans sıcaklığının 5⁰C'den 30⁰C'ye artırılmasıyla azaldığı görölmüştür. Ayrıca jeotermal güç santralının performansının, ele alınan termokimyasal çevrimin toplam enerji ve ekserji verimliliklerini de etkilediği sonucuna varılmıştır. Genc [90] çalışmasında bir füzyon reaktöründeki hidrojen üretim potansiyelini araştırmıştır. Bunun için değişik oranlardaki eriyik tuz karışımları ayrı birer durumda incelemiştir. Yürütölen çalışmaların sonucunda ele alınan ve eriyik tuz MAF₄ ile doldurulan APEX füzyon reaktörünün nötronik performansının yüksek olduğu ve bununla birlikte daha fazla hidrojen üretebileceği sonucuna varılmıştır. Balta vd. [91], jeotermal enerjiden hidrojen üretimi potansiyelini araştırmak için dört ayrı metot kullanmışlardır. Bu yöntemler jeotermal buhardan doğrudan hidrojen üretimi, jeotermal enerji santralinden klasik elektroliz ile hidrojen üretimi, hibrid işlemlerle ya da yüksek sıcaklıklı elektroliz ile ısıtma ve elektrik üretimi ve jeotermal kaynaktan bulunan ısı ile suyun yüksek sıcaklıklı termoliziyle hidrojen üretimi olarak verilmiştir. Yapılan çalışmada daha düşük sıcaklıklarda çalışan termokimyasal çevrimler uygulama alanları daha geniş olduğu için kullanılmıştır. Sonuçlar ele alınan bu çevrimlerin %50'lere varan verimiyle iyi bir potansiyeli olduğu ve jeotermal enerjiden hidrojen üretimi için umut verici bir çevrim olduğu belirtilmiştir. Naterer vd. [92] çalışmalarında nükleer programının hidrojen üretim ve termokimyasal bakır klorür (Cu-Cl) döngüsü üzerinde Kanada programı genel bir bakış açısı sunmuşlardır. CuCl döngüsü için etkinleştirme

teknolojileri, nükleer reaktörlerin nesil ile hidrojen üretimi için Nesil IV Uluslar arası Forumu (GIF) bir parçası olarak, Kanadalı şirketler birliği tarafından geliştirilmiştir. Kanada'nın Süper Kritik Su Reaktörü olan SCWR ile hidrojen üretimi verilmiştir. Son gelişmeler deneme, modelleme, simülasyon, ileri malzemeler, termokimya, güvenlik, güvenilirlik ve ekonomi dahil olmak üzere entegre bir laboratuvar ölçekli CuCl döngüsü tartışılmıştır. Ayrıca, elektroliz yoğun olmayan saatlerde ve Kanada'nın nükleer santraller ile entegre hidrojen santrallerinin süreçleri anlatılmaktadır. Sonuç olarak Kanada bu alandaki gelişmeler, özellikle termokimyasal CuCl döngüsü ve elektroliz içeren nükleer tabanlı hidrojen üretimini anlatılmaktadır. Kanada nükleer hidrojen programının amaçları, termokimyasal Cu-Cl su döngüsü ve elektroliz temelli üzerinde hidrojen üretimi için ticari olarak uygun süreçleri geliştirmek olarak belirtilmiştir.

Orhan et al. [93] nükleer enerjiden hidrojen üretiminde kullanılan bakır klorür çevriminin verimlilikleri inceleyerek enerji verimini %45, ekserji verimliliğini %10 olarak bulmuşlardır. Bu iki tip verimlilik ifadelerini değişen tepkime sıcaklıkları, çevrim ısı kayıpları ve çevre şartları referans alınarak gözlemlenmişlerdir. Bütün bu çalışmalar sonucunda, tepkime sıcaklığı arttığında beş adımdan oluşan çevrimin birinci, üçüncü ve beşinci basamaklı için gerekli olan giriş enerjisi ihtiyacının azaldığı, diğer basamaklarda bu gereken giriş enerjisinin arttığı sonucuna varılmıştır. Çevrimin enerji verimliliğinin %42-%44 arasında ve ekserji veriminin ise %6-%8 aralığında değiştiği görülmüştür. Tepkimelerin sıcaklığı, çevrim ısı kayıpları ve çevre gibi parametreler iyileştirilerek genel verimin artırılabilineceği belirtilmiştir. Özışık vd. [94] erimiş tuz ile çalışan füzyon reaktörü ile saf hidrojen üretimi için yüksek sıcaklıklı elektroliz ve S-I termokimyasal çevrimlerini kullanarak hidrojen üretim miktarlarını hesaplamışlardır. Bu hesabı dört ayrı eriyik tuz karışımları için yapmışlardır ve erimiş tuz ile çalışan bu reaktörün sahip olduğu yüksek nötronik performansı sayesinde saniyede 40 kg hidrojen üretimi yapılabileceğini belirlemişlerdir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklı elektroliz ile elde edilen hidrojenin, S-I termokimyasal çevrimiyle elde edilen hidrojenden biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Stoots vd. [95] çalışmalarında katı oksit tabanlı elektroliz teknolojisi ile buharın yüksek sıcaklıkta elektrolizi ile üretilecek olan hidrojen üretiminin uygun bir teknik olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışmada, birden çok hücreden oluşan belirli boyutlarda yığınlar kullanılmıştır. Bu oluşturulan sistem ile yapılan deneylerde, yüksek sıcaklıklı elektrolizin büyük çapta verimli bir hidrojen üretimi için

umut verici teknoloji olduğunu belirtmişlerdir. Fujiwara et al. [96], yüksek sıcaklıklı bir elektroliz(HTE) ele alarak, bu işlemin sonucunda üretilen hidrojen miktarını teorik olarak hesapladıktan sonra, bunu yapılan deneyler sonucu elde edilen hidrojen miktarı ile karşılaştırmışlardır. Oluşturulan deney sisteminde, boru tipi YSZ maddeli elektrolitler kullanmış ve 130 Nl/saathidrojen üretimi başarı ile tamamlanmıştır. Bu sistemin verimi 800⁰C'de %53 civarlarında olması beklenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklık hücre veya çok hücreli yüksek sıcaklık elektrolizör yapısını incelemek için simülasyon teknolojisi geliştirilmiştir.

Hidrojen enerjisi ve teknolojileri, içerik bakımından oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Hidrojenin üretim yolları ve üretim esnasında kullanılan cihazlar ve çeşitleri ile ilgili sistemler ve yöntemler hakkında literatürde bulunan çalışmalar ele alınacaktır. Son yıllarda çeşitli termokimyasal çevrimler kullanarak güneş enerjisiyle hidrojen üretimi hakkında çok sayıda çalışma olmuştur. Xiao vd. [97] çalışmalarında iki adımlı termokimyasal redoks tepkimeleriyle güneşten hidrojen üretimi teknolojileri ile ilgili reaktör tasarım teknolojisi, redoks çalışma malzemeleri ve genel değerlendirmeleri ele almıştır. Ayrıca çeşitli redoks çiftleriyle demir bağlı oksitler $(Fe_{1-x}M_x)_3O_4/(Fe_{1-x}M_x)_{1-y}O$ (M=Ni, Mn, Co, Mg, etc.) ve ZnO/Zn ve metal redoks tepkimelerine dayalı iki adımlı suyun ayrıştırılmasına bağlı güneşten hidrojen üretimini araştırmışlardır. Buna ek olarak tahmini ekonomik maliyeti, avantajları ve sınırlamaları hakkında değerlendirme verilmiştir. Wang vd. [98] yaptıkları çalışmada güneş enerjisinden hidrojen üretiminin diğer enerji kaynaklarından üretilen hidrojene göre farklı avantajlarını ele almışlardır. Bunun için farklı güneşten hidrojen üretimi işlemlerini ısı, elektriksel ve foton enerjisine bağlı olarak incelemişlerdir. Yapılan değerlendirmelerin sonucunda temel işlemlerde yüksek sıcaklık ihtiyacından veya birden fazla kimyasal tepkimelerden dolayı oluşan enerji kaybını en aza indirmek amacıyla yüksek üretim oranlarında üretim için termokimyasal çevrimlerin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrikle çalışan suyun elektrolizinin diğer teknolojilerden daha uygun olduğu görülmüştür. Toplam hidrojen verimliliğinin artmasının sınırlanmasında güneş-elektrik çevrimi verimliliğinin belirleyici rol oynamaktadır. Karşılaştırma yapıldığında güneş enerjili elektroliz, foto elektrokimyasal ve fotokimyasal teknolojilerin daha az işlem gerektirdiğinden, dış güç kaynaklarından ve

daha fazla hidrojen dağıtım sistemlerinden korunabilmesinden dolayı hidrojen dolun istasyonları için daha uygun olduğu görülmüştür.

Ngoh ve Njomo [99], güneş enerjisi kullanarak hidrojen üretimi için mevcut olan fotokimyasal, elektrokimyasal ve termokimyasal işlemleri teknolojik, çevresel ve ekonomik açılarından incelemiştir. Sonuçta hidrojen üretimindeki gelişmeler, yine üretim esnasında oluşan maliyetlerle başa çıkmak için gün geçtikçe daha çok gelişecektir. Hibrid termokimyasal işlemler ve yoğunlaştırıcı güneş ışması ilerde hidrojen üretimi açısından umut verici iki alternatif olarak görülmektedir. Ayrıca güneşten elektrik çevrimi verimi, toplam hidrojen üretimi veriminin etkileyen en önemli kısıtlama olarak görülmektedir. Charvin vd. [100], ZnO/Zn, Fe₃O₄/FeO and Fe₂O₃/Fe₃O₄ termokimyasal çevrimlerinin yüksek verim potansiyeli, büyük ölçekli ve çevreyle uyumlu olacak şekilde yoğunlaştırıcı güneş enerjisinden hidrojen üretimi için analizini yapmışlardır. Kütle ve enerji dengelerine ZnO/Zn ve demir oksit çiftlerinin enerji verimliliğine karar vermek için ulaşılmıştır. Burada verimliliği etkileyen sınırlamanın Zn/O ayrışması sırasında oluşan atık ısıdan dolayı olduğu düşünülmektedir. Ghandehariun ve ark. [101] çalışmalarında güneş santralinden Cu- Cl çifti termokimyasal santral ile Kanada'nın üç bölgesinde analiz etmişlerdir. Birçok hidrojen üretim oranları düşünülmüştür. %60 oranında NaNO₃ ve % 40 KNO₃ oranında eriyik tuz karışımı ele alınmış, bu karışımın güneş uygulamaları için en ümit verici eriyik tuzu olduğu, hidrojenin güneş tabanlı termokimyasal üretiminin büyük ölçekte daha mümkün olduğu ve bunun verimlilik ve çevresel etkilere bağlı olduğu belirtilmiştir.

Joshi vd. [102], güneş ısı hidrojen üretimi ve fotovoltaik hidrojen üretimi detaylı şekilde ele alınarak karşılaştırmışlar ve elektrik üretimi vasıtasıyla güneş enerjisi vasıtasıyla üretilen hidrojenin, fotovoltaik hidrojen üretiminden daha yüksek ekserji verimine sahip olduğunu bulmuşlardır. Sonuçta beklenildiği üzere her iki sistemin de enerji verimliliği, ekserji verimliliğinden fazla olmuştur. Stenfield [103], iki adımlı Zn/ZnO çevrimin kullanarak güneş enerjisinden hidrojen üretimi üzerine çalışmıştır. İlk adım olan endotermik adımda yüksek sıcaklıkta güneş ışınımını kullanarak ZnO bileşiği Zn ve O atomlarına 2300 K'de ayrışmıştır. İkinci adımda ise 700 K'de Zn(l) hidroliz olarak H₂ ve ZnO(s) formuna dönüşmüştür. Sonuçta bu sistemden elde edilen verim maksimum %29 olarak gerçekleşmiştir. Huang [104], sulu amonyum sülfat çözeltisinin

darbe elektrolizi ile hidrojen üretiminin oksidasyon çözümleri, bunlardan en önemli adımı su ayrışması çevrimlerinin araştırılmasına odaklanmıştır. Araştırmaların sonucunda, darbeleri parametrelerin hidrojen üretimini artırdığı görülmüştür. Steinfeld et. al. [105], ZnO ve metan buhar reformasyonunun ısıl birleşik analizini kinetik ve termodinamik açıdan incelemiştir. Üzerinde çalışan bu bileşik sistem atmosfere sera gazı etkisi yaratan gazlardan ve diğer kirletici gazlardan arınmış şekilde hemen çinko ve suni gazlarına ayrışma imkanı olabilecektir. Bunun yanında çinko-hava bataryalarının geri dönüşümüne ya da su ayırma tepkimelerinde H₂ oluşumuna çevreci temiz bir yol sağlayacağı belirtilmiştir. Steinfeld [106], yüksek sıcaklıkta ısıl işlemlerde enerji kaynağı olarak yoğunlaştırılmış güneş ışınımının kullanan güneş termokimyasal çevriminden hidrojen üretimindeki son gelişmeleri incelemiş ve bununla ilgili genel başlıklar halinde üç önemli metodu(sudan termoliz ile hidrojen üretimi, sudan termokimyasal çevrimler ile hidrojen üretimi, fosil yakıtların kömürleştirilmesiyle hidrojen üretimi) ayrıntısıyla incelemiştir.

Bak vd. [107] çalışmalarında güneş enerjisiyle sudan elektrik üretimini göz önüne almışlardır. Çalışma, yüksek verimli foto-elektrokimyasal hücrelerinin geliştirilmesi için malzeme seçimi konusuyla ilgilidir. Değişik PEC'ler incelenerek, kullanılan malzemelerin foto –elektrokimyasal hücrelerin güneş enerjisi çevriminin verimine etkisi araştırmışlardır. Sonuç olarak, düşük enerji çevrimlerine rağmen korozyon direnci özelliği göstermesi sebebiyle kararlı performansından dolayı bu hücreler geliştirilirken oksit materyaller en umut verici foto elektrotlar olduğu görülmüştür. Bu teknolojinin kullanımı iki temel sorun olan sera etkisi yaratan gazların azaltılması gerekliliğinin artması ve alternatif ve yeni yenilenebilir enerji kaynakları yaratma ihtiyacına karşılık vereceği belirtilmiştir. Özalp ve Shilapuram [108], emisyonu olmayan metan ayrışması işleminin termodinamik ve kinetiği prensibine göre çalışan bir solar reaktörün geliştirilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Kinetik parametreler literatürde iki durumda alınmıştır; ilk durumda metan yüklü karbon parçacıkları diğer durumda ise karbon parçacıkları olmayan metan durumu. Termodinamik sonuçlar basınç yükseldikçe, metan dönüşümü ve hidrojen üretimi düşmüştür. Diğer taraftan, besleme gazında asal gaz olması metan dönüşümünü artırmıştır. Buna ek olarak, metan yüklü karbon parçacıkları olduğu durumda daha yüksek dönüşümler elde edilmiştir. Kinetik çalışma ayrıca besleme gazında metan mol kesri azaldıkça metan çevriminin arttığını göstermiştir.

Palumbo vd. [109], sudan hidrojen üretimini sağlayacak yeni bir güneş ısıl çevrimi deneysel olarak ve teorik olarak geliştirmişlerdir. Burada metal oksit daha aşağı oksidasyon durumuna yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yardımıyla indirgenmiştir. İndirgenen oksit anot ya çözücü olarak sulu asit veya temel çözücünde hidrojenin üretimi için kullanılmıştır. İdeal termal güneş, hidrojen termal verimleri üç ayrı çevrim için incelenmiştir: $Fe_2O_3-Fe_3O_4$, Co_3O_4-CoO ve $Mn_2O_3-Mn_3O_4$. Sonuçta, her üç çevrim içinde radyasyon ısı kayıplarını içeren ideal verimler solar ısıl kimya literatüründe bulunan değerlerden daha yüksek çıkmıştır.

Palumbo et. al. [110] çinko oksit(ZnO) bileşiğinden yüksek sıcaklıklı güneş enerjisini kullanarak Zn ve O_2 üretimini teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Bu işlemin ayrışma basamağı 2000 K'de olduğu görülmüştür. Deneyler sırasında Zn veriminin %90'lara çıktığı buradan da tepkimeler sonucunda oluşan tüm Zn atomlarının aslında ZnO bileşiğinden gelmediği görülmüştür. Sonuç olarak, deneyler sırasında oksidasyon tepkimelerinin kinetiğinin daha iyi anlaşılması gerektiği belirtilmiştir. Orhan vd. [111] yaptıkları çalışmada, Bakır-klorür(Cu-Cl) termokimyasal çevriminin analizini ekserji, maliyet, enerji ve kütle niceliklerine bağlı olan EXCEM metodolojisi ile yapmışlardır. Uygulanan bu metodolojinin, sistem hakkında sahip olunan öngörünün ölçülen verimlilik değerlerinin ideale yakın olması, verimdeki kayıpların sebeplerinin tam yerinde saptandığı ve ekonominin ve termodinamiğinin açıklanmış olmasından dolayı aydınlatıcı olduğu sonucuna varılmıştır. Abanades ve Flamant [112], seryum oksit ile yeni bir hidrojen üretimi çevrimini başarıyla açıklamışlardır. İki adımdan oluşan çevrim indirgenme ve hidroliz basamaklarını içermektedir. Bu işlemde su sadece giriş maddesi ve ısı sadece giriş enerjisidir, çıkış maddeleri ise su ve oksijendir. Ayrıca saf hidrojen üretildiği için yakıt pillerinde direk olarak kullanılabilir, çıkışta fosil yakıt bulundurmamakta ve sera gazı emisyonu yaratmamaktadır. Deney sonuçları, seryum oksit termokimyasal çevriminden hidrojen üretimi umut verici olduğu belirtilmiştir. Abanades vd. [113] yaptıkları çalışmada yoğunlaştırılmış güneş enerjisiyle uyumlu olarak çalışabilecek literatürde 280 çevrim içerisinden ilerideki çalışmalar için umut verici olan 30 çevrimi ele alarak incelemişlerdir. Ele alınan çevrimler incelenirken, tepkime basamakları iki ve üç olan çevrimler seçilerek, bunların yüksek sıcaklıklarda hidrojen üretimi için ekonomik açıdan ve güvenlik açısından çok uygun olduğu görülmüştür. Khalilnejad ve Riahy [114], bir rüzgar-fotovoltaik hibrid sisteminin

tasarımı ve modellenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Sistemin çalışması rekabetçi koloni algoritması ile optimize edilerek tasarlanmıştır. Bu optimizasyonun amacı üretilenecek hidrojen üretimini en üst seviyeye çıkarmaktır. Sistem üç ayrı koşulda, sadece rüzgar türbini, sadece fotovoltaik panel ve her iki sistemin de güç kaynağı olarak sisteme bağlanma şartında incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda rüzgar ve PV panel hibrit sisteminin seçilen bölge için en iyi seçim olduğu görülmüştür. Hibrid sistemde üretilen hidrojenin ortalama üretim oranı 0.0173 mol/s olarak gerçekleşirken, bu değer sistemler ayrı ayrı çalışırken üretilen hidrojenin %127 daha fazla hidrojen üretmiştir. Bu hibrid sistemde üretilen hidrojenin %49.8'i rüzgar türbini tarafından üretilen hidrojen olduğu belirtilmiştir.

Joshi ve Dincer [115], güneş termal yöntemlerini kullanarak hidrojen üretim yöntemlerinin birçok yolunu yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklıkta (fotovoltaik, fotoelektroliz ve biyofotoliz) incelemiştir. Aynı zamanda bu çevrimler sürdürülebilirlik faktörü ve ekserji verimlilikleri açısından avantajları ve dezavantajları bakımından karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda fotovoltaiklerden suyun elektrolizi hidrojen üretimi için en uygun olgun yöntem olduğu belirtilmiştir. Fotoelektroliz yöntemi malzeme maliyeti ve pratiksel sorunlardan dolayı çözüme ulaşmamıştır. Fotobiyolojik işlemler ise daha çok yeni olmasından dolayı istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Graf et. al. [116], metal oksit tabanlı ve hibrid sülfür çevrimlerinin ekonomik analizlerini yaparak, bu çevrimlerin hidrojen üretimi maliyetleri her bir çevrim için hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda, hibrid sülfür çevrimi için hidrojen üretim maliyeti 3.9-5.6 €/kg aralığında olurken, metal oksit tabanlı çevrim için bu değer 2.1-6.8 €/kg aralığında hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, yıllık metod kullanılarak yapılan hidrojen üretimi hesaplamasının temelini oluşturmaktadır. Lewis vd. [117], düşük sıcaklarda ve yüksek verimle hidrojen üretimi yapan Cu-Cl çevrimi üzerine laboratuvar ortamında çalışma yapmışlardır. Çeşitli bakır klorür çevrimleri alınarak; basitlik, ilk maliyetleri ve mühendislik açısından uygulanabilirliği bakımından incelenerek, en uygun çevrimin Argon düşük sıcaklıklı çevrimin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çevrimin yüksek termodinamik verimliliği de diğer çevrimlerle kıyaslandığında en önemli avantajıdır.

Yıldız ve Kazimi [118], yüksek sıcaklıklı termokimyasal çevrimler kullanarak yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı, eriyik tuz soğutmalı ve sıvı metal soğutmalı reaktör

teknolojilerini inceleyerek hidrojen üretimlerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, süperkritik CO₂ ile soğutulan gelişmiş gas reaktörü için yüksek sıcaklık buhar elektrolizinin daha yüksek enerji verimliliği ve daha düşük sıcaklıklarda çalışma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Liberatore vd. [119], Sülfür İyodine (S-I) çevrimi ile günlük 100 ton hidrojen üretimi yapacak endüstriyel bir santral kurulması için ön tasarım ve enerji değerlendirmesi yapmışlardır. Sonraki çalışmada, güneş enerjisi tarafından enerji sağlandığı varsayılarak sistemin hidrojen üretimi ekonomik analizi yapılmıştır. Bu aşamada ortalama sıcaklıklarda analiz için parabolik oluk kollektörü, daha yüksek sıcaklıklarda işlemler için merkezi alıcılı kule sistemi şeklinde iki güneş enerjisi sistemi ele alınmıştır. Ele alınan termokimyasal çevrimin verimi %34 olmuştur. Eğer bu sistem elektrik enerjisi üretimi ile birlikte olursa ısıdan hidrojen üretiminin veriminin %21 olduğu belirlenmiştir. Denghani ve Sayyaadi [120], sülfür-iyodine çevrimindeki Bunesn bölümü için ekserji ve enerji analizleri yaparak bütün termodinamik analiz verilmiştir. Analiz, bir taraftan Bunsen tepkimesinin geliştirilmiş akış şeması üzerinde bu bölümün ekserji ve enerji analizini gerçekleştirmek için diğer taraftan çevrimin performansı üzerinde değişen parametrelerin etkisini incelemek için yapılmıştır. Ayrıca ekserji yıkımlarına ısı değiştiricisi ağı ve Bunsen reaktörü, en büyük ekserji yıkımına sebep olmaktadır.

Wang et. al. [121] suyu ayrıştırarak hidrojen üretimi yapan elektrolizörlerin yoğunlaştırılması üzerine çalışma yürüterek, bunları üç temel başlıkta incelemiştir: dış alan, yeni elektolit birleşimi ve yeni termodinamik tepkime sistemi. Tepkime aşırı voltajı ve omik voltaj kayıpları, dış alan veya yeni elektolit bileşimiyle kinetik olarak geliştirilmiştir. Suyun termodinamik ayrışma voltajı, yeni tepkime sistemleriyle (Katı oksit Elektoliz Hücreleri) ile azaltılabilmektedir. Balta vd. [122], jeotermal enerjiden hidrojen üretimi yöntemleri ve teknolojileri, uygulanabilecek yerler detaylı şekilde ele almışlardır. Yüksek sıcaklıklı elektroliz işlemi, jeotermal enerji kaynağının enerjisiyle, enerji ve ekserji termodinamik analizleri performans analizleri için yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda, toplam enerji ve ekserji verimlilikleri %87 ve %86 olarak bulunmuştur. Sonuçta, çalışmanın ilk kısmında su moleküllerinin direk ısı ayrışmasının 7000 K'lere dayanan sıcaklıklarda mümkün olduğunu, şu andaki elektroliz sistemlerinin çok enerji tüketiminden dolayı geliştirilmesi gerektiği, düşük sıcaklıklı çevrimlerin jeotermal enerji kaynakları ile birlikte kullanılabileceği ancak termodinamik uygunluk

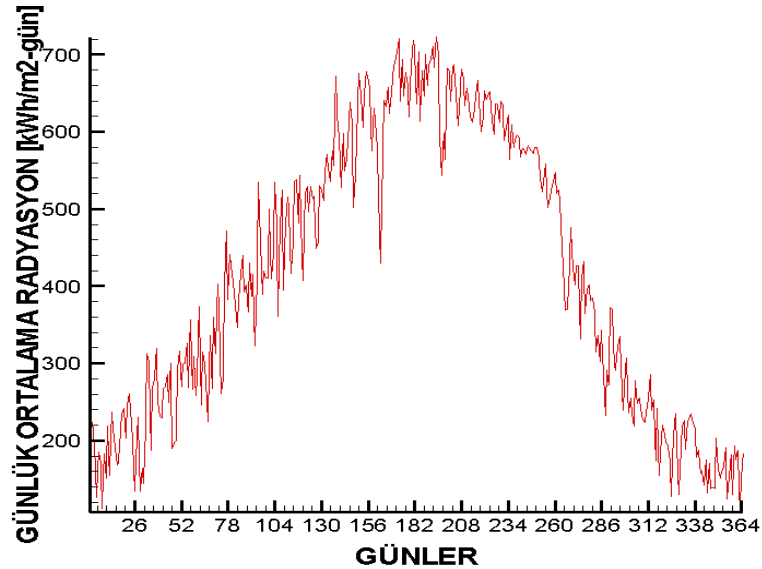
açısından analiz edilmesi ve geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise, yüksek sıcaklıklı elektroliz sisteminin 3.34 kWh'e tükettiği ve saniyede 573 mol H₂ ürettiği, sistemin toplam ekserji yıkımının 9008 kW olarak bulunmuştur. Ayrıca jeotermal sıcaklık aralığında (500-600⁰C), sistem daha az elektrik tüketmektedir. Sherif et. al. [123] hidrojen üretimi, depolanması, dağıtımı ve kullanılması ile ilgili teknolojileri incelemişlerdir. Rüzgar enerjisinden hidrojen üretiminin kullanımının, rüzgar enerjisiyle rekabetinin mümkün olup olmayacağı tartışılmıştır. Hidrojen eğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilirse, hidrojenin bütün yararlarıyla çevre ile dost yakıt olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Levene vd. [124] çalışmalarında yenilenebilir elektrik kaynaklarından hidrojen üretimini üç açıdan incelemiştir: yenilenebilir hidrojen enerji kaynağının değerlendirilmesi, elektroliz ile hidrojen üretiminin maliyet analizi ve dolmuş için hidrojen üretiminin yıllık enerji ihtiyacı. Sonuçta rüzgar ve güneş enerjisinden ulaşım yakıtı üretmek için bol miktarda kaynak olduğu belirtilmiştir. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi de elektrik fiyatlarına bağlı olduğundan ve hidrojen dolmuş istasyonlarının yıllık enerji ihtiyacının yıllık 20GWh olmasından dolayı hidrojenin dolmuş istasyonların ekonomik ve teknik ayarlamalarının yapılması gerektiği belirtilmiştir.

5. BÖLÜM

KAYSERİ İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİNDEN HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

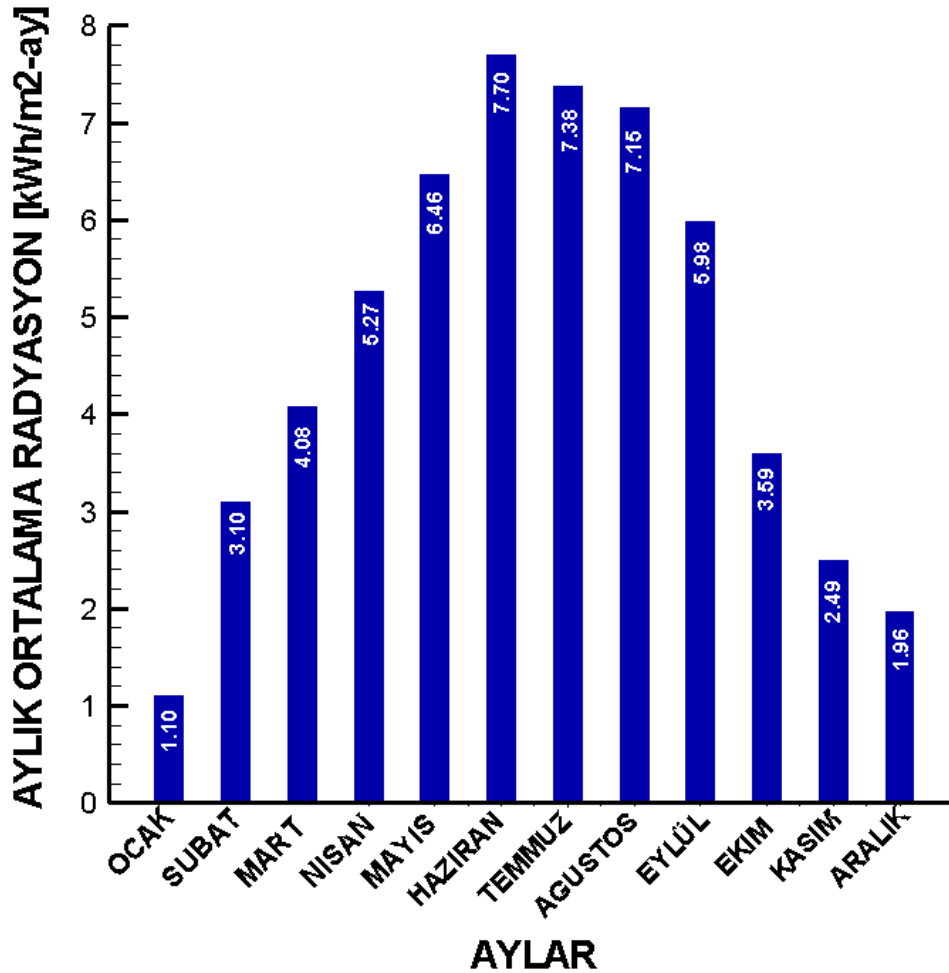
5.1. Kayseri İli İçin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Kayseri, ülkemizin orta kuşağında, $37^{\circ} 45'$ ile $38^{\circ} 18'$ kuzey enlemleri ve $34^{\circ} 56'$ ile $36^{\circ} 58'$ doğu boylamları arasında bulunan bir ilimizdir. Bu şehir için yıllık global radyasyon değeri $1600-1700 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'dır. Bu tez çalışması kapsamında, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan verilerle 2007- 2012 yılları arası ortalama global radyasyon değerleri hesaplanarak elde edilen günlük ve aylık global radyasyon değerlerinin değişimi sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. 2007-2012 yılları arası günlük global radyasyon değerlerinin değişimi

Şekil 5.1’de verildiği üzere, toplam günlük güneş ışınımı en yüksek değerlerine yaz aylarında ulaşmıştır.



Şekil 5.2. 2007-2012 yılları aylık global radyasyon değerlerinin değişimi (kWh/m²-ay)

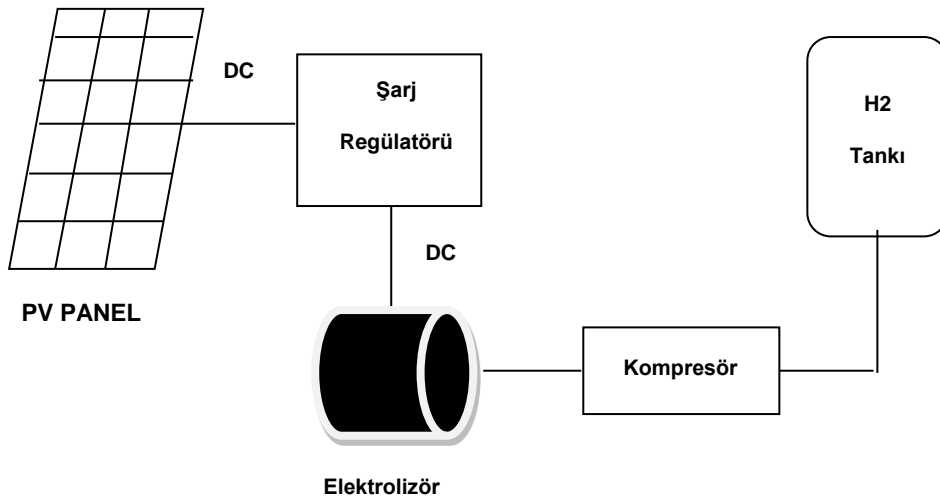
Haziran ayında en yüksek global radyasyon değeri Şekil 5.2’de görülürken, en düşük değer ise Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yine aynı ayda toplam global radyasyon değeri, Haziran ayının 7’de biridir.

5.2. Güneş – Hidrojen Hibrid Sistemleri ve Özellikleri

Bu tür sistemler, güneş panelinden elde edilen elektrik ile suyun ayrışmasını sağlayarak hidrojen üretimini yapmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılırken, bu enerji kaynağının sürekli olmamasından dolayı bazen kesintiler meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda, elektrik üretimi olmadığı zamanlarda sistem devre

dışı kalacaktır, sistemin sürekli enerji üretimi mümkün olmayacaktır. Bu süreksizliği gidermek için, sisteme bir elektrolizör ilave edilerek, elde edilen enerjinin daha verimli kullanımını mümkün olacaktır. Ayrıca, hibrid sistem ile üretilen hidrojen yüksek basınçlı hidrojen tanklarında depolanarak, başka uygulamalarda kullanılma imkanı olacaktır.

Güneş- hidrojen hibrid sistemleri genel olarak güneş paneli, şarj regülatörü, elektrolizör, kompresör, ve hidrojen tankından oluşmaktadır. Bu sistem kullanılarak, şebekeden bağımsız uygulamalar için hidrojen üretimi yapılabilir. Şekil 5.3’de bir güneş-hidrojen hibrid sistemi tüm elemanlarıyla verilmektedir. İlk olarak, güneş panelinden fotovoltaik etki ile elde edilen elektrik enerjisi, şarj regülatörüne gelir. Bu cihaz, elektrik üretiminde yaşanabilecek değişimleri dengeleyerek elektrolizöre yollanmasını sağlar. Elektrolizöre gelen bu enerji, suyun ayrışması için gerekli olan gücü sağlayarak, hidrojen üretiminin gerçekleşmesini sağlar. Üretilen hidrojen kompresör aracılığıyla atmosfer basıncından daha yüksek basınçlarda sıkıştırılarak, hidrojen tankında depolanır veya ihtiyaç halinde yakıt piline gönderilerek elektrik üretimi sağlanır.



Şekil 5.3. Güneş Enerjisi- Hidrojen Hibrid Sistemi genel elemanları

Bu tez çalışması kapsamında Şekil 5.3’de verilen bir Güneş-hidrojen hibrid sistemi ele alınarak, hidrojen üretim potansiyeli araştırılmıştır. Kurulacak PV-elektrolizör sisteminin üreteceği hidrojen miktarı 1x100, 5x20 ve 10x10 kW’lık elektrolizörler için hesaplanmıştır.

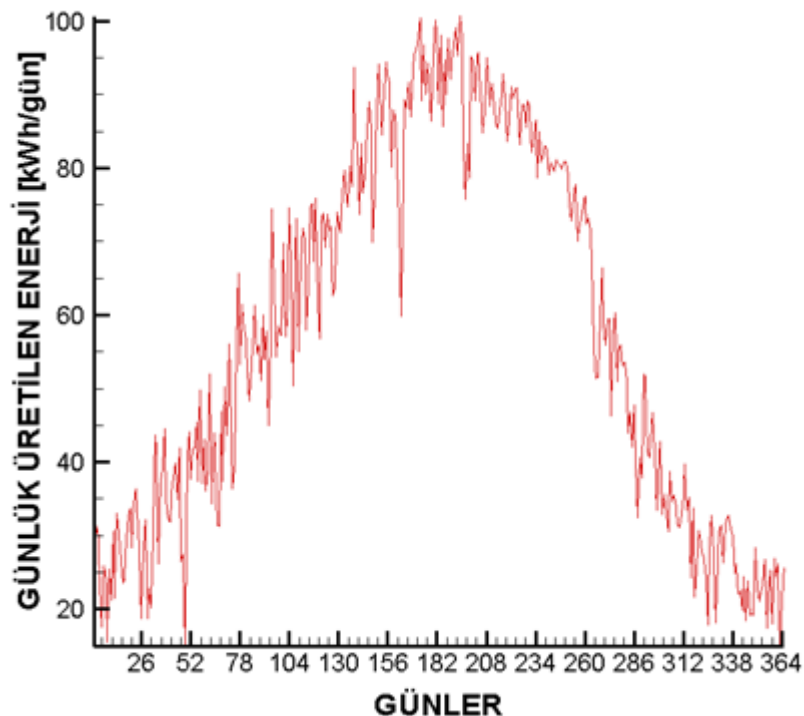
5.3. Fotovoltaik panellerden üretilecek elektrik enerjisi hesabı

Bir fotovoltaik panelden üretilecek güç Eşitlik 5.1 ile ifade edilmektedir.

$$E=A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (5.1)$$

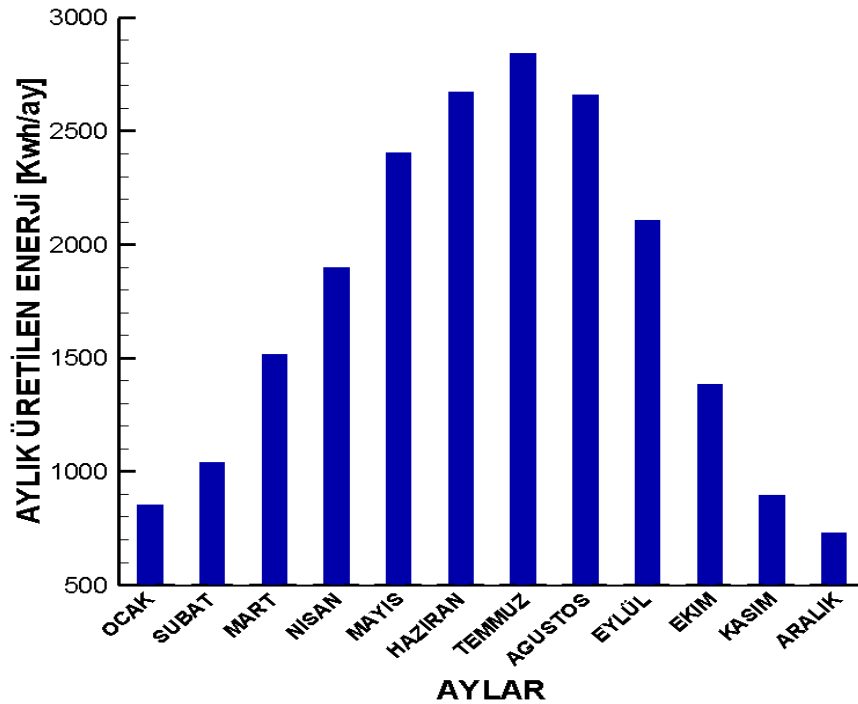
Burada; A, Fotovoltaik panellerin kurulacağı alanı; r, fotovoltaik panelin verimini; H, ortalama Güneş Işınımını (kWh/m²) ve PR ise Fotovoltaik sistemde kayıpları ifade eden oranı temsil etmektedir.

Bu tez çalışmasında fotovoltaik panellerin kurulacağı alan toplam 100 m² olarak düşünülmüştür. Fotovoltaik panel olarak %15 verimli mono kristal silisyum paneli dikkate alınmıştır. Ele alınan sistemde kayıpları ifade eden PR, fotovoltaik sistemler için 0.5-0.9 arasında değişmektedir. Üretim yapılacak sistemin en iyi koşullarda enerji üretimi yapacağı varsayılarak bu değer 0.8 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen günlük ve aylık değışimi sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5.4. Günlük Üretilen Enerji

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi, güneşten dünyaya gelen ışınımın yaz aylarında daha fazla olmasından dolayı, buna bağlı üretilecek güneş enerjisi artış göstermiştir.



Şekil 5.5. Aylık Üretilen Enerji

Şekil 5.5'te ise aylık üretilen enerji miktarına bakıldığında zaman en fazla enerji potansiyeli 2842.44 kWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Yine Aralık ayında üretilen enerji, Temmuz ayında üretilen enerjinin dörtte biridir.

5.4. Hidrojen Üretimi Hesabı

Suyun ayrışması denklemi ısı alan (endotermik) bir tepkime olup, bu tepkimenin ismi **Elektroliz** olarak bilinmektedir. Temel bir elektroliz tepkimesi, Eşitlik 5.2'de verildiği gibidir:



Suyun elektrolizi işlemi, PEM elektrolizör ile daha verimli şekilde yapılmaktadır. Bir hücreli PEM elektrolizörün çalışması için gerekli olan minimum voltaj 1.476 V 'tur [125].

$$I_E = \begin{cases} 0 & V_{E,hücre} \leq 1.476 \\ 3.064(V_{hücre} - 1.476) & V_{E,hücre} \geq 1.476 \end{cases} \quad (5.3)$$

Bir saatte üretilen hidrojen miktarı, Faraday kanunu esas alınarak Eşitlik 5.4'teki gibi yazılabilir:

$$m_{elek} = (3600 \cdot I_{elek} \cdot N_{elek} \cdot \eta_i) / 2F \quad [\text{mol/h}] \quad (5.4)$$

Denklemdede;

m_{elek} : üretilecek hidrojen miktarı

I_{elek} : elektrolizörün akımı

N_{elek} : elektrolizörün hücre sayısı

F: Faraday sabiti C/ mol

η_i = akım verimini temsil etmektedir.

Akım verimi genelde 1'e yakın bir değer aldığı için, 1 olarak kabul edilir.

N hücreli bir PEM elektrolizör için güç ifadesi,

$$P_{ELK} = V_{ELK} \cdot I_{ELK} \cdot N_{ELK} \quad (5.5)$$

olarak yazılabilir. Denklem (5.5), Denklem (5.4) ile birleştirildiğinde,

$$m_{elek} = (3600 \cdot P_{ELK}) / 2 \cdot V_{ELK} \cdot F \quad [\text{mol/h}] \quad (5.6)$$

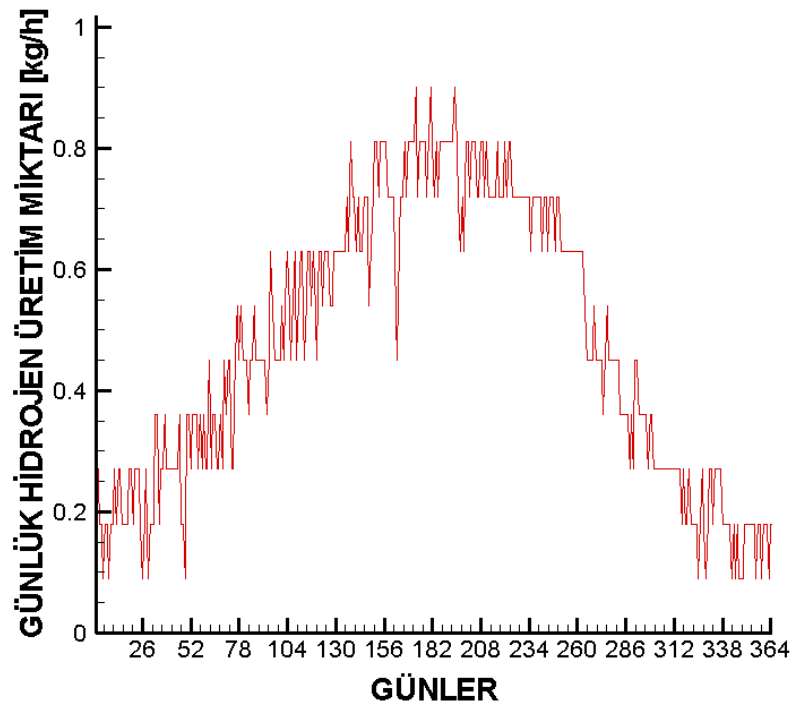
denklemini elde edilir [126]. Bu denklemden, güneş panellerinden üretilen elektrik ile elektrolizörle suyun ayrışması sonucu üretilen saatlik hidrojen miktarı hesaplanabilir.

Üretilen gücün yıllık ve aylık miktarlarına bağlı olarak, Denklem 5.6 esas alınarak aylık ve günlük hidrojen üretim potansiyelleri değişik güçlerde elektrolizörler için hesaplanmıştır. Elektrolizörlerin güçleri belirlenirken, mevcut güneş ışınımından olabildiğince fazla hidrojen üretimi yapılması hedeflenmiştir.

Hesaplamalarda üç ayrı güçte elektrolizörlerden hidrojen üretimi hesabı yapılmıştır.

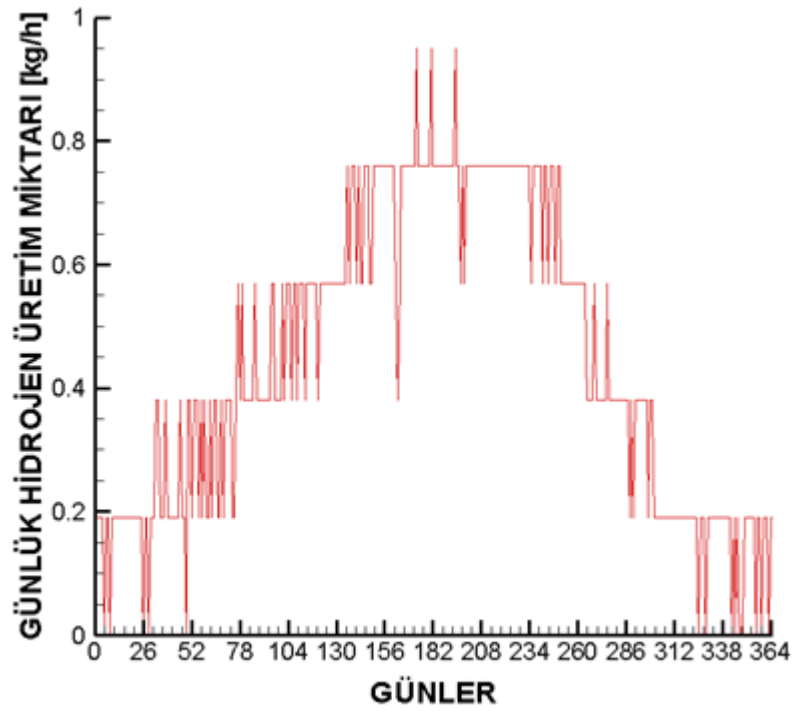
- 1x100 kW elektrolizör
- 2x 50 kW elektrolizör
- 10x 10 kW elektrolizör

Bu üç ayrı güçte elektrolizör kullanılarak üretilen günlük hidrojen miktarları Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’te verilmiştir.



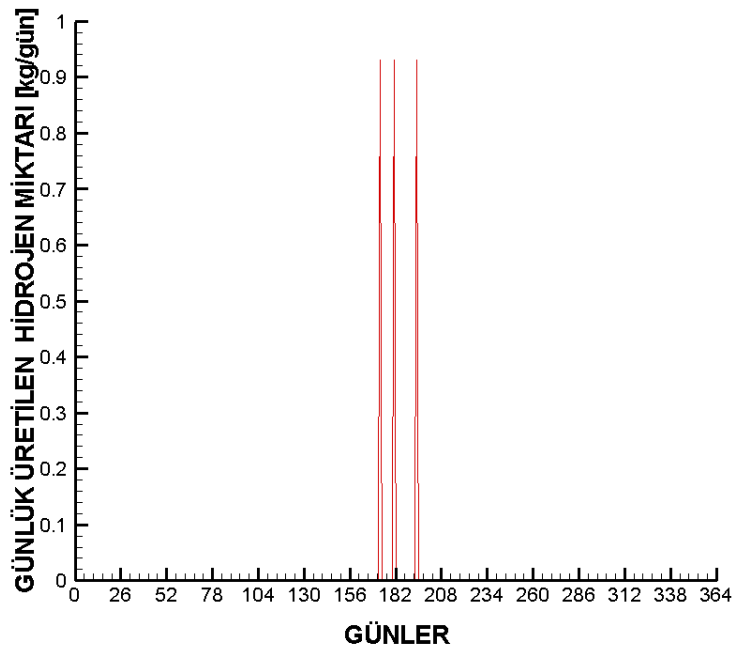
Şekil 5.6. 10x10 kW Elektrolizör kullanılarak üretilecek günlük hidrojen miktarı

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi, 10x10 kW elektrolizör kullanıldığında, bütün bir yıl boyunca hidrojen üretimi mümkün olmaktadır. Özellikle yaz aylarında güneş ışınımının daha fazla olmasından dolayı, üretilen gücün artmasıyla birlikte, hidrojen üretim potansiyeli de buna bağlı olarak artmıştır.



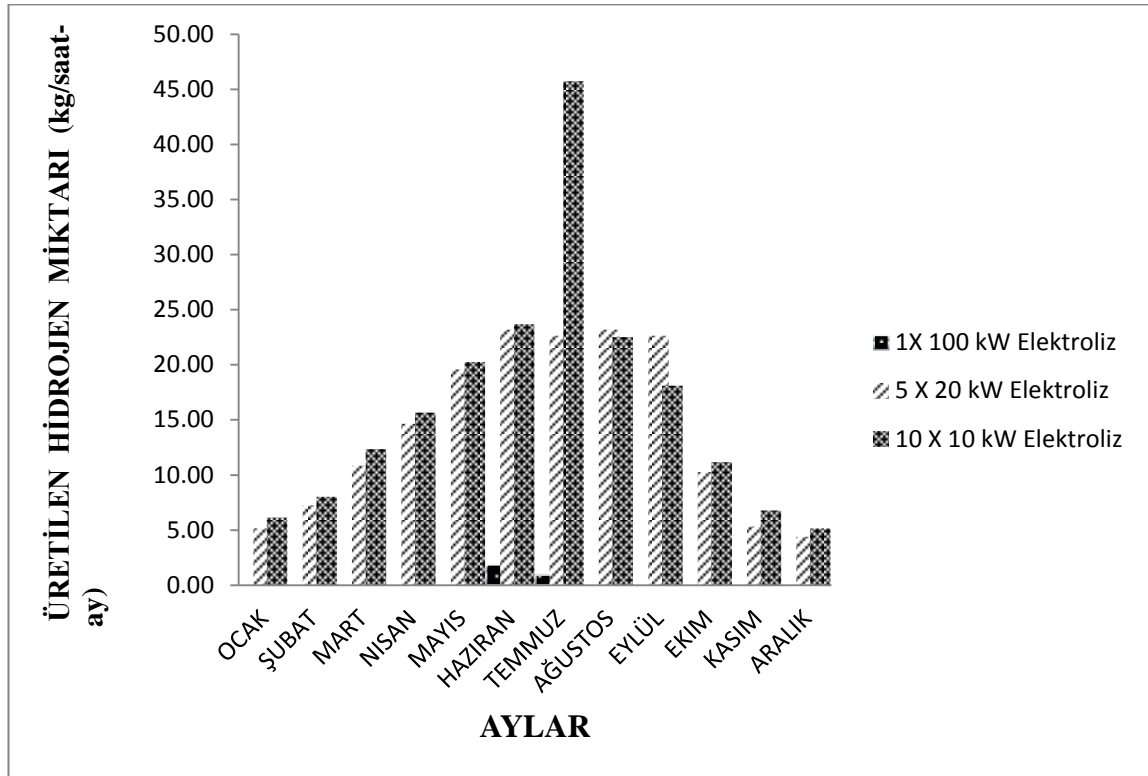
Şekil 5.7. 5x20 kW Elektrolizör kullanılarak üretilen hidrojen miktarı

Şekil 5.7'deki gibi, 5x20 kW elektrolizör kullanıldığında, yılın büyük bir bölümünde hidrojen üretimi gerçekleşmektedir. En yüksek hidrojen üretimi 0.95 kg/saat olarak gerçekleşmiştir.



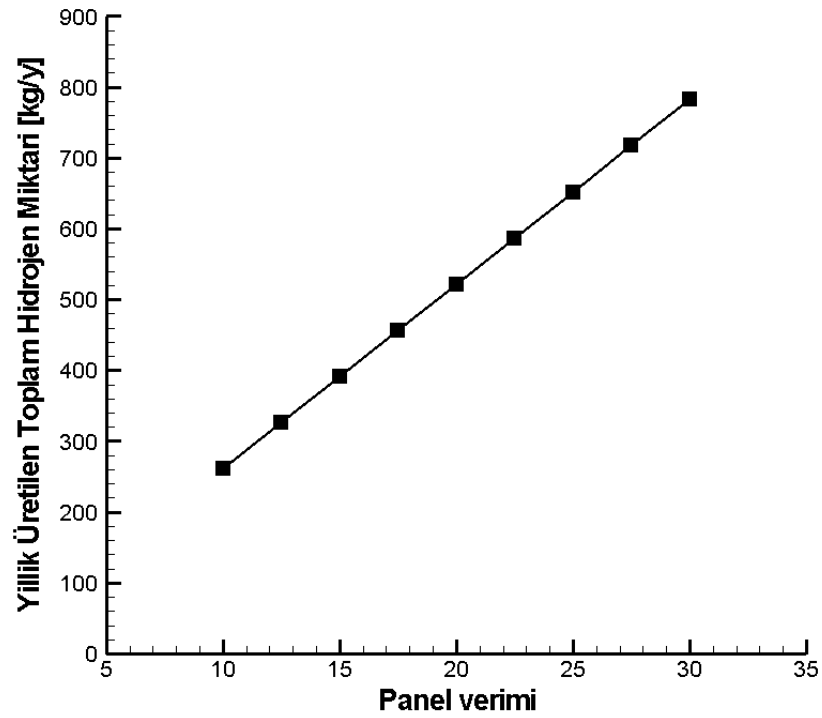
Şekil 5.8. 1x100 kW Elektrolizör kullanılarak üretilen hidrojen miktarı

Şekil 5.8’de görüldüğü üzere, 1x 100 kW elektrolizör kullanıldığında, bütün yılın sadece üç gününde hidrojen üretimi 0.93 kg/saat olarak gerçekleşmiştir.



Şekil5.9. Üç ayrı güçte elektrolizör için aylık üretilen hidrojen miktarı

Şeli 5.9’da görüldüğü üzere, yıl boyunca bütün aylarda hidrojen üretimi için en uygun kullanılabilir elektrolizör çeşidinin 10x 10 kW ve 5 x 20 kW’lık elektrolizörler olduğu görülmüştür. Ayrıca en yüksek hidrojen üretiminin 10 x 10 Kw elektrolizör kullanıldığında Temmuz ayında gerçekleştiği görülmüştür. 1 x 100 Kw gücüne sahip elektrolizörleri ile sadece Haziran ve Temmuz aylarında hidrojen üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 5.10. Panel Veriminin Yıllık Hidrojen Üretimi ile İlişkisi

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, fotovoltaik sistemlerle üretilen enerjinin ve buna bağlı olarak hidrojen miktarının, o panelin verimiyle değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Verimi %10 olan nano kristalli silikon bir güneş hücresinden yıllık yaklaşık 260.8 kg/h hidrojen üretilirirken, verimi çok daha yüksek olan monokristal silikon yapıya sahip güneş panelinden üretililecek hidrojen miktarı 652.06 kg/h değerine ulaşmaktadır.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

6.1. Değerlendirme

Bu çalışmada, Kayseri ili için belirli bir alana kurulacak olan fotovoltaik sistemle, değişik güçlerde elektrolizörler ile hidrojen üretim potansiyeli günlük ve aylık incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar sonucunda, değişik güçlerde üç ayrı elektrolizör ele alınarak, her durum için toplam aylık üretilen hidrojen miktarları değişmektedir. Ayrı ayrı her bir elektrolizör kullanıldığında, hidrojen üretim potansiyeli bakımından en verimli elektrolizör yıllık toplam 172.89 kg/h hidrojen üretimi ile 10x10 kW elektrolizör olmuştur. Tablo 6.1’de görüldüğü üzere en az hidrojen üretimi 2.79 kg/h ile 1x100 kW elektrolizör ile elde edilmiştir. 5x20 kW elektrolizör ile yapılan senelik üretim ise 163.21 kg/h olmuştur.

Tablo 6.1. Üç ayrı elektrolizörden üretilen yıllık hidrojen üretim miktarları

| | YILLIK TOPLAM HİDROJEN MİKTARI (kg) |
|------------------|--|
| 10x10 kW | 172.9 |
| 5x 20 kW | 163.2 |
| 1x 100 kW | 2.79 |

Fotovoltaik sistemlerle üretilen yıllık hidrojen miktarı, toplam güneş ışınımından en fazla enerji üretimin mümkün olduğu yaz aylarında artış göstermiştir. Özellikle Temmuz ayındaki üretim potansiyeli, yılın tüm günlerinde üretilen hidrojen miktarının en yükseğidir.

Tablo 6.2. Üç Ayrı Elektrolizör İçin Şebekeye Verilecek Olan Aylık enerji (kWh)

| AYLAR | 10x10 kW Elektrolizör | 5x20 kW Elektrolizör | 1x100 kW Elektrolizör |
|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| OCAK | 142.3773 | 272.6884 | 824.683 |
| ŞUBAT | 151.0516 | 281.0514 | 1001.8135 |
| MART | 146.9250 | 366.7854 | 1516.9249 |
| NİSAN | 156.4584 | 356.4584 | 1896.4583 |
| MAYIS | 153.1549 | 342.7603 | 1745.2891 |
| HAZİRAN | 132.2107 | 312.2110 | 2472.2110 |
| TEMMUZ | 169.4393 | 442.4993 | 2682.4393 |
| AĞUSTOS | 158.0587 | 218.0587 | 2658.0587 |
| EYLÜL | 138.3477 | 368.3477 | 2108.3476 |
| EKİM | 102.5437 | 252.5437 | 1383.5532 |
| KASIM | 145.7254 | 352.7254 | 895.7253 |
| ARALIK | 160.2468 | 270.2468 | 730.2468 |

Tablo 6.2’de üç ayrı elektrolizör kullanılarak yapılan hidrojen üretimi sırasında, elektrolizörler tarafından kullanılmayan ve şebekeye verilecek olan enerji miktarları verilmiştir. Aylık olarak artan enerji miktarına bakıldığında 1x 100 kW elektrolizör kullanıldığında, şebekeye verilen enerjinin çok daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

6.2. Sonuçlar ve Tavsiyeler

Enerji tüketiminin son yıllarda iyice artması sonucu, ilerde oluşacak enerji talebini karşılamak için yeni çalışmalar hız kazanmıştır. Çevre ile dost yeni teknolojilerin başında gelen PV-elektrolizör hibrid sistemleri, hidrojen üretimi konusunda mantıklı ve ticari bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Sistemin hem elektrik üretimi hem de basit yöntemlerle kolayca hidrojen üretimini mümkün kılması, bu tür hibrid sistemlere olan ilginin yakın gelecekte daha da artacağını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan uygulama ile birlikte, alternatif enerji kaynaklarını esas alan uygulamalar için bir model olarak, enerjinin en faydalı şekilde kullanımına imkan sağlanacaktır.

Yapılan bütün çalışmalar sonucunda, ileride değişik amaçlarda kullanılmak üzere aŐaęıdaki yeni fikirler hayata geçirilebilir.

- Güneş-hidrojen sistemine rüzgar türbini dahil edilerek, bu sistemden daha çok enerji ve buna bağlı olarak daha çok hidrojen elde edilebilir.
- Enerji ihtiyacının çok olduğu durumlarda, sistemin kapasitesinin artırılması amacıyla daha çok güneş paneli ve elektrolizör kullanılarak enerji artıralabilir.
- Güneş enerjisi ve sistemleri konusunda devletin sağladığı teŐvikler hakkında tüketiciler daha çok bilgilendirilerek, bu alana yapılacak yatırımlara tüketiciler bilinçli bir Şekilde yönlendirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Conca, J., “What Is Our Energy Future?”, (Web Sayfası: <http://www.forbes.com/sites/jamesconca/2012/05/13/what-is-our-energy-future/>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2014)
2. Gürbüz, K., Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı güneş Kollektörleri İle Buhar Üretiminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 8 s.
3. Uluslararası Enerji Ajansı. International Energy Outlook 2011. 02 Ocak 2012. (Web Sayfası: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/index.cfm>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
4. Elektrik Üretim Sektör Raporu, http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS_2013.pdf.
5. Güneş Sistemi Nedir? Gezegenler ve Uyduları Nelerdir?, (Web Sayfası: <http://www.bilgiustam.com/gunes-sistemi-nedir-gezegenler-ve-uydulari-nelerdir/>), (Erişim tarihi: Haziran 2014).
6. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Gelişiminin Tarihçesi, (Web Sayfası : [http:// www.gunessistemleri.com/tarihsel.php](http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php)), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
7. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli, (Web Sayfası: http://www.solartek.com.tr/enerji_potansiyeli.php), (Erişim tarihi: Haziran 2014).
8. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli, Türkiye Güneş Enerjisi Atlası, GEPA, (Web Sayfası: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
9. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009.
10. Bulut, H., Güneş Enerjisi Uygulamaları, Temiz Enerji Teknolojileri Kursu, 9-13 Şubat 2009, Gaziantep.
11. Güneş Enerjisi Ve Teknolojileri, (Web Sayfası: <http://www.eie.gov.tr/>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
12. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, (Web Sayfası: <http://w3.gazi.edu.tr/~enyilmaz/ensongunes.pdf>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
13. Güneş Pilleri, (Web Sayfası: [http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri nedir.html](http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html)), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).

14. Güneş Pilleri, Fotovoltaik Piller, (Web Sayfası: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
15. Analog Elektronik, (Web Sayfası: <http://www.yildiz.edu.tr/~fbakan/Analog/Analog1.pdf>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
16. Temel Elektronik, (Web Sayfası: http://www.silisyum.net/htm/temel_elektronik/temel_elektronik.htm), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
17. Lque, A., Hegedus, S., 2002, "Handbook Of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons, Inc, U.S.A.
18. Şahin, S., Geleceğin Enerji Kaynağı İnce Film Fotovoltaik Güneş Pilleri, (Web Sayfası: http://www.emo.org.tr/ekler/e05d6f828574fbc_ek.pdf?dergi=167), (Erişim Tarihi: Mayıs 2014).
19. Solar Harita, (Web Sayfası: <http://www.solarharita.com/>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
20. Özgöçmen A., Mayıs 2007, Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Elektrik Mühendisliği, 55 s.
21. Dahl, T., Photovoltaic Power Systems, Technology White Paper.
22. Özgöçmen A., Mayıs 2007, Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Elektrik Mühendisliği, 55 s.
23. Ivanpah Solar Energy System, (Web Sayfası: <http://ivanpahsolar.com/about>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014)
24. Hidrojen, (Web Sayfası: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
25. Yalçın, A., H., 2007. Nükleer Enerji İle Hidrojen Üretimi Ve Küresel Isınmaya Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, 4s.
26. Hidrojen Enerjisi Üretimi Ve Kullanımı, (Web Sayfası: <http://arge7.com/detay.asp?id=1526>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
27. Çelik, V., Oral, E., Hidrojenli Yakıtlı Motor Teknolojisi, (Web Sayfası: <http://www.nukte.org/node/140>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014)
28. Beşergil, B., Hidrojen, (Web Sayfası: <http://www.bayar.edu.tr/besergil/hidrojen.pdf>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
29. Yılanıcı, A., Güneş-Hidrojenli bir sisteminin kurulması ve performansının analizi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 13s.

30. Konstantopoulou, P.,Giannopoulos, M.F., 2005. “Multicriteria Analysis of HydrogenProduction Technologies”, *International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC*, İstanbul.
31. Fuel Cell Engines, by Matthew M. Mench, Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008.
32. Force Technology, 2nd Generation Alkaline Electrolysis, Final Report, March 2013.
33. Grigoriev*, S.A.,Poremsky V.I., Fateev, V.N., 2006. Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy, **International Journal of Hydrogen Energy**, **31**: 171 – 175.
34. Doucet, G., Etiévant, C., Puyenchet, C., Grigoriev, S., Millet, P., 2009. Hydrogen-based PEM auxiliary power unit, **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**: 4983–4989.
35. Becerekli, Fatih, 2011. Yüksek Basıncılı PEM (proton geçirgen membran) Elektrolizör Geliştirilmesi ve Çalışma Parametrelerinin Performansa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 13 s.
36. Genc, G.,Celik, M., Genc, M. S., 2012. Cost analysis of wind-electrolyzer-fuel cell system for energy demand in Pınarbası-Kayseri, **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**: 12158e12166.
37. Türe, İ., E., Fotelektroliz yoluyla Hidrojen Üretimi, Dünya Enerji Türk Milli Komitesi, TÜRKİYE 10. ENERJİ KONGRESİ, (Web Sayfası: http://www.dek-tm.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/enginture.pdf), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
38. Khan S.U.M., Al-Shahry M., and Ingler, W.B.Jr., 2002. Efficient Photochemical Water Splitting by a Chemically Modified n-TiO₂, **Science**, 297: 2243-2245s.
39. K. Maeda, J. 2011. Photochemistry and Photobiology C: **Photochemistry Reviews**, **12**: 237.
40. Bak, T., Nowotny, J., Rekas, M., Sorrell, C.C., 2002. Photo-electrochemical hydrogen generation from water using solar energy. Materials-related aspects, **International Journal of Hydrogen Energy**, **27**: 991 – 1022.
41. Agrafiotis C.,Pagkoura C., Lorentzou S., Kostoglou M., and Konstandopoulos A. G.,2007. Hydrogen Production in Solar Reactors, *CatalysisToday*, 127: 265–277s.

42. Funk, J.E., 2001, Thermochemical hydrogen production: past and present. **International Journal Hydrogen Energy**, **26**: 185–90.
43. Lanchi M, Caputo, G., Liberatore, R., Marrelli, L., Sau, S., Spadoni, A., Tarquini, P., 2009. Use of Metallic Ni for H₂ production in S-I thermochemical cycle: Experimental and theoretical analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**: 1200-1207.
44. H₂-fuel of future, (Web Sayfası: <http://asyncbrain.baf.cz/sanatorium/1/h2fuel/>), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
45. Orhan, M. F., Dincer, I., Rosen, M. A., Thermo-economic Analysis of a Copper-Chlorine Thermochemical Cycle for Nuclear-Based Hydrogen Production, Proceedings WHEC2010, (Web Sayfası: http://juser.fz-juelich.de/record/135435/files/HP2_pp_Orh_Orhan.pdf), (Erişim tarihi: Haziran 2014).
46. Öztürk, M., Elbir, A., Özek, N., Yakut, K., 16-18 May 2011. Güneş Hidrojen Üretim Metodlarının İncelenmesi, *6th International Advanced Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey.
47. International Nuclear Energy Division, (Web Sayfası: http://www.iahe.org/nuclear_hydrogen.asp), (Erişim Tarihi: Haziran 2014).
48. Stewart, F. F., May 2007, Separations Needs For The Alternate Chemical Cycles, Idaho National Laboratory Chemical Sciences Department Idaho Falls, Idaho 83415.
49. Kim, H., Kim, J., Min, B., Yoo, D., Kim, H., 2009. A highly efficient PV system using a series connection of DC–DC converter output with a photovoltaic panel. **Renewable Energy**, **34**: 2432–2436.
50. Yang, H., Zheng, G., Lou, C., An, D., Burnett, J., 2004. Grid-connected building-integrated photovoltaics: a Hong Kong case study. **Solar Energy**, **76**: 55-59.
51. Yordanov, G. H., Midgard, O., Sætre, T., O., 2012. Series resistance determination and further characterization of c-Si PV modules. **Renewable Energy**, **46**: 72-80.
52. Perpiñan, O., Lorenzo, E., Castro, M. A., Eyras, R., 2008. On the complexity of radiation models for PV energy production calculation. **Solar Energy**, **82**: 125-131.
53. Chintavee, A., Ketjoy, N., 2012. PV Generator Performance Evaluation and Load Analysis of the PV Microgrid System in Thailand. **Procedia Engineering**, **32**: 384-291.

54. Güngör, A., Yıldız, A., Kartal, Y., Ülkemiz Enlemleri Açık Gün Işınımının Hesaplanması İçin Bir Algoritma, Örnek Uygulama: MERSİN, (Web Sayfası: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/12a3c9878efcae8_ek.pdf?dergi=230), (Erişim Tarihi: Nisan 2014).
55. Hilali, İ., Aktacir, M., A., Yeşilata, B., 2009. Fotovoltaik- Yakıt Pili Birleşik Sisteminin Deneysel İncelenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.
56. Chennouf, N., Settou, N., Negrou, B., Bouziane, K., Dokkar, B., 2012. Experimental Study Of Solar Hydrogen Production Performance by Water Electrolysis in the South of Algeria. **Energy Procedia**, **18**: 1280-1288.
57. Ramakrishna, A., Manasa, K., Anusha, C., Balabhadrapatruni, A., 2013. Design of Intelligent Solar Grid Oriented PWM Inverter for Livelihood Generation in Rural Areas. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, ISSN: 2277-3878, Volume-2, Issue-1.
58. Gules, R., Pacheco, J. D. P., Hey, H. H., Imhoff, J., 2008. A Maximum Power Point Tracking System With Parallel Connection for PV Stand-Alone Applications. **Ieee Transactions on Industrial Electronics**, Vol. **55**, No. 7
59. Wang, Y., Hsu, P., 2011. An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells. **Energy**, **36**: 3069-2078.
60. Almonacid, F., Rus, C., Pérez-Higureas, P., Hontoria, L., 2011. Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neural Networks. **Energy**, **36**: 375-284.
61. Aras, H., Balli, O., Hepbasli, A., 2006. Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey. **Energy Conversion and Management**, **47**: 2240-2249.
62. Zhou, W., Yang, H., Fang, Z., 2007. A novel model for photovoltaic array performance prediction. **Applied Energy**, **84**: 1187-1198.
63. Lo Brano, V., Ciualia, G., Di Falco, M., 2014. Artificial Neural Networks to Predict the Power output of a PV Panel. **International Journal of Photoenergy**, ID **193083**, 12 s.
64. Bakirci, K., 2012. General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **16**: 6149-6159.

65. Firatoğlu, Z., A., Yeşilata, B., 2003. Maksimum Gc Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve alışma Koşullarının Araştırılması,.DE Mühendislik Fakültesi, **Fen ve Mühendislik Dergisi**, **Cilt:5**, Sayı:1, 147-158.
66. Charalambous P. G., Maidment, G. G., Kalogirou, S. A., Yiakoumetti, K., 2007. Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review. **Applied Thermal Engineering**, **27**: 275-286.
67. El Chaar, L., Lamont, L., A., El Zein, N., 2011. Review of photovoltaic Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **15**: 2165-2175.
68. Joshi, A., S., Dincer, I., Reddy, B. V., 2009. Thermodynamic assessment of photovoltaic systems. **Solar Energy**, **83**: 1139-1149.
69. Sensoy, S., Ulupınar, Y., Demircan, M., Alan,I., Akyrek Z., A. Bostan, P., Modeling Solar Energy Potential In Turkey, Turkish State Meteorological Service, Ankara, TURKEY
70. Miri, R., Mraoui, S., 2007. Electrolyte process of hydrogen production by solar energy. **Desalination**, **206**: 69-77.
71. Akyuz, E., Coskun, C., Oktay, Z., Dincer, I., 2011. Hydrogen production probability distributions for a PV-electrolyser system. **International Journal of Hydrogen Energy**, **36**: 11292-11299.
72. Lin, C., Huang, C., Du, Y., Chen, J., 2011. Maximum photovoltaic power tracking for the PV array usingthe fractional-order incremental conductance method. **Applied Energy**, **88**: 4840-4847.
73. Bakırcı, K., 2009. Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımın Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu. **Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi**, **29,2**: 53-58.
74. Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz,A., Türkiye'nin 15 İli İçin Bazı İklım Verilerinin Eşitliklerle İfadesi, (Web Sayfası: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c87c13749315c72_ek.pdf?dergi=189), (Erişim Tarihi: Mayıs 2014).
75. Dubey, S., Tiwari, G. N., 2009. Analysis of PV/T flat plate water collectors connected in series. **Solar Energy**, **83**: 1485-1498.
76. şahin, M. E., Okumuş, H., İ., 2013. Gneş Pili Modlnn Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simlasyonu, **Cilt 3, Sayı 5**, Syf 17-25.

77. Mellit, A., Sağlam, S., Kalogirou, S. A., 2013. Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module. **Renewable Energy**, **60**: 71-78.
78. Green, M. A., 2004. Recent developments in photovoltaics. **Solar Energy**, **76**: 3-8.
79. La Manna, D., Li Vigni, V., Sanseverino, E. R., Di Dio, V., Romano, P., 2014. Reconfigurable electrical interconnection strategies for photovoltaic arrays: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **33**: 412-426.
80. Zheng, H., Li, S., Chaloo, R., Proano, J., 2014. Shading and bypass diode impacts to energy extraction of PV arrays under different converter configurations. **Renewable Energy**, **68**: 58-66.
81. Fthenakis, V., 2009. Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **13**: 2746-2750.
82. Abdallah, S., 2004. The effect of using sun tracking systems on the voltage–current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. **Energy Conversion and Management**, **45**: 1671-1679.
83. Lan, H., Liao, Z., Yuan, T., Zhu, F., 2012. Calculation of PV Power Station Access. **Energy Procedia**, **17**: 1452-1459.
84. Kelly, N. A., L. Gibson, T. L., 2008. Solar energy concentrating reactors for hydrogen production by photoelectrochemical water splitting. **International Journal of Hydrogen Energy**, **33**: 6420-6431.
85. Akyuz, E., Oktay, Z., Dincer, I., 2012. Performance investigation of hydrogen production from a hybrid wind-PV system. **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**: 16623-16630.
86. Honnery, D., Moriarty, P., 2009. Estimating global hydrogen production from wind. **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**: 727-736.
87. Gökçek, M., 2010. Hydrogen generation from small-scale wind-powered electrolysis system in different power matching modes. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 10050-10059.
88. Genç, G., Çelik, M., Genç, M. S., 2012. Cost analysis of wind-electrolyzer-fuel cell system for energy demand in Pınarbaşı-Kayseri. **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**: 12158-12166.

89. Balta, M. T., Dincer, I., Hepbasli, A., 2010. Energy and exergy analyses of a new four-step copper-chlorine cycle for geothermal-based hydrogen production. **Energy**, **35**: 3263-3272.
90. Genç, G., 2010. Hydrogen production potential of APEX fusion transmuter fueled minor actinide fluoride. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 10190-10201.
91. Balta, M. T., Dincer, I., Hepbasli, A., 2010. Potential methods for geothermal-based hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 4949-4961.
92. Naterer, G. F., Suppiah, S., Stolberg, L., Lewis, M., Wang, Z., Daggupati, V., Gabriel, K., Dincer, I., Rosen, M. A., Spekkens, P., Lvov, S. N., Fowler, M., Tremaine, P., Mostaghimi, J., Easton, E. B., Trevani, L., Rizvi, G., Ikeda, B. M., Kaye, M. H., Lu, L., Pioro, I., Smith, W. R., Secnik, E., Jiang, J., Avsec, J., 2010. Canada's program on nuclear hydrogen production and the thermochemical Cu-Cl cycle. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 10905-10926.
93. Orhan, M. F., Dincer, I., Rosen, M. A., 2009. Efficiency analysis of a hybrid copper-chlorine (Cu-Cl) cycle for nuclear-based hydrogen production. **Chemical Engineering Journal**, **155**: 132-137.
94. ÖzıSık, G., Demir, N., Übeyli, M., Yapıcı, H., 2010. Hydrogen production via water splitting process in a molten-salt fusion breeder. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 7357-7368.
95. Stoots, C., M., O'Brien, J., E., Condie, K. G., Hartvigsen, J. J., 2010. High-temperature electrolysis for large-scale hydrogen production from nuclear energy-Experimental investigations. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 4867-4870.
96. Fujiwara S., Kasai S., Yamauchi H., Yamada K., Makino S., Matsunaga K., Yoshino M., Kameda T., Ogawa T., 2006 , Momma S., Hoashi E., Hydrogen production by high temperature electrolysis with nuclear reactor, **Progress in Nuclear Energy**, **50**: 422-426.
97. Xiao, L., Wu, S., Li, Y., 2012. Advances in solar hydrogen production via two-step water-splitting thermochemical cycles based on metal redox reactions. **Renewable Energy**, **41**: 1-12.

98. Wang, Z., Roberts, R. R., Natarer, G. F., Gabriel, K. S., 2012. Comparison of thermochemical, electrolytic, photoelectrolytic and photochemical solar-to-hydrogen production technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**: 16287-16301.
99. Ngoh, S. K., Njomo, D., 2012. An overview of hydrogen gas production from solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **16**: 6782-6792.
100. Charvin, P., Stéphane, A., Florent, L., Gilles, F., 2008. Analysis of solar chemical processes for hydrogen production from water splitting thermochemical cycles. **Energy Conversion and Management**, **49**: 1547-1556.
101. Ghandehariun, S., Natarer, G. F., Dincer, I., Rosen, M. A., 2010. Solar thermochemical plant analysis for hydrogen production with the copper-chlorine cycle. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 8511-8520.
102. Joshi, A. S., Dincer, I., Reddy, V. B., 2011. Solar hydrogen production: A comparative performance assessment. **International Journal of Hydrogen Energy**, **36**: 11246-11257.
103. Steinfeld, A., 2002. Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions. **International Journal of Hydrogen Energy**, **27**: 611-619.
104. Huang, C., 2013. Solar hydrogen production via pulse electrolysis of aqueous ammonium sulfite solution. **Solar Energy**, **91**: 394-401.
105. Steinfeld, A., 1995. Solar Thermal Production of Zinc and Syngas via Combined ZnO-Reduction and CH₄ –Reforming Processes. **International Journal of Hydrogen Energy**, **20**: 793-804.
106. Steinfeld, A., 2005. Solar thermochemical production of hydrogen- a review. **International Journal of Hydrogen Energy**, **78**: 603-615.
107. Bak, T., Nowotny, J., Rekas, M., Sorrell, C. C., 2002. Photo-electrochemical hydrogen generation from water using solar energy. Materials-related aspects. **International Journal of Hydrogen Energy**, **27**: 991-1022.
108. Özalp N., Shilapuram, V., 2010. Step-by-step methodology of developing a solar reactor for emission-free generation of hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 4484-4495.
109. Palumbo, R., Diver, R. B., Larson, C., Coker, E. N., Miller, J. E., Guertin, J., Schoer, J., Meyer, M., Siegel, N. P., 2012. Solar thermal decoupled water

- electrolysis process I: Proof of concept. **Chemical Engineering Science**, **84**: 372-380.
- 110.** Palumbo, R., Léde, J., Boutin, O., Ricart, E. E., Steinfeld, A., Möller, S., Weidenkaff, A., Fletcher, E. A., Beilicki, J., 1998. The production of Zn from ZnO in a hightemperature solar decomposition quench process—I. The scientific framework for the process. **Chemical Engineering Science**, **53**: 2503-2517.
- 111.** Orhan, M. F., Dincer, I., Rosen, M. A., 2010. An exergy–cost–energy–mass analysis of a hybrid copper–chlorine thermochemical cycle for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 4831-4838.
- 112.** Abanades, S., Flamant, G., Thermochemical hydrogen production from a two-step solar-driven water-splitting cycle based on cerium oxides. **Solar Energy**, **80**: 1611-1623.
- 113.** Abandanes, S., Charvin, P., Flamant, G., Neveu, P., 2006. Screening of water-splitting thermochemical cycles potentially attractive for hydrogen production by concentrated solar energy. **Energy**, **31**: 2805–2822.
- 114.** Khalilnejad, A., Riahy, G. H., 2014. A hybrid wind-PV system performance investigation for the purpose of maximum hydrogen production and storage using advanced alkaline electrolyzer. **Energy Conversion and Management**, **80**: 398-406.
- 115.** Joshi, A. S., Dincer, I., 2010. Exergetic assessment of solar hydrogen production methods. **International Journal of Hydrogen Energy**, **35**: 4901-4908.
- 116.** Graf, D., Monnerie, N., Roeb, M., Schmitz, M., Sattler, C., 2008. Economic comparison of solar hydrogen generation by means of thermochemical cycles and electrolysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, **33**: 4511-4519.
- 117.** Lewis, A. M., Serban, M., Basco, J. K., 2004. Hydrogen Production at <550°C Using a Low Temperature Thermochemical Cycle. Organisation for Economic Co-Operation and Development - **Nuclear Energy Agency**, **75**: 145-146.
- 118.** Yildiz, B., Kazimi, M. S., 2006. Efficiency of hydrogen production systems using alternative Efficiency of hydrogen production systems using alternative. **International Journal of Hydrogen Energy**, **31**: 77-92.
- 119.** Liberatore, R., Lanchi, M., Giaconia, A., Tarquini, P., 2012. Energy and economic assessment of an industrial plant for the hydrogen production by water-splitting

- through the sulfur-iodine thermochemical cycle powered by concentrated solar energy. **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**: 9550-9565.
- 120.** DENGHANI, S., SAYYAADI, H., 2013. Energy and exergetic evaluations of Bunsen section of the sulfur-iodine thermochemical hydrogen production plant. **International Journal of Hydrogen Energy**, **38**: 9074-9084.
- 121.** WANG, M., WANG, Z., GONG, X., GUO, Z., 2014. The intensification technologies to water electrolysis for hydrogen production –A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **29**: 573-588.
- 122.** BALTA, M. T., DINCER, I., HEPBASLI, A., 2009. Thermodynamic assessment of geothermal energy use in hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**: 2925-2939.
- 123.** SHERIF, S. A., BARBIR, F., VEZIROGLU, T. N., 2005. Wind energy and the hydrogen economy—review of the technology. **Solar Energy**, **78**: 647-660.
- 124.** LEVENE, J. I., MANN, M. K., MARGOLIS, R., MILBRANDT, A., 2005. An Analysis of Hydrogen Production from Renewable Electricity Sources. **National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-560-37612**.
- 125.** EL-SHATTER, TH., F., ESKANDAR, M. N., EL-HARGY, M. T., 2002. Hybrid PV/fuel cell system design and simulation. **Renewable Energy**, **27**: 479-485.
- 126.** ATLAM, O., BARBIR, F., BEZMALINOVIC, D., 2011. A method for optimal sizing of an electrolyzer directly connected to a PV module. **International Journal of Hydrogen Energy**, **36**: 7012-7018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Seyfettin GÜREL

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

Doğum Tarihi ve Yeri: 10 Ağustos 1987, Ankara

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 352 207 66 66 - 32134

Fax: + +90 352 437 57 84

email: sgurel87@gmail.com

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri
Mühendisliği Bölümü 38100 Kayseri

EĞİTİM

| Derece | Kurum | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|---|------------------|
| Yüksek Lisans | EÜ Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği | -- |
| Lisans | Ankara Atılım Üniversitesi Elektrik & Elektronik Mühendisliği | 2011 |
| Lise | Batıkent Lisesi | 2004 |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görev |
|-------------------|---|---------------------|
| 11/2013- Halen | Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği | Araştırma Görevlisi |

YABANCI DİL

İngilizce