

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK ENERJİ VE TAŞITLARDA
KULLANIMI**

Makine Mühendisi, E. Batu URAL

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Isı Proses Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Olcay KINCAI

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| SİMGE LİSTESİ..... | i |
| KISALTMA LİSTESİ..... | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | iv |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | vi |
| ÖNSÖZ..... | vii |
| ÖZET..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GÜNEŞ VE ELEKTRİK..... | 4 |
| 2.1 Tükenmez Enerji Kaynağı, Güneş..... | 4 |
| 2.2 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi..... | 5 |
| 2.3 Temiz Enerji..... | 6 |
| 2.4 Enerjinin Çevresel Etkileri..... | 7 |
| 2.5 Güneş Radyasyonu..... | 10 |
| 2.5.1 Stefan-Boltzman Kanunu..... | 10 |
| 2.5.2 Güneş Işınlmasının Yapısı..... | 11 |
| 2.6 Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi..... | 12 |
| 2.7 Türkiye’de Güneş Enerjisi Değerleri..... | 16 |
| 2.8 Güneş Işınlmasından Faydalanma..... | 17 |
| 2.9 Radyasyon Çeşitleri..... | 20 |
| 2.9.1 Kısa Dalga Boylu Radyasyon..... | 21 |
| 2.9.1.1 Direkt Radyasyon..... | 22 |
| 2.9.1.2 Difüz Radyasyon..... | 22 |
| 2.9.1.3 Yansıtılmış Radyasyon..... | 22 |
| 2.9.2 Uzun Dalga Boylu Radyasyon..... | 23 |
| 2.10 Güneş Enerjisinin Kullanımı..... | 24 |
| 2.10.1 Isıl Yöntemler..... | 24 |
| 2.10.1.1 Düşük Sıcaklık Uygulamaları (Düz Kolektörlü Sistemler)..... | 24 |
| 2.10.1.1.1 Sıcak Su Elde Edilmesi..... | 24 |
| 2.10.1.1.2 Güneş Enerjisi ile Soğutma..... | 24 |
| 2.10.1.1.3 Güneş Enerjisi ile Suyun Damıtılması..... | 27 |
| 2.10.1.1.4 Güneş Enerjisi ile Kurutma..... | 27 |
| 2.10.1.1.5 Çeşitli Pasif Yöntemler..... | 28 |
| 2.10.1.2 Orta Sıcaklık Uygulamaları (Odaklayıcı Kolektörlü Sistemler)..... | 28 |
| 2.10.1.3 Yüksek Sıcaklık Uygulamaları..... | 29 |
| 2.10.2 Elektriksel Yöntemler..... | 29 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3 | FOTOVOLTAİK ENERJİ..... | 30 |
| 3.1 | Fotovoltaik Enerjili Sistemlerde Genel Dizayn Kriterleri..... | 30 |
| 3.2 | Tarihsel Gelişim..... | 30 |
| 3.3 | Fotovoltaik Sistemler..... | 31 |
| 3.3.1 | Fotovoltaik Piller | 32 |
| 3.3.1.1 | Fotovoltaik Pillerin Üretim Malzemeleri..... | 33 |
| 3.3.1.2 | Fotovoltaik Pillerin Fiziksel Yapısı..... | 34 |
| 3.3.1.3 | Güneş Hücresi Tipleri..... | 34 |
| 3.3.1.3.1 | Tek kristalli silisyum..... | 35 |
| 3.3.1.3.2 | Çok kristalli silisyum..... | 36 |
| 3.3.1.3.3 | Galyum Arsenür ve Diğer Yüksek Verimli Piller..... | 36 |
| 3.3.1.3.4 | İnce Film..... | 37 |
| 3.3.1.4 | Fotovoltaik Pillerin Çalışma Prensipleri..... | 37 |
| 3.3.1.5 | Güneş Hücresinin Verimi | 40 |
| 3.3.1.6 | Hücrelerin Bağlanması..... | 41 |
| 3.3.2 | Aküler..... | 43 |
| 3.3.3 | Şarj Regülatörleri..... | 44 |
| 3.3.4 | Dönüştürücüler (İnverterler)..... | 44 |
| 3.3.5 | Diğer Sistem Bileşenleri..... | 46 |
| 3.4 | Modüllerin Yerleştirilmesi..... | 46 |
| 3.5 | Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Değerlendirilmesi..... | 48 |
| 3.6 | PV Sistemlerinin Avantajları..... | 50 |
| 3.7 | PV Sistemlerinin Eksiklikleri..... | 51 |
| 3.8 | PV Teknolojisinin Kullanım Alanları..... | 52 |
| 3.8.1 | Haberleşme..... | 52 |
| 3.8.2 | Yerleşim Dışı Alıcılar..... | 53 |
| 3.8.3 | Binaya Entegre Sistemler..... | 53 |
| 3.8.4 | Katodik Koruma | 56 |
| 3.8.5 | Uyarı ve İşaretler..... | 56 |
| 3.8.6 | Su Pompalama..... | 57 |
| 3.8.7 | Uzay Çalışmaları..... | 57 |
| 3.9 | PV Modüllerin Performansını Etkileyen Faktörler..... | 58 |
| 3.9.1 | Toz Faktörü..... | 58 |
| 3.9.2 | Düzlem Yansıtıcı Kullanımı..... | 58 |
| 3.9.3 | Sıcaklık..... | 59 |
| 3.9.4 | Yansıma..... | 60 |
| 3.9.5 | Güneş İzleyicileri..... | 61 |
| 3.9.6 | Yoğunlaştırıcılar | 63 |
| 3.10 | Güvenlik Sorunları..... | 63 |
| 3.11 | Şebekeye Bağlı PV (ŞBPV) Sistemler..... | 64 |
| 3.11.1 | ŞBPV Sistemlerin Performansı..... | 64 |
| 3.11.2 | ŞBPV Sistemlerde Verim..... | 65 |
| 4 | FOTOVOLTAİK ENERJİNİN TAŞITLARA UYGULANMASI..... | 67 |
| 4.1 | Hedef..... | 67 |
| 4.2 | Güneş Arabaları | 68 |
| 4.2.1 | Genel Tasarım Esasları..... | 70 |
| 4.3 | PV Enerjili Araba Yarışları..... | 72 |
| 4.3.1 | The World Solar Challenge..... | 73 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.3.2 | The American Solar Challenge..... | 73 |
| 4.3.3 | Sunrayce..... | 73 |
| 4.3.4 | Formula Sun Grand Prix..... | 74 |
| 4.3.5 | İstanbul Formula-G..... | 74 |
| 4.4 | Bazı Güneş Arabaları..... | 78 |
| 4.4.1 | Fireball II..... | 78 |
| 4.4.2 | Nuna..... | 79 |
| 4.4.3 | Aurora 101..... | 80 |
| 4.4.4 | “The 2003 American Solar Challenge” Yarışı..... | 81 |
| 4.5 | Güneş Arabası Tasarlama..... | 82 |
| 4.5.1 | Güneş Arabalarında Enerji Akışı..... | 84 |
| 4.5.2 | Yarışan Araçlar..... | 86 |
| 4.6 | Güneş Arabalarında Çeşitli Sistemler..... | 87 |
| 4.6.1 | Enerji Yönetimi..... | 87 |
| 4.6.1.1 | Hücre Dizisi..... | 87 |
| 4.6.1.2 | Hücrelerin Montajı ve Kaplanması..... | 88 |
| 4.6.1.3 | Enerji Kazanımı..... | 91 |
| 4.6.1.3.1 | Toplam Işınım..... | 93 |
| 4.6.1.3.2 | Panel Alanı ve Verimi | 94 |
| 4.6.2 | Elektrik Sistemi..... | 96 |
| 4.6.2.1 | Motor Kontrolörü..... | 97 |
| 4.6.2.2 | MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyicileri)..... | 98 |
| 4.6.2.3 | Elektrik Pilleri (Aküler)..... | 99 |
| 4.6.2.4 | Elektrik Motoru..... | 104 |
| 4.6.3 | Aerodinamik Yapı..... | 106 |
| 4.6.4 | Diğer Sistemler..... | 107 |
| 4.6.4.1 | Mekanik Sistemler..... | 107 |
| 4.6.4.2 | Gövde ve Şasi..... | 108 |
| 5. | HÜCRELERİN UYGULAMADAKİ GERÇEK PERFORMANSININ MATEMATİKSEL OLARAK HESAPLANMASI..... | 110 |
| 5.1 | Bazı Önemli Tanımlar..... | 110 |
| 5.1.1 | Açık Devre Gerilimi (V_{OC})..... | 110 |
| 5.1.2 | Kısa Devre Akımı (I_{SC})..... | 111 |
| 5.1.3 | Diğer Tanımlar ve Verim..... | 112 |
| 5.2 | Güneş Hücresi Modeli..... | 113 |
| 5.2.1 | Güneş Hücresinin Elektriksel Modeli..... | 114 |
| 5.2.2 | Sıcaklık ve Diyot Doyma Akımı (I_s)..... | 116 |
| 5.3 | Hücresinin Kullanacağımız Şartlardaki Gerçek Değerlerinin Hesabı..... | 116 |
| 5.3.1 | Doğru “n” Değerinin Tayini..... | 120 |
| 5.3.2 | Gerçek Çalışma Şartlarındaki Koşullar..... | 131 |
| 5.3.3 | Işınım Değerinin Değişmesi Durumu..... | 134 |
| 6. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 136 |
| | KAYNAKLAR..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| EKLER..... | 142 |
| Ek 1-A Dünya Üzerine Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Yaz Ayları)..... | 142 |
| Ek 1-B Dünya Üzerine Gelen Güneş Işınımı Değerleri (Kış Ayları) | 143 |
| Ek 2-A Türkiye'de Güneşlenme Süreleri (saat / gün)..... | 144 |
| Ek 2-B Türkiye'de Güneş Işınımı Değerleri (cal / cm ² gün)..... | 145 |
| Ek – 3 İstanbul Formula-G Yarış Kuralları..... | 146 |
| Ek – 4 Güneş Hücresi Kataloğu..... | 152 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 154 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|---------------|---|
| a | Wien sabiti |
| A | Araç gövdesinin karakteristik alanı (m^2) |
| A_p | Panel alanı (m^2) |
| AC | Alternatif akım |
| AC_d | Direnç alanı (m^2) |
| c | Işık hızı (3×10^8 m/sn.) |
| C_d | Aerodinamik direnç katsayısı |
| DC | Doğru akım |
| D_A | Aerodinamik direnç kuvveti (Newton) |
| eV | Elektron voltu, $1eV = 1.60217646 \times 10^{-19}$ Joule. |
| E | Enerji, elektrik alan, ışınım |
| f_g | Güneş sabiti düzeltme faktörü |
| F | Işın |
| g | 1 Ocak'tan itibaren geçen gün sayısı |
| H | Su yüksekliği (metre) |
| h | Plank sabiti ($6,625 \times 10^{-34}$ J.s) |
| I | Akım, ışınım |
| $I_{S\infty}$ | Bir T değeri için I_S değeridir (Amper) |
| K | Boltzman sabiti (1.380658×10^{-23} J/K) |
| n | Matematiksel model parametresi |
| n_k | Kırılma indisi |
| P_{max} | Güç |
| r_g | Uzaklık |
| R | Üniversal sabit, $R = 1.380658 \times 10^{-23}$ J/K |
| R_{CH} | Direnç, yarıçap, yüzde |
| q | Elektron yükü ($1.6021773 \times 10^{-19}$ C) |
| T | Referans çalışma sıcaklığı, sıcaklık |
| v | Frekans (Herz) |
| V | Hücrenin çıkış gerilimi, hız, hacim, gerilim |
| w | Rüzgar hızı (m/s) |

Yunan Harfleri

| | |
|-----------------|---|
| α | Sıcaklık katsayısı |
| β | Düzlemin zemin ile yaptığı açı (Derece) |
| η_0 | Panelin T_0 sıcaklığındaki verimi |
| η_p | Panellerin verimi |
| λ_{max} | Dalga boyu (μm) |
| ρ_{yer} | Yerin yansıtıcılığı |
| ρ | Havanın yoğunluğu (g/m^3) |
| σ | Stefan-Boltzman sabiti (1.380658×10^{-23} J/K) |
| θ | Gelen ışın ile düzlem normalinin yaptığı açı (Derece) |
| θ_Y | Yüzeyin eğim açısı (Derece) |
| θ_I | Işınım katsayısı (Deneysel) |
| θ_{TA} | Ortam sıcaklık katsayısı (Deneysel) |
| θ_w | Rüzgar hızı katsayısı (Deneysel) |

Alt İndisler

| | |
|----------------|--|
| A | aerodinamik direnç kuvveti (Newton) |
| A | ortam sıcaklığı (Kelvin) |
| A | araç hızı (m/sn.) |
| c | cismin yaydığı enerji (Watt/m ²) |
| c | cismin mutlak sıcaklığı (Kelvin) |
| CH | hücresinin karakteristik direnci |
| dir | direkt ışınım (W/m ²) |
| dif | difüz ışınım (W/m ²) |
| dön | dönüştürücü tarafından sağlanan güç (Watt) |
| eo | güneş sabiti (W/m ²) |
| f | foton enerjisi (eV) |
| g | güneş ışınımı (W/m ²) |
| I | ışınım katsayısı |
| L | fotoakım (Amper) |
| o | yüzeyin yata durumda aldığı ışınlar |
| o | güneş ile dünya arasındaki yıllık ortalama uzaklık (km.) |
| OC | açık devre gerilimi |
| p | panel alanı (m ²) |
| S | doyma akımı (Amper) |
| S | hücresinin iç direnci (Ohm) |
| S | suyun hacmi |
| SC | kısa devre akımı (Amper) |
| SH | şönt direnci (Ohm) |
| S _∞ | hesaplanan bir değer için doyma akımı (Amper) |
| şeb | şebeke tarafından alınan veya sağlanan güç (W) |
| T | toplam ışınım (W/m ²) |
| TA | ortam sıcaklığı (Kelvin) |
| Y | yansıma yüzdesi (%) |
| Y | yüzeyin eğim açısı (derece) |
| w | rüzgar hızı (m/sn.) |
| 0 | T ₀ sıcaklığındaki güneş hücresi verimi |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| MTEP | Milyon ton eşdeğeri petrol |
| MIT | Massachusetts Teknoloji Enstitüsü |
| PV | Fotovoltaik |
| IEA | Uluslar arası Enerji Ajansı |
| ISES | Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu |
| ASTM | Amerikan Test ve Malzeme Cemiyeti |
| A-silikon | Amorf silikon |
| BOS | Sistem bileşenleri |
| ŞBPV | Şebekeye bağlı fotovoltaik |
| EVA | Etil vinil asetat |
| MPPT | Maksimum güç noktası izleyicisi |
| AM | Hava kütlesi |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 2.1 | Dünya'nın sıcaklığının yıllara göre değişimi..... | 8 |
| Şekil 2.2 | Dalga boylarına göre ışıınım değerleri..... | 12 |
| Şekil 2.3 | Işıınların yüzeye gelişi..... | 17 |
| Şekil 2.4 | Mevsimplere göre güneşlenme durumu..... | 18 |
| Şekil 2.5 | Aylara göre güneş ışıınınmı değerleri..... | 19 |
| Şekil 2.6 | Işıınların yeryüzüne gelişi..... | 21 |
| Şekil 2.7. | Rankine güç ve yoğunlaşmalı soğutma çevrimi..... | 25 |
| Şekil 2.8. | Absorbsiyonlu soğutma sistemi..... | 26 |
| Şekil 2.9. | Güneş enerjisi ile tatlı su elde edilmesi..... | 27 |
| Şekil 2.10 | Yoğunlaştırıcı kolektör..... | 28 |
| Şekil 2.11 | Merkezi alıcılı güneş ısııı elektrik santrali..... | 29 |
| Şekil 3.1 | Basit bir PV sistem..... | 32 |
| Şekil 3.2 | Güneş hücresi..... | 32 |
| Şekil 3.3 | Tipik bir p-n eklemli güneş pili..... | 36 |
| Şekil 3.4 | Kadmiyum sülfür güneş pilinin yapısı..... | 37 |
| Şekil 3.5 | Güneş pilinin yapısı ve elektrik üretimi..... | 38 |
| Şekil 3.6 | P-n ekleminden akım üretilmesi..... | 39 |
| Şekil 3.7 | Bazı güneş pillerinin verim ve elektron-boşluk çiftinin oluşması için gerekli foton enerjisi grafiğı..... | 40 |
| Şekil 3.8 | Hücrelerin paralel veri seri bağlanması..... | 41 |
| Şekil 3.9 | Seri bağlamada akım ve gerilim değerleri..... | 42 |
| Şekil 3.10 | Paralel bağlamada akım ve gerilim değerleri..... | 42 |
| Şekil 3.11 | “Sıcak etki” olayının şematik gösterilmesi..... | 43 |
| Şekil 3.12 | Alternatif akım sisteminin yapısı..... | 45 |
| Şekil 3.13 | Doğru akım sisteminin yapısı..... | 45 |
| Şekil 3.14 | Modüllerin Belli bir eğim açısıyla sabit olarak yerleştirilmeleri..... | 46 |
| Şekil 3.15 | Modüllerin tek eksen hareketiyle güneşi izlemesi..... | 47 |
| Şekil 3.16 | Modüllerin iki eksen hareketiyle güneşi izlemesi..... | 47 |
| Şekil 3.17 | Yıllara göre birim enerji başına modül fiyatları..... | 49 |
| Şekil 3.18 | PV ve dizel jeneratör sistemleriyle elektrik üretiminin maliyet karşılaştırması..... | 50 |
| Şekil 3.19 | PV kaplama uygulanmış bir bina..... | 54 |
| Şekil 3.20 | PV kaplamalı binanın yandan görünümü..... | 55 |
| Şekil 3.21 | PV kaplamalı binanın inşaat aşamasında çekilmiş resmi..... | 55 |
| Şekil 3.22 | Yansıtıcı kullanılan ve kullanılmayan PV modüllerinde performans karşılaştırması..... | 59 |
| Şekil 3.23 | Monokristal ve amorf silikon pillerde pil sıcaklığı ve verim ilişkisi..... | 60 |
| Şekil 3.24 | Dalga boyu ile yansıtıcılık arasındaki ilişki (Silikon malzeme için)..... | 61 |
| Şekil 3.25 | Sabit ve güneşi iki eksenle hareketle izleyen sistemin enerji değerleri..... | 62 |
| Şekil 3.26 | Aylara göre elde edilen ŞBPV sistemi, PV dizileri ve dönüştürücü verimleri..... | 66 |
| Şekil 4.1 | Hidrojen ile çalışan bir araba..... | 69 |
| Şekil 4.2 | Toyota'nın ürettiğı “Prius” isimli hibrid otomobil..... | 70 |
| Şekil 4.3 | Ülkemizde yapılan ilk güneş arabası yarışının start anı..... | 77 |
| Şekil 4.4 | İstanbul Park'ın üstten görünüşü..... | 77 |
| Şekil 4.5 | Fireball II isimli güneş arabasının resmi..... | 79 |
| Şekil 4.6 | Nuna III İsimli aracın resmi..... | 80 |
| Şekil 4.7 | Aurora 101 isimli güneş arabasının görünüşü..... | 81 |
| Şekil 4.8 | Yarışı kazanan güneş arabası “Solar Miner IV”..... | 82 |
| Şekil 4.9 | “The American Solar Challenge 2005” yarışmasının ilk üçü..... | 82 |
| Şekil 4.10 | Bir güneş arabası resmi..... | 83 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Şekil 4.11 | Bir güneş arabasında enerji akışı..... | 85 |
| Şekil 4.12 | Hücrelerin kaplanması..... | 89 |
| Şekil 4.13 | Panellerin araca montajı..... | 90 |
| Şekil 4.14 | Çok tabakalı laminant yapı..... | 91 |
| Şekil 4.15 | Açılı bir yüzeydeki ışınım geometrisi..... | 93 |
| Şekil 4.16 | Düzlemsel olmayan panel alanına sahip bir güneş arabası..... | 94 |
| Şekil 4.17 | Bir güneş arabasında elektrik sistemi..... | 96 |
| Şekil 4.18 | Motor kontrolörü ve motor..... | 97 |
| Şekil 4.19 | Örnek bir güneş hücresinin I-V karakter eğrisi. | 99 |
| Şekil 4.21 | Volta pili..... | 100 |
| Şekil 4.22 | Tipik bir akü için şarj-deşarj eğrileri..... | 102 |
| Şekil 4.23 | Seri ve paralel bağlanmış bir akü devresi..... | 104 |
| Şekil 4.24 | Akım taşıyan bir kablodaki manyetik alan kuvveti..... | 105 |
| Şekil 4.25 | Aerodinamik direncin oluşması..... | 106 |
| Şekil 4.26 | Güneş arabası gövde ve şasisi..... | 108 |
| Şekil 5.1 | Açık devre gerilimi (VOC)..... | 110 |
| Şekil 5.2 | Kısa devre akımı (ISC)..... | 111 |
| Şekil 5.3a | Güneş hücresinin ışık almadığı durum..... | 113 |
| b | Güneş hücresinin ışık aldığı durum..... | 114 |
| Şekil 5.4 | Bir güneş hücresinin elektriksel modeli..... | 114 |
| Şekil 5.5 | $n = 1,5$ için elde edilen I-V karakteristiği..... | 119 |
| Şekil 5.6 a. | $n = 1.2$ için elde edilen I-V karakteristiği..... | 122 |
| b. | $n = 1.25$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 123 |
| c. | $n = 1.3$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 123 |
| d. | $n = 1.35$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 123 |
| e. | $n = 1.4$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 124 |
| f. | $n = 1.45$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 124 |
| g. | $n = 1.5$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 124 |
| h. | $n = 1.55$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 125 |
| i. | $n = 1.6$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 125 |
| j. | $n = 1.65$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 125 |
| k. | $n = 1.7$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 126 |
| l. | $n = 1.75$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 126 |
| m. | $n = 1.8$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 127 |
| Şekil 5.6 a. | $n = 1,31$ için elde edilen I-V karakteristiği. | 128 |
| b. | $n = 1,32$ için elde edilen I-V karakteristiği..... | 129 |
| c. | $n = 1,33$ için elde edilen I-V karakteristiği..... | 129 |
| d. | $n = 1,34$ için elde edilen I-V karakteristiği..... | 130 |
| Şekil 5.7 | Gerçek çalışma şartlarındaki I-V karakteristiği..... | 133 |
| Şekil 5.8 | Işınım miktarının azaldığı durum..... | 134 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|-----|
| Çizelge 2.1 | Sıcaklık ve yoğunluk değerlerinin Güneş yarıçapına bağlı değerleri..... | 5 |
| Çizelge 2.2 | Türkiye’de beklenen güç kapasitesi gelişimi..... | 15 |
| Çizelge 2.3 | Türkiye’de kurulu PV sistemler..... | 16 |
| Çizelge 2.4 | Bölgelere göre Türkiye’de Yıllık ortalama güneş ışınımı..... | 17 |
| Çizelge 2.5 | Bazı yüzeylerin yansıtıcılığı..... | 23 |
| Çizelge 2.6 | Gökyüzü durumuna göre ışınım değerleri..... | 23 |
| Çizelge 3.1 | Enerji üretim maliyetleri..... | 48 |
| Çizelge 3.2 | 6 kW gücünde Şebekeye bağlı PV sistemdeki maliyet yüzdeleri..... | 49 |
| Çizelge 4.1 | Bir güneş arabası ile popüler bir 4 çeker aracın karşılaştırılması..... | 67 |
| Çizelge 4.2 | Formula G-İstanbul Yarış sonuçları tablosu..... | 76 |
| Çizelge 4.3 | İstanbul Park’ın teknik özellikleri..... | 78 |
| Çizelge 4.4 | Cam-fiber, karbon-fiber ve çeliğin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri..... | 109 |
| Çizelge 5.1 | Bazı malzemelerin bant boşluk enerjisi..... | 112 |
| Çizelge 5.2 | $n = 1,2$ ila $1,8$ arasındaki değerler için elde edilen P_{max} , V_{max} ve I_{max} değerleri..... | 128 |
| Çizelge 5.3 | $n = 1,30$ ila $1,35$ arasındaki değerler için elde edilen P_{max} , V_{max} ve I_{max} değerleri..... | 130 |
| Çizelge 6.1 | Bazı güneş arabalarında elde edilen değerler | 138 |

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen başta sayın hocam Prof Dr. Olcay KINCAY'a, arkadaşlarım İTÜ Arş. Gör. İlker ÜSTOĞLU ile İTÜ Arş. Gör. Ahmet Can SABUNCU'ya ve manevi desteklerinden ötürü aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Güneş enerjisinin gelişen teknoloji ve istenilen düzeyde performansın elde edilmesi sonucunda yakın gelecekte en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında olması beklenmektedir. Mevcut teknoloji ile dahi fotovoltaik enerjinin kullanılmasının kaçınılmaz olduğu alanlar mevcuttur ve bu çalışmada da öncelikle güneş enerjisi ve güneş enerjisi ile fotovoltaik enerji üretimi incelenmesi ile birlikte bu alanlara da değinilmiştir. Temel bir sistem ve bileşenleri göz önüne alınarak ihtiyaca göre çeşitli ekleme veya çıkarmalar ile muhtelif uygulamalar adapte edilebilecek bir sistemin geneli tanıtılmıştır.

Fotovoltaik sistemin taşıtlarda kullanımına değinilmiş, böyle bir araçta bulunan çeşitli sistemlerde yaklaşımın nasıl olması gerektiği gösterilmiştir. 2005 Ağustos ayında Türkiye’de TÜBİTAK tarafından düzenlenen güneş arabaları yarışına katılım sırasında elde edilen birikimler yansıtılarak bir güneş arabası hazırlanırken ortaya çıkması muhtemel sorunlara yoğunlaşıp bu sorunların nasıl çözüleceğine dair yaklaşımlar verilmiştir.

Bir güneş arabası için çok değerli olan enerji kazanımının önemine ilaveten, doğru değerlerin elde edilebilmesi için kullanım şartlarındaki güneş hücresi performans değerlerinin hesabı yapılmıştır. Kullanım şartları olarak güneş ışınımı ve sıcaklığın güneş hücreleri üzerindeki etkisi çalışılmıştır. Bu hesaplama sırasında karşılaşılan çok değişkenli transandant denklemlerin çözümünde “Mathematica 5.1” adlı program kullanılmış olup gerekli program kodları da metin içerisinde verilmiştir. Bulunan değerler ile bu hesaplamaların yapılmadığı takdirde kullanılacak değerler karşılaştırılarak bu hesaplamaların getirisi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler : fotovoltaik (FV) enerji, güneş hücresi, güneş pili, güneş hücresi verimi, güneş pili verimi, sıcaklık etkisi, ışınım etkisi, pratikteki verim, uygulamadaki verim.

ABSTRACT

Even it is not so yet, solar energy is expected to be the on the top of the renewable energy resources in the close future after obtaining the desired performance with the devoloping technology. Even with the recent technology, there are some ares in that the use of solar technology is necessary, which is also explained in this study, after the expression of the solar energy and obtaining photovoltaic energy with this solar energy. In this connection, firstly solar energy and producing fotovoltaic energy from it was studied. Considering a basic system and it's components, a system which can be adapted to various applications by some modifications was explained.

The application of the fotovoltaic energy on vehicles was informed, the approach to the subsystems of such a vehicle is advised. The probable problems which can occur during manufacturing a solar car and solutions of those are also given, using the experience obtained during the solar car races which was organised by TUBITAK in August 2005.

In consequence to the importance of the limited energy available for a solar car, the calculation of the performance datas of a solar cell under the practical conditions was done. As practical conditions, the effect of the illimunation level and temperature on the solar cell is investigated. The multi variable transcendental equations faced during these calculations were solved with "Mathematica 5.1". The necessary program codes for the solution of those equations are given along the thesis text. In the conclusion part, the datas found were compared with the datas which were obtained disgarding the operational conditions and the benefits of these calculations were discussed.

Keywords : photovoltaic (PV) enerji, solar cell, solar cell efficiency, heat effect, illimunation effect, practical effiecieny, operational efficiency.

1. GİRİŞ

Güneş pilleri güneş ile elektrik bağımlı kuran en basit yapılardır. Bu sebeple de gün geçtikçe önemi anlaşılmakta ve kamuoyunun daha da ilgisini çekmektedir. Her ne kadar ülkemiz için bu ölçekte olmasa da, su pompalamadan hesap makinelerine, saatlerden taşıtlara kadar birçok alana giren bir PV (fotovoltaik) pil endüstrisi doğmuştur. Ülkemizde sadece binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde edilmesi konularında yoğunlaşan bu sektör özellikle TÜBİTAK'ın yıllık olarak düzenlediği ve ilki 2005 yılında gerçekleşen güneş enerjisiyle çalışan taşıtların yarışı ile gündemdeki yerini yavaş yavaş kazanmaya başlamış, ülkemizin güneşlenme açısından oldukça avantajlı bir kuşakta bulunması sebebiyle de önemli bir ivme kazanacak gibi görünmektedir.

Henüz istenen performansla çalışmayan bu piller, bu sebepten dolayı her alana uygulanma olanağından yoksundur, fakat yine de önemli kullanım yerleri vardır. Teknolojinin zamanla gelişmesi ile şu haliyle bile taşıtlarda kullanımı kısmen mümkün olan bu güneş pillerinin ileride günlük hayatımızda ne kadar büyük bir kullanım yerinin olacağını tahmin etmek hiç de zor değildir. Hatta dağlık ve yerleşimden uzaktaki bazı uygulamalar için, mevcut düşük verimli halleriyle bile kullanımları bir tercih değil gereksinimdir. Hatta bu tezde de değinildiği üzere (3. bölüm), elektrik ihtiyacının pik noktaya çıktığı bazı zamanlarda (soğutma gereksinimi olan yaz zamanındaki gibi) şebekeye bağlı bir destek sistemi olarak dahi kullanılmaları söz konusudur.

Bunların yanı sıra fotovoltaik enerjinin bir de stratejik önemi mevcuttur. Her geçen gün petrol fiyatının artması ve rezervinin azalması, dünyayı günden güne bir enerji krizine götürmektedir. Bugün de dünyada çıkan savaşlara bakıldığında arka planda enerji kaynaklarının rolü açıkça görülebilmektedir. Buna paralel olarak artan dünya nüfusu ve bunun paralelinde büyüyen sanayi ile artan enerji ihtiyacı da bir darboğaz oluşumunu tetiklemektedir. Bu sebeple strateji sahibi ülkelerin bu konuda daha da ilgili olduğu görülmektedir.

Çevresel kazanımlar da güneş pillerinin önemindeki en önemli faktörlerden biridir. Fosil kökenli yakıtlar ile ortaya çıkan ve ileride de çıkması muhtemel olan sorunlar günümüzde detaylarıyla bilinmektedir. Yalnız günümüzde ekonomik çıkarlara daha fazla önem verildiği için sadece çevresel yaklaşımlarla konunun yaygınlaşmasını sağlamak pek mümkün görülmemektedir, ta ki felaket boyutunda çevresel olaylar yaşanana dek. Böyle bir sonuçtan sonra yenilebilir enerji kaynaklarına yönelişin insanlığa ne getireceğini bilemediğimizden dolayı şimdilik yapılması gerekenin konuyla ilgili çalışmalara ağırlık verilerek, zaten birçok konuda gündelik hayatımız için kullanılabilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük hayatımızın tamamına yayılabileceği şekilde geliştirilmesidir.

Bu pillerde çeşitli hammaddeler kullanılabilir. Bunların en önemlisi silisyumdur. Hem verim değerleri açısından hem de ekonomiklik açısından değerlendirildiğinde silisyumun neden en yaygın güneş pili hammaddesi olduğu anlaşılmaktadır. Aslında hem çok daha yüksek verimler sağlayan hem de çok daha ucuza mal olan hammaddeler mevcut ise de, günümüz teknolojisi ile uygulamalar için genellikle optimum olan hammadde silisyum olarak ortaya çıkmaktadır.

Literatürde PV pillerle ilgili çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Bunlardan konumuzla da ilgili olanlara metin içerisinde değinilecektir. Bu çalışmalarda genel olarak uygulamanın nasıl yapılacağına dair bilgiler verilmektedir. Genel olarak uygulama alanının günlük yaşamdaki alanlar olduğu gözlenmektedir, konut, bina elektriği gibi. Hücrelerin performansı üzerine de birçok çalışma mevcuttur. Bilindiği gibi PV pillerin performanslı çalışmasına etki eden birçok faktör vardır ve bu konular hakkında da yardımcı olabilecek kaynaklara rastlanmıştır. Fakat metin içerisinde de bir kısmına değinilmiş olan bir kısım deneysel çalışmanın dışında bu tezin uygulaması olan sıcaklığın hücre verimine etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Genel olarak deneysel çalışmaların veya kurulu bir sistemin performansını ölçen çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Konuyla ilgili kitaplar ise mevcut teknoloji ile PV hücrelerin yapılarını, kullanımlarını ve ilave olarak da düzenek ile ilgili yardımcı elemanların açıklanması ve bunların kombine edilmesini detaylı bir şekilde vermektedirler.

PV pillerin taşıtlara uygulanması ise çok farklı bir konu sayılabilir. Literatüre bakıldığında ise PV enerjinin taşıtlarda kullanımı ile ilgili çok az sayıda kaynak olduğu gözlenmektedir. Bu konuda da ticari çıkarların olması sebebiyle özellikle yurtiçinde konuyla ilgili kayda değer bir çalışmaya rastlanamamıştır. Zira ülkemiz için bu konu oldukça yeni sayılabileceğinden böyle çalışmaların olmaması çok da şaşırtıcı değildir. Gerçi yurtdışında da yukarıda belirtildiği üzere ticari çıkarlar söz konusu olduğundan (know-how) çalışmanın detayları ile ilgili kaynak bulmak çok kolay değildir. Var olan kaynaklar ise daha çok elde edilen verilerin yayınlanması ile oluşmuş eserlerdir. Fakat konuyla ilgili amatör yaklaşımların da olduğu unutulmamalıdır, zira literatüre geçecek seviyede sayılamasa da internette konuyla ilgili yol gösterebilecek çalışmalara rastlamak mümkündür.

Konu taşıtlar olunca, özellikle de söz konusu taşıt güneş enerjisi ile çalışıyorsa, yani kullanabileceği çok sınırlı bir miktar enerji mevcut ise, bu enerjinin hesabını iyi yapılması gereklidir. Genelde yapılan bir yanlış ise hedefler için gerekli enerjinin hesaplanmasından sonra katalog vasıtası ile bu enerjiyi sağlayabilecek PV hücrenin seçilmesidir. Böyle bir yaklaşım ile hiç umulmayan sonuçlar ile karşılaşılması kaçınılmazdır. PV pil üretici firmalar kataloglarında belirli şartlar altında yapılmış deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş değerleri vermektedirler. Buna göre de belli şartlar altında geçerliliği olan bu değerler, gerçek kullanım koşullarına uymamakta ve hesaplamalarla elde edilecek değerler, gerçek değerlerden uzak olmaktadır. Bunun önüne geçilebilmesi için öncelikle kullanım şartlarının belirlenmesi ve sonra da sipariş edilmesi düşünülen hücrenin bu şartlar altında istenilen performansa cevap verip veremeyeceğinin incelenmesi doğru olacaktır. Bu tezin 5. bölümünde ise böyle bir hesaplama yapılmış olup katalog değerleri ele alınan bir güneş hücresinin, bizim kullanacağımız uygulama şartlarındaki performansı ve akım-gerilim karakteristiği elde edilmiştir. Sonuçlar ve öneriler kısmında ise çalışma ile elde edilenler ve bu hesabın bize getirisinin neler olduğu tartışılmıştır.

2. GÜNEŞ VE ELEKTRİK

2.1 Tükenmez Enerji Kaynağı, Güneş

Güneş kendi sistemindeki gök cisimlerine enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Petrol ve kömür gibi klasik enerji kaynaklarının yanı sıra, yeni enerji türlerinin kaynağı da güneştir. Örneğin yeryüzündeki sıcaklık farklarından meydana gelen rüzgar ile elde edilen enerji gibi son teorilere göre güneşten koptuğu varsayılan dünyanın magmasından kaynak alan jeotermal enerji de aslen güneş kaynaklıdır denilebilir. Güneş enerjisi doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak akarsu gücünü yaratmaktadır. Hatta fosil yakıtların ve biyokütle niteliğindeki materyallerde de birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir.

Peki ya Güneş nedir ve enerjisi nereden gelmektedir? Yarıçapı dünyanınkinin 109 katı ve kütlesi dünya kütlesinin 330.000 katı olan yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı gaz küresi olan Güneş, Dünya'ya $1,496 \times 10^8$ km. uzaklıkta olan bir yıldızdır. Doğal bir füzyon reaktörü olan bu yıldızda saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 3.86×10^{26} J (joule), yani 386.000.000 EJ enerji açığa çıkmaktadır. (1EJ = 22,7 MTEP, milyon ton eşdeğer petrol) Bu yıldızın daha milyonlarca yıl ışıyacağını göz önünde bulundurursak dünya için sonsuz bir enerji kaynağı olarak adlandırabiliriz. Güneşten bir saniyede salınan enerjinin güç olarak karşılığı $3,86 \times 10^{20}$ MW' tır. (1MW = 10^6 W) Dünya'nın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü ise 178 trilyon kW düzeyindedir. Günümüzde insanlığın yıllık ticari enerji ihtiyacı 11 TW kadardır (1 TW = 10^{12} W). Güneşten gelen güç ise bu miktarın 16.000 katından çoktur. Ayrıca bu güç yeryüzünde kurulu elektrik santrallerinin 61.000 katı, nükleer santrallerin ise 527.000 katı kadardır. Dünyanın tüm yüzeyine bir sene boyunca düşen güneş enerjisi ise dünyanın bilinen kömür rezervinin 157, petrol rezervinin ise 516 katıdır (Ültanır, 1996).

$1,39 \times 10^9$ m. çapındaki Güneş'in merkezindeki sıcaklığın $8 \div 40 \times 10^6$ K olduğu tahmin edilmektedir. Yoğunluğu ise suyunkinin yaklaşık 100 katı kadardır. Güneş'in yarıçapının R_G olduğu varsayılırsa, toplam enerjinin yaklaşık %90'ının $0,23R_G$ 'lık alanda üretildiği düşünülmektedir ki bu bölge kütle olarak Güneş'in %40'ını teşkil etmektedir. Merkezden $0,7R_G$ uzaklıkta sıcaklık 130.000 K, yoğunluk ise 70 kg/m^3 kadardır. Bu değerler 0.7 ile $1R_G$ arasında 5.000 K ve 10^{-5} kg/m^3 mertebelerine kadar düşmektedir (Duffie ve Beckman, 1980). Bu değerleri aşağıda Çizelge 2.1 'de tablo halinde görebilmekteyiz.

Çizelge 2.1 Sıcaklık ve yoğunluk değerlerinin Güneş yarıçapına bağlı değerleri.

| Yarıçap Mesafesi | Sıcaklık (K) | Yoğunluk (kg/m ³) |
|------------------|------------------------|--------------------------------|
| 0-0.23R | $8\div 40 \times 10^6$ | 10^5 |
| 0.23-0.7R | 130.000 | 70 |
| 07-1R | 5.000 | 10^{-5} |

Günümüzde tüketilen toplam enerjinin %85'i fosil yakıtlardan (termal ve nükleer) elde edilmekte iken sadece kalan %20 doğaya zarar vermeyen yollarla üretilebilmektedir. Bunun içinden hidrolik vasıtasıyla elde edilen kısmı da çıkarırsak konumuz olan güneş enerjisinin de dahil olduğu rüzgar, jeotermal ve okyanus enerjisi gibi doğal enerji kaynaklarının payı %1'in dahi altında kalmaktadır.

Bu olumsuz tabloya rağmen güneşin tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, gaz, duman, kükürt ve radyasyon gibi zararlı atıklarının olmayışı, doğabilecek ekonomik ve siyasi sorunlardan bağımsız olması, mahalli uygulamalara elverişli olması, işletme masraflarının az olması, teknolojisinin nispeten basit olması ve çok geniş bir coğrafi uygulama alanına sahip olması gibi avantajları son yıllarda güneş enerjisi üzerine olan araştırmaları bir hayli yoğunlaştırmış ve çok tatmin edici olmasa da önemli uygulama alanları bulmasına vesile olmuştur.

2.2 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

İlk insanlar güneşi doğaüstü görerek ona tapmışlardır. Roma imparatoru Numa Pompilus döneminde (M.Ö. 741-671) konik metalik kaplarla odaklandırılmış güneş ışınlarına ateş tanrıcısının kutsal ateşi olarak bakılmaktaydı. M.Ö. 212'de Yunan fizikçi Archimedes aynalar vasıtası ile odakladığı güneşle Romalıların gemilerini yakmayı başarmıştı (Kreider, 1982).

A.. Kircher'in yakıcı aynalar yöntemi ile 1600'lerde odun yığınlarını tutuşturması güneş enerjisi için bir başlangıç noktası olarak kabul edilebilir. Bu tip araştırmalar 18. yüzyıl sonlarına kadar metalleri ergitmeye kadar uzanan çalışmalara ulaşmıştır. N. Saussure ısı kutusu denilen ilk güneş pişiricisini ortaya çıkarmıştı. 1837'de ise güneş pişiricisi ile yemek pişirilmişti. Henry Bessemer ise demir ergitebilmek için güneş fırını geliştirek bu alanın

sanayide kullanımında ilk örnekleri oluşturmuştur. Güneş pillerinin kökeni ise 1839 yılında Becquerel'in elektrotlar daldırılmış bir elektrolite ışık düştüğünde bir gerilim endüklendiğini göstermesi ile olmuştur. Benzer bir etkiyi Adams ve Day 1877'de katı selenyum üzerine ışık düşürerek göstermiştir (Fahrenbruch, 1983).

1870 yılında John Ericson, güneşli sıcak hava motorunu yaparak patentini almıştı. 1872'de ise Kuzey Şili'de 4.700 m² alan kaplayan güneşli damıtma tesisi kurulmuştu. Tesisten günde 23 m³ tatlı su elde edilmekteydi. Asıl amacı nitrat mineralleri elde etmek olan tesis nitrat minerali tükeninceye kadar 40 yıl süreyle kullanılmıştır. 19. yüzyılda buhar üretmek için güneş enerjisi kullanımına girilerek 1878 yılında Paris'te güneşle çalışan buharlı matbaa makinesi geliştirilmiştir. 1901 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde güneşli buhar makinesiyle çalışan bir su pompası tesisi kurulmuştu. 1913'de Mısır'da Nil suyunu pompalamak için 74 kW gücünde olan güneşli pompa tesisi inşa edilmişti.

Massachusetts Institute of Technology'deki (MIT) çalışmalar sonucunda 1949 yılında ilk güneş evi yapılmıştı. 1954'te ABD'de Bell Telefon Laboratuvarları'nda ilk fotovoltaik güneş pili üretilmişti.

1950'li yıllar güneş enerjisinin kullanımının yayıldığı yıllar olarak anılabilir. ABD, Japonya ve İngiltere'de güneşli su ısıtıcısı kullanımına başlanmıştır. Bu uygulama Akdeniz kuşağında ise Fransa ve İtalya'da başlamıştır. 1974-1978 döneminde dünyada görülen petrol krizleri ve fiyat artışları sebebiyle güneş enerjisi çalışmaları daha da ivmelenmiş ve günümüze kadar gelinmiştir (Bücür, 2001).

2.3 Temiz Enerji

Dünyada enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %5 artmakta ve fosil yakıt rezervi de hızla azalmaktadır. En iyimser tahminlere göre dahi önümüzdeki 50 yılda petrol, 67 yılda doğalgaz, 235 yılda ise kömür rezervleri tükenecektir (Korkmaz, 2001).

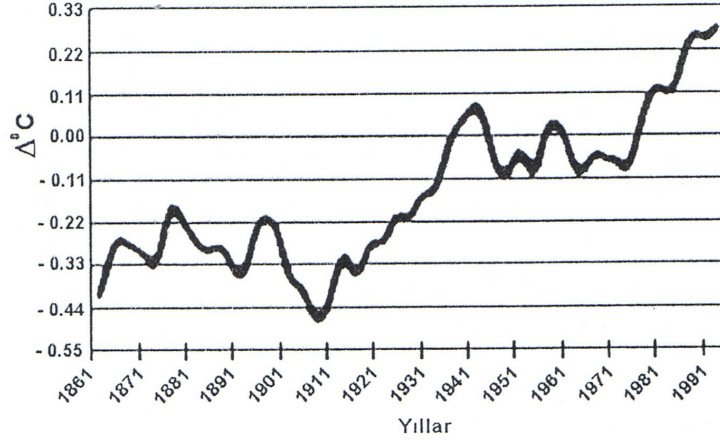
Fosil yakıt kullanımı sebebiyle de dünyadaki ortalama sıcaklık yıldan yıla artmakta ve sadece hava kirliliğine değil onun yanında da tüm dünyada şahit olunan sel, fırtına doğal afetler de artmaktadır. Bu etkenler de insanoğlunu fosil yakıt rezervlerinin bitmesini beklemeden temiz enerji kaynakları kullanımına yöneltmektedir. Şu halde güneş, rüzgar, su ve biyokütle gibi temiz ve sınırsız enerji kaynakları önümüzdeki yıllarda çok hızlı olarak önem kazanacaktır (Lorenzo vd., 1994).

Fosil yakıt kullanımının bir de sosyal maliyeti vardır ki bu genelde göz ardı edilir. Bu yakıtların kullanılması neticesinde meydana gelen doğal afet ve hastalıkların oluşturduğu maliyetler düşünülürse ürkütücü sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Buna göre fosil yakıt bazlı bir elektrik santralının sosyal maliyeti (doğal afet ve hastalıklar gibi zararlı etkilere harcanan maliyet) 0,27 \$/kWh, rüzgar santralinde 0,01 \$/kWh ve güneş santralinde ise hemen hemen sıfırdır. (Markvatt, 1994)

2.4 Enerjinin Çevresel Etkileri

Enerji ve çevre çoğu zaman çatışmakta olan iki kavram gibi görülmüşse de, enerji ve çevre ilişkisinin optimal bir dengede uyuşmasının mümkün olduğu söylenebilir. Bu dengeyi sağlamak için tek ihtiyaç biraz daha zaman gibi gözükmekte, zira zamanın ilerlemesiyle temiz enerji kaynaklarından yeterli şekilde faydalanmayı sağlayacak teknolojik gelişimin tamamlanacağı düşünülmektedir.

Hava kirliliği yaratan azot oksit ve hidrokarbonların %50'si, kükürt oksitlerin ise %90'dan fazlası fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan karbondioksitin miktarı son yüzyıl içerisinde yaklaşık %30 artmıştır. Aslında karbondioksitin kimyasal olarak sağlığa bir zararı olmamakta, sera etkisini ortaya çıkarması sebebiyle önemli bir sorun olduğu bilinmektedir. Önümüzdeki 50 yıl içinde de bu miktarın günümüze oranla %40 artma ihtimali öngörülmektedir. Bu artışın oluşturduğu sera etkisi nedeniyle son yüzyılda dünya ortalama sıcaklığı 0,7 artmıştır. Bu miktarın 1 K yükselmesi iklim kuşaklarında görülür değişimlere, 3 K yükselmesi ise buzulların erimesine sebep olacaktır. Dünyanın sıcaklığının değişimi yıllara bağlı olarak aşağıda Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Batman, 2001).



Şekil 2.1 Dünya'nın sıcaklığının yıllara göre değişimi.

Çevresel zararlar güç üretimi günümüze dek hep doğru orantılı olmuştur. Arıtma tesislerinde gösterilen özensizlik sebebiyle mevcut güç üretim tesisleri, yenilenebilir enerji üretim tesislerine oranla daha tercih edilebilir durumdadırlar, zira yatırım maliyetleri hesabında arıtma tesisi maliyetleri göz ardı edilmektedir. Halbuki böyle bir yatırımın yapılmasından önce oluşacak çevresel zararların bir etüdü yapılmalıdır. Söz konusu etütte çevresel ve güvenlik ve işsizlik gibi çevresel olmayan olası muhtelif zararlar da hesaba katılmalıdır. Tabii burada asıl olan insan sağlığına önemli derecede zarar verebilecek olan çevresel zararlardır. Bunlarında en başında da fosil yakıt tüketiminin sonuçları ve nükleer enerji santrallerindeki olası riskler sıralanabilir. Sera etkisi, küresel ısınmanın yol açtığı mevsimsel değişiklikler ve asit yağmurlarıyla birlikte ormanların yok olması günümüzde şahit olunmuş sorunlar olarak söylenebilir. Radyasyon etkisinin ise yakın zamanda da görüldüğü gibi ne kadar ağır ve uzun süreli tahripler ortaya çıkardığı malumdur.

Konumuz olan fotovoltaik (PV) piller ise genelde çelik endüstrisinde kullanılan silisyum ve türevlerinden oluşur. Metalürjik imalı esnasında ortaya çıkan silikon tozu muhtelif hastalıklara yol açabiliyor olup saflaştırma sırasında da silan gibi tehlikeli materyallerin ortaya çıkmasına vesile olur (Stone, 1993). Bir PV ünitesinde diğer elemanları çelik, alüminyum bakır ve muhtelif elektronik donanımlar oluşturur. Bu malzemeler genel olarak endüstride kullanılan standart malzemelerdir. PV yapımı sırasında kullanılan tesislerin de çevreyi kirletme ve sera etkisini tetiklemeleri göz ardı edilemez.

Sonuç olarak PV sistemleri de çalışma sırasında yok olmasında çevresel tehlikelere yol açar, ancak silikonun işlenmesi esnasında olabilecek zararlar mikro elektronik endüstri ve kontrol üniteleri yapımında karşılaşılan zararlara eşdeğerdir. Silisyum ise çok stabil ve dengeli enerjiye sahip bir elementtir. Bu sebeple herhangi bir tehlikeye sebep olması beklenmez. PV sistem yapımında kullanılan tesislerin ortaya çıkardığı zararlar ise diğer enerji üretim santralleriyle karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek kadar küçük bir paya sahiptirler. Özellikle günümüzde de ince film kaplama teknolojisinin sürekli gelişmekte olması da yakın gelecekte bu tehlikenin de ortadan kalkacağına göstergesidir.

Bugün yaygın biçimde kullanılan güneşli su ısıtıcıları, mimari yapı planlanırken ele alınmadığından görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Ancak bu diğer sayılan çevre zararlarını yanında ihmal edilebilecek kadar önemsiz kalmaktadır. Bu sorun PV'lerde de ortaya çıkmakta olup çevrim verimlerinin düşüklüğü nedeniyle aynı zamanda büyük alan kayıpları da söz konusu olmaktadır. Fakat bu dezavantaj da engel oldukları 2.275-3.750 ton/MW CO₂ atılımı göz önüne alındığında ihmal edilebilecek niteliktedir. Güneş termik santralleri için alan ihtiyacı 0,006-0,026 km²/MW olarak belirtilebilir. Gerçi bu değer rüzgar tarlaları ve barajlı hidroelektrik santrallerle karşılaştırıldığında çok da fazla değildir. Bunun yanında güneş termik santrallerde odaklı kolektör kullanılması ışık kirliliği oluşturarak göz sağlığına olumsuz etkilemekte, yakın yörede yansımalarından dolayı radyasyon artışı ve su-buhar dışında ısı transfer akışkanı kullanılan sistemlerde bu akışkanın oluşturabileceği zararlar ve kaza olasılıkları vardır (Markvart, 1994).

Yukarıda günümüzde kullanılan enerji kaynaklarından çok güneş enerjisi sistemlerinin dezavantajlarından bahsedilmiştir, zira diğer enerji üretim metodlarının zararlarının yaygın olarak bilindiği kabul edilmiştir. Bu da ilk etapta güneş enerjisi sistemlerinin karşıtı bir görüş oluştursa da tam tersine güneş enerjisi sistemlerinin dezavantajlarının tamamıyla anlatılıp, bu halde bile fosil kaynaklı enerji üretiminden katlarca daha çevresel olduğu vurgulanmak istenmiştir.

2.5 Güneş Radyasyonu

Güneş $1,39 \times 10^6$ km. çapında $2,2 \times 10^{26}$ ton ağırlığında 1.41 g/cm^3 yoğunluğunda sıcak gaz topluluğundan meydana gelmiş orta büyüklükte bir yıldızdır. Bu gaz topluluğunun %75'i hidrojen, %24'ü helyum, kalan %1'i ise diğer elementlerden oluşur. Çekirdek sıcaklığı $(13 \div 20) \times 10^6$ Kelvin, yüzey sıcaklığı ise 5.762 Kelvin'dir. Dünyadan yaklaşık $1,5 \times 10^8$ km. uzaklıkta olan güneşin ışınlarının dünyaya gelmesi yaklaşık 8,33 dakika sürmektedir (De Vos, 1992).

İlk zamanlarda kimyasal bir olay sanılan güneş enerjisinin açığa çıkması, daha sonralarda uranyum kaynaklı olarak düşünülmüştür. Ancak 1936 yılında Carl Von Weisecker güneş enerjisinin füzyon olayı sonucu meydana geldiğini iddia etmiş ve devamında yapılan çalışmalarla bu fikir doğrulanmıştır. Buna göre hidrojen atomları birleşerek helyuma dönüşür ve bu reaksiyon sonucunda da enerji açığa çıkar. Bir saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığında $3,86 \times 10^{26}$ joule enerji açığa çıkmaktadır. Bu ışımanın ise yaklaşık 4-5 milyar yıl süreceği tahmin edilmektedir.

2.5.1 Stefan-Boltzman Kanunu

Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6.000°C olan güneş Stefan-Boltzman kanununa göre çok yüksek bir değerde radyasyon yaymaktadır. Bu kanuna göre;

$$E_c = \sigma \cdot T_c^4 \quad (2.1)$$

Bununla birlikte bir cismin sıcaklığı arttıkça yayılan radyasyonun dalga boyu da azalmaktadır.

Bu kuralı irdeleyen Wien kanunu ise;

$$\lambda_{\max} = a / T \quad \text{şeklindedir.} \quad (2.2)$$

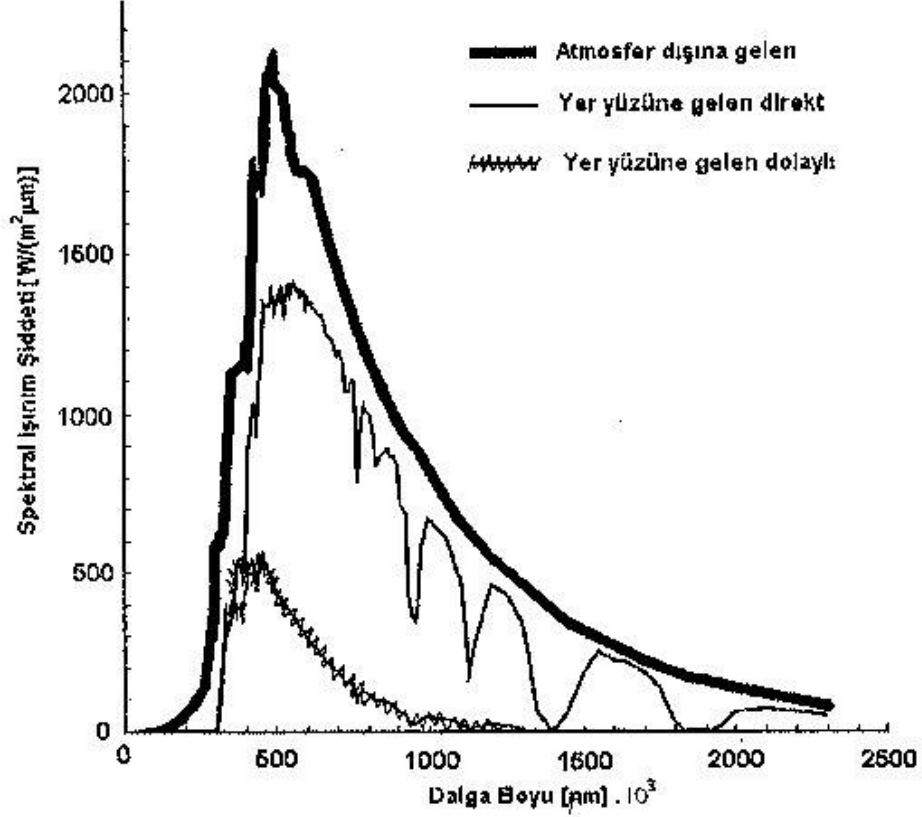
2.5.2 Güneş Işıklarının Yapısı

Işık, evrenin içerisinde elektromanyetik dalgalar halinde yayılan fotonlardan meydana gelmiştir. Enerji evrende dalgalar halinde yayılır. Bir su üzerine dokunulduğunda oluşan dalgacıklar, suya verilen enerjinin dalgalar halinde yayılmasıdır. Işık dalgaları da bunun benzeri olarak güneş enerjisini taşırlar. Diğer dalgalardan farklı olarak elektrik ve manyetik alanların oluşturduğu bir dalgadır.

Güneş ışınları dünyamıza farklı frekanslarla gelirler. Bilindiği üzere frekans birim zamanda geçen dalga sayısıdır ve Herz olarak ölçülür. Göz ile görülebilen ışığın frekanslarındaki değişiklik renkleri oluşturmaktadır. Işıpta bulunan enerji frekansıyla doğrudan alakalıdır. Yüksek frekanslar yüksek enerji, alçak frekanslar ise alçak enerji seviyelerine sahiptir. En yüksek enerji seviyesine sahip dalgalar Gama ışınları, en düşük olanları ise radyo dalgalarıdır. Görülebilen ışık dalga aralığında ise en yüksek enerji seviyesine sahip olan menekşe, en düşük olanı ise kırmızı ışıktır.

Güneş enerjisi de uzaya elektromanyetik ışınım (radyasyon) şeklinde yayılır. Dalga boyu 0,2-3 µm arasında olan bu akım kısa dalgalı bir ışınımdır. Güneş spektrumu 3 ana bölgeden oluşmaktadır. Dalga boyu 0,4 µm'den küçük olan ultraviyole (morötesi) bölgenin güneş ışınımındaki payı %9'dur. Dalga boyu 0,4 ile 0,7 µm arasındaki bölge görünür ışıktır. Görünür ışık, güneş ışınımı içerisinde %45'lik bir bölümü kapsar. Dalga boyu 0,7 µm'den büyük olan infrared (kızılötesi) bölgenin payı ise %46'dır ve güneşin ısıtıcı etkisi buradan kaynaklanır (Ültanır, 1996). Dalga boyu açısından bakıldığında Güneş 6.000 K (Kelvin) sıcaklıkta ışınım yapan bir kara cisim gibidir. Aşağıda Şekil 2.2'de atmosfere ve yeryüzüne dalga boylarına göre gelen ışınım değerlerini görebilmekteyiz.

Dünya atmosferinin üzerine ulaşan güneş ışınımı 1.353 kW/m^2 'dir. Yeryüzüne ulaşan miktar ise en fazla, $0,3-3 \text{ }\mu\text{m}$ dalga boyları arasında 1 kW/m^2 'dir. Zaman ve iklime bağlı olmak kaydıyla, 100 m^2 alanlı bir düzlemsel kolektörün %40 verimle çalışıldığı düşünülürse, bir günde yaklaşık 180 kWh enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır ki bu da insan ağırlığında taşkömürü eşdeğerindedir (Ültanır, 1996)



Şekil 2.2 Dalga boylarına göre ışınım değerleri.

2.6 Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi geçen yüzyılın ikinci yarısında kullanılmaya başlasa da asıl teknolojik atılımların 1970’lerde ortaya çıktığı görülmektedir. Günümüzde artık güneş mühendisliği dalı doğmuş olup bu teknolojiye öncülüğü ABD ile Rusya yapmakta ve Japonya ile Fransa da onları takip etmektedir. Geleceğin bu enerjide olduğunu gören günümüz dev petrol şirketleri bu alana da girmişlerdir. Bunun yanında Birleşmiş Milletler ve Dünya Bankasının da destek olması, yine de yetersiz olsa da dünyanın bu teknolojiye verdiği önemi göstermektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) da içlerinde maalesef ülkemizin bulunmadığı birçok ülkenin desteklediği güneş enerjisi teknolojisini geliştirme araştırmalarını sürdürmektedir.

Yaşanılan enerji bunalımları güneş enerjisi çalışmalarını etkileyerek özellikle yapılarda aktif ve pasif ısıtma, fotovoltaiik uygulamalar ve güneş-hidrojen sistemi (geleceğin yakıtı olan hidrojenin sudan elde edilmesi) gibi alanlarda yoğunlaşmaya sebep olmuştur. 1970'lerin sonlarında Kaliforniya çöllerinde kurulan “Solar One” güneş termik santrali bu konuda bir milat olarak görülebilir. Akabinde Fransa, Rusya, İspanya, İtalya ve Japonya’da da benzer santraller kurulmuştur. 1980’lerin başlarında ise fotovoltaiik (PV) elektrik üreteç sistemleri sadece haberleşme sistemlerine güç kaynağı olarak kullanılmaktan öteye geçip ısı pompası ve konutların elektrik ihtiyaçlarının sağlanmalarında da kullanılmakta idi. 1981 yılında fotovoltaiik pillerin ürettiği elektrikle çalışan “Solar Challenger” adlı ilk pervaneli güneş uçağı Manş Denizi’ni aştı. Bu tür piller daha sonra da otoların çalıştırılmasında kullanılacaktı.

Dünya Enerji Konseyi’nin 1992 raporuna göre kurulu PV güçte ABD 12MW ile başı çekerken 1 MW üzeri kurulu güce sahip olan ülkeler arasında Almanya, Avustralya, Brundi, Çin, Fransa, Gana, İspanya, Japonya, Meksika ve Norveç de vardı. Ek 1-A ve Ek 1-B’deki dünya üzerinde güneş enerjisi değerleri ile ülkemizin güneş ışıını değeri karşılaştırıldığında bu sıralamayla olan tezat görülebilmektedir.

Fosil kaynaklı enerji kaynakların hızla tükenmekte olduğu günümüzde bu kaynakların kullanılarak enerji üretilmesinde meydana gelen ekolojik zararlar bugün enerji konusunda acil olarak bir şey yapılması gerektiği gerçeğine su yüzüne çıkarmaktadır. Yapılacak şeylerin başında ise şüphesiz ki temiz enerji kaynaklarına yönelmektir ki bunları da sıralamaya kalkarsak şüphesiz ki güneş enerjisini en başlara koymamız gerekir.

Türkiye’de temel enerji kaynakları olarak petrol, kömür, doğalgaz, ahşap ve hidrolik sıralanabilir. Bu hammaddeler kullanılarak kendi enerji ihtiyacının yarısına yakın bir miktarı karşılayabilmektedir (Korkmaz, 2001). Bu hammaddeler için her yıl önemli harcamalar yapan ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağı olarak hidrolik enerji ve küçük ölçekli su sızıtma kullanılan güneş kolektörleri örnek verilebilir.

Güneş enerji sistemlerinde enerji hammaddesinden bağımsızlık, doğal afetlere karşı güvenlik ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi merkezi enerji üretiminden kurtulmak bir avantaj olarak gözlenmektedir. Ayrıca bu sistemlerde taşınabilirlik, bakım masraflarının azlığı, atık olmaması ve tabii ki çevresel zararlarının olmaması da birer avantajdır.

Günümüzde sınırsız ve sorumsuzca enerji kullanımının yerini gitgide çevreye saygılı ve ihtiyaç odaklı enerji üretim ve tüketimi almaktadır. Bu da şimdilerde refah düzeyinin bir göstergesi olan enerji sarfiyatının yerini yakın gelecekte verimli enerji kullanımının alacağını işaret etmektedir.

Coğrafi olarak 36-42° kuzey enlemleri arasında yer alan Türkiye güneş kuşağı içerisinde olup yıllık güneşlenme süresi 2.609 saat iken yaz aylarında aylık 350 saatlere çıkmaktadır. Tüm yüzeyine yılda düşen güneş enerjisi ise 3.517 EJ olarak hesaplanmıştır ki bu değer de kurulu elektrik santrallerinin gücünün 5.300 katıdır.

Türkiye enerji sektöründe devletin sahip olduğu enerji kuruluşlarını özelleştirerek bir değişim politikası sürdürmektedir. Öteki taraftan da Avrupa standartlarını sağlamak açısından da adaptasyonlara ihtiyaç duymaktadır. Sınırlı enerji kaynakları sebebiyle üretimin tüketime oranı azalmaktadır. Şu anki oran %33 iken, 2010'da %30, 2020'de ise %26'lara kadar düşmesi tahmin edilmektedir (Oğulata, 2003). Bu da dışarıdan daha çok enerji kaynağı ithal edilmesi manasına gelmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına, özellikle de rüzgar ve güneş enerjisine, biraz daha eğinilmelidir. Diğer enerji üretim yöntemleriyle de sorun ortadan kaldırılabiliyor olsa da bu yöntemle dışarıya bağımlılık gitgide artıyor olacaktır. Elektrik tüketimi 1990 ile 2000 arasında ortalama olarak yılda %8.5 artmış, 2001'de ise ekonomik krize bağlı olarak %1,2 düşmüştür. Fakat müteakip yıllarda da kriz öncesi oranların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu sebeple elektrik üretimi hızla arttırılmalı, hemen hemen 2 katına çıkarılmalıdır. 2010 ve 2020 yılları için beklenen güç kapasite gelişimi çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Türkiye’de beklenen güç kapasitesi gelişimi (Çelik, 2004)

| Yakıt Cinsi | 2010 | | 2020 | |
|------------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Kurulu Kapasite (MW) | Üretim (GWh) | Kurulu Kapasite (MW) | Üretim (GWh) |
| Kömür | 16.106 | 104.035 | 26.906 | 174.235 |
| Doğal Gaz | 18.856 | 125.548 | 34.256 | 225.648 |
| Fuel Oil ve Dizel | 3.125 | 17.993 | 8.025 | 49.842 |
| Nükleer | 2.000 | 14.000 | 10.000 | 70.000 |
| Hidro ve Yenilenebilir | 24.982 | 85.719 | 30.031 | 104.043 |
| Toplam | 65.069 | 347.294 | 109.218 | 623.768 |

Türkiye’de güneş enerjisi çalışmaları 1960’lı yıllarda muhtelif üniversitelerde başlamış olup bu dönemde ilk yerli yapım su ısıtıcıları üretilmiştir. 1973 yılında güneş enerjisinin Türkiye’de kullanılması için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı öncülüğünde Güneş Enerjisi Koordinasyon Kurulu oluşturulmuş fakat 2 yıl içerisinde bu kurulun çalışmalarına son verilmiştir. Daha sonra bu görev Maden Tetkik Arama Kurumuna verilmiştir. 1981 yılında ise bu kurum da kapatılarak güneş enerjisi çalışmaları görevi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)’ne verilmiştir. 1954 yılında kurulan ve merkezi Avustralya’da bulunan International Solar Energy Society (ISES)’nin çalışmalarına katılabilmek için EİE bünyesinde Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü (UGET-TB) kurulmuştur.

Güneş enerjisiyle ilgili çeşitli konular üzerine teorik ve uygulamalı bilimsel çalışmalar yapılan ülkemizde en yoğun güneş enerjisi kullanım alanı yerli üretimi olan güneşli su ısıtıcılarıdır. Bu ısıtıcılarla ilgili Türk Standardı çıkarılmıştır. EİE tarafından açıklanan rakamlara göre ülkemizde 1,5 milyon m² su ısıtıcı düzlemsel güneş kolektörü saptanmış olup kullanılan güneş enerjisi 1.760 TJ kadardır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı raporlarına göre bu rakamın 2010 yılında 12.320 TJ düzeyine çıkması hedeflenmiştir.

Türkiye’de toplam kurulu PV güç kapasitesi yaklaşık 300 kW olarak hesaplanmaktadır. Başlıca bilinen PV uygulamaları Çizelge 2.3’te görülebilmektedir. Çizelge 2.4’teki değerlerle ve eldeki potansiyel kullanım alanları ile karşılaştırıldığında henüz kurulu PV tesislerinin olması gerektiğinden ne kadar da az olduğu konusunda yorum yapılabilecektir.

Çizelge 2.3 Türkiye’de kurulu PV sistemler (Çelik, 2004)

| Kuruluş | Amaç | Konum | Kurulu Güç (kW) |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Elektrik İşleri İdaresi | PV Aydınlatma Üniteleri | Ankara | 0,2 |
| | | Didim 1 | 0,2 |
| | | Ankara (EİE Binası) | 0,1 |
| | | Didim 2 | 0,16 |
| | PV Alan Aydınlatma | Didim | 1,0 |
| | PV Su Pompası Sistemleri | EİE Yenilenebilir Enerji Parkı | 0,616 |
| | | | 0,756 |
| | PV Trafik Uyarı Işıkları | | 0,05 |
| | Şebeke Bağlı Sistem | Didim | 4,80 |
| | | EİE Yenilenebilir Enerji Parkı | 1,2 |
| | | EİE Total | 9.082 |
| | | | |
| Türk Telekom | Telekomünikasyon İstas. | Muhtelif | 75 |
| T.C. Orman Bakanlığı | Gözetleme Kuleleri | Muhtelif | 151 |
| Denizcilik Gen. Müd. | Fenerler | Muhtelif | 3,5 |
| Turkcell Telekom. | Telekomünikasyon İstas. | Muhtelif | 6,7 |
| Muğla Üniversitesi | PV Ev | Muğla | 25 |
| Hacettepe Üniversitesi | PV Ev | Ankara | 1 |
| M. Kemal Üniversitesi | Test Ekipmanı | Hatay | 0,24 |
| | | | |
| Genel Toplam | | | 271,52 |

2.7 Türkiye’de Güneş Enerjisi Değerleri

Ülkemiz dağlık bir yapıya sahip olduğundan ve yerleşim merkezlerinin birbirlerinden çok uzakta olmalarından dolayı bütün yerleşim merkezlerine elektrik iletmek güçleşmektedir. Bu

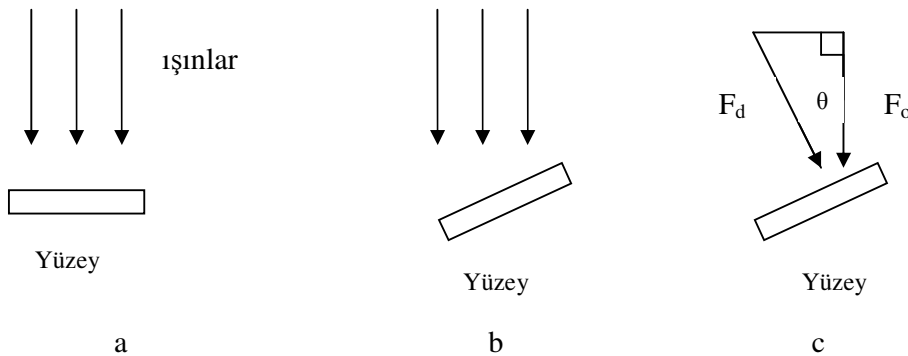
tür yerleşim merkezlerinin halen daha 3'de 2'sine elektrik ulaşmamıştır (Çolak, 1997). Bu tür bölgelerin ulusal şebeke ağına bağlanmaları maliyeti çok yüksek olup ilaveten iletim ve dağıtımda kaybolan enerji miktarının artmasına da sebep teşkil edecektir. Bu durumda bu tür bölgelerde modüler güneş pili çalışmaları sorunun çözümü olmaya aday gibi görülmektedir. Zira bu bölgelerde Çizelge 2.4'te görüleceği üzere bu tür çalışmalara oldukça uygun şartlar mevcuttur. Ek 2-A ve Ek 2-B'de tüm Türkiye için daha detaylı değerler görülebilmektedir.

Çizelge 2.4 Bölgelere göre Türkiye'de Yıllık ortalama güneş ışıınıımı (Çelik, 2004)

| Bölge Adı | Güneş Işınıımı (kWh/m ²) | Güneşlenme Süreleri (saat/yıl) |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Marmara | 1.168 | 2.409 |
| G.Doğu Anadolu | 1.460 | 2.993 |
| Doğu Anadolu | 1.365 | 2.664 |
| Akdeniz | 1.390 | 2.956 |
| Ege | 1.304 | 2.738 |
| İç Anadolu | 1.314 | 2.628 |
| Karadeniz | 1.120 | 1.971 |

2.8 Güneş Işıınlarından Faydalanma

Güneş enerjisini ısı veya elektrik gibi enerjilere dönüştürürken kullanılacak foton sayısı önemlidir. Belirli bir yüzey alanına sahip düzeneğe belirli miktarlardaki ışık fotonları dik geldiğinde ışınım enerjisinden en iyi şekilde yararlanma söz konusudur. Bu prensip Şekil 2.3'de görülmektedir.



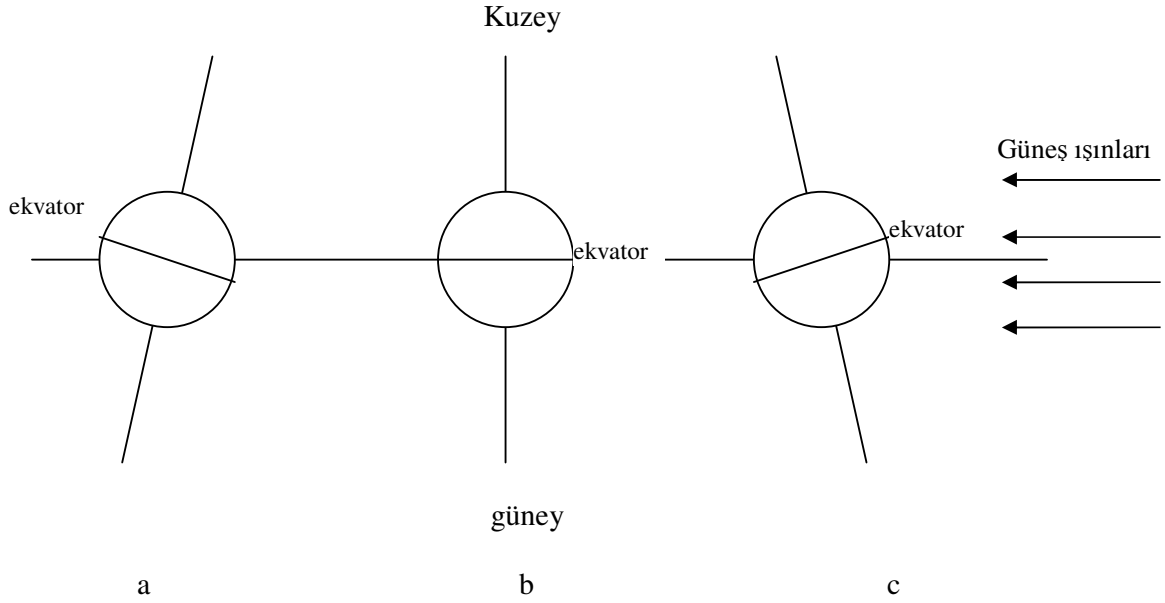
Şekil 2.3 Işıınların yüzeye gelişi

Şekil 2.3'te yüzeyi etkileyen ışınım gücü aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$F_d = F_o \cdot \cos\theta \quad (2.3)$$

Denklemde F_o yüzeyin yatay durumda aldığı dik ışınım miktarı, F_d terimi θ_y eğimli aynı yüzeydeki etkili olabilecek ışınım miktarıdır.

Yeryüzünde herhangi bir durum için alınabilecek güneş ışınımı mevsimlere ve günün saatlerine göre değişmektedir.



Şekil 2.4 Mevsimlere göre güneşlenme durumu.

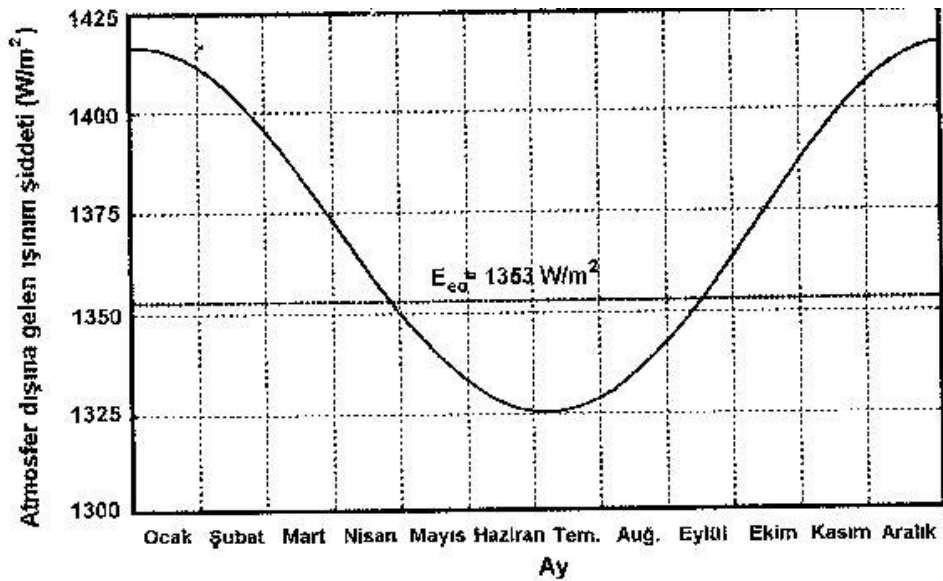
- a- Kış (21 Aralık)
- b- Bahar (21 Mart, 23 Eylül)
- c- Yaz (21 Haziran)

Dünya yıl içerisinde güneşin etrafında bir hayali yörünge üzerinde hep aynı yönde dönmektedir. Bu yörüngede dünyanın kendi ekseninde yaptığı açı $23^{\circ}27'$ dir. Bu açı kuzey kutbu ile pusulanın gösterdiği Kuzey arasındaki açıdır. Ekinoks olduğu günlerde (21 Mart ve 23 Eylül), Güneş doğudan doğar ve batıdan batır. Dolayısıyla Güneş'in öğle vakti yüksekliği

90° - enlem olacaktır. Yaz ve kış gündönümlerinde ise Güneş'in öğle vakti yüksekliği 23°27' olan kuzey kutbu ile pusulanın gösterdiği kuzey arasında kalan açığa bağlı olarak 23°27' artacak veya azalacaktır (Duffie, 1980).

Yere gelen ışınların önceden hesaplanması oldukça zordur. Şekil 2.4'te de görüldüğü üzere yeryüzüne gelen güneş ışınımı hava şartları ve günün saatlerinin yanı sıra mevsimsel etkenler de gelen ışınımı etkilemektedir. Şekilde a ve c şıklarında görülen 23.45 derecelik açılardan meydana getirdiği mevsimlerin dünyaya gelen güneş ışınımına etkisi görülmektedir. Buna göre belirli mevsim zamanlarında, yere belirli enlem açıları ile yerleştirildiği takdirde güneşten en verimli şekilde yararlanma imkanı doğmuş olacaktır. Ayrıca gün içinde de güneşi izleyecek ek önlemlerle daha da iyi sonuçlar almak mümkün olacaktır.

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım şiddeti gün içinde geliş açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu değer de güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yolun en kısa değerinde olması sebebiyle öğle vaktinde en yüksektir. Bu değer haliyle güneş ile dünya arasındaki uzaklığa göre değişmekte ve dünyanın güneş etrafında eliptik yörünge çizmesi sonucu aradaki mesafenin 3 Ocakta en az olduğu halde en yüksek değere çıkmaktadır. Tersisi ise 4 Temmuzda izlenmektedir. Bu değerler 1.322 W/m² ve 1.412 W/m² dir. Bu değişimin grafiğini Şekil 2.5'te görebilmekteyiz.



Şekil 2.5 Aylara göre güneş ışınımı değerleri (Batman, 2001)

Güneş ışıını hesaplarında nispeten kolaylık sağlaması açısından güneş sabiti adı verilen E_{eo} kullanılır. Bu büyüklük, atmosfer dışında birim alana tüm dalga boylarında bir anda gelen güneş ışıını olarak tanımlanır. Bu tanımdan yola çıkarak;

$$E_g = r_0^2 / r_g^2 \cdot E_{eo} = f_g E_{eo} \quad (2.4)$$

Burada f_g güneş sabiti düzeltme faktörü adını alır ve “g” ise 1 ocaktan itibaren üzerinde durulan güne kadar olan gün sayısı olmak üzere;

$$f_g = + 0,033 \cdot \cos (360 - g/365) \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bu değer genel olarak 1.353 W/m^2 olarak alınmakta ve ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından da standart değer olarak verilmektedir.

2.9 Radyasyon Çeşitleri

Dünya, Güneş etrafında eliptik bir yörünge hareketi yaptığı için Güneş’e uzaklığı yıl içerisinde 147 ile 152 milyon km. arasında değişir. Buna bağlı olarak da atmosfer dışında dik yüzeye gelen güneş enerjisi yıl boyunca değişik olsa da ortalama olarak 1.353 W/m^2 ’ye çok yakındır.

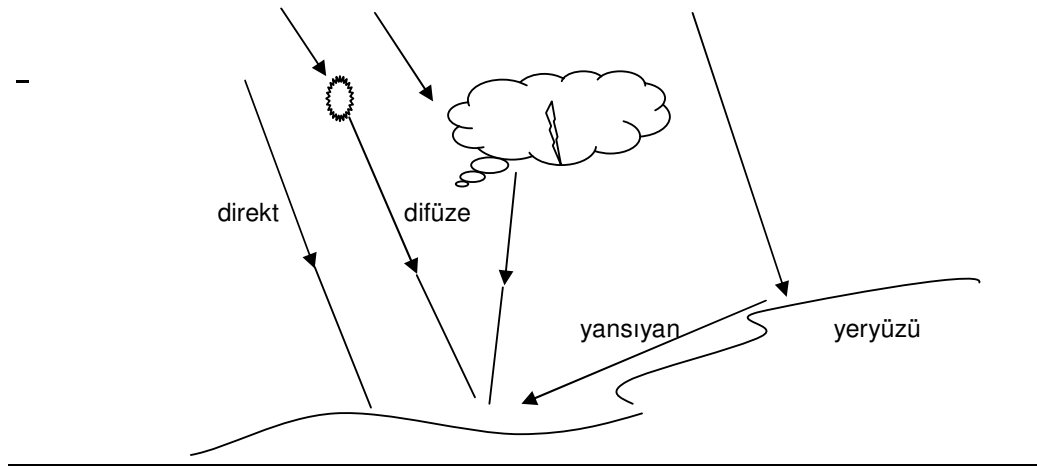
Radyo dalgaları, x ışınları ve kozmik ışınlar Güneş’in toplam ışıını enerjisinin sadece milyonda birkaçını oluşturur. Zaten bu böyle olmasaydı yeryüzünde yaşamamız imkansız hale gelirdi. Güneş’ten gelen tehlikeli x, γ ve kozmik ışınları dünya magnetosferi ve üst atmosfer katmanları tarafından, morötesi ışınları ozon tabakası tarafından, fazla ısı enerjisi taşıyan

kızılötesi ışınları da alt atmosfer katmanlarında su buharı ve karbondioksit tarafından tutulduktan sonra Dünya yüzeyine sadece canlı yaşamına yararlı ışınlar gelmektedir. Denge öyle kurulmuştur ki bu atmosfer yapısı biraz değişse canlı yaşamı tehlikeye girecektir, zira önümüzdeki yıllarda atmosferdeki ozon azalması engellenemezse fazla morötesi ışınlar sebebiyle deri kanserinin ciddi oranda artması beklenmektedir (Demircan, 2000).

Dünya atmosferine gelen ışınların ortalama %50 kadarı yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu enerjinin bir kısmı yüzeyin ısınmasında, bitkilerin fotosentez işleminde kullanılırken büyük bir kısmı da daha uzun dalga boylarında tekrar uzaya yayılır. Yani yeryüzü güneş ışınımını soğurarak ve soğuma sonucu içeriden gelen kendi ısıyla birlikte uzun dalga boylarında (kızılötesi bölgede) ışınım yayar. Bu sebeple dünya güneşten aldığından daha fazla ışınım yapmaktadır. Tıpkı üzerimize bir şeyler giydiğimizde dışarı ısı kaybını önlediğimiz gibi, atmosferdeki su buharı ve karbondioksit de yeryüzünü sarıp ısı kaybetmesine mani olmaktadır ve seralarda da kullanılan aynı prensibe göre sera etkisi denen ve dünya ısısının gittikçe artmasına sebep olan etkiyle karşı karşıya kalınmaktadır.

2.9.1 Kısa Dalga Boylu Radyasyon

Güneş enerjisi yere gelirken atmosferdeki tanecikler tarafından yutulur ve yayılır. Böylece gelen ışınımı aşağıda gösterildiği üzere çeşitlere ayırmak gerekmektedir. Bu çeşitliliği şematik olarak da Şekil 2.6'da görebiliriz.



Şekil 2.6 Işınların yeryüzüne gelişi.

2.9.1.1 Direkt Radyasyon

Güneşten direkt olarak gelen radyasyondur. Dalga boyu 0,3 ila 3 mikron arasındadır (Duffie, 1980).

2.9.1.2 Difüz Radyasyon

Güneş ışığı atmosferi geçişi sırasında yutulma ve saçılma sebebiyle zayıflar. Yutulma sebebi atmosferde bulunan oksijen, ozon, su buharı ve karbondioksit gibi gazlar gösterilebilir. Difüz radyasyon her yönden gelir ve açık bir günde güneş radyasyonunun yaklaşık %15-20'si kadarını teşkil eder. Difüz ışınım oranı daha az güneşli günlerde artmaktadır. Yılın aynı zamanı için, kapalı günlerde elde edilen ışınım, açık günlerde elde edilenden üçte iki oranında daha az olabilmektedir.

Dağınık ışınım kısa dalga boylarında daha yoğun olacağından güneş pilleri tarafından da daha yoğun emilebilmektedir. Fakat bu halde de güneş pilleri üzerine düşen ışınım miktarını hesap etmek güçleşmektedir ve dolayısıyla dağınık ışınımın tüm yüzeylere eşit olarak dağıldığı düşünülmektedir.

2.9.1.3 Yansıtılmış Radyasyon

Difüz radyasyonla yansıtılmış radyasyon arasındaki temel fark difüz radyasyonun atmosferdeki temel gazlardan, yansıtılmış radyasyonun ise yeryüzündeki ağaç, kar veya diğer muhtelif cisimlerden yansıyarak gelmiş olmasıdır. Meteoroloji istasyonlarının hazırladıkları çizelgelerde, radyasyon değerleri direkt ve difüz radyasyonun toplamı olarak verilmektedir. Yansıtılmış radyasyon ise tamamen çevrenin fiziksel şartlarına bağlı olduğundan değerlerinin verilmesi güçtür. Çizelge 2.5'te bazı yansıtıcı yüzeylerin yansıtıcılık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Bazı yüzeylerin yansıtıcılığı (Aydınöz, 1996)

| <u>Yüzey Cinsi</u> | <u>Yansıtıcılık Değeri (%)</u> |
|--------------------|--------------------------------|
| Taze Kar | 75 |
| Su Yüzeyi | 7 |
| Toprak | 14 |
| Asfalt Kaplı Zemin | 10 |
| Beton Kaplı Zemin | 22 |
| Kuru Çim | 20 |
| Yeşil Taze Çim | 26 |
| Koyu Bina Yüzeyi | 27 |
| Açık Bina Yüzeyi | 60 |

2.9.2 Uzun Dalga Boylu Radyasyon

Atmosfere gelen güneş radyasyonunu yaklaşık %17,5'i atmosferi ısıtmak için harcadıktan sonra %35'lik kısım da bulutlardan ve yerden yansıyarak tekrar uzaya döner. Bulutların üst yüzeyleri çok iyi birer yansıtıcı olarak gösterilebilirler. Bu yansımaya bulut cinsi, kalınlığı ve taşıdığı taneciklerin sayısı etkindir. Çeşitli gökyüzü durumları için elde edilmesi muhtemel ışıınım değerleri aşağıda Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Gökyüzü durumuna göre ışıınım değerleri (Batman, 2001)

| Gökyüzü Durumu | Toplam Işıınım (W/m²) | Yaygın Işıınım (%) |
|------------------------------|---|---------------------------|
| Açık Gökyüzü | 750÷1.100 | 10÷20 |
| Kısmen Kapalı Gökyüzü | 200÷400 | 20÷80 |
| Tam Kapalı Gökyüzü | 50÷150 | 80÷100 |

2.10 Güneş Enerjisinin Kullanımı

Endüstriyellemenin başlangıcı ile güneş bir enerji kaynağı olarak görülmeye başlanmıştır. Aslında bugün fosil yakıtlar olsun, diğer enerji türleri olsun, hemen hemen bütün enerjinin kökeni güneştir denilebilir. Fakat bu enerjinin günümüzde git gide önem kazanmasının sebebi bu değil, gündün güne yaklaşan enerji kaynağı sıkıntısıdır. Sokrates tarafından M.Ö. 400 yıllarında evlerin güney yönüne daha çok pencere koyma önerisinden bu yana güneş enerjisinden yararlanmada birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemleri de çeşitli kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Biz ise aslen “ısı yöntemleri” ve “fotovoltaik yöntem” olmak üzere 2’ye ayırarak ve çok fazla detaya girmeden sınıflandıracaktır.

2.10.1 Isıl Yöntemler

2.10.1.1 Düşük Sıcaklık Uygulamaları (Düz Kolektörlü Sistemler)

2.10.1.1.1 Sıcak Su Elde Edilmesi

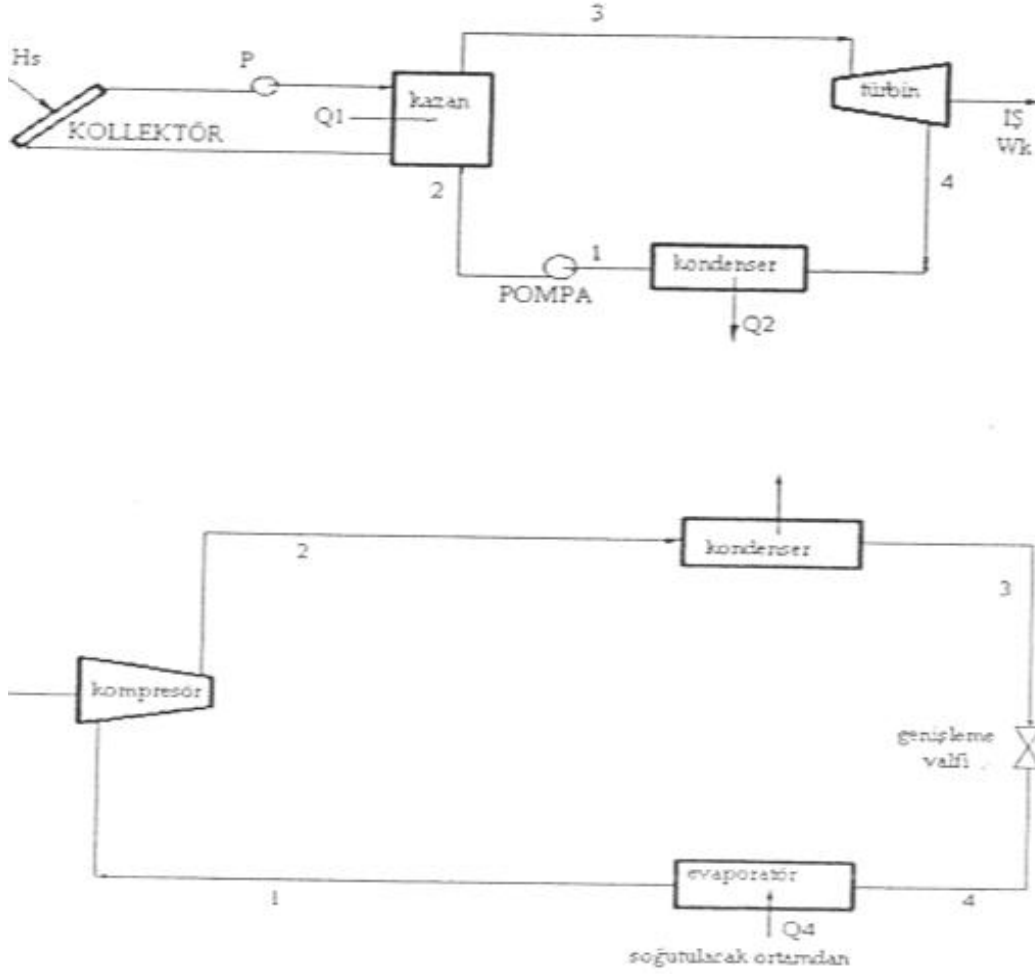
Güneş enerjisinin ilk kullanım alanlarından birisidir. Çok fazla sıcak su ihtiyacı olmayan durumlarda, özellikle konutlarda sıcak su temini için kullanılmaktadır. Bu sistemler suyun basılması için bir pompa kullanılabildiği gibi deponun kolektörden belli bir mesafe kadar daha yüksekte olması vesilesiyle pompasız olarak da kullanılabilir. Pompasız kullanımda suyun dolaşımını sağlayan deponun yüksekliği ve depoya giren ve çıkan su yoğunluklarının, yani su sıcaklıklarının. Ek ısıtıcı kullanılarak güneşsiz günlerde de sıcak su kullanımına imkan tanınmış olur.

Bu sistemlerde güneş kolektörleri kullanılır. Kolektörler güneş radyasyonunu alıp başka bir akışkanın bünyesine transfer ederler. Verimlilik, montaj, ömür, maliyet ve bakım gibi faktörler göz önüne alınarak amaç için optimum kolektör seçilir.

2.10.1.1.2 Güneş Enerjisi ile Soğutma

Güneş enerjili soğutma sistemlerinde elde edilen buharlaştırıcı sıcaklıklarının +5 °C’den büyük olması durumunda özellikle klima uygulamalarında kullanılabilir. Güneş enerjisi kullanarak çalışan soğutma sistemleri mekanik buhar sıkıştırmalı (ısı pompası) ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri olarak ikiye ayrılabilir.

Isı pompasında soğutma için gerekli iş güneş kolektöründen enerji alan bir Rankine güç çevrimiyle elde edilir. Bu işle de soğutma çevrimi kompresörü çalıştırılır. İki termik çevrimden oluşan bu soğutma sisteminin verimi çok düşüktür. Şekil 2.7’de Rankine güç çevrimi ve yoğuşmalı soğutma çevrimi görülebilir.

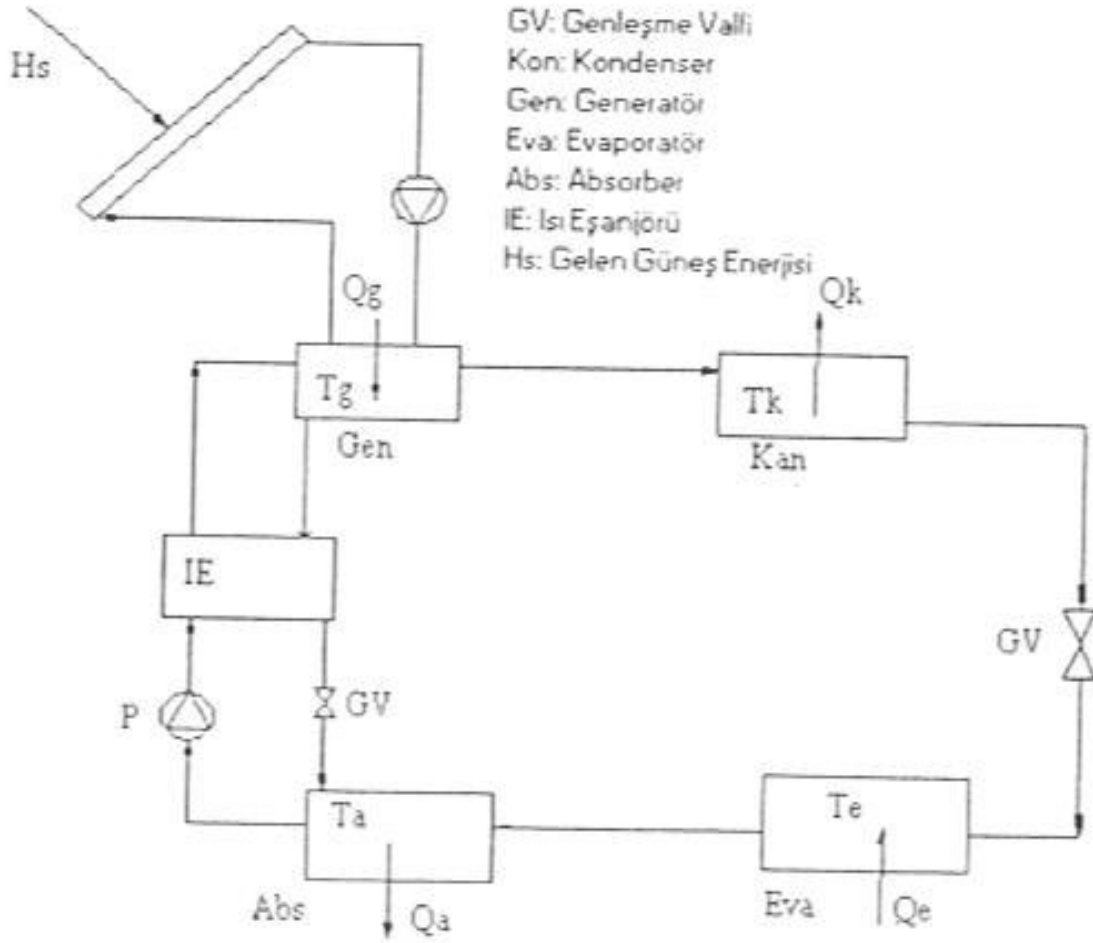


Şekil 2.7. Rankine güç ve yoğuşmalı soğutma çevrimi

Sistemin çalışmasını anlatacak olur isek;

Şekil 2.7’de üstte görgülen şekilde (Rankin çevrimi) 2numarta ile gösterilen kazanda elde edilen kızgın akışkan ile türbinden iş alınır. Bu iş ile de şekil 2.7’de alttaki şekilde kompresör çalıştırılır ve sistemdeki evaporatör ile soğutulmak istenen ortamdan ısı çekilmiş olur.

Absorbsiyonlu soğutma sisteminde ise yukarıdaki sistemden tek fark kompresörün yerini absorber eriyik pompası ve buhar üreticinin almasıdır. Aşağıda Şekil 2.8’de bu sistemi şematik olarak görebilmekteyiz.



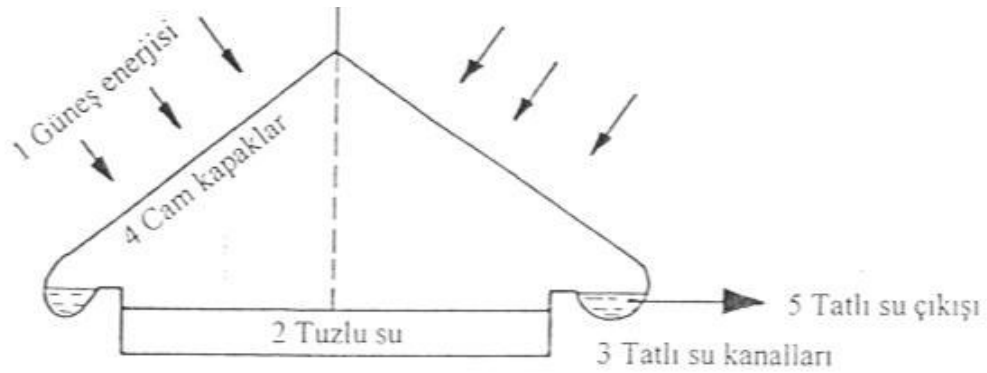
Şekil 2.8. Absorbsiyonlu soğutma sistemi (Diken, 2000)

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde ısıl enerji soğuk üretmek için direkt olarak kullanılmakta, bu da diğer sisteme oranla daha yüksek verimle çalışmasını sağlamaktadır. Burada soğutucu akışkan evaporatörden çıktuktan sonra absorbere girer ve burada soğurucu akışkan ile ısıveren bir reaksiyona girer. Sonra bu çözelti ısıtıcıya (jeneratör) pompalanır ve

buharlaştırdıktan sonra ayrıştırılır. Soğutucu akışkan ise kondensere geçerek çevrime devam eder ve evaporatörde buharlaşarak ortamdan ısı çekmeye devam eder.

2.10.1.1.3 Güneş Enerjisi ile Suyun Damıtılması

Deniz suyundan tatlı su elde edilmesi, suyun çözeltilerden ayrılması prensibine dayanmaktadır. Özellikle sıcak iklimlerde, tatlı su sıkıntısı çekilen bölgelerde kullanılması son derece caziptir. Şekil 2.9'da böyle bir sistem şematik olarak temsil edilmiştir. Şekilde görülen sistem üzeri elde edilen tatlı su akışını sağlayan kanallı camla örtülmüş ve tabanı güneş radyasyonunu iyi absorbe etmesi için siyaha boyanmış bir havuzdan oluşmuştur. Sistemin verimini ise su-cam sıcaklık farkı, kullanılan yalıtım malzemesine, su derinliğine ve cam ile temas eden hava özelliklerine bağlıdır.



Şekil 2.9. Güneş enerjisi ile tatlı su elde edilmesi (Diken, 2000)

2.10.1.1.4 Güneş Enerjisi ile Kurutma

Kurutma işlemi çeşitli endüstriyel ürün veya gıdaların kullanıma uygun hale getirilmesi veya dayanıklılıklarının artırılması amacıyla içlerinde su oranının istenilen seviyede uzaklaştırılmasıdır. Bu sistemlerde kolektörde toplanan güneş enerjisi ile hava ısıtılır ve bu sıcak hava ile kapalı ortamda bulunan ürün kurutulur. Bu sistemde kurutulacak malzemedeki su miktarı ve kurutma havasının sıcaklığıdır.

2.10.1.1.5 Çeşitli Pasif Yöntemler

Bu yöntemlerde temel prensip yapılarda basit önlemler olarak güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanmaktır. Doğrudan ve dolaylı ısı kazanımlı sistemler olarak ikiye ayrılması uygundur. Doğrudan ısı kazanımında güneş enerjisi mekan içerisine geçirgen duvarlar veya cam vasıtası ile alınır. Pencereilerin güneşe yönlendirilmiş ve yatay konumlandırılmış olmaları önemli etkenlerdir.

Dolaylı ısı kazanım yöntemleri ise masif yapı elemanları güneş ile yaşama mekanı arasına yerleştirilip mekan dolaylı olarak ısıtılmaktadır. Çeşitli tipleri olup mimaride profesyonel çalışmalarda uygulama alanı bulmaktadır (Gonzalo, 1994).

2.10.1.2 Orta Sıcaklık Uygulamaları (Odaklayıcı Kollektörlü Sistemler)

Orta sıcaklık uygulamalarında (100-300 °C) güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Aşağıda Şekil 1.10'da görülen yoğunlaştırıcı sistemlerde ise 400 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir (<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunesisil.html>). Sanayi için gerekli sıcak su veya buharın temini, büyük soğutma sistemleri ve ısıtma sistemleri odaklı kolektörlerin uygulama alanlarıdır.



Şekil 2.10 Yoğunlaştırıcı kolektör

2.10.1.3 Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

Yukarıda bahsedilenden daha fazla sıcaklıkların elde edilmesi ancak güneş santrallerinde mümkün olmaktadır. Bu santraller iki tiptir. İlki birden fazla parabolik veya silindirik odaklayıcının seri veya paralel bağlanmasıyla oluşan güneş çiftlikleri, diğeri ise heliostat adı verilen güneş ışığını bir noktaya yansıtan yüzlerce yansıtıcıdan oluşan kuleli güneş santralleridir. Bu odaklayıcılar bilgisayar tarafından kontrol edilerek alıcının devamlı olarak en yüksek ışınımı alması sağlanır. Böyle bir sistemi Şekil 2.11’de görebilmekteyiz.

Bu güneş santrallerinde 3.500 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir. Bu değerlerle de metallerin eritilmesi, kesilmesi ve elektrik üretilmesi de mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.11 Merkezi alıcılı güneş ısı elektrik santrali

2.10.2 Elektriksel Yöntemler

Bu yöntemde güneş pilleriyle direkt elektrik üretilmekte olup, bir sonraki bölüm ve tezin esas konusu da güneş pilleri olduğundan detaya girilmemektedir.

3 FOTOVOLTAİK ENERJİ

3.1 Fotovoltaik Enerjili Sistemlerde Genel Dizayn Kriterleri

Bir fotovoltaik sistem tasarımına başlarken göz önüne alınması gereken üç temel faktör vardır. Bunlar sırasıyla uygulamanın karakteristikleri, hava koşulları ve kullanıcıdır. Her yük tek tek ele alınıp bir gün boyunca ne kadar süre ile kullanılacağı, çekeceği akım ve gerilim değerleri bilinmelidir. Daha sonra kullanılacağı zaman dilimi belirlenmelidir, zira mevsimlere göre elde edilebilecek ışınım değerleri bilinmektedir. Daha sonra eldeki verilere göre modüllerin en doğru şekilde yerleştirilmesi gereklidir. Gerekli yüke göre modül, akü ve diğer yardımcı elemanların sayısı seçilmelidir. Sistem çıkışında kullanılacak akım türüne göre gerekli aparatlar seçilmelidir (Dönüştürücü, evirici). Diğer yardımcı elemanların fiziksel özellikleri de göz önüne alınarak akü ve modüllerin gerilim değerleri belirlenmelidir.

Sistemin coğrafi konumuna göre (enlem ve boylam) gerekli değerler tablolardan seçilebilmektedir. Daha sonra kullanıcının tercihleri devreye girecektir. Bunlar tasarruf tercihleri, güvenlik önlemleri ve estetik kaygılar olabilir.

Bütün bu faktörlere göre sistemin tek başına mı ya da destekleyici bir sistemle mi kullanılacağı belirlenebilir. Destekleyici bir sistem olarak herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağının yanı sıra ulusal şebeke de kullanılabilir. Buna göre PV sistemler bağımsız sistemler ve şebekeye bağlı sistemler olarak ikiye ayrılabilir.

3.2 Tarihsel Gelişim

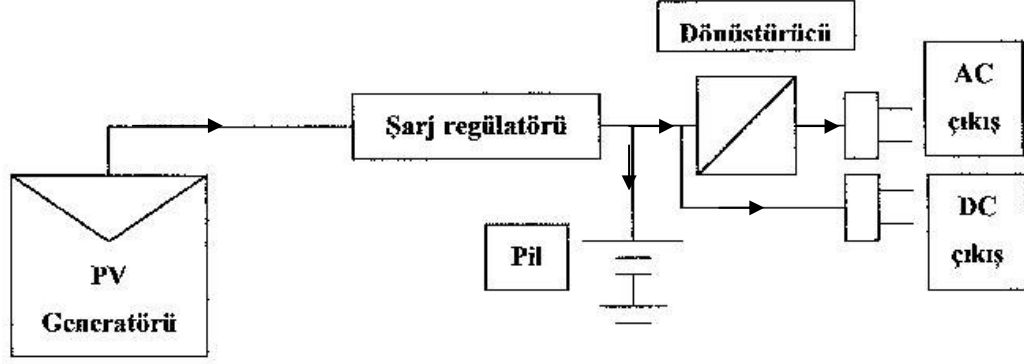
Fotovoltaik etki 1839'da Becquerel tarafından, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğun gözlemlemesiyle keşfedilmiştir. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin, Fuller ve Pearson tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası

olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alişıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek "sosyal maliyet" göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerin daha ekonomik olarak değerlendirilebilir.

3.3 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemlerin modüler yapısı miliwatttan megawatta kadar geniş güç ihtiyacı aralıklarına cevap verebilmelerini sağlar. Genel kullanım incelenirse bir modülde 30-36 güneş hücresi olup bir modülün verdiği gücün 20 ila 70 W arasında değişebildiği görülmektedir. Daha fazla güç gerektiğinde modüller seri olarak (pozitiften negatife) bağlanabilip elde edilecek voltaj arttırılabilmekte veya eğer daha fazla akıma ihtiyaç duyuluyorsa modüller paralel olarak (negatiften negatife veya pozitiften pozitif) bağlanabilmektedir. İhtiyaca göre daha sonra kullanılmak üzere üretilen enerjinin bir kısmı veya tamamı akülerde depolanabilir. DC güç üreten PV modülleri, kullanım yerine göre eğer gerekiyorsa dönüştürücü (inverter) ile desteklenerek AC güç de elde edilebilir. Bu modüler esneklik ihtiyaç duyulan güç üretimine yönelik kurulumu kolaylaştırmakta ve önemli bir avantaj haline gelmektedir. Aşağıda temel bir PV sistemin şeması görülebilmektedir (Şekil 3.1). Şekli inceledikten sonra bileşen elemanlar hakkında kısaca bilgi edinebiliriz.



Şekil 3.1 Basit bir PV sistem

3.3.1 Fotovoltaik Piller

PV piller (güneş pilleri) güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristallerdir. Bazı maddelerin elektriksel özellikleri ışığa bağlı olarak değişmektedir ve fotovoltaik elektrik üretiminin esasını da bu oluşturmaktadır. Birbirine benzemeye herhangi iki malzemenin eklemi ile de fotovoltaik etki oluşturulabilmektedir fakat güneş pillerinde iletkenliği iletken metaller ile yalıtkan malzemeler arasındaki değerlerde olan yarıiletken malzemeler kullanılır. Bunlardan en sık kullanılanı da silikondur. Silikon ise silisyum-oksijen zincirine çeşitli grupların eklenmesiyle elde edilen polimer ailesinin üyelerine verilen genel addır. Aşağıda silikondan yapılmış bir güneş pilini görebilmekteyiz.



Şekil 3.2 Güneş hücresi.

Yukarıda görülen hücreler seri ve paralel bağlanarak 5-120 W arasında güç verebilen modüller oluşturulmaktadır. PV modüller taşıma ve kullanım kolaylığı açısından laminasyon teknolojisi kullanılarak hücrelerin önyüzüne optiksel geçirgenliği yüksek cam ve alt yüzeyine de EVA (etinil vinil asetat) kaplanıp bir metal içine çerçeveye alınmasıyla oluşturulur ve çok dayanıklı bir hale gelmiş olup 20 yılın üzerinde kullanım sürelerine ulaşırlar (Snowdon, 2001). Her bir modül başına 12-24 V arası gerilim elde edilebilmektedir (Hazen, 1996).

PV üniteler fotovoltaik hücre ve modüllerden oluşan sistemin temel elemanlarıdır. PV hücrelerin kabaca 0.5V gerilimde 1 W güç ürettiği düşünülürse bu hücrelerin neden modüller halinde kullanıldığı hakkında bir fikir edinilebilir. Genelde bir modülde 30-36 hücre seri bağlı olarak kullanılır. Seri bağlamanın sebebi de yine tek bir hücrenin üretmekte olduğu güç miktarıdır.

3.3.1.1 Fotovoltaik Pillerin Üretim Malzemeleri

Bütün yarıiletken maddeler fotovoltaik özellikler taşısa da güneş pili imalinde hepsi kullanılmaz. En çok kullanılan yarıiletken malzeme teknolojisi en ileri durumda bulunan yüksek saflıktaki silikondur. Bu maddenin dünyada çok yaygın olarak bulunması önemli bir avantajdır. Bu sebeple de Cd, Ga, Ge, In, Ru, Se ve Te elementleri temelli güneş hücrelerinin hammadde sıkıntısı varken Ge içermeyen amorf ve kristal silikon esaslı güneş pillerinin böyle bir kısıtlaması yoktur (Andersson vd., 1997).

Silikon güneş pillerinin üç ana yöntemi vardır. Birincisi nispeten büyük boyuttaki ingotların dilimlenmesiyle elde edilen tek kristalli malzemenin kullanımından ibarettir. İkinci olarak nispeten daha ucuz bir yöntem olan güneş pillerini levha şeklinde üretme yöntemidir. Sonuncu olarak döküm yoluyla elde edilen çok kristalli bloklardan çok ince silikon dilimler elde edilmesiyle yapılır. Günümüzde daha teknolojik güneş pillerinin üretimi için çalışmalar devam etmektedir ve daha çok tek kristalli silikon ve galyum, çok kristalli silikon ve galyum, amorf silikon ve muhtelif ince film güneş piller üzerine yoğunlaşmıştır.

Kristal silikon hücreler yüksek verimli fakat pahalıdırlar. Amorf silikon hücreler daha ucuza üretilebilir fakat verimler düşüktür. Bu ikilemin çözülmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan umut verici olan iki tanesi kadmiyum tellur (CdTe) ve bakır indiyum galyum diselenyum (CIGS) gibi çoklu kristal malzemeler içermektedir. Bir başka yaklaşım da bir tabakası silikon-germanyum alaşımı olan çok eklemlili (multi-junction)

yapıdaki amorf silikondur. Son olarak ise Graetzel olarak adlandırılan ve henüz geliştirilme aşamasında olan yeşil bitkilerdeki fotosentez gibi çalışan bir hücredir.

Bu dört tür hücrede kullanılan elementler yeryüzünde yeteri kadar olduğu tahmin edilse de henüz ulaşıldığı kadarıyla bu malzemeler için bir sıkıntı söz konusu olduğu söylenebilir (Anderson vd., 1997). Bu durumda bu elementlerin yataklarına ulaşılmasına kadar bir sıkıntı doğmaması için teknolojinin daha da ilerlemesine ve daha yüksek verimli ince film güneş hücreleri yapılarına kadar yerinde kullanma ve tekrar dönüştürme konularında çalışmalar yapılmalıdır.

3.3.1.2 Fotovoltaik Pillerin Fiziksel Yapısı

Güneş hücreleri silikon gibi yarıiletkenlerden yapılmış, genellikle kalınlığı $2,5 \times 10^{-4}$ m olan dilimler formunda olan elektronik cihazlardır. Katkı işlemi sırasında çok küçük bir miktarda katkı maddesi eklenmekte ve bunla da n- (negatif) ve p- (pozitif) adlarında iki farklı katman oluşturmak hedeflenmektedir. Bir n- tipi malzeme taşıma bandında fazlaca elektron taşımaktayken, p- tipi malzemede pozitif yüklü protonların fazlalığından dolayı elektron boşlukları vardır. Genel olarak n- tipi katman oluşturmak için katkı maddesi olarak fosfor, p- tipi katman için ise bor katkılı silikon kullanılır. Pozitif kontakt bu ince plakanın arkasındaki metal iken negatif kontakt cihaza mümkün olduğunca çok güneş ışığının gelmesine müsaade etmektedir. Güneş ışığındaki fotonlar elektronları tabakanın bir tarafından diğerine hareket etmeye zorlar bu hareketle de elektrik akımı elde edilir.

3.3.1.3 Güneş Hücresi Tipleri

Güneş hücrelerini üretmek için birçok malzeme ve yöntem kullanılabilir, tek kristal veya çoklu kristalize silikon ve tek eklem veya çok eklem. En çok tek kristalli silikon hücreler kullanılmaktadır. Sadece kristalize silikon güneş hücreleri teorik olarak elde edilen voltaj ve akım değerlerine yaklaşabilmektedir. Asıl sorun ise tabakalarının çok fazla maliyetli olmasıdır. Buna rağmen, silikon hücreler iyi bir maliyet etkinliği, güvenilirlik ve verim sunabilmektedir.

A-silikon (amorf silikon) hücreler %10 geçen verimlere ulaşabilse de bu değerlerde uzun süre kalınmamakta, ışığın indüklemesiyle özelliklerinde bozulmalar olmaktadır, bu etkiye de Stabler-Wronski etkisi denmektedir. Çok kristalli PV hücreler saf silikondan yapılmakta olup

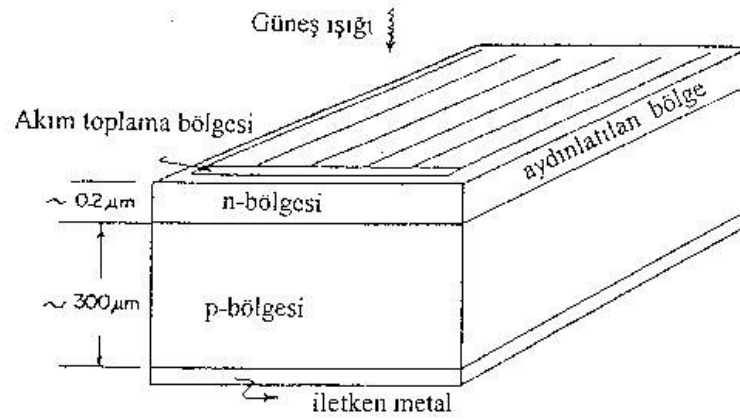
tek kristal formunda değildirler ve tek kristal hücreler kadar faydalı değildirler, fakat üretimleri daha kolay, dolayısıyla da daha ucuzdurlar. Verimleri ise tek kristal hücrelerden biraz daha azdır. Kristalize silikon PV sistemler güneş ışınımını elektriğe dönüştürmede yüksek etkinliktedirler fakat rijit yapıda olduklarından mimari uygulamalarda problemli olmaktadır. İnce film PV sistemlerinde alışlagelmişin dışında şekillerdeki malzemelerin üzerine uygulama ve çeşitli ışık transmasyonlarına izin veren selektif uygulama önemli bir avantajdır. Bu özellikler ince film hücreleri bazen muhtelif bina elemanlarının yerine kullanılmasına olanak tanımaktadır. İnce film PV hücreleri de silikondan imal edilmekte fakat gelişmiş üretim teknikleri kullanılmakta, bu teknikler sayesinde de proses sırasında çok daha az silikon kullanılmaktadır. İnce film PV, özellikle de a-silikon hücrelerin, dezavantajı dönüştürme verimlerinin kristalize silikondan daha düşük olması ve üretimlerinin maliyetli olmasıdır. Yine de, PV malzemelerin bina yapı elemanlarının yerini aldığı binaya entegre sistemlerde bu illa da bir dezavantaj olmaz.

Çok eklemlili fotovoltaiik hücreler iki veya daha fazla eklem ortaya çıkarmak için yarı iletken malzeme tabakalarının görevini yaparlar. Hücredeki farklı katmanlar güneş spektrumundan farklı dalga boylarını absorbe ederler, böylece hücrenin genel verimi yüksek olabilir (Nelson, 2003).

Güneş pilleri için literatürde yerleşmiş bir sınıflandırma mevcut değildir. Uygulama alanları, imalatında kullanılan malzeme ve işlem biçimi, güneş pilindeki katmanların biçimi, optik karakteristikler, verimleri ile güneş pili biçim ve hacimlerine göre sınıflandırmalara rastlamak mümkündür. Güneş hücrelerini yaygın olarak bilinen şekliyle gruplandırırız;

3.3.1.3.1 Tek kristalli silisyum

En yaygın güneş hücresidir (Nelson, 2003). Yüksek arılıkta bir silisyumdur; çapı 15 cm'ye ulaşan, onlarca kilogramlık külçeler, "Czochralski çekmesi" ve "yüzer bölge" yöntemi denen, iki kristal oluşum yöntemiyle elde edilir. Bu külçeler, çok güç bir biçme işlemiyle, ince rondelalar halinde (75-100 mm' lik çap, birkaç yüz mikrometrelik kalınlık) kesilir. Bu rondelalar, güneş pilinin gövdesini oluşturmada kullanılır. Bu amaçla birçok tamamlayıcı işlem uygulanır: yüzeysel katkılamayla bir eş eklem gerçekleştirme; metal kontakları çökeltme; koruyucu kılıfla zırlama. Silisyum bu alanda en çok kullanılan gereçtir. Tek kristalli silisyumdan yapılmış güneş pilleri çok iyi bir verim sağlar; laboratuarda % 18 ve üretimde yaklaşık % 12-13. Genel olarak şekil 3.3'de görüldüğü gibi p-n eklemlili yapıdadırlar.



Şekil 3.3 Tipik bir p-n eklemli güneş pili (Diken, 2001)

3.3.1.3.2 Çok kristalli silisyum

Silisyumlu güneş pillerinin üretimindeki enerji ve maliyet tutarını azaltmak için tek kristalli “Czochralski” silisyumdan daha düşük kalitede (dolayısıyla düşük aralıkta) bir malzeme üretmeye ve kullanmaya yönelik teknikler geliştirilip böylece gerek külçe, gerek biçme işlemini ortadan kaldırılıp doğrudan levha biçiminde (şerit halinde kristalleştirilmeye dayanan yeni yöntemler) “çok kristalli” silisyum elde edilebilmiştir. Verim daha düşük olmasına rağmen (yöntemlerin birçoğu için %8-10 arası) çok kristalli silisyumdan yapılan güneş pilleri, önem kazanmaktadır (Goswami vd., 2000).

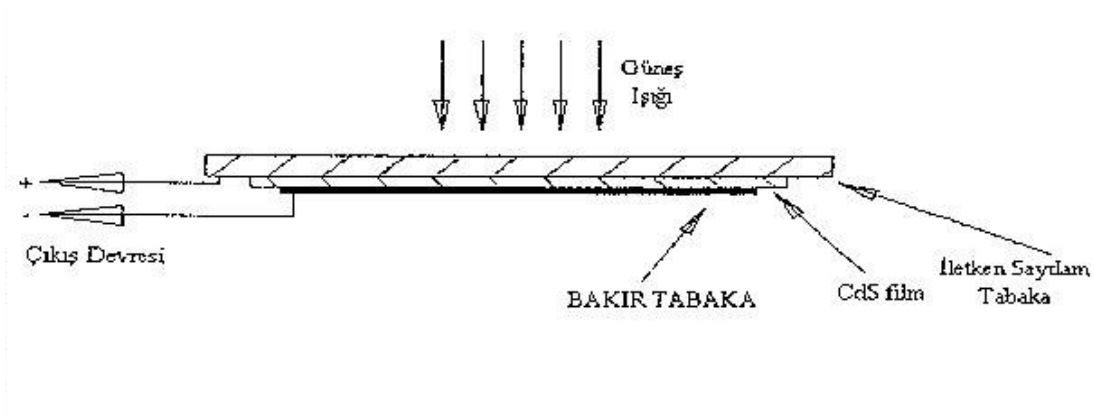
3.3.1.3.3 Galyum Arsenür ve Diğer Yüksek Verimli Piller

En iyi verim sunan yarı iletkenler “III-V” olarak bilinen malzemelerdir. Bunlar periyodik tabloda üçüncü ve beşinci grupta bulunan galyum (Ga), indiyum (In), arsenik (As), ve fosfordur (P). Bunlardan en önemlisi olan galyum arsenür kullanan güneş pillerinin verimi laboratuarda % 25’leri geçebilir. Ne var ki çok yüksek maliyeti yüzünden bu güneş pillerinin kullanımı, pek yaygın olmayan yoğunlaştırılmış fotovoltaik üreteçlerle sınırlıdır. Radyasyon zararına karşı çok dirençlidir ve bu sebeple de uzay çalışmalarında sıklıkla tercih edilir. Önemli bir üstünlükleri de verimlerinin sıcaklıkla fazla etkilenmemesidir.

3.3.1.3.4 İnce Film

Bunlar, yalnızca birkaç mikrometre kalınlıkta ve büyük yüzeyli ürünlerden oluşan gereçlerdir; maliyetleri ise verimleriyle orantılı olarak (üretim halinde % 8' den az) oldukça düşüktür. Bu gereçler içinde en çok umut verenler, kadmiyum sülfür (bakır sülfür ile ayırık eklem halinde), amorf silisyum ve çok kristalli galyum arsenürdür. Şekil 3.4'te bir ince film güneş pili şeması görebilmekteyiz.

Dikkat edilmelidir ki bu sınıflandırma yapılırken en az film kalınlığı kadar kütle-üretilebilirlik ile bağlantılı güneş hücresi teknolojisi de göz önüne alınmıştır, zira sadece birkaç mikron kalınlıkta olmasına rağmen bu sınıfa giremeyen güneş pilleri de vardır (Nelson, 2003).



Şekil 3.4 Kadmiyum sülfür güneş pilinin yapısı.

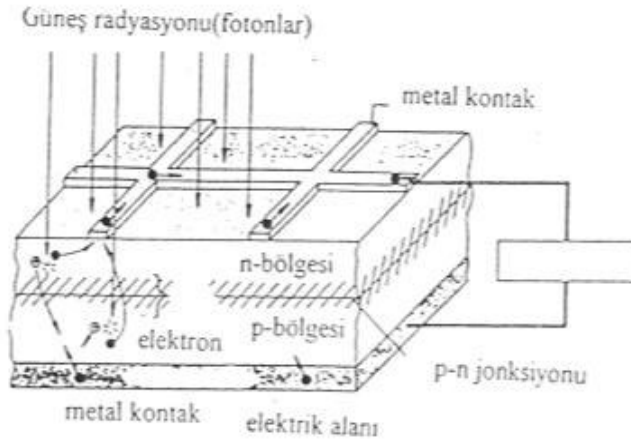
Bu pilin üretiminde CdS ince bir Cu plaka üzerinde buharlaştırılır ve Cu₂S tabakası yüksek sıcaklıkta bir iyon çözeltisi içine daldırılarak oluşturulur. Ek işlemlere de gerek kalmaksızın buharlaştırılan tabakalar kadmiyum fazlalığı sebebiyle oldukça iletkenidir.

3.3.1.4 Fotovoltaik Pillerin Çalışma Prensibi

Güneş ışını yarıiletken malzeme üzerine düştüğünde, valans elektronunu harekete geçirirler. Bir foton bir bağı kırınca, elektronlardan biri kafesten dışarı çıkmak için serbest kalır. Eksik elektron geride bir boşluk bırakır, ki bu boşluk da elektronlar etrafında yer değiştirirlerken kafesten dışarı çıkabilmektedir. Birçok açıdan, bu boşluklar partikül gibi davranırlar ve elektronlara benzer fakat pozitif yüklüdürler. Elektronların ve bu boşlukların ters yönde bu hareketleri yarıiletkendeki elektrik akımını oluşturmaktadır (Al-Ismaily ve Probert, 1998).

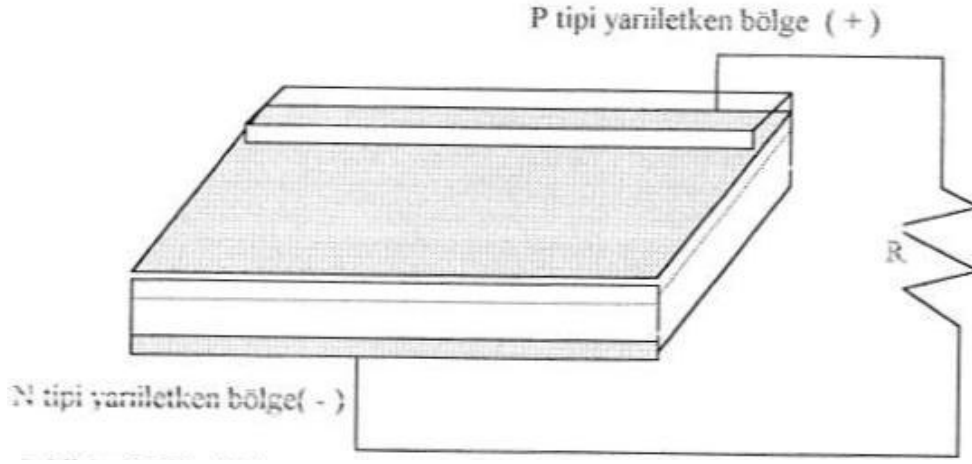
PV etki en kolay p-n eklemi için tanımlanabilir. Yukarıdaki açıklamayı Si için örneklendirirsek, Silisyum gibi tipik bir yarıiletkende silisyum atomunun dört valans elektronunun her biri kimyasal bir bağla diğerine bağlıdır ve normal şartlarda hiç serbest elektronu yoktur. Söz konusu bu yarıiletken arsenik veya fosfor gibi beş valans elektronu olan başka bir maddeyle karıştırıldığında 5'e karşı 4 eşleşmenin (bağ oluşumu) sonucunda 1 elektron arta kalacaktır. Sistemdeki bu arta kalan elektronlar serbest olarak hareket edebilecektir ve n tipi bir yarıiletken bu şekilde oluşmuş olacaktır.

P tipi yarıiletken ise, aynı yarı iletken (Si), bor gibi üç valans elektronu bulunan bir madde ile katkılandırıldığında bu sefer tam tersine elektron eksikliği olur. Üstteki paragrafta da söylendiği şekilde bu elektron kafes içinde serbest hareket edebilen bir boşluk olarak tanımlanabilir. N bölgesinin p bölgesine yakın kısımlarında pozitif yük fazlalığı ve p bölgesinin n bölgesine yakın kısımlarında ise negatif yük fazlalığı oluşması ile bölgelerin temas yerlerinde bir elektrik alan oluşur. Bu şekilde bir tarafı p diğer tarafı n tipi katkılanmış yarıiletken parça p-n eklemi (p-n junction) olarak adlandırılır. Böyle bir ekleme n tipi bölgedeki serbest elektronlar p tipindeki bölgeye geçmeye çalışacak ve bu da yönü n'den p' ye doğru olan bir elektrik alan (E) meydana getirecektir. Böyle bir p-n eklemi şekil 3.5'de görülebilmektedir.



Şekil 3.5 Güneş pilinin yapısı ve elektrik üretimi (Diken, 2000)

Alan difüzyon ile doğru orantılı şekilde artar. Bir süre sonra ise alan tarafından elektron ve delik (boşluk) difüzyonu engellenir. Denge haline gelince de p-n eklem bağı tamamlanmış olur. Bu olaydan sonra elektrik üretimi için tek eksik ışık enerjisi kalır. Artık bu yapıya gelen fotonlar, eğer yeterli enerjiye sahipse, bir boşluk-elektron çifti oluşacak ve oluşan bu çiftte p-n eklem noktasına doğru hareket edecektir. Burada ise elektrik alanın etkisi ile ayrılacaklardır. Bu anlamda, güneş pili elektronları n bölgesine, boşlukları ise p bölgesine gönderen bir pompa gibi çalışmaktadır. Bu ayrılan elektron ve boşluklar hücrenin iki yanındaki kontaktların bağlanmasıyla oluşturulacak bir dış devre üzerinden birleştirildiğinde akan elektriksel yükler ile elektrik elde edilmiş olacaktır (Şekil 3.6).

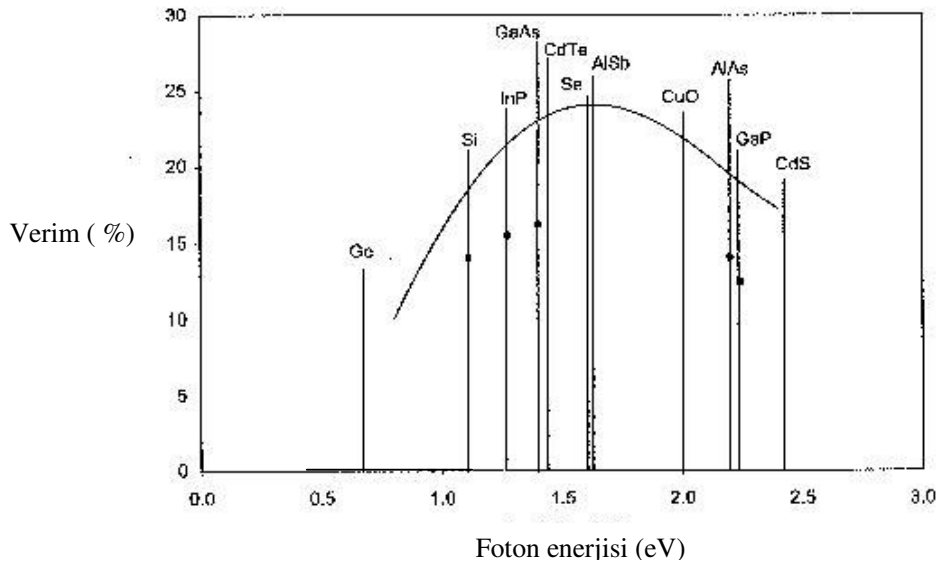


Şekil 3.6 P-n ekleminden akım üretilmesi (Korkmaz, 2001)

Artık kontaktların ucunda açık devre gerilimi elde edilmektedir. Bu açık devre akımının büyüklüğü yarıiletken malzemenin bant aralığının büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bununla birlikte pillerde üretilen gerilimin şiddeti yarı iletken malzemenin cinsine de bağlı iken üretilen akım şiddeti hücre üzerine gelene ışık şiddetine bağlıdır.

3.3.1.5 Güneş Hücresinin Verimi

Bir güneş hücresinden elde edilecek güç ve akım, doğrudan üzerine düşen ışımının yoğunluğuna bağlıdır. Voltaj, kullanılan malzemeye göre değişkenlik gösterebilmektedir. Güneş hücrelerinin verimine etkiyen en önemli faktörlerden biri de güneş hücresi sıcaklığıdır. Kristal malzeme için verimde derece başına %0.4 kadar, silikon malzemede ise elde edilecek voltaj, standart ortam şartlarındaki sıcaklığın (25°C) üzerindeki her bir derece artış için 0.0022 volt azalma gösterecektir. Işınım yoğunluğundaki bir yarılanma elde edilecek akımın yarılanmasına sebep olacak iken voltaj sadece yüzde birkaç azalacaktır (Al-İsmaily ve Probert, 1998). 25°C'nin üzerindeki her 1 derecelik artış elde edilecek gücün %0.5 azalmasına sebep olacaktır. Aşağıdaki şekilde çeşitli güneş pillerinin verimlerini görebilmekteyiz (Goswami vd., 2000).



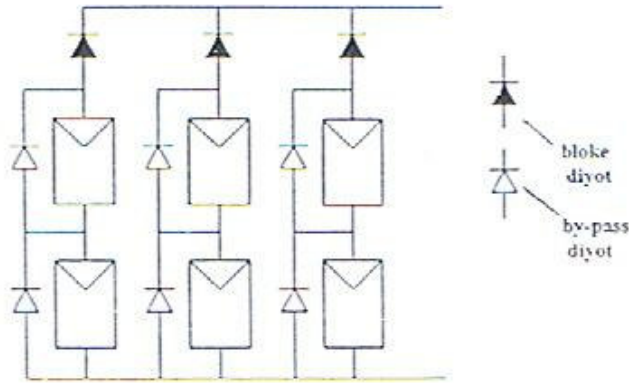
Şekil 3.7 Bazı güneş pillerinin verim ve elektron-boşluk çiftinin oluşması için gerekli foton enerjisi grafiği (Nelson, 2003)

Bu şekildeki verim değerleri formüllerle hesaplanan teorik değerlerdir. Uygulamada ise bu verilen verim değerlerinde daha düşük değerlerle karşılaşılır. Böyle olmasının sebeplerinden bazıları;

- Yüzeyden olan yansıma verimi düşüren bir değerdir. Bu yansımanın azaltılması için buna karşı kaplama yapmak ve sonucunda silikon bir hücre için yansımada %3 ila %30 arasında bir azalma elde edilebilmektedir.
- Hücrenin iç direnci.
- Sıcaklığın artışı.
- Çalışma esnasında hücrenin akım çeken elektrik kontağı dolayısıyla gölgelemesi.
- PV hücrenin çalışma prensibinde anlatıldığı gibi, elektron ve boşlukların ayrıldıktan sonra hemen birleşmesi o çiftten akım elde edilememesi manasına gelir. Çoklu kristal ve amorf hücrelerde bu etkinin azaltılması için hidrojen alaşımları kullanılmaktadır.

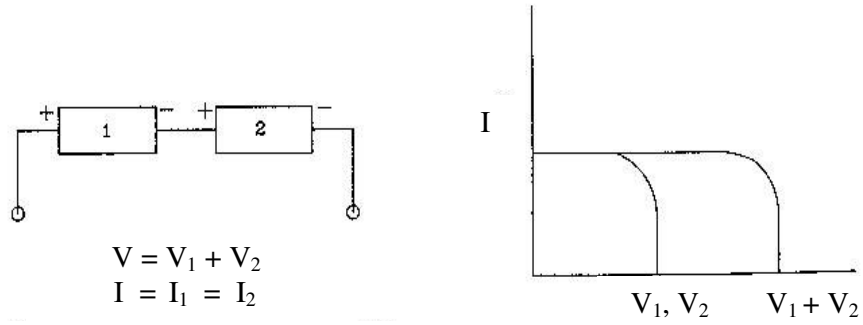
3.3.1.6 Hücrelerin Bağlanması

Hücreler paralel ve seri olarak iki şekilde bağlanabilir. Bağlama mantığında elektrik dirençlerinden bilinen mantık geçerlidir. Seri bağlamada her bir hücrenin geriliminin toplamı, paralel bağlamada ise her bir hücreden çıkan akımın toplamı esas değer olacaktır. Aşağıdaki şekilde her iki bağlama şeklini bir arada görebiliyoruz (Şekil 3.8).

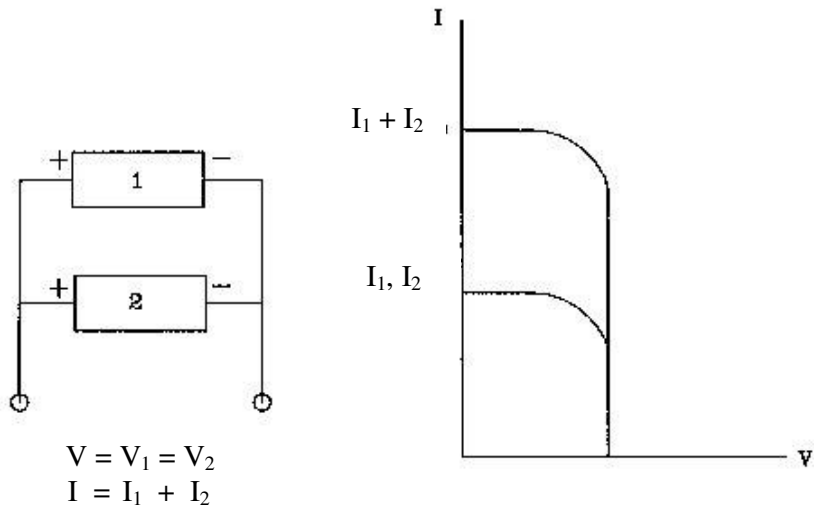


Şekil 3.8 Hücrelerin paralel ve seri bağlanması.

Aşağıdaki şekillerde ise seri ve paralel bağlama şartlarında elde edilen akım ve gerilim değerleri daha açıkça görülebilmektedir (Carroll, 2003).



Şekil 3.9 Seri bağlamada akım ve gerilim değerleri.

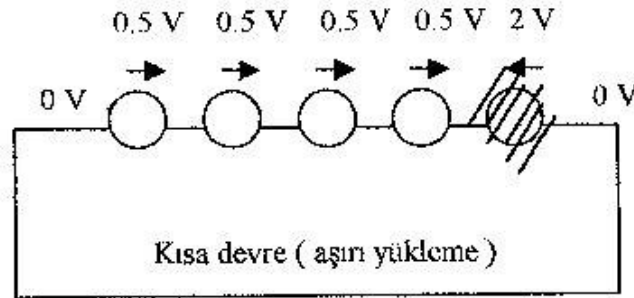


Şekil 3.10 Paralel bağlamada akım ve gerilim değerleri.

Pratikte üniteleri oluşturan hücreler aynı karakterleri taşımayabilirler. Bu ise uyumsuzluk kayıplarına sebep olur ve önlenmesi için aynı akımı veren hücrelerin bir üniteye toplanması gerekmektedir. Bundan daha önemli bir etki ise “sıcak nokta” denilen olaydır. Serideki en zayıf pilin fazla ısınma ihtimali vardır. Fazla ısınmadan dolayı da piller zarar görür ve

devrenin akımına ters yönlü bir diyot (tek yönde akım geçiren devre elemanı) gibi çalışır. Bu olayı temsil eden şekli aşağıda görebilmekteyiz (Şekil 3.11).

Konunun ciddiyetini belirtmek açısından olayı örneklemek faydalı olacaktır. Northumbria Üniversitesindeki (İngiltere) Northumberland binasında 1994'te 39,5 kW gücünde bir PV sistem kurulmuştur. Yapılan ölçümlerde %10,5 olması beklenen sistem verimliliği gölgeleme kayıpları sebebiyle %8,4 olarak gerçekleşmiştir (Pearsall vd., 1997). İlave olarak modülün %2'si gölgelendiğinde dahi modülden elde edilen kazanç %70'lere varan ölçüde azalabilir.



Şekil 3.11 “Sıcak etki” olayının şematik gösterilmesi.

Bu olay bir pilin gölgelenmesi olarak da örneklenebilir. Bu olayın etkisinden tamamen veya kısmen korunmak için by-pass diyotları kullanılabilir. Seçilecek adette pil dizisinden sonra yerleştirilecek bu diyotlar ünite akımına düşük dirençli alternatif bir yol sunar.

3.3.2 Aküler

Sistemin özelliğine göre PV sistemlerde depolama yapılması da gereklidir. Yükün olmadığı ve gerekli gücün üretilen güçten az olduğu durumlarda fazlalık enerji daha sonra kullanılmak üzere depo edilebilir. Güneş enerjisinin depolanması bir değişim ya da çevrimle elde edilen ikincil enerjinin depolanması biçiminde gerçekleşmektedir. Depolama işlemleri ısıl, mekanik, kimyasal ve elektriksel yöntemlerle yapılır. Isıl depolamada özgül ısıl kapasitesi yüksek ve kolay bulunur ucuz materyaller tercih edilir, örneğin su, yağ, çakıl taşı yatakları. Mekanik depolamada güneş enerjisiyle çalıştırılan bir pompa ya da kompresör tarafından basılan yüksek basınçlı akışkan uygun bir ortamda toplanır. Kimyasal depolamada ise hidrat tuzlarda

yararlanılır (Ültanır, 1996). Elektriksel depolama bataryalarla yapılır ki PV uygulamalar için en sık kullanılan yöntemdir. Kurşun asidik piller kullanım kolaylığı ve ucuzluk açısından avantajlı olduğundan bu sistemlerde ağırlıklı olarak kullanılabilirler. Nikel kadmiyum piller arızalanma ve maliyet sorunları olsa da depolama amaçlı kullanılabilirler. Bununla birlikte sodyum sülfür bataryaların da kullanılması mümkündür. Ekonomikliğin sağlanması için akü seçilirken kapasitesine dikkat edilmelidir.

3.3.3 Şarj Regülatörleri

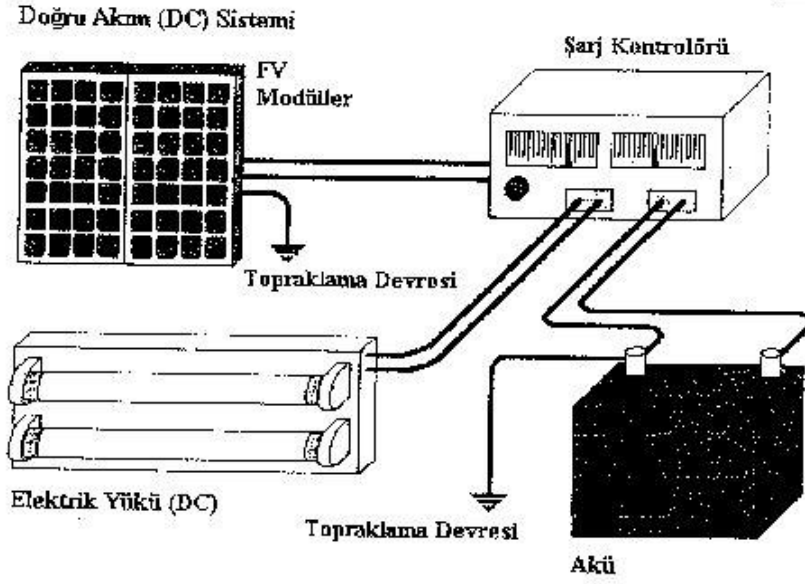
Şarj regülatörlerinin fonksiyonları olarak akülerin en uygun şartlarda şarj ve deşarj edilmesi, sıcaklık ayarları, yıldırım kontrolü, koruma/sigorta sistemleri, güneş panellerinden gelen verilerin kayıt edilmesi ve istenildiği takdirde bir modem aracılığı ile merkeze gönderilmesi olarak sıralanabilir.

Batarya tamamen dolduktan sonra akım alması bataryanın ısınmasına, sıvı kaybına ve ömrünün kısalmasına sebep olur. Regülatörün görevi ise bunu önlemektir. Bataryalar az şarj ile de bozulabilir. Regülatör aynı zamanda şarjı yeterli olmayan bataryayı devreden çıkarır ve bozulmasını önler.

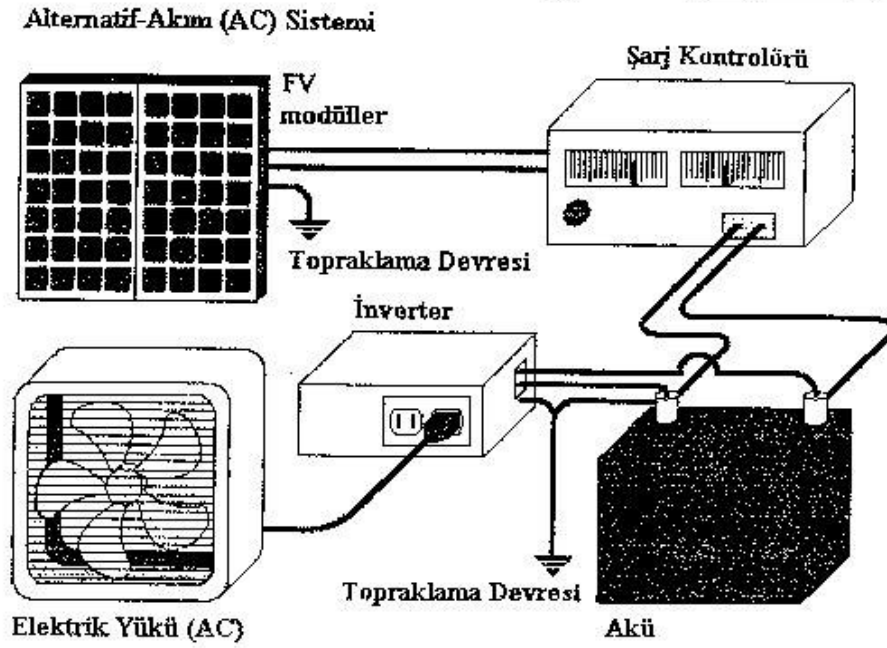
Regülatörlerin seçilmesinde en önemli husus regülatörün söz konusu olan maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Ayrıca kullanılan batarya voltajı ile de uyum içerisinde olmalıdır.

3.3.4 Dönüştürücüler (İnverterler)

Şimdiye kadar incelediğimiz parçalar ile doğru akım (DC) ile çalışan cihazları çalıştırmak mümkündür. Fakat kullandığımız günlük elektrik aletlerinin çoğu alternatif akım (AC) 220V ile çalışmaktadır ve PV ünitelerden elde edilen elektrik direkt olarak bu tür cihazlara verilemez. Dönüştürücü denilen cihazlar kullanılarak alternatif akıma çevrilir ve ondan sonra kullanılabilir. Dönüştürücüler çıkış gücü ve çıkış dalga boylarına göre sınıflandırılırlar. Bunlardan en uygun olanı şebeke ile aynı hatta daha yüksek kalitede çıkış verebilen ve şebekeye geri besleme yapabilen diğerlerine göre biraz daha maliyetli olsa da tam sinüs inverterlerdir. İnverterlerde elde edilen verimler ise genelde %92'nin üzerindedir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.12 ve 3.13) basit birer doğru akım ve alternatif akım sistemi görmekteyiz (Çetinkaya, 2001).



Şekil 3.12 Doğru akım sisteminin yapısı



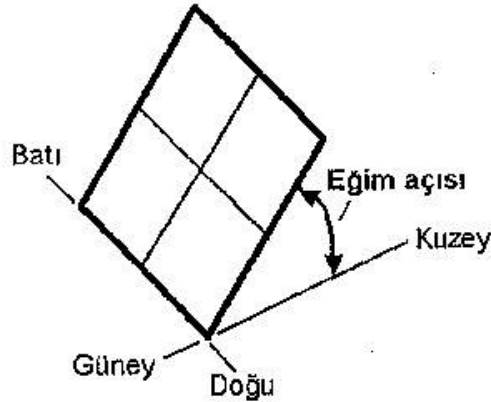
Şekil 3.13 Alternatif akım sisteminin yapısı.

3.3.5 Diğer Sistem Bileşenleri

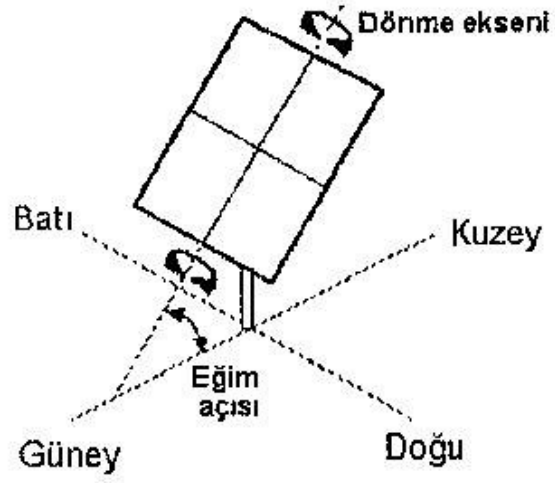
Bu grupta diyotlar, kablolama, bağlantı kesme elemanları, sigortalar, topraklama elemanları, çeşitli güvenlik elemanları ve montaj elemanları sayılabilir. Bloklama diyotu ile gündüz PV pillerin ürettiği akımı geçirir, gece ise ters yönde akımı engelleyerek akülerin boşalmasını engeller. Topraklama insanlara veya diğer nesnelere zarar vermeme için uygulanan bir koruma yöntemidir, şok elektriği engellemek için elektrik sisteminin bir iletken üzerinden yere bağlantısını sağlar.

3.4 Modüllerin Yerleştirilmesi

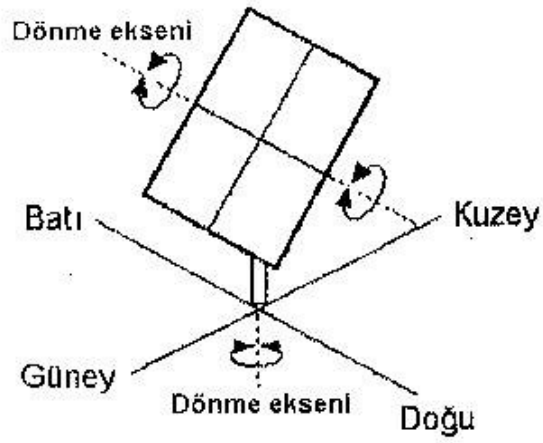
Düzlemsel güneş modüllerinin yerleştirilmesinde 3 ihtimal söz konusudur. Bunlardan birincisi sabit eğim açısıyla güney-kuzey doğrultusunda yerleştirilmedir. En iyi sonucun alınması için konumun enlemine yakın bir eğim açısı seçilmelidir. İkinci olarak modüllerin güney kuzey doğrultusunda sabit bir eğim ile ve doğu-batı doğrultusunda güneşin hareketini izleyen ve modüllerin de ona göre konumlarını değiştiren sensörlerin kullanıldığı tek eksenli güneş takibi yapılacak şekilde yerleştirilmesidir. Üçüncü ve son olarak ise, yine sensörlerle hem kuzey-güney, hem de doğu-batı doğrultularında güneşin takip edileceği şekilde yerleştirme yapılmasıdır. Aşağıda Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'de bu üç yerleştirmenin gösterimini görebilmekteyiz (Batman, 2001).



Şekil 3.14 Modüllerin Belli bir eğim açısıyla sabit olarak yerleştirilmeleri.



Şekil 3.15 Modüllerin tek eksen hareketiyle güneşi izlemesi.



Şekil 3.16 Modüllerin iki eksen hareketiyle güneşi izlemesi.

3.5 Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Değerlendirilmesi

Bu tür sistemlerde maliyet analizi yapılırken her bir Watt gücün ne kadar maliyetle üretildiği esas alınır. Karşılaştırma yapabilme açısından aşağıdaki çizelge 3.1’de farklı yöntemlerle üretilen enerji maliyetlerini görebiliriz. Bu değer de silikon tabakaların maliyeti, hücre üretim maliyeti ve hücre verimine bağlı olduğu kadar modüler yapının oluşturulmasındaki fabrikasyon maliyeti ve verime de bağlıdır. Bundan da öte PV sistemin modüller dışındaki parçaları da, ki bunlara literatürde BOS (balance of system) olarak rastlamaktayız, toplam maliyette önemli bir etkiye sahip olabilmektedir.

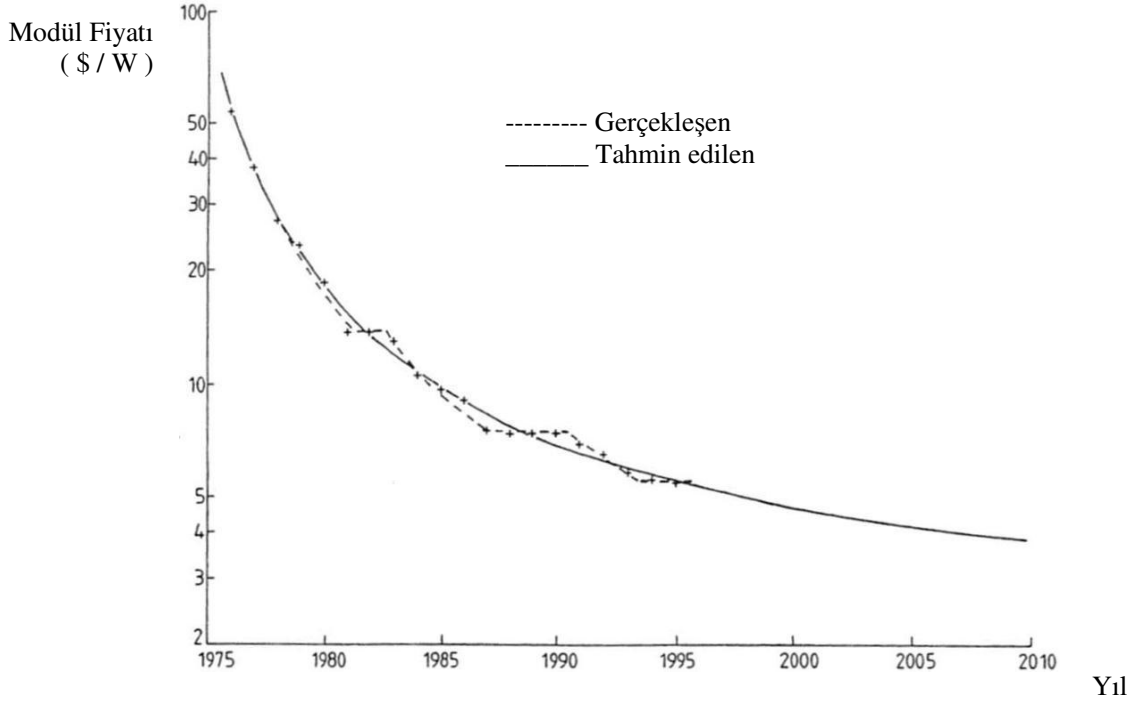
Çizelge 3.1 Enerji üretim maliyetleri (Al-Ismaily, 1999).

| Enerji Üretim Metodu | Maliyetler (\$/kW, \$/kWh) | | | Ömür (Yıl) |
|---------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------|
| | Yatırım Maliyeti | Üretim Maliyeti | Bakım Maliyeti | |
| Kömür | 1.200 | 0,08 | 0,008 | 30 |
| Gaz kombine çevrim | 500 | 0,08 | 0,0068 | 30 |
| Fotovoltaik | 6.000 | 0,024 | 0,005 | 30 |

PV teknolojisi kullanarak üretilen elektriğin maliyetine etkiyen faktörler aşağıda görülebilmektedir;

- Silikon tabakaların maliyeti, hücrenin üretim metodu ve modüllerin boyutu,
- Güneş hücrelerinin, modülün ve komple sistemin dönüştürme verimi,
- Üretilecek elektriğin miktarını belirleyici olması açısından ışığa yoğunluğu ve uygulamanın yapıldığı konumdaki ışığa süreleri,
- İhtiyaç olunan modül sayısı,
- Kullanım yerinde üretilen alternatif enerji tedarik yöntemleriyle üretilen elektriğin maliyeti.

PV üretimi gün geçtikçe ucuzlamaktadır. Bununla birlikte BOS parçalarının da ucuzlayacağını düşünürsek zaman ilerledikçe bu teknolojiyi kullanmanın fizibilitesinin artacağı öngörülebilmektedir. BOS maliyeti, toplam bir PV sistemin hemen hemen %40-60 kadarını teşkil etmektedir. Bu oranın ise PV hücrelerin üretimindeki maliyet düşüşünün daha hızlı olduğu düşünülürse artacağı tahmin edilebilir. Bu hızlı düşüşle ilgili bir grafiği aşağıda şekil 3.17’de görebiliriz.



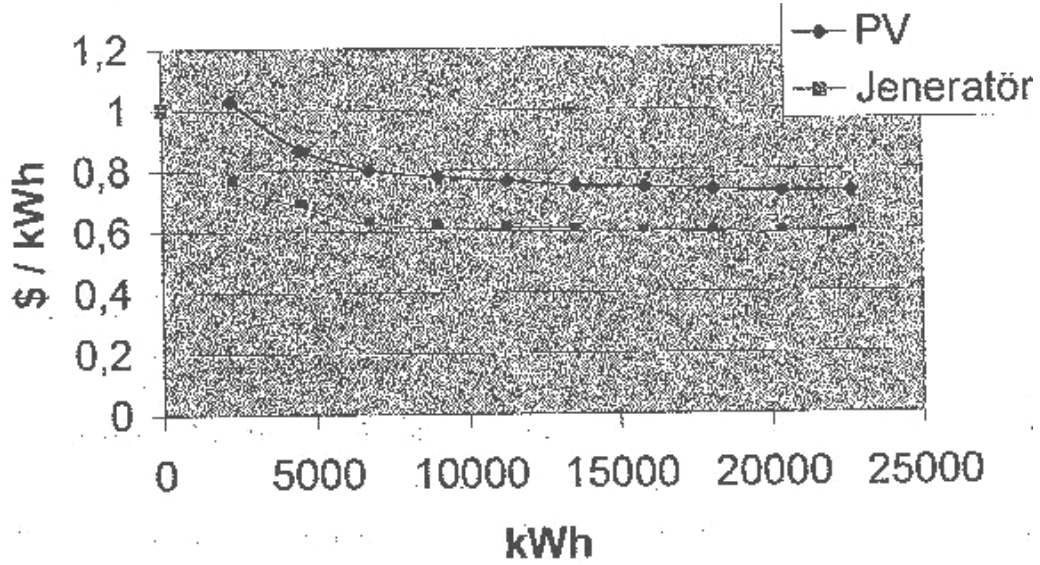
Şekil 3.17 Yıllara göre birim enerji başına modül fiyatları (Al-Ismaily ve Probert, 1998)

Çizelge 3.2 6 kW gücünde Şebekeye bağlı PV sistemdeki maliyet yüzdeleri (Alajlan, 1999)

| Bileşen | Maliyet | Tüm Sisteme Göre % Maliyet |
|-------------------|---------------|----------------------------|
| PV Modüller | 38.700 | 71,7 |
| Dönüştürücü | 7.400 | 13,7 |
| Yapı ve Kablolama | 7.900 | 14,6 |
| Toplam | 54.000 | 100 |

Riyad, Suudi Arabistan’da Alajlan’ın (1999) yaptığı akü kullanılmadan şebekeye bağlı PV sistem maliyet çalışmasında yukarıda tablodaki (Çizelge 3.2) veriler elde edilmiştir.

Aşağıdaki şekilde ise Korkmaz’ın (2001) yaptığı teorik çalışma sonucu elde ettiği elektrik ihtiyacının PV sistem veya jeneratör ile karşılanması durumunda birim maliyetlerin ne olacağını gösterir grafiği görmekteyiz. Çalışmada yatırım maliyetleri de hesaba katılmıştır.



Şekil 3.18 PV ve dizel jeneratör sistemleriyle elektrik üretiminin maliyet karşılaştırması
(Korkmaz, 2001)

3.6 PV Sistemlerinin Avantajları

Konuma ulaşım: İyi dizayn edilmiş bir PV sistem bakıma ihtiyaç duymadan çalışabilecektir. İşçilik ve ulaşım ücretlerinden elde edilecek tasarruf dikkate değer olacaktır.

Yakıt masrafı: Bazı uzak mesafeler için yakıtın şantiyeye taşınması sistemin işletme maliyetine önemli bir ek yapacaktır. PV sistemlerin işletilmesi için herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaç duyulmamaktadır.

Ömür: Teorik olarak çok daha uzun olsa da pratikte 30 yıla kadar kullanım süreleri vardır.

Bakım: PV sistemleri için bakım maliyetleri genellikle diğer alternatif güç kaynaklarının çoğundan çok daha azdır.

Hammadde ve seri üretim: En sık kullanılan hammadde olan silisyum doğada en bol bulunan maddelerdendir ve seri üretim için uygundur.

Pratiklik: Kurulumu ve kullanımı alternatif sistemlere göre oldukça kolaydır.

Kalııcılık: PV modüllerin hareketli parçaları yoktur ve eskimleri oldukça yavaştır.

Modülerlik: PV sistem gelecekteki elektrik ihtiyaçlarına uygun hale (büyüme veya küçültme) kolaylıkla getirilebilir.

Çevresel etki: PV sistemlerin çevreye zararlı etkileri olmadığı gibi gürültü de çıkarmamaktadır. Kullanımları fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak ve böylelikle sera gazı emisyon oranlarını azaltacak enerji kaynaklarının uzun dönemli güvenliğini arttıracaktır.

Güvenilirlik: Hareketli parçaları az ya hiç yoktur ve birçok doğa olayına karşı dayanıklıdır. Modüllerce üretilen akım düşük gerilimli olduğundan kaza ile kayıpları azaltma potansiyeline sahiptir.

3.7 PV Sistemlerinin Eksiklikleri

Maliyet: Günümüzde çoğu uygulama için elektrik sağlayan diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında PV sistemlerinin daha pahalı olduğu görülmektedir.

Verim: Günümüz itibari ile dönüşüm verimleri düşüktür ve yüzeyi toz veya başka maddelerin kaplaması ile verim kayda değer şekilde daha da azalabilmektedir.

İleri teknoloji: Modüller çeşitli dış etkilere maruz kaldığında kolayca çatlayıp kırılabilirler. Bu takdirde konumlarında tamiratları oldukça zor olup genellikle modüllerin yenileriyle değiştirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Zaman bağımlılığı: Güneş banyosu her zaman mümkün olmamaktadır ve dolayısıyla elektrik üretimi kesintisiz olamamaktadır. Gece vakti ihtiyaç olunan elektrik de akü stoğuyla karşılanabilmektedir ki bu da maliyeti arttıran bir etken olmaktadır.

Coğrafya: Güneşlenme ihtiyacı olduğundan sadece belli bir ölçüde güneş ışınımı alan bölgeler için uygundur. Bununla birlikte hücrelerin sıcaklığın artması ile de verimlerinin düştüğü bilinmektedir.

Alan: Kabaca bir değer olmakla birlikte her kW güç için 7-8 m² alana ihtiyaç duyulmaktadır.

Üretilen akım türü: Üretilen akım doğru akım olduğundan ve kullandığımız çoğu alet alternatif akım ile çalıştığından arada bir dönüştürücü (inverter) kullanmak lazımdır ki az da olsa sistem verimini düşürecektir.

Yedek Parça: Gelişmekte olan bir teknoloji olduğundan henüz yedek parça temini ve teknik destek uzmanlığı istenilen düzeyde değildir.

3.8 PV Teknolojisinin Kullanım Alanları

Bugün dünyanın her yerinde yaygın olarak kullanılan fotovoltaiik uygulamalara örnek olarak güneş enerjisiyle çalışan saatler, hesap makineleri, radyolar, el fenerler, bahçe ışıkları ve reklam panoları verilebilir. Bununla beraber yerleşim alanlarından uzak ışıklandırma, trafik ışıkları, uyarı ışıkları ve güneş enerjili iklimlendiriciler de PV uygulamalardandır.

Sıcak iklimlerde çok yoğun olmayan elektrik talebi için PV sistemlerin kullanımı mümkündür. Aşağıda ise daha çok mümkün olduğunca değinilmeyen uygulama alanlarına bir göz atacağız.

3.8.1 Haberleşme

Ülkemiz için çok yetersiz bir kullanım alanı olan haberleşmeye örnek olarak iletişim kuleleri, yolcu bilgi verici istasyonları, mobil radyo sistemleri ve acil duru çağrı kutuları verilebilir. Bu sistemlerde kullanılan güç kapasiteye göre birkaç watt ile birkaç kilowatt arasında değişebilmektedir. PV sistemler haberleşme donanımı için çok idealdir çünkü fotovoltaiik şarj edilmiş aküler ciddi DC voltaj sağlayıp değişen yükleri kolayca karşılayabilmektedir. Bir kural olarak söyleyebiliriz ki, haberleşme uygulamalarında, her 5 kWh günlük kullanım için şebekeden 1 km uzaklıkta bir bölgede PV sistemlerin uygulanması makul olacaktır (Al-Ismaily ve Probert, 1998).

3.8.2 Yerleşim Dışı Alıcılar

Bir çok hükümet birimi yerleşim olmayan bölgelere kurulu vericilerden alınacak bilgiye ihtiyaç duyar. Bu vericilere güç sağlamak ve bilgi toplamak PV sistemleri için ideal bir uygulamadır. Meteorolojik bilgileri ve trafik durumunu görüntüleme, hava kalitesi örnekleme, sismik kayıt tutma, sulama kontrolü ve muhtelif bilimsel araştırmalar gibi bu tür çoğu uygulama 200 watt'tan daha az güce ihtiyaç duyar. PV sistemler basitliği, güvenilirliği ve bakımsız çalışabilme kapasiteleri sebebiyle çok elverişlidir.

3.8.3 Binaya Entegre Sistemler

Büyük PV sistemler, şebeke bağlı uygulamalarda olduğu gibi, altyapı, montaj ve alan sebebiyle yüksek maliyetlere çıkabilmektedir. Bunlar toplam yatırımın %30'undan fazlasına ulaşabilmekte ve ilerleyen teknoloji ve seri üretime dayalı olarak da belirgin bir maliyet azalmasının imkanı görülmeyen yatırımlardır. Bu geniş ölçekli uygulamalarda PV sisteminin başarısında kritik önemi olan sorunu çözmek için altyapı, montaj ve alan kullanımının her halükarda söz konusu olduğu uygulamalarda bu bileşenler üzerine yoğunlaşmak gerekmektedir.

İlk olarak yaygın şekilde ticarileşeceğine inanılan PV sistemleri büyük merkezi sistemlerin aksine müstakil fotovoltaik uygulamalardır. Kullanım bölgesinde elektrik sağlayana bu uygulama binalarda kullanıldığında çevresel olarak avantajlıdır, binanın kendisi modüller için bir destek yapı haline gelmektedir. Talep ve tedarik arasındaki daha güçlü bir bağ, özellikle de ekonomik yönden, PV hücrelerin çatı veya binanın cephelerinde kaplayıcı olarak kullanıldığında kurulabilmektedir. Kaplamada alışlagelmiş inşaat malzemeleri yerine PV kullanılması PV sistemlerindeki yardımcı elemanların kullanılması maliyetini de azaltmaktadır. Binalarda PV kaplama sadece elektrik maliyeti olarak basit karşılaştırmalarla değerlendirilmemelidir ve şu da unutulmamalıdır ki parlak taş veya üst sınıf cam cephe çalışmalarıyla karşılaştırıldığında birim alan başına maliyet PV kaplamada ortaya çıkan maliyetle hemen hemen aynıdır. İlave olarak kullanım yerinde elektrik üretildiği de hesaba katılmalıdır. Böylece enerji iletim kayıplarıyla birlikte iletim ve dağıtım için gerekli yatırım ve bakım maliyetleri de ortadan kalkmaktadır.

Bu uygulamalarda en iyi sonuca ulaşılması açısından dizayn ve inşaatın bütün aşamalarından itibaren PV sistemleri bütünün bir parçası olarak ele alınmalıdır. Bunu sağlamak için bütün dizayn ve proseslerde dahil olan görevlilerin işbirliğine gitmesi gereklidir. Böyle bir uygulamayı aşağıda şekil 3.19, 3.20 ve 3.21’de görebilmekteyiz.



Şekil 3.19 PV kaplama uygulanmış bir bina.

Bu konuya örnek olarak Doxford International Business Park, Sunderland’de yapılmış binayı gösterebiliriz. Projesi 15 ay, yapımı 12 ay süren ve 1998 yılında toplam 4,5 milyon £ maliyetle tamamlanan binada Kyocera hücreler ile oluşturulan 352 modül kullanılmıştır. 900 m² cephesi bulunan binada 532 m² PV hücre kullanılmış olup Avrupa’da günümüze değin kullanılan en büyük PV alana sahiptir. Şekil 3.2’den daha iyi görülebileceği üzere, kaplama yapılmış cephe yer ile 60° açı yapacak şekilde dizayn edilerek daha fazla güneş ışığı absorbe edilmesi hedeflenmiştir. Bu PV sistemi ile bina yaklaşık 60.000 kWh elektrik üretip yıllık enerji ihtiyacının %30’unu karşılayabilmekte ve hücrelerin ihtiyaçtan fazla elektrik üretimi yaptığı zamanlarda bu fazlalık ulusal şebekeye satılmaktadır. Binanın bulunduğu bölgede elde edilen yıllık 230 saat güneşlenme süresi ülkemizdeki 10 kattan fazla güneşlenme süresi ve çok daha yoğun güneş ışınımı şiddeti ile karşılaştırıldığında, benzeri bir uygulamanın ülkemiz coğrafyasında çok daha iyi sonuçlar vereceğini basitçe göstermektedir.



Şekil 3.20 PV kaplamalı binanın yandan görünümü.



Şekil 3.21 PV kaplamalı binanın inşaat aşamasında çekilmiş resmi.

3.8.4 Katodik Koruma

Korozyon petrol veya doğal gaz boru hatlarına çok önemli derecede zarar veren bir olaydır. Bu zarar sonucunda yenileme ve tamir gibi önemli maddi külfetleri olan çalışmalar yapmak gerekmektedir. Korozyon metallerdeki iyonların toprak veya sudaki nem veya çeşitli kimyasallar gibi elektrolitlere maruz kalması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tür korozyonu önlemede özellikle PV sistemlerinin kullanılmasının iki sebebi vardır. Bunlardan ilki bu tür boru hatlarının geçtiği yerleşime uzak alanlara güç taşımının zorluğu ve dizel elektrik tedarik sistemlerinin kurulmasının maliyetidir. İkincisi ise, hattı çevresine göre negatif bir gerilim ile korumadan ibaret olan katodik koruma tekniğinin DC elektrik kaynağı gerektirmesidir. Bu uygulamanın doğası elektrik şebekesinde uzak olan bu bölgelerde düşük gerilim kullanmaktır. Bu iki sebepten dolayı bu tür korumada en uygun olarak PV sistemler düşünülmektedir. Böylece AC şebeke akımını verimsiz şekilde alçak gerilime düşürmek ve sonra da doğru akıma çevirerek katodik koruma devresine vermek işlemlerinden kurtulunmuş olunmaktadır.

Katodik korumada işlemin aslı metal ve elektrolit arasındaki gerilimi metalden elektron kaybını önleyecek bir değerde tutmaktır. Uygulanacak gerilimin miktarı toprağın bileşimi, tuzluluk oranı, korunacak yüzey alanı ve metalin tipine göre değişebilmektedir. PV uygulamada ise gerekli olan bu gerilim hat boyunca belli aralıklar yerleştirilen ve günlük olarak PV dizileriyle şarj edilen akülerle kolayca sağlanabilmektedir.

3.8.5 Uyarı ve İşaretler

Uyarı veya kaza işaretleri PV sistemlerinin faydalı bir uygulama alanıdır. Bunlar gemicilik, otoyol işaretleri veya uçak uyarı sinyalleri olabilir. Yüksek gerilim dağıtım hatları uyarı sinyalleri de bir örnek uygulama olarak gösterilebilir. Katodik korumada olduğu gibi bu uygulamada da yüksek gerilim akımını dönüştürmektense PV sistemlerinin kullanılması daha doğru olacaktır. Şamandıra ve çoğu deniz fenerleri de ulusal şebekeden bağımsız oldukları düşünülürse bu teknolojiden yararlanılması uygun uygulamalardır.

3.8.6 Su Pompalama

Orta boyutlu pompalama uygulamaları için PV sistemleri kullanılabilir. Uygulamalar yerel su kullanımı ya da sulama olabilir. Fotovoltaik elektrik tuzlu su arıtmada bağımsız sistemlerde de kullanılmıştır. Ticari olarak fizibilitesi olan uygulamalar birkaç yüz W ile birkaç kW arasında değişmektedir.

V_s hacmindeki suyu H yüksekliğine çıkarmak için gerekli hidrolik enerji (E_h);

$$\text{Hidrolik Enerji} = \text{Su hacmi} \times \text{Yükseklik} \times \text{Su yoğunluğu} \times \text{Yerçekimi sabiti} \quad (3.1)$$

Su yoğunluğu ve yerçekimi yerine bilinen sabit değerleri koyulursa böyle bir uygulamada PV hücreler tarafından sağlanması gereken net enerjiyi aşağıdaki şekilde elde etmiş oluruz;

$$E_h = V_s \times H \times 1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (3.2)$$

Genel olarak, PV pompalar dizel pompalar ile karşılaştırıldığında, küçük yerleşimlere su sağlamada 3 kW, sulamada ise 1 kW civarında güç gerektiren uygulamalarda PV pompaların daha ekonomik olduğu bilinmektedir (Markvart, 1994).

3.8.7 Uzay Çalışmaları

PV sistemler uydularda elektrik üretimi için en iyi sistem olmuş ve yeni bir teknoloji çıkana kadar da öyle olacaktır. PV sistemler ilk olarak 1958 yılında bir uyduda kullanılmış ve günümüzde uzayda 100 kW üretecek PV sistemlerinin birkaç yıl içinde bitirilmesi düşünülmektedir. Uzaydaki bu tür çalışmalarda maksimum verim ve güç / ağırlık oranı önem kazanmaktayken ekonomik önemini yitirmektedir.

3.9 PV Modüllerin Performansını Etkileyen Faktörler

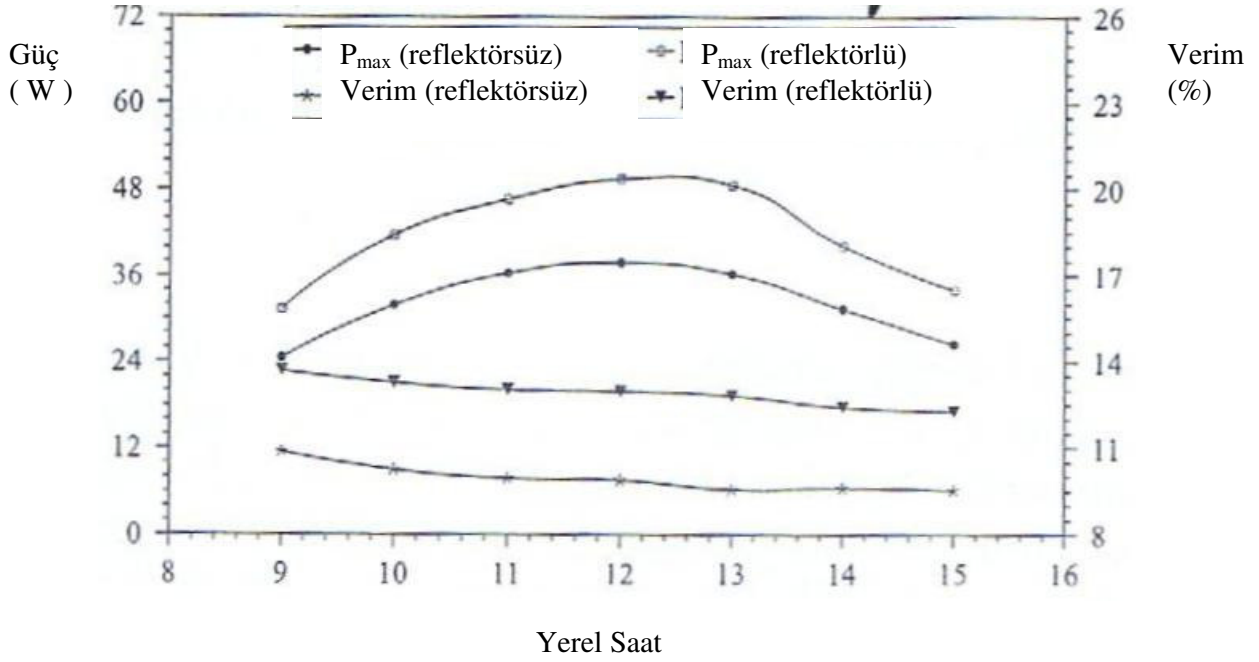
3.9.1 Toz Faktörü

PV yüzeyinin toz ile kaplanması ile absorbe edilen güneş ışınımı miktarında önemli düşüş görülebilmektedir. Bunun önlenmesi için, ortam şartlarının gerektirdiği sıklıkta bu yüzeyler temizlenmelidir ve bu işlem ile yaklaşık olarak 5-25% arasında güç tasarrufu elde edilecektir. Bu değerleri PV Dizilerinin Performansı başlığı altında verilen deneysel çalışma ile elde edilmiştir.

3.9.2 Düzlem Yansıtıcı Kullanımı

PV sistemlerde en büyük kısıtlayıcı olarak yüksek yatırım maliyeti ve düşük verim görülmektedir. Bir yansıtıcı kullanmak ise ortalama %5 kadar ek bir maliyet getirmektedir. Fakat böyle bir yansıtıcının getirisi incelendiğinde birim güç üretim maliyetini düşürmek için uygulanabilecek nispeten düşük maliyetli ideal bir yol olduğu anlaşılmaktadır. Örnek olarak Ahmad ve Hussein'in (2000) yaptığı çalışmaya bir göz atmak yararlı olacaktır. Tek kristal silikon modüllerin kullanıldığı çalışmanın yapıldığı konumun enlem açısına göre bir eğimle yerleştirildiği (Kahire, Mısır, $\theta=30^\circ$) ve yansıtıcı açılarının da daha önceden yapılmış olan teorik bir çalışmadan alındığı ölçümlerde reflektör boyutla PV modül boyutlarında seçilmiştir. Detaylı ölçümlerin yapıldığı çalışmada konumuzu aslen ilgilendiren boyut aşağıda şekil 3.22'da görülebilmektedir.

Bu uygulama ile güneş hücresinin sıcaklığının artacağı ve artan sıcaklık ile de hücrenin veriminin bir miktar düşeceği unutulmamalıdır. Fakat yapılan ölçümler göstermektedir ki kazanılan verim yanında bu bahsedilen verim kaybı önemsenecek kadar küçük kalmaktadır.



Şekil 3.22 Yansıtıcı kullanılan ve kullanılmayan PV modüllerinde performans karşılaştırması
(Ahmad Hussein, 2000)

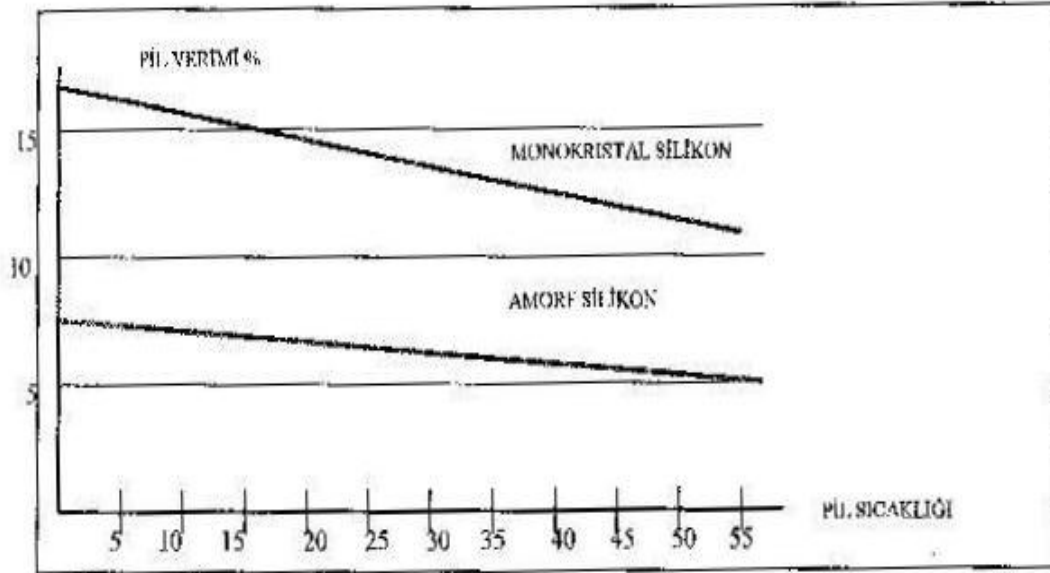
Grafikten elde edilen sonuçlara göre,

- Düzlem reflektör kullanımının PV modülden elde edilen değerlerde önemli bir katkısı olmaktadır,
- Yılda elde edilen enerji, düzlem reflektör kullanıldığı durumda yaklaşık %22 artmaktadır,
- Pahalı olmayan reflektör uygulaması, modüllerin performansını arttırmada ideal bir metotturlar.

3.9.3 Sıcaklık

Sıcaklık güneş pillerinin verimini negatif yönde etkileyen ve fabrika verisi verimlerin pratikte gerçekleşmemesinin sebeplerinden biridir, zira bu veriler 25°C sıcaklıkta elde edilen değerlerdir. Örnek olarak Al-Sabounchi'nin (1998) yaptığı deneysel çalışmada AEG.PQS/40/0 güneş pilinin 25 °C sıcaklığının üzerindeki her bir derece sıcaklık için verdiği gücün %0,44 azaldığı, yani 70 °C sıcaklıkta çalışan söz konusu hücrenin veriminde yaklaşık %20 düşüş saptanmıştır. Bu nokta dikkate alınarak, kurulacak PV sistemde soğutma

çalışmalarının fizibilitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Aşağıdaki grafikte (Şekil 3.23) monokristal ve amorf silikon pillerde sıcaklık ile pil verimi arasındaki ilişkiyi görebilmekteyiz.



Şekil 3.23 Monokristal ve amorf silikon pillerde pil sıcaklığı ve verim ilişkisi
(Oluklulu, 2001)

Konuyla ilgili detaylı hesap 5. bölüm'de yapılacaktır.

3.9.4 Yansımaya

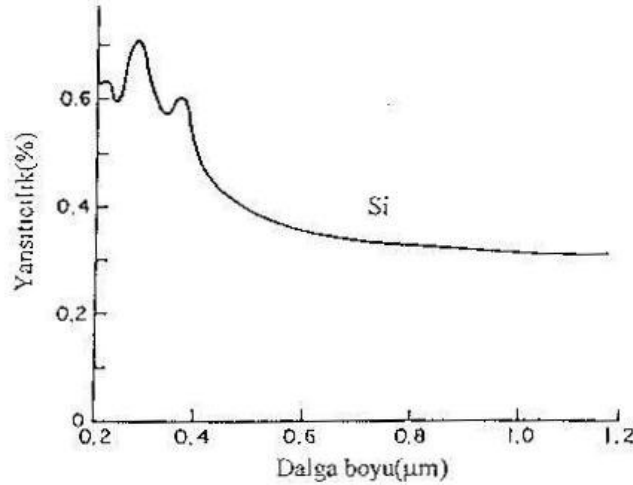
Pil içinde üretilen akım meydana gelen boşluk elektron çifti sayısına ve bu çiftlerin sayısı da yüzeye gelen foton miktarına bağlı olduğundan bu fotonların mümkün oldu kadar yansımaması, yüzey tarafından absorbe edilmesi istenmektedir. Güneş pili malzemelerinin ise genel olarak yüksek kırılma indislerine sahip olması sebebiyle ($n = 3\div 4$) ortaya bir yansımaya sorunu çıkmaktadır. Aşağıdaki formüle göre;

$$R_Y = (n_k - 1)^2 / (n_k + 1)^2 \quad (3.3)$$

(3.3) Formülünde kırılma indisi ortalama bir değer olarak 2.5 olarak seçilip yerine koyulursa;

$$R_Y = (2,5-1)^2 / (2,5+1)^2 = 1,5^2 / 3,5^2 = \%18,4$$

Yukarıdaki sonuçtan görüldüğü üzere, tabii ki seçilen malzemeye bağlı olarak değişebilecektir, yüzeye gelen ışınların %18,4 gibi önemli bir miktarı yansımaktadır. Bu da sistemden elde edilecek enerjinin bir miktar azalmasına sebep olacaktır. Yansıma miktarını etkileyen bir diğer faktör de yüzeye gelen dalga boyudur. Dalga boyu ile yansıtıcılık (silikon malzeme için) arasındaki ilişkiyi veren grafiği aşağıda Şekil 3.24’de görebilmekteyiz.



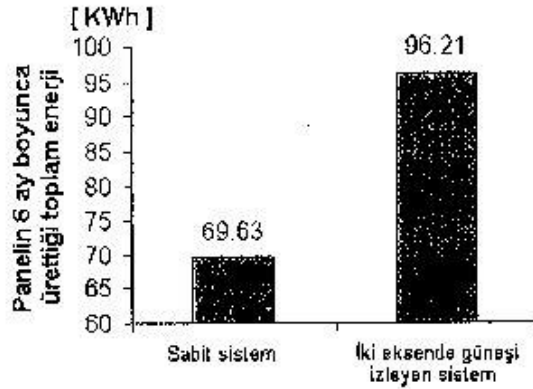
Şekil 3.24 Dalga boyu ile yansıtıcılık arasındaki ilişki (Silikon malzeme için) (Diken, 2000)

3.9.5 Güneş İzleyicileri

Gelen güneş enerjisinin modül üzerine yansımanın az olması ve yüksek verim elde edilmesi için dik düşmesi istenir. Fakat güneşin gün boyunca açısı değiştiği için sabit olarak monte edilen sistemler bu mümkün olmaz. Güneşi izlemek için tek veya iki eksenli güneş izleyici düzenekler kullanılabilir. Tek eksenli olanlar sadece yatay ekseninde (doğudan batıya) güneşi takip ederken çift eksenli izleyiciler hem yatay hem de düşeyde takip yaparlar. Maliyetleri yüksek ve kazandırdığı enerji artışı %15-40 olup tercih edilirken iyi hesaplanması gerekmektedir. Pratikteki uygulama daha çok modüllerin belli bir eğimle güneşe yönlendirip

mevsime göre bu eğimi değiştirmektedir. Konuyla ilgili şekilleri “3.4 Modüllerin Yerleştirilmesi” başlığı altında görebilmekteyiz.

Batman (2001) yaptığı deneysel çalışmada iki sistem kurmuştur. Bunlardan birincisi sabit eğim açısıyla (54°), ikincisi ise iki eksenle güneşi izleyecek şekilde yerleştirilmiştir. 6 ay boyunca elde edilen değerleri ve güneşi takibin getirisini aşağıdaki grafikte görebilmekteyiz (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Sabit ve güneşi iki eksenle hareketle izleyen sistemin enerji değerleri
(Batman, 2001)

Alajlan (1999) tarafından yapılan deneysel çalışmada hücre dizilerinin yerleştirilmesinde kullanılan çeşitli kombinasyonların elde edilen sonuca etkisi araştırılmış. Çalışmada elde edilen enerji değerleri verilmiş fakat konumuzu ilgilendiren yönüyle ortaya çıkan sonuçları sıralamak gerekirse;

- Konumun enlemine göre güneş ışınlarını dik alacak şekilde sabit bir eğim açısıyla oluşturulmuş diziler farklı bir eğim açısı kullanılan (daha büyük ya da daha küçük) dizilerden daha fazla elektrik üretimi sağlayabilmektedir ve bu konum deneyde referans olarak alınmıştır.
- Referans konumdaki eğim açısında tek eksenli güneş iz sürücü kullanılırsa elde edilecek değer %22,5 daha fazladır.

- Bir üstteki duruma ilave olarak eğim açısının her ay en iyi değer seçilmesi sonucunda elde edilen değer referans durumundan %25,8 daha fazla olmaktadır.

Yukarıdaki 3 durumda yüzeylerin üstünü az miktarda toz kapladığı ve bu sebeple de %5 güç kaybı olduğu görülmüştür. PV dizisinin üstünün uzun zaman temizlenmediği durumlarda;

- Referans durum için elde edilen değer %21,05 daha az olduğu görülmüştür.
- Yukarıda son sıradaki durum için ise elde edilen değer referans durumuna göre %0,9 daha az olmaktadır.

Elde edilen değerlerden anlaşılmaktadır ki kolayca yapılabilen ve çok zor bir görev olmayan bu temizleme işi sistemin ekonomik ve yüksek verimde çalışması için yapılması önemli olan bir prosestir.

3.9.6 Yoğunlaştırıcılar

Yoğunlaştırıcı sistemlerde büyük ayna veya lensler kullanılarak yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının hücreye verilmesi ve böylece daha yüksek çıktı değerlerinin alınması hedeflenmektedir. Bu şekilde istenilen gücü daha az hücreden almak söz konusu olabilmektedir. Yoğunlaştırıcı kullanıldığında güneşi takip eden mekanizmalar ve yoğunlaşmış ışıklardan dolayı çok ısınan hücreleri soğutmak için fanlar kullanılarak verimin artırılması da söz konusudur.

3.10 Güvenlik Sorunları

PV üreteçler yüksek gerilim değil temel akım cihazlarıdır. Bağlı kabloları aşırı yüklemek söz konusu değildir. Bu sebeple PV üreteçleri sigorta veya manyetik devre kesici gibi bilinen aşırı akım koruma aparatlarını harekete geçirmez. Ayrıca kolayca kapatılamazlar, kapatmak için tamamen üzerleri örtülmeli veya gölgelendirilmelidir. Bir ışıklandırma oldukça PV üretici çıkışlarında bir gerilim olacaktır. Bunun da ötesinde montaj hatasından kaynaklanan kaçak akımlar da bertaraf edilememektedir. Buna göre bir kısa devre gerçekleştiğinde bu güneş ışıdıkça devam edecek ve çok zararlı olabilecek hatta yangına bile yol açabilecektir. Bu

risklerle baş etmek için topraklama ve kısa devre güvenlik cihazlarının kullanılmasında fayda vardır.

Modüllerin kısmi gölgenmesinde “sıcak nokta” denilen etki ortaya çıkarak modüllere zarar verebilir. Bundan kaçınmak için by-pass diyotları kullanılmalıdır. Konunun detayını hücrelerin seri bağlanmasında görebiliriz.

3.11 Şebekeye Bağlı PV (ŞBPV) Sistemler

Şebekeye bağlı PV sistemlerin en büyük avantajı şebekeyi bir akü olarak kullanabilmesi ve depolama için akü eklemeye gerek kalmaması ve böylece de maliyetin önemli ölçüde azalmasıdır. Bağımsız bir PV sistemle karşılaştırıldığında bu ilk yatırım maliyetindeki azalma %40 kadar olabilmektedir. Bir önemli avantaja da ihtiyaç duyulan elektrik yüküne göre elektrik sadece PV hücrelerden, sadece şebekeden veya her ikisinden birden çekilme imkanı olmasıdır. Özellikle sıcak iklimlerde gün boyu maksimum yükün olduğu saatler aynı zamanda güneş ışımalarının da maksimum olduğu saatlere denk gelmekte, böylece PV sistem ile üretilen güç maksimuma çıkmakta ve fosil yakıt dönüşümünü azaltacak şekilde şebeke yükünü hafifletmede önemli bir rol oynayabilmektedir.

3.11.1 ŞBPV Sistemlerin Performansı

Bu sistemlerde güç akışı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$P_{yük} = P_{dön.} + P_{şeb.} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) kullanılarak aşağıdaki durumlar elde edilebilir;

- Eğer yük yok ise, yani $P_{load} = 0$, $P_{dön.} = -P_{şeb}$ olur ki bu da dönüştürücüden çıkan gücün tamamının şebekeye beslendiği manasına gelir.
- $P_{dön.} = 0$ ise, çok düşük güneş ışınımı mevcuttur ve $P_{load} = P_{şeb}$ olur ki bu da yükün tamamının şebeke tarafından sağlandığı manasına gelir.
- $P_{dön.} > P_{şeb}$ veya $P_{dön.} < P_{şeb}$ ama $P_{dön.}, P_{şeb} \neq 0$ olduğu durumlarda yük hem dönüştürücü hem de şebeke tarafından sağlanıyor demektir.

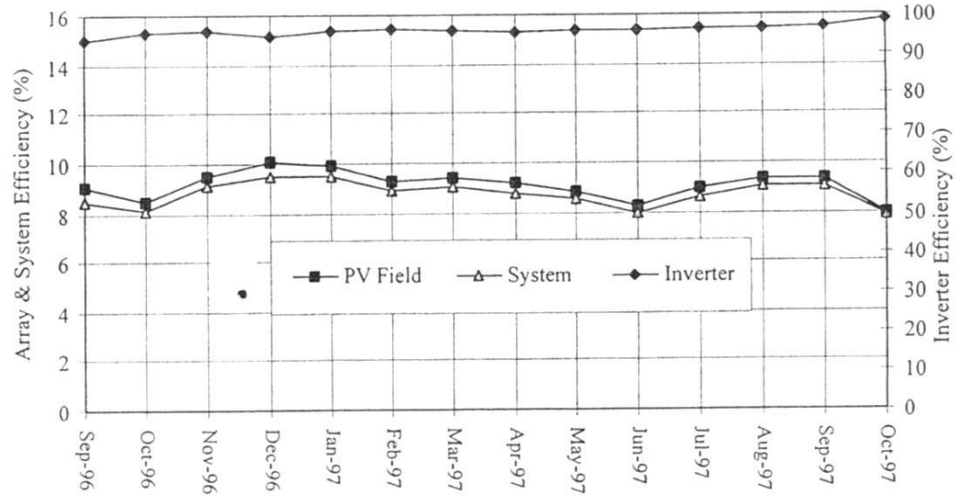
ŞBPV sistemlerde yükün ve kurulan PV tesisin büyüklüğüne göre yukarıdaki 3 durum da ortaya çıkabilmektedir. Buna göre ŞBPV sistemlerde izlenmesi gereken genel stratejiyi çıkaracak olursak;

- PV ünitelerinden sağlanan enerji, kullanım sırası açısından şebekeden satın alınan elektrikten daha önceliklidir.
- Eğer PV sistemden elde edilen enerji anlık ihtiyaçtan fazla ise, fazla kısım şebekeye geri beslenerek maddi gelir sağlanmalıdır ya da en azında ulusal hatta global sorumluluk icabı enerji tasarrufu yapılmalıdır. Şebekeye bu gücün geri beslenmesinde alıcı cihazın kapasitesi bu enerjinin tamamını almaya yeterli değilse artan miktar bir şekilde elden çıkarılmalıdır.
- Eğer PV sistem tarafından karşılanan enerji ihtiyaç duyulandan daha az ise, eksik kısım kadar enerji şebekeden çekilmelidir.

3.11.2 ŞBPV Sistemlerde Verim

PV dizilerinde verim çıkan üretilmiş gücün giren güce oranı olarak tarif edilir. Dönüştürücülerde çıkan gücün PV çıktı gücüne oranı ve sistemin verimi ise dönüştürücüden çıkan gücün toplam PV alanına gelen toplam ışınım gücüne oranıdır. Yukarıda “3.11.1 ŞBPV Sistemlerin Performansı” başlığı altında incelenen çalışma için oluşturulan grafikte görmekteyiz ki (Şekil 3.26) aylara göre elde edilen dönüştürücü

verimleri %93'ü geçmekte, PV dizilerinde 8,26 ile %10,06 arasında ve şebekeye bağlı PV sistemlerde ise 7,94 ile %9,5 arasında değişmektedir.



Şekil 3.26 Aylara göre elde edilen ŞBPV sistemi, PV dizileri ve dönüştürücü verimleri
(Alajlan, 1999)

4 FOTOVOLTAİK ENERJİNİN TAŞITLARA UYGULANMASI

4.1 Hedef

1996 yılında Honda'nın yaptığı "Dream" isimli güneş enerjisiyle çalışan araba Avustralya'da iki kişiyi dört günde 3.000 km boyunca 90 km/h ortalama hız ile taşıdı. Bu yolculuğun tamamında yaklaşık 50 kWh enerji kullanılmıştır. Bu miktarda enerji ulusal elektrik şebekesinden 6-7 YTL karşılığı alınabilmektedir. Bu mesafenin içten yanmalı bir motorla alındığı hesap edilirse yüzlerce YTL tutarla karşılaşılabileceği malumdur. Daha detaylı bir karşılaştırma için aşağıdaki tabloya bir göz atabiliriz.

Çizelge 4.1 Bir güneş arabası ile popüler bir 4 çeker aracın karşılaştırılması.

| | Güneş Arabası (Honda Dream) | 4 Çekerli bir araç |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| Kütle (kg) | 167 | 2.400 |
| Max. Güç (kW) | 6 | 160 |
| Boyut (m) | 6 x 2 x 1,1 | 4,8 x 1,9 x 1,9 |
| Taşınan kişi sayısı | 2 | çok sayıda, fakat genelde bir ya da iki kişi |
| 80 km/h sbt hızda harcanan güç (kW) | 1 | 18 |
| 3000 km'de harcanan yakıt (YTL) | 6,4* | 975** |

* Konutlarda uygulanan 2006 yılı şebeke elektrik satış fiyatları göz önüne alınmıştır, vergiler hariçtir.

(http://www.tedas.gov.tr/tarifeler_xls/2006_trf/01.01.2006-31.08.2006Elk_Sat_Trif_Bag_Ort_Sis_Kul_Trif.xls)

** 13 lt/100 km yakıt sarfiyatı, ortalama 2,5 YTL/lt yakıt ücretine göre hesaplanmıştır.

Buna göre günlük ihtiyaçlarımızda 2,4 tonluk bir makinenin kullanımının alternatifsiz olup olmadığını iyi hesap etmek gerekecektir, zira çizelge 4.1'den de görülebileceği üzere aradaki maddi farkın yanında belki de daha önemli olarak ön plana çıkabilecek çevresel farklar da mevcuttur.

4.2 Güneş Arabaları

Yeryüzünde iki nokta arasında giderken asıl yaptığımız iş yerçekimi kaynaklı potansiyel enerjimizi değiştirmekten ibarettir. Fakat bu iş içten yanmalı motora sahip bir otomobille yapıldığında motorun ürettiği mekanik enerjinin ancak %10 kadarının bu amaca hizmet ettiği görülür. Kalan kısmı sürtünme kuvvetlerine karşı yapılan iş olarak bir başka deyişle ziyan olur. Motorun kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürme verimi ise zaten %30'larda kalmaktadır. Dolayısıyla eğer bitiş noktasının rakımı başlangıç noktasınıninkinden yüksek ise, yani eğer yükseklik kazanmış isek, kullandığımız yakıtın içerdiği kimyasal enerjinin yalnızca yaklaşık %2,5 kadarını potansiyel enerjimizdeki artışa döndürmüş oluruz. Hele ki yokuş aşağı bir yolculuk yapıyor ise hem enerjimizde hem de kullandığımız yakıtın içerdiği kimyasal enerjinin tümünden olmuş oluruz. Halbuki bu yakıtın elde edildiği petrol tükenmeye yüz tutmuş bir kaynaktır.

Bu verim düşüklüğü fazla yakıt tüketimiyle beraber fosil yakıt tüketiminin yol açtığı çevre sorunlarının da misliyle artmasına sebep oluyor. Otomobil ile ulaşımın sağlandığı büyük yerleşim merkezlerinde hava kirliliği ve buna bağlı sağlık sorunları da artarken yaşam kalitesi düşmektedir. Sonuç olarak konvansiyonel kara taşıtlarına ağırlık vermekle daha fazla çevre ve sağlık sorununa yol açmak için kaynak harcamış olmaktayız. Bu sebeple de temiz otomobil diyebileceğimiz türden araç tasarımlarına yönelik çalışmalar günümüzde git gide artmaktadır. Bu tasarımlardan bir tanesi hidrojen kullanan araçlardır. Gerçi bu tür araçlarda da içten yanmalı motorlar kullanıldığı için verimlilik açısından elde edilen fazla bir şey olmuyor fakat yanma ürünü olarak yalnızca su buharı çıktığından aracın çalışması sırasında atmosfere kirletici unsurlar salınmış olunmuyor. Bu tasarımlar halihazırda prototip aşamasında olup hidrojenin dağıtım ve depolanma gibi sorunlarının çözülmesi beklenmektedir. Şekil 4.1'de BMW firmasının üretmiş olduğu hidrojenle çalışan bir arabayı görebiliriz.



Şekil 4.1 Hidrojen ile çalışan bir araba.

Temiz ulaşım arayışlarındaki bir diğer tasarım da elektrikli ulaşım araçlarıdır. Elektrikli motorlar çok daha yüksek verimlerle çalışıyor ve çalışırken de atmosfere kirletici yaymıyorlar. Buna karşılık yüksek güç taleplerine yanıt vermekte zorlandıklarından kısa sürelerde hızlanamıyor ve manevra kabiliyetleri sınırlı kalıyor. İlave olarak kullandıkları elektriğin önceden depolanmış olması bunun için de akülerin kullanılması gereklidir. Halbuki yüksek güce sahip akülerin boşalma süreleri halen kısa yeniden doldurma süreleri ise uzundur. Bu sebep de elektrikli araçların kullanım yoğunluğunu sınırlamaktadır.

Bu sorunu çözümü ise aracın gereksinim duyduğu elektriği yolda üretebiliyor olmasıdır. Örneğin hem elektrikli ve hem de sıvı yakıtla çalışan içten yanmalı birer motoru bulunan hibrid araçlar bunu yapabilmektedir. Bu araçların şehir içindeyken çoğunlukla elektrikli motorunu, akünün zayıfladığı veya hızlı manevra gereği duyduğu durumlarda ve uzun sürelerle hız yapılan şehirlerarası yollarda da içten yanmalı motorları kullanması öngörülmüyor. Söz konusu motorlar birbirlerine seri ya da paralel olarak bağlanabiliyorlar. Seri bağlandıkları durumda aracı yalnızca elektrikli motor sürüyor ve içten yanmalı motor da jeneratör olarak çalışıp akünün boşaldığı durumlarda aküyü yüklüyor. Paralel bağlanmaları halinde ise, aracın sürümü için motorlardan biri veya diğeri devreye girebiliyor. Şekil 4.2’de görebileceğimiz bu türden hibrid araçlar, piyasada da halen mevcut durumdadır. Ancak bu teknoloji hem nispeten pahalı hem de petrole bağımlılığın devam etmesi ile tam olarak istenen teknolojiyi sunmayıp şehirlerdeki hava kirliliğinin azalmasına katkıda bulunuyor.



Şekil 4.2 Toyota'nın ürettiği "Prius" isimli hibrid otomobil.

Kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren düşük sıcaklıklı yakıt hücreleri ise bu konuda çok büyük ümit vaat etmektedir. Çünkü söz konusu kimyasal enerjiyi metanol veya hidrojen gibi çok çeşitli kaynaklardan sağlamak mümkün olabilecektir. Ancak halen güç düzeyi ve maliyet açılarından çözülmesi gereken sorunlar mevcut. Tabii bir de ilave olarak kimyasal enerji kaynağı olan hidrojen veya metanolü elde etmenin temiz yollarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bununla beraber, bizim asıl konumuz olan, elektrikli bir aracın gerek duyduğu elektriği fotovoltaik hücreler aracılığı ile güneş ışınlarından doğrudan elde etmek de mümkündür. Tabii ki böyle bir otomobilin aküsü de olmak zorundadır. PV sistemin ihtiyaçtan fazla elektrik üretmesi halinde bu akü doldurulacak ve üretimin yetersiz kaldığı sırada ise aküde depolanmış elektrik kullanılacaktır. Fikren basit görünse de, böyle bir aracın tasarımı oldukça karmaşık sorunlar içermektedir.

4.2.1 Genel Tasarım Esasları

Hareket halindeki bir otomobil üç çeşit kuvvete iş yapabilmelidir. Bunlardan birincisi havanın ve lastiklerin sürtünme kuvvetine, ikincisi ivmelenme sırasında maruz kalınan eylemsizlik kuvvetine, üçüncüsü ise eğer bir yokuş tırmanılıyorsa, aracın ağırlığına etki eden yerçekimi kuvvetinin yokuş yüzeyi üzerindeki izdüşümüne karşı yapılan iştir. Eğer araç yokuş aşağı

gidiyorsa, bu üçüncü kuvvete karşı yapılan iş negatif olmakta, yani otomobil sahip olduğu potansiyel enerjiyi kaybederken bunun karşılığında kinetik enerji kazanmaktadır. Eğer hız kazanmak istenmiyorsa frenler kullanılarak bu potansiyel enerji ısı enerjisine dönüştürülebilir. Otomobilin tasarımının yapılabilmesi için bu kuvvetlerin maksimum düzeylerinin bilinmelidir, bu da aracın geometrisinin ve ağırlığının önceden kabaca da olsa bilinmesini gerektirir.

Dolayısıyla, aslında bütün tür otomobillerde olduğu gibi, güneş panelli bir aracın tasarımı bir bakıma sondan başlar. Hangi amaca hizmet edeceğinin belirlenmesinin akabinde amaca uygun ağırlık belirlenir. Örnek olarak 70 kg ağırlığında bir sürücü taşınacaksa, motor ve akü ağırlıklarının da 30'ar kg olduğu, diğer yardımcı elemanların da 20 kg olacağı düşünülürse, araç gövdesinin kendi ağırlığı dışında 150 kg taşıyacağı manasına gelir ve gövde tasarımı yapılırken bu da göz önüne alınmalıdır.

Havanın sürtünme kuvvetini en aza indiren, yani hava dinamiği açısından en uygun geometrilerden birisi uçaklarda da kullanılan kanat geometrisidir. Bu geometride aracın profili ön tarafta kalın bir bombe şekliyle başlar ve arkaya doğru incelerek bir bıçak sırtına dönüşür. Dolayısıyla profile karşıdan gelip çarpan hava, profilin üst kısmında, alt kısmına oranla daha uzun bir yol izler ve daha fazla kinetik enerji kaybeder. Bu sebeple de kanat profilinin arka kısımlarında kanat üzerindeki basınç, kanadın alt kısmındaki basınçtan daha az olur ve bu da kanada kaldırma kuvveti şeklinde etki eder. Böylece özellikle de yüksek hızlarda aracın ağırlığı oldukça azaltılmış olur. Hatta öyle ki, hafif bir sürücü aracı yüksek hızlarda kullanırken bu durum aracın havalanıp takla atmasına dahi sebep olabilir.

Aracın boyutları sürücüyü, motoru ve diğer asgari donanımı barındırabilecek şekilde seçilir. Bu aşamadan sonra gövde üzerine etki edecek kuvvetleri hesaplamaya geçilebilir. Bu iş gerçek veya küçültülmüş model boyutlarıyla rüzgar tünellerinde simülasyonla veya daha ucuz bir şekilde özel bilgisayar programları kullanılarak yapılır. Gövdeye çarpan havanın hızı, aracın gidiş yönüne ters esebilecek en yüksek rüzgar hızı ile aracın hareket hızının toplamıdır. Bahsedilen bilgisayar programları bu hızların verilmesi ve aracın gövde geometrisinin tanımlanması akabinde gövdeyi oluşturan parçalar üzerindeki yüklerin dağılımını verebilmektedir.

Bu yük dağılımlarının da belirlenip hesaplanmasından sonra gövde bileşenlerinin seçimine geçilebilir. Bu bileşenler yeterince dayanıklı fakat hafif malzemelerden seçilmelidir. Kilit olarak ön ve arka tekerlek yuvaları ve şasi seçilip sonra da şasi üzerine sürücü kabini, motoru, aküyü ve diğer aksamı taşıyacak olan bir zemin yerleştirilecektir. En üstte de aerodinamik yapıyla birlikte PV hücreler yer alacaktır.

Sürtünme kökenli gerilimlerden sonra eylemsizlik kuvvetinin yol açtığı gerilimler de hesaplanmalıdır. Bunların ise hesabı oldukça kolay olup bildiğimiz hız-ivme formüllerinin yardımıyla bulunur. Gövde bileşenlerinin her birinin tabii olduğu kuvvet söz konusu olan birim hacmin özgül ağırlığı ile aracın ivmelenmesinin çarpımına eşittir (Altın ve Tok, 2003). Bu hesaplamalardan sonra seçilmiş olan gövde malzemesi ve geometrisinin maruz kalınan bu kuvvetlere dayanıp dayanamayacağı öngörülür ve optimum sonuca ulaşıncaya kadar denemeler yapılabilir.

4.3 PV Enerjili Araba Yarışları

Hans Tholstrup ve Larry Perkins'in 1983 yılındaki yolculuklarının ardından güneş enerjisinin tanıtma ve kullanımını teşvik amacıyla çeşitli yarışlar düzenlenmektedir. 1987'deki yarış ise bunların içinde ilk uluslararası olanıdır ve 23 katılımcısı olmuştur. Bu yarışların katılımcı yelpazesini genellikle otomobil firmaları ve üniversiteler oluşturmaktadır. Amaç ise güneş enerjisinden olabildiğince verimli olarak yararlanıp belirli bir mesafeyi en hızlı şekilde bitirmektir. Tabii ki bunu başarabilmek için araçların yeteri kadar sağlam da olmaları gerekmekte zira kat edilmesi gereken mesafe 3.000 km'yi geçebilmektedir. Bu aşamada otomobillerin geometrik tasarımı, panellerin en yüksek verimle çalışabilecek şekilde yerleştirilmeleri ve hafiflik ön plana çıkmaktadır. Bu araçlarda 700 ile 1.500 W arasında enerji üretilebilmektedir ki bu da 1-2 beygir güce denk gelecektir.

Bu tür yarışların gün geçtikçe sayısı ve katılımcıları artmaktadır. Başlangıçta yalnızca Amerika ve Avustralya'da yapılan yarışlar bugün artık Almanya, İsviçre, Japonya ve artık Türkiye'de de yapılmaktadır. İlki 2001 yılında yapılan "American Solar Challenge" ise 3.700 km ile en uzun mesafeli yarış olma unvanını elinde bulundurmaktadır.

4.3.1 The World Solar Challenge

3.000 km uzunluğundaki yarış Avustralya'da yapılmakta olup yapılan ilk büyük yarıştır. İlki 1987'de yapılmıştır ve halen daha dünya şampiyonluğu olarak dikkate alınmaktadır. Yarışmacılar 08:00 ila 17:00 arasında yol almakta olup çok fazla trafik olmadığı için ideal bir rotası vardır. Araçlar hızlandıktan sonra kesintisiz olarak kilometrelerce yol alabilmektedir. Yarışmada herhangi bir maddi kısıtlama yoktur, katılanlar istediği üstün teknolojiyi kullanabilmektedir. Bu yarış için rekabet edebilecek bir araç üretimi oldukça masraflı olacaktır. Sıralamada üstte gelen araçlar 90 km/h hızı aşabilen ortalamalar yakalayabilmektedir. Amaç 3.000 km mesafeyi mümkün olduğunca çabuk bitirmektir. İddialı takımlar günde 650 km'den fazla yol alabilmektedir. Yarışma süresi bittiğinde takımlar yol kenarında kamp yaparak ertesi yarış gününü beklerler.

4.3.2 The American Solar Challenge

World Solar Challenge'a benzese de rotasının daha uzun ve daha zor olması gibi farklılıklar taşır. Yol üzerinde kısmen yoğun trafik ve trafik ışıkları da bulunmaktadır. Yarışın başladığı merkezden şehir dışına çıkmak birkaç saat sürebilmektedir. Toplamda 3.700 km olan yol zorlu, engebeli ve tırmanışlıdır. Araçların çok kopuk olmasından kaçınmak için yarış üç kısma bölünmüştür. Son kısım ise yaklaşık iki saat süren bir bölümdür ve bu da yarış noktasında bir kısım etkinliklerin düzenlenmesine olanak tanır. World Solar Challenge'de ise takımlar arasında günlere varan farklar olabilmekte bu da basının yarışa hakim olma kabiliyetini kötü yönde etkilemektedir. Yarışta takımlar 08:00 ila 18:00 arasında yol alır ve iddialı takımlar yine düz yollarda 90 km/h hızı geçebilirler fakat ortalama hız daha düşük olmaktadır. Amaç bölümleri en kısa sürede tamamlamak ve kalan sürede aküyü şarj etmektir. Hızlı araçlar ertesi bölüme tam dolu akülerle girecekken yavaş takımların aküleri ise tam dolu olamayacaktır.

4.3.3 Sunrayce

Birleşik devletlerde koşulan ve uzunluğu 1.900-2.400 km olan bir yarıştır. Kullanılacak güneş hücresi ve akü sistemlerinde kısıtlamalar olan bir yarıştır. Yarıştaki bu kısıtlamaların amacı

çok yüksek teknolojili araçların önünü kesip maddi olanağı çok fazla olmayan takımların da yarışabileceği daha ziyade bir mühendislik yarışı oluşturmaktır. Yarışta iyi derece yapan araçların yukarıdaki yarışlarda pek başarılı olamamaları yarışın prestijini sarsmaktadır. Her bir yarış günü için uzunluğu yaklaşık 250-325 km olan rotalar belirlenir ve başlangıç ve bitiş noktaları kurulur. Bu sebeple yarışın düzenlenmesi daha fazla insan kaynağı ve maddiyat gerektirdiğinden son olarak 1999 yılında gerçekleştirilmiştir. Amaç yarış günlerinde belirlenen mesafeyi mümkün olduğunca çabuk almaktır. Araçların kapasitesi daha fazla olsa da, yarış gereği maksimum hız 88 km/h'dır.

4.3.4 Formula Sun Grand Prix

Her yıl mayıs ayında yapılan yarış bir pist yarışıdır. 08:00 ila 18:00 arasında yol almasına izin verilen araçlar 3-4 gün süren yarışlarda en fazla mesafeyi almayı hedeflemektedirler. Bu tür yarışların planlanması ve takımlar açısından lojistik hizmetlerin verilmesi daha kolay ve daha güvenlidir. Ulaşılan hızlar ise pistin özelliklerine bağlı olup yol yarışları ile benzer stratejiler kullanılır. Bu yarışta oldukça sert virajlar vardır ve güneş arabalarında kullanılan ince duvarlı yüksek verimli lastikler çok dayanmazlar. 3-4 saat süren lastik dayanma periyotlarından sonra lastikler patlamadan önce pit-stoplar yapılır.

4.3.5 İstanbul Formula-G

Formula-G yarışı Türkiye'de önemi çok fazla anlaşılamadığı düşünülen temiz ve geleceğin enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanımı yaygınlaştırmak için yapılmıştır.

Formula-G ilk kez 30 Ağustos 2005 tarihinde 5,3 kilometre uzunluğundaki İstanbul Park pistinde yapılmış güneş arabaları yarışmasıdır. Pist 5,3 kilometre olmasına rağmen yarış için 4 kilometrelik kısım kullanılmıştır. Formula-G, dünyada ilk kez Formula-1 pistinde yapılan güneş arabaları yarışı unvanına sahiptir.

Yarışmaya 22 katılımcı başvuruda bulunurken, 13'ü üniversiteden, 1'i liseden olmak üzere toplam 16 araç start almıştır.

1. ODTÜ, ODTÜ Robot Topluluğu, MES-e Aracı
2. Atılım Üniversitesi, Hasat-Atılım Ekibi, Hasat Aracı
3. Yeditepe Üniversitesi, 7TP Takımı, Yugat Aracı
4. Sakarya Üniversitesi, Sagar Aracı
5. ODTÜ, ODTÜ Takımı, Solarcar Aracı
6. Ankara Üniversitesi, Hitit Güneşi Takımı, Günebakan Aracı
7. Dokuz Eylül Üniversitesi, Solaris Takımı, Erke Aracı
8. Yıldız Teknik Üniversitesi, YTU-GESK Takımı, Barracuda Aracı
9. Kocaeli Üniversitesi - Elektrik Fakültesi, Ceryan Takımı, Körfez Yıldızı Aracı
10. Kocaeli Üniversitesi - Mekatronik Fakültesi, Türk Mekatronik Takımı, Gayret Aracı
11. Gazi Üniversitesi, Günsonic Aracı
12. İstanbul Teknik Üniversitesi, İTÜ GAE Takımı, ARİba Aracı
13. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Sabancı Üniversitesi, Energy-1 Aracı
14. İnönü Üniversitesi, TATO Takımı, BUG Aracı
15. İzmir Amerikan Lisesi, ACI Aracı
16. Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA Takımı, Solarsonic Aracı

İstanbul Park pisti yükseltileri ve alçaltıları olan bir pisttir, bu nedenle bazı araçlar pilleri bittiğinde yokuşları çıkamayıp yarışı sona erdiremediler. Yarış saat 12:00 da başladı ve 1 olan MES-e aracı yarışı 1 saat 47 dakikada tamamladı. Yarışmayı ODTÜ'nün aracı olan MES-e saatte ortalama 22,8 kilometre hız yaparak kazandı. Yıldız Teknik Üniversitesinin "Barracuda" isimli aracı ise 8. olmasına rağmen 49,3 km/h hızla Türkiye rekorunu elinde bulundurmaktadır. Aşağıdaki çizelge 4.2'de yarışın sonucunu bazı istatistiki bilgilerle birlikte tablo halinde görebilmekteyiz.

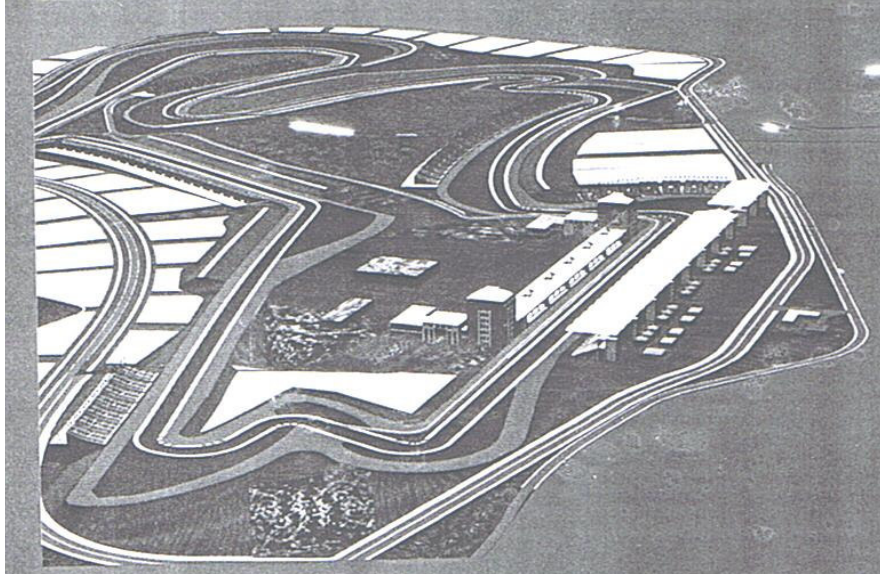
Çizelge 4.2 Formula G-İstanbul yarış sonuçları tablosu.

| Derece | Araç | Tur Sayısı | Ort. Hız (km/s) | Maks.Hız (km/s) |
|--------|----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 1 | MES-e | 8 | 22,80 | 32,63 |
| 2 | HASAT | 7 | 22,56 | 37,24 |
| 3 | YUGAT | 6 | 22,58 | 43,58 |
| 4 | Saguar | 6 | 18,42 | 47,41 |
| 5 | Solarcar | 5 | 23,67 | 40,74 |
| 6 | Günebakan | 5 | 14,73 | 34,70 |
| 7 | Erke | 4 | 27,89 | 36,83 |
| 8 | Barracuda | 3 | 13,49 | 49,30 |
| 9 | Körfez Yıldızı | 2 | 16,41 | 13,36 |
| 10 | GAYRET | 1 | 15,31 | - |
| 11 | Günsonic | 0 | - | - |
| 12 | ARİba | 0 | - | - |
| 13 | GYTE & Sabancı | 0 | - | - |
| 14 | BUG | 0 | - | - |
| 15 | ACI | 0 | - | - |
| 16 | SolarSonic | 0 | - | - |

Ülkemizde ilk kez düzenlenen yarışın düzenlendiği pistin (İstanbul Park) resimleri aşağıda görülmektedir (Şekil 4.3 ve 4.4). Aşağıdaki şekil 4.3 ve çizelge 4.3’de pist hakkında bazı bilgileri bulabiliriz. 16 aracın start aldığı yarış bir ilk olması sebebiyle güneş enerjisinin yaygınlaşması adına önem taşımaktadır.



Şekil 4.3 Ülkemizde yapılan ilk güneş arabası yarışının start anı.



Şekil 4.4 İstanbul Park'ın üstten görünüşü.

Her yarışta olduğu gibi ülkemizdeki yarışta da bazı kısıtlamalar vardır. Bu kısıtlamalar yarışın özelliğine göre akü kapasitesi, kullanılacak güneş pillerin özellikleri, ağırlık ve güvenlikle ilgili çeşitli önlemleri içerecek şekilde olabilmektedir. Ülkemizdeki yarış için geçerli kuralları Ek 3'de görebilmekteyiz.

Çizelge 4.3 İstanbul Park'ın teknik özellikleri.

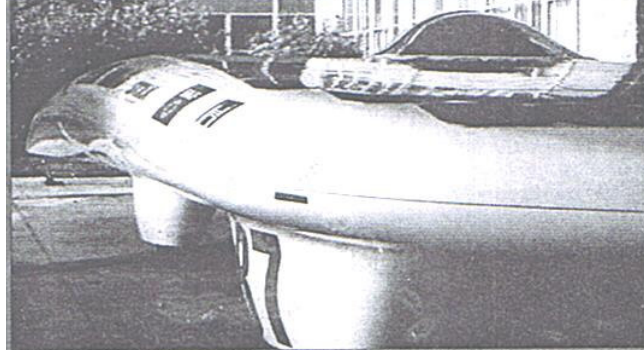
| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Toplam Alan | 2.200 dönüm |
| Pit Binası | 350x30 |
| Pit Sayısı | 30 |
| Kapalı Alan | 30.000 m ² |
| Doğal Tribün | 40.000 kişi |
| Sabit Tribün | 20.000 kişi |
| Etap Uzunluğu | 5,3 km |
| Pist Genişliği | 16 m |
| En Uzun Düzlük | 928 m |
| Toplam Viraj | 16 |
| Çevre Servis Yolları | 7 km |
| Servis Binası | 3.000 m ² |
| Kapı Girişi | 8 adet |

4.4 Bazı Güneş Arabaları

Güneş arabaları genellikle büyük otomobil firmaları veya üniversitelerin öğrenci kulüpleri tarafından imal edilip yarışlara katılırlar. Teknolojisi çok pahalı olduğu için, büyük firmalar için sorun olmasa da, üniversite kulüpleri veya amatör ekiplerin çalışmayı tamamlamaları için sponsor bulmaları gerekmektedir. 70 km/h hızı aşmayı hedefleyen bir arabada £750.000'i 8 m² kadar bir güneş hücresi alanı oluşturmak için harcanacak olan yaklaşık £1.000.000 kadar bir tutar beklenebilir. Ama bu bahsedilen araç yüksek özellikli bir özel yarış aracıdır. 1996'daki "World Solar Challenge" yarışına katılan South Par University aracının £20,000 bütçeyle yarışa katılabilecek kapasitede bir araç yaptığı bilinmektedir (Shacklock vd., 1998). Yarışa katılabilecek kapasiteden kasıt ise 3.000 km bir mesafeyi 10 gün içinde alabilecek olmaktadır.

4.4.1 Fireball II

Kanada McMaster Üniversite'sinden bir ekibin ikinci aracı olan Fireball II 2001 American Solar Challenge'a katılmış olup teknik sıkıntılar sebebiyle yarıştan çekilmiştir (Gürdilek, 2004). Bu aracı şekil 4.5'de görebilmekteyiz.



Şekil 4.5 Fireball II isimli güneş arabasının resmi.

Araçta lityum-iyon pil kullanılmış. Bu pilin 28 kg ağırlığı olup 5 kWh enerji sağlama kabiliyetleri vardır. Güneş panelleri ise BP Solar firmasından sağlanmıştır. %16 verimle çalışan 450 adet pil araca 900 W enerji sağlamaktadır. Araçta Generation Motor firmasının yüksek verimli fırçasız motoru kullanılmaktadır. Dikiz aynasının aerodinamik kayıplara sebep vermemesi için arka görüşü bir LCD kamera ile sağlanmaktadır. Hafif alüminyumdan yapılmış dört tekerleğin her birinde bisikletlerde kullanılan türden amortisörler kullanılarak aracın ve sürücünün yoldaki kasis ve tümseklerin meydana getirebileceği sarsılma titreşimlerden korunuyor.

4.4.2 Nuna

Hollanda Delft Teknoloji Üniversitesi öğrencilerinin oluşturduğu Alpha Centauri isimli takımın yapmış olduğu Nuna1, Nuna2, Nuna3 adlı arabalar sırasıyla World Solar Challenge 2001, 2003 ve 2005'i kazanmıştır. Yarış Avustralya kıtası boyunca 3.010 km uzunluğunda trafiğe açık yolda yapılmakta ve 2 senede bir tekrar edilmektedir. Aşağıda şekil 4.6'da resmi görülen araç aerodinamik açıdan sürtünme kuvvetlerine en az maruz kalacak ve yüksek hızlara çıkabilecek şekilde tasarlanıp karbonfiberle güçlendirilmiş plastik gövde ile imal edilmiştir. 5 m uzunluğunda ve 250 kg ağırlığında olan araç 2001'de 91 km/h, 2003'de 97 km/h ve 2005'de ise 110 km/h ortalama hızla dünya rekorunun sahibi olurken takım üyeleri aracın teorik olarak 160-170 km/h hıza çıkabileceğini fakat yasal sınırlamalar sebebiyle bunu ispatlayamadıklarını ifade etmişlerdir.



Şekil 4.6 Nuna III İsimli aracın resmi.

4.4.3 Aurora 101

2005 World Solar Challenge’da ikinci sırayı alan araçta verimi %24-26 olan galyum arsenür güneş pillerinden oluşturulan 25 panel kullanılmıştır. Metresi 1 kg’dan daha az ağırlıkta olan bu hücreler ile 1.900 W değerinde enerji üretilebilmektedir. Motor tekerinden rejeneratif frenleme yapabilen araç 16 inçlik düşük sürtünme dirençli lastik kullanıyor olup 165 kg ağırlığındadır. Aşağıda resmi (şekil 4.7) görülebilen aracın boyutları ise 6,628 x 2 x 0,946 ‘dır. Aküsünün ağırlığı 18 kg olup gövdesi carbonfiber malzemedan üretilmiştir. Aracın yarışta 100 km/h hızla günde 6 saat kadar yol yapabileceği öngörülse de yarış sırasındaki bulutlu hava buna müsaade etmemiştir.



Şekil 4.7 Aurora 101 isimli güneş arabasının görünüşü.

4.4.4 “The 2003 American Solar Challenge” Yarışı

3.700 km süren yarış 18 Temmuz’da başlayıp 23 Temmuz’da bitmiştir. Missouri-Rolla üniversitesinden “Solar Miner IV” isimli araç 52 saatte varış noktasına gelerek 69,7 km/h ortalama hızı yakalamış ve Amerika’nın en hızlı PV arabası olma ünvanını hak etmiştir. Yarışa katılan 30 aracın biri geri çekilmiş, biri diskalifiye edilmiş ve kalan yirmisekizi de yarışı bitirebilmiştir. Yarış her gün 09:00 – 18:00 arası olmak üzere 10 gün sürmüştür.

Yarıştaki en hafif araç “iSun” olup 156 kg ağırlığındadır. Bilinen ilk çoklu kristal yapıda güneş pili kullanan arabadır ve güneşli bir günde 1kW kadar enerji üretebilmektedir. Kazanan araç “Solar Miner IV” ise aktarma organları kullanmayıp yüksek verimli, 7,5 kW gücünde fırçasız bir DC motor kullanmıştır (Şekil 4.8).

Yarış GaAs pil ile diğer silikon pilleri kullanan araçların farkını göstermesi açısından önemlidir. Yarışta ilk 9 sıradaki aracın sekizi GaAs pil kullanmaktaydı ve aralarında sekizinci olan Kansas Üniversitesi takımı GaAs pil kullanan iki takımı geride bıraktıkları için kendilerini başarılı bulmaktaydı (Photovoltaics Bulletin, 2003).



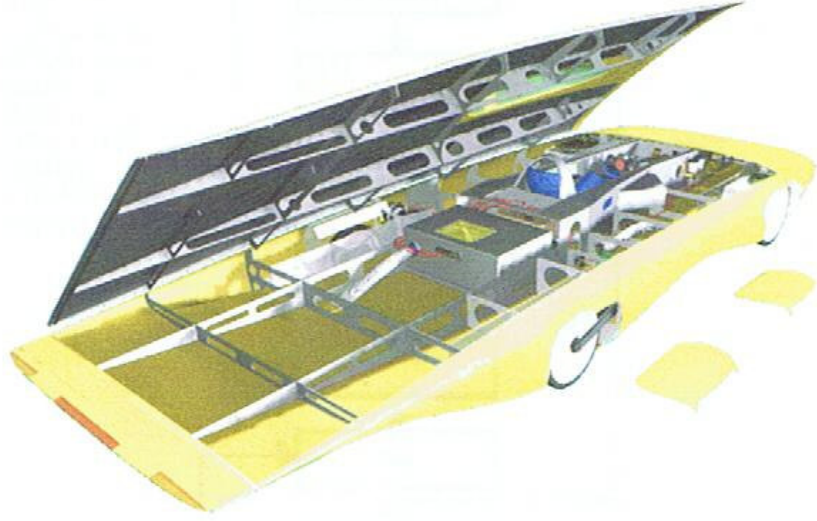
Şekil 4.8 Yarışı kazanan güneş arabası “Solar Miner IV”.



Şekil 4.9 “The American Solar Challenge 2005” yarışmasının ilk üçü.

4.5 Güneş Arabası Tasarlama

Günümüzde güneş arabaları sadece yarış amaçlı tasarlanmaktadır zira günlük kullanım için mevcut halleri ile kullanıma pek uygun değildir fakat zamanla ilerleyen teknoloji ile insanlığın günlük ihtiyaçlarına hizmet edecek olmaları kaçınılmazdır. Bu durumda tasarımlarında en çok hafif olmalarına ve elde ettiği sınırlı enerji en etkin şekilde kullanmalarını isteriz. Aşağıda şekil 4.10’da örnek olarak bir güneş arabası görebiliriz.



Şekil 4.10 Bir güneş arabası resmi (<http://www.formulasun.org/education/seles9.html>)

İyi bir güneş arabası tasarlamak için çok çalışmak, zaman ve maddi imkan gereklidir. Hemen hemen iki yıl sürecek böyle bir projenin ilk kısmı planlamaya ayrılmalıdır. Planlama aşamasında bir zaman çizelgesi çizilmeli ve bu çizelgede neyin ne kadar süreceği öngörülmelidir. Öncelikle araçtan ne bekleneceğine karar verildikten sonra tasarlama başlanmalı ve akabinde hedefe yaklaşmak için aracı oluşturan sistemlerin tasarımları üzerinde küçük oynamalar yapılmalıdır.

Tasarım sırasında tasarıma etki edebilecek konu başlıkları şöyle sıralanabilir;

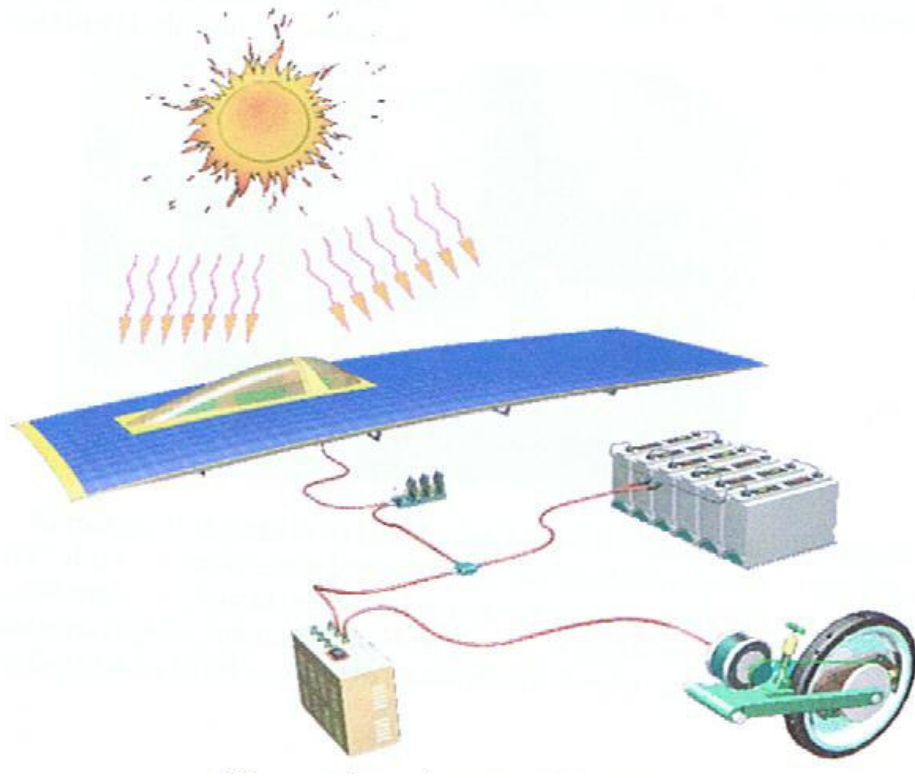
1. Maliyet,
2. Etkililik,
3. İmal edilebilirlik,
4. Kurallara uygunluk,
5. Sistem uyumluluğu,
6. Zaman kısıtlamaları,
7. Ağırlık.

Bu başlıkların önem sırası her uygulamada değişiklik gösterebilir. Aracın bütün sistemlerini mükemmel yapmak neredeyse imkansızdır. Örnek olarak tekerlek motor kullanmak verim olarak önemli artılar katarken maliyet olarak önemli bir yük getirmekle kalmayıp süspansiyon açısından montaj sorunları ile zaman kaybına sebep olur.

Tasarımın ilk aşamasında başlangıç tasarımını geliştirmek daha doğru olur ki bu çok sayıda tekrar, dene-yanıl ve analiz gerektiren bir kısımdır. Optimum sonuca ulaşıncaya kadar üzerinde uğraşılabilir fakat nerde durmak gerektiğine karar vermek gerekecektir. Aracın inşası muhtemelen bütün tasarımı bitmeden başlayacaktır. İnşa sırasında tasarımlar üzerinde küçük oynamalar yapmak gerekebilecektir çünkü tasarım aşamasında her şeyin eksiksiz olarak düşünülmesi sadece bu konuda yıllarca çalışmış kimseler için ihtimal dahilindedir. Tasarım aşamasından sonra ihmal edilmemesi gereken çok önemli bir test aşamasıdır. Parçalar montaj edilmeden önce teker teker test edilmeli sonra da monte edilmelidir. Kağıt üzerinde her şey doğru olarak görünse ve montajdan önce yapılan testlerde de sorun olmasa da sistemler beraber çalışırken beklenenden farklı tepkiler verebilir. Bu sebeple testlere ayrılacak zaman aksaklıkların da çıkma ihtimali göz önüne alınarak yeteri kadar uzun olmalıdır.

4.5.1 Güneş Arabalarında Enerji Akışı

Güneşten gelen enerji gün boyunca yeryüzüne çarpar. Bu enerjinin miktarı günün saatine, hava durumuna ve coğrafi konuma bağlıdır. W/m^2 cinsinden ele alınan bu değer sabahleyin, akşamleyin ve hatta çok bulutlu havalarda sıfıra kadar düşebilir.



Şekil 4.11 Bir güneş arabasında enerji akışı
(http://www.formulasun.org/education/se9_energy.html)

Yukarıda şekil 4.11’de bir güneş arabasında enerjinin izlediği yol kabaca verilmiştir. Güneş ışığı aracın PV yüzeyine gelir ve burada elektrik akımı oluşturur. Akım direkt olarak bataryalara ya da motor kontrolüne gidebilir veya ikisi birden olabilir. Kontrolöre giden enerji ile arabayı hareket veren tekerlek motorun dönmesi sağlanır. Genel olarak, eğer araba hareket halinde ise üretilen elektrik direkt olarak motor kontrolörüne gider ama bazen olur ki bu üretim ihtiyaç miktardan fazla olur ve bu fazlalık kısmın depolanmak üzere aküye gönderilir.

Güneş arabalarını çoğu tek koltukludur ve konfor açısından pek de istenilen düzeyde değildir. Çok az sayıda araç yolcu taşır, taşınan yolcu sayısı da birden fazla değildir. Yarışlarda bu tür yolcu taşıyan araçlara daha fazla enerji kazanma limiti verilir.

Konvansiyonel araçlarda bulunan bazı özellikler güneş arabalarında da bulunabilir: sinyal lambaları, fren lambaları, gaz pedalı, dikiz aynaları, çeşitli ölçüm aletleri, havalandırma sistemi gibi.

Sürücünün aracı sürmekten başka bir diğer görevi de arabanın sistemlerinin durumunu inceleyip araçta ortaya çıkan veya çıkma ihtimali olan sorunları araçtaki bir radyo sistemi üzerinden teknik ekibe bildirmektir. Yarışla genelde uzun mesafeli olduğu için birden çok sürücü kullanılır. Aracın bir pit takımı olduğu gibi yarış sırasında araca yol gösteren ve takip eden iki araç da eşlik etmektedir.

4.5.2 Yarışan Araçlar

Güneş arabası yarışları normal pist yarışlarından oldukça farklıdır. Pist yarışlarında galibi belirleye asıl faktörler yol tutma, hızlanma ve frenleme performansları olurken güneş enerjili arabalarda enerji sınırlı olduğundan en önemli faktör enerjiyi etkin bir şekilde kullanmaktır. Yol tutma, hızlanma ve frenleme ise bundan sonra gelmektedir. Bir güneş enerjisi yarışında takımlar hızlı ve az enerji sarf eden bir araç tasarlamalıdır.

Bütün yarışlarda araçlar yarışa tam dolu bir aküyle başlarlar. Yarış başladıktan sonra ise akünün şarjı sadece PV sistemle yapılabilir. Takımların enerjiyi ne kadar verimli kullandıklarını ölçme açısından iyi bir yarış birkaç gün boyu sürmelidir.

Bu tür araçlarda odaklanması çok önemli olan üç nokta vardır;

1. PV sistem mümkün olduğunca çok enerji üretebilmelidir. Genel olarak PV yüzey 8 m^2 ile sınırlandığından modüller dönüştürmede oldukça verimli olmalıdır.
2. Araç toplanan sınırlı enerjiyi en verimli şekilde kullanmalıdır. Bunun için dizaynda şu özellikler fazlasıyla dikkat etmek gerekecektir:
 - a. Tekerlekleri düşük yuvarlanma direncine sahip olmalıdırlar.
 - b. Yuvarlanma direncini azaltması açısından araç hafif olmalıdır.
 - c. Aracın aerodinamik sürtünmesi mümkün olduğunca az olmalıdır.
 - d. Motor sürüş sistemi yüksek verimli olmalıdır.
 - e. Bütün küçük alt sistemler az enerji tüketmelidir. Bu da düşük dirençli tel, ışık ve elektronik aygıt kullanmak demektir.

3. Araçta yüksek verimli akü kullanılmalıdır. Araç hızlanırken, yavaşlarken ve yokuş inip çıkarken aküye ve terse doğru sürekli enerji akışı olmaktadır. Aküler ise hiçbir zaman %100 verimli değildir. Akü şarj veya deşarj olurken enerjinin bir kısmı ısı olarak kaybedilecektir. Yüksek verimli aküler ise az miktarda enerjiyi ısıya dönüştürecektir.

Yukarıdaki üç başlık altında aracın performansını etkileyecek en önemli konular incelenmiştir. Sadece bu üç başlığa önem vermek yeterli olmayacaktır, bütün sistemler iyi dizayn edilip güvenilir olmalıdır. Hatta güvenilirliğin performanstan daha da önemli olduğunu vurgulamak gerekir ki, araçta bir sorun çıkacak olursa yarışı bitirmek dahi mümkün olmayacaktır. Bu durumda temel felsefe olarak öncelikle iyi dizayn edilmiş güvenilir bir araç, sonra da performans konularına odaklanmak alınabilir.

4.6 Güneş Arabalarında Çeşitli Sistemler

Güneş arabalarında motor, güneş hücreleri, motor düzenleyici, aküler, şasi, malzeme, frenler, tekerlekler, gövde tasarımı vb.. gibi birçok alt başlık üzerinde çalışmak gerekecektir. Biz de bu alt başlıkların bölümümüzle ilgili olanları üzerinde durup diğerleri için de kabaca bilgi verip dikkat edilmesi gereken noktaları belirteceğiz. Esas olarak üzerinde duracağımızı kısımlar ise aşağıdadır.

4.6.1 Enerji Yönetimi

Güneş arabalarında enerji elde edilecek tek kaynak güneştir. Bu işlem de PV hücreler aracılığı ile yapılır. Buradan elde edilen elektrik de aracı hareket ettiren motora iletilir. Bu noktada da hücre dizisinin veriminin yüksek olmasını ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.6.1.1 Hücre Dizisi

Güneş panelinin dizayn edilmesinde birçok faktör ortaya çıkabilmektedir. Öncelikle ne kadar güce ihtiyaç duyulduğuna göre hücrelerin boyut, maliyet, cins ve verdikleri güç gibi fonksiyonların içinden optimum olanı seçilmeye çalışılır. Tabi bu yapılırken eğer araç gövdesi

önceden tasarlandıysa, mevcut olan alana göre seçime dikkat etmek gerekecektir. Dizilim yapılırken, hücreler arasına birer mm kadar boşluk bırakılacak şekilde hesap yapılmalıdır. Böylece hücrelerin ısıl genleşme sebebiyle çatlama ihtimali azaltılacaktır. Hücrelerden dizi oluşturulurken alt birimler olarak paneller kullanılır. Bu paneller aracın geometrisine bağlı olarak düz ya da kavisli olabilirler. Kavisli panellerde hücrelerin hepsinin aynı yöne bakmaları gerekmektedir. Farklı açılı hücreler farklı gerilim üretecek, daha önce gölgelenme konusunda da gördüğümüz gibi, seri bağlı hücrelerde, panelde üretilen gerilim en az güç üreten hücreye bağımlı olarak güç üretebilecektir.

Hücrenin ön yüzü negatif, arka yüzü ise pozitifdir. Yani eğer hücreler seri bağlanacaksa, bir hücrenin önü diğerinin arkasına bağlanmalıdır.

4.6.1.2 Hücrelerin Montajı ve Kaplanması

Hücrelerin dış etkilere karşı korunması için kaplanmaları gerekmektedir. Islandığında kısa devre olup bir daha kullanılamaz hale gelebilirler. Fakat bu kaplamanın da getirdiği dezavantajlar vardır. Bu avantajların başında da hücrelerin bu kaplama izole edilmiş olmaları ve böylece daha yüksek çalışma sıcaklıklarında daha düşük verimle çalışmalarını gelmektedir. Aslında koruma amacı en önemli hedef olduğunda bu iş için cam kullanılması daha doğru olmaktadır, zira sabit PV tesislerde de bu amaçla cam kullanılmaktadır. Amacı hız olan bir araçta ise cam kullanılması ağırlığı göz önüne alındığında doğru seçim olmayacaktır. Bu tür araçlarda en yaygın olarak kullanılan kaplama türü polimer kaplamalardır. Seçimde düşünülecek en önemli faktör ise kaplama maddesinin en az yansıtıcılığa sahip olup en fazla geçirgenlik özelliklerine sahip olmasıdır.

Böyle bir kaplamada dikkat edilmesi gereken hususları 4 başlıkta toplayabiliriz;

1. Yüzey, tasarlanmış şekilden hiçbir bölgede 0,5 mm 'den fazla ayrık olmamalıdır ve gözle görülebilecek şekilde 60 µm'den fazla basamak farkı olmamalıdır.
2. Kaplamayla ortaya çıkacak hücre performans kayıpları %5'den daha az olacak şekilde ortaya çıkmalıdır.

3. Yapılan kaplama yüzeyi çeşitli dış etkile karşı koruyabilir olmalıdır.

4. Kaplamanın kütlesi en fazla 2 kg/m^2 olmalıdır.

Bu kaplamada silikon esaslı malzemelerin kullanılması söz konusu olabilir. Bu tür silikonlar sıvı haldedir ve iyi havalandırılmakta olan bir ortamda tatbik edilmelidir. Aşağıdaki şekle böyle bir uygulama anını görebilmekteyiz. Silikona alternatif olarak poliüretan da kullanılabilir. Silikon poliüretana göre daha yüksek sıcaklıklara dayanabilirken, poliüretan ise kimyasal etkenlere karşı daha yüksek dayanım gösterir. Kullanım şartlarına göre uygun seçim yapılmalıdır.



Şekil 4.12 Hücrelerin kaplanması.

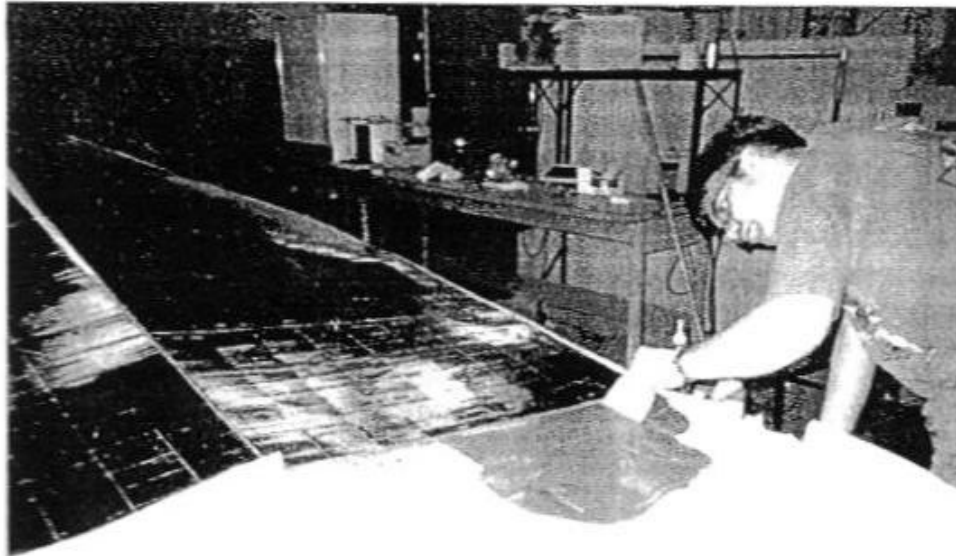
Kaplanan bütün paneller, daha sonra dizi oluşturacak şekilde bir yerde muhafaza edilmelidir. Kaplama malzemelerinden bazıları biraz daha düşük optik geçirgenlik özelliklerine sahipken, toz tutma yıkanabilirlik gibi seçimde etki edebilecek başka faktörler de ortaya çıkabilmektedir. Eldeki şartlara göre etkenler göz önüne alınarak optimum kaplama

malzemesi seçilmelidir. Bu konuda en kritik nokta ise ısı genleşme kabiliyetidir. Eğer hücrenin ve kaplama malzemesinin ısı genleşmesi paralel olmaz ise çatlama gibi sonuçlar meydana gelebilir ki bu da elde edilecek gücün önemli miktarda azalmasına sebep olabilir.

Küçük bir tavsiye olarak hücrelerin kaplanmasında alta polietilen koyulmasını önerebiliriz. Polietilen buz kalıplarında kullanılan malzemedir ve yapışkanlığı en az olan malzemelerden biridir. Böylece silikon yüzünden hücrelerin kaplanırken alt yüzeye yapışmasına engel olmuş oluruz. Üst yüzeyde kalan istenmeyen silikon ise kuruduktan sonra jilet ile alınabilir.

Aynı kaplama malzemesi, panellerin araç yüzeyine sabitlenmesinde de kullanılabilir. Bu iş daha ziyade yapışkan özellikleri olan silikon kaplama malzemeleri tercih edilmelidir. Bu işlemde öncelikle araç yüzeyi maddeyle kaplanmalıdır (Şekil 4.13). Bu alt tabaka hücrelerin alt yüzeyindeki çıkıntılarının gömülebileceği kadar kalın bütün hücrelerin destekleneceği şekilde her yerde aynı homojenlikte olmalıdır. Aksi halde çatlakların oluşması tekrar gündeme gelir.

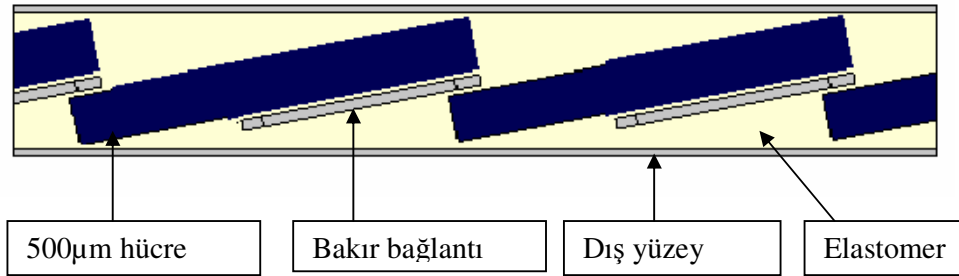
Yukarıda belirtildiği gibi silikon temelli yapıştırıcılara alternatif olarak en çok kullanılan yöntemlerden biri de çift taraflı yapışkan bantlardır. Yapıştırma yapılırken hücrelerin zarar görmesi halinde değiştirilebileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.13 Panellerin araca montajı.

Alt tabakanı oluşturulmasından sonra hazır olarak bekletilen paneller bu tabakanın üzerine yavaşça koyulup yerleştirilir. Bu yerleştirme sırasında baskı sonucu panellerin üst yüzeyine taşan malzeme üretici firmanın önerdiği solvent madde ile kaldırılabilir. Gerekli kuruma ve yapışma sağlandıktan sonra da kablolama işlemi başlayabilir.

Hücre dizilerinin oluşturulmasında asıl karşılaşılan sorun düz olmayan yüzeylere hücrelerin yerleştirilmesidir. Düz olmayan bir yüzey ise aerodinamik yapısına önem verilmiş bir araçta karşı karşıya kalınması kaçınılmaz bir durumdur. Anlattığımız kaplama yöntemine alternatif olarak D. Snowdon vd.'nin yaptığı çalışma örnek verilebilir (2001). Şekil 4.14'de resmedildiği gibi yöntemde ana düşünce aynı olsa da daha profesyonel bir çalışma elde edilmiş oluyor. Tabii bunun için de daha çok maddi kaynak ve daha çok işgücü gerekiyor. Öncelikle araçla aynı geometriye sahip dişi bir kalıp yapılıyor. Bu kalıbın içinde elastomer malzeme olarak EVA (etil vinil asetat) kullanılarak aracın üst geometrisine uygun şekilde elastik özelliklere sahip, vakum edilmiş ve kaplanmış bir panel yapısı elde ediliyor. Bu yapı ise daha sonra yine silikon esaslı bir yapışkanla araç yüzeyine monte ediliyor. Böyle bir çalışmanın yapılması ise aşağı yukarı 7.000 adam.saat sürebilmektedir (Snowdon vd.).



Şekil 4.14 Çok tabakalı laminant yapı.

4.6.1.3 Enerji Kazanımı

Bir güneş arabasında enerjinin depolandığı akünün dışında hareket halinde iken güneş panellerinden başka güç elde edilebilecek bir sistem yoktur. Aslında pratikte başka enerji kaynaklarının da beraber yararlanmak mümkündür fakat uygulamada bu araçlar zamanımızda

sadece yarışlar için tasarlanmakta olup bu yarışlarda da güneşten başka bir enerjinin kaynak olarak kullanılmasına izin verilmemektedir.

Güneş arabaları yarışlarında yüzey alanı olarak en fazla 8 m²'ye izin verilmektedir. Akü kapasitesi için ise dünyada genel olarak limit 5 kW iken ülkemizdeki yarışın diğerlerine oranla çok daha kısa olması sebebi ile 1 kW sınır olarak seçilmiştir. Yine yarışa göre güneş hücresi tipleri ve akülerle ilgili sınırlamalara gidilebilmektedir. Uzay teknolojisinde kullanılan yüksek verimli güneş hücreleri ile hafif ve yüksek verimli aküler başta olmak üzere, titanyum şasi ve süspansiyon, pahalı motorlar ve gövde malzemeleri kullanılarak önemli fiziksel değerlere ulaşabilen araçlar da mevcuttur. Fakat yarışın düzenlenme stratejisine göre çeşitli sınırlamalarla amatör yarışmacıların da katılabileceği organizasyonlar yapılmaktadır. Her ne olursa olsun sonuçta oldukça limitli bir enerji kullanımı söz konusudur ve bu enerji oldukça dikkatli kullanılmalıdır.

Ortalama değerler verilecek olursa yeryüzü mertebeli (terrestrial grade, yeryüzünde kullanılan) güneş hücreleri 800-1.000 W kadar güç üretebilmektedir. Uzay mertebeli (space grade) güneş hücrelerinde ise bu değer 1.200-1.800 W seviyelerine çıkmaktadır. Bu değerler güneşli bir gün için alınmış olup, bulut olması koşulunda çok daha az olacaktır. Örnek olarak, yeryüzü mertebeli güneş hücreleri ile çalışacağımız göz önüne alınırsa bir yarışta kullanılacak güç,

$$\text{Toplam güç} = 0,9 \text{ kWh} + 0,8 \text{ kW} \times 9 \text{ h} = 3,3 \text{ kWh} \quad (4.1)$$

0,9 kWh : 1 kWh kapasiteli aküden elde edilen enerji. Akülerin tamamen boşalması durumunda zarar göreceğinden %10 bir emniyet payı düşünülüp 0,9 kWh olarak ele alınmıştır.

0,8 kW : Güneş dizisinin üreteceği güç olarak alınmıştır.

9 h : Yarışın süreceği zaman olarak düşünülmüştür.

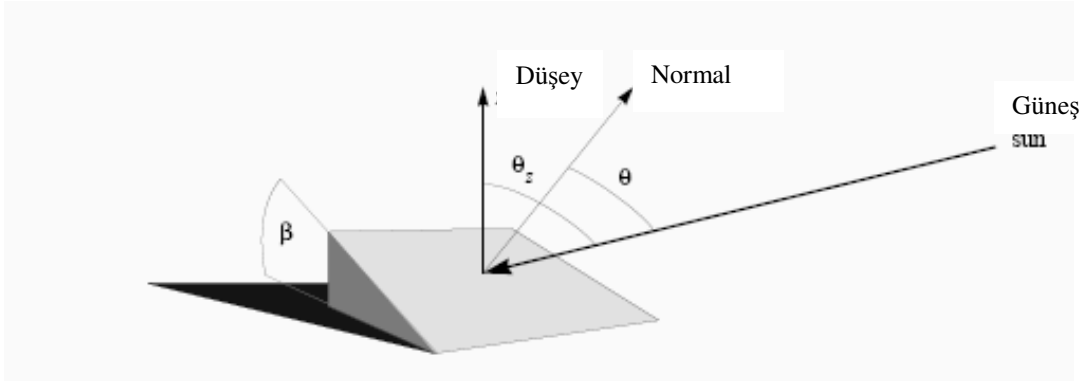
Belli bir araç için enerji kazanımını hesaplamak istersek;

$$E_p = A_p \cdot I_T \cdot \eta \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'ye göre enerji kazanımı 3 faktöre bağlıdır;

4.6.1.3.1 Toplam Işınım

Işınım güneşten alınan birim alan başına düşen güçtür ve alan metre başına watt ile ölçülür. Bölüm 1' de de görmüş olduğumuz üzere güneşin açısı ve atmosferin geçirimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bir yüzeye düşen toplam ışınımın ise 3 bileşeni vardır. Şekil 4.15'i esas alırsak, bu üç bileşeni aşağıda görebilmekteyiz.



Şekil 4.15 Açılı bir yüzeydeki ışınım geometrisi.

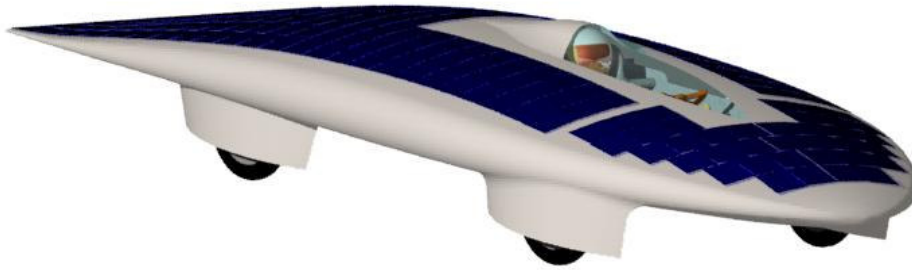
$$I_T = [I_{dir} \cos\theta] + I_{dif} [(1 + \cos\theta) / 2] + [I_{dir} + I_{dif}] \rho_{yer} [(1 - \cos\theta) / 2] \quad (4.3)$$

(Pudney, 2001)

Yukarıdaki formülden panellere gelen toplam ışınım bulunabiliyor olsa da, günümüzde gelişen teknoloji vasıtası ile panellere gelen toplam ışınım miktarı meteorolojik veriler aracılığı ile de elde edilebilmektedir.

4.6.1.3.2 Panel Alanı ve Verimi

Panel alanının hesabı eğer düzlemsel bir yüzeysse gayet basittir. Düzlemsel olmayan durumlarda ise çeşitli matematiksel metotlarla bu alan elde edilebilir. Düzlemsel olmayan bir güneş paneli yüzeyinde, örnek olarak şekil 4.16'ya bakılabilir, en doğru sonucu yüzeyi çeşitli bilgisayar programlarına taşıyarak ve gerekli değişkenleri tanımlayarak toplam elde edilen ışınımı bulmak verecektir.



Şekil 4.16 Düzlemsel olmayan panel alanına sahip bir güneş arabası.

Yeryüzüne gelen güneş ışınımına müdahale şansımız olmadığından ve genel olarak bu tür yarışlarda hüre alanı sınırlandırıldığından elde edeceğimiz enerjide en önemli faktörlerden biri güneş hücresi verimidir. Kullanacağımız güneş hücresinin verimi üretici firma tarafından belirlenmiş olup tüketiciye sunulmaktadır. Fakat bu verim, pratikte kullanım şartları altında elde edilememektedir. Zira üretici firma bu şartları ideal koşullar altında elde etmektedir. Bu ideal koşullardan farklılığı oluşturan en belirgin değişken ise sıcaklıktır. Verilen bu fabrika verisi verim değeri 25 °C sıcaklık şartları altında elde edilmiştir ki bu sıcaklık şartı, güneş altında çalışan bir cihaz için ulaşılması hemen hemen imkansızdır. PV pillerin konutlarda veya başka sabit olarak çalışacağı uygulamalarda hücrelere çeşitli soğutma teknikleri uygulanarak bu ideal koşullara yakın kalma şansı olsa da, bir güneş arabasında böyle bir soğutucu uygulama şimdiye kadar literatürde yer almamıştır ve yakın gelecekte de pek mümkün görülmemektedir. Üretici firmalardan bir kısmı güneş hücresinin sıcaklık ile verim ilişkisini veren grafikleri sunmaktadır. Bunların elde edilemediği takdirde aşağıdaki denklemler kullanılarak sıcak çalışma şartları sebebi ile kaybı kesin olan bu enerji miktarının yanlış sonuçlara götürmemesi için hesaplanması gerekmektedir.

$$\eta = \eta_0 [1 - \alpha (T_p - T_0)] \quad (4.4)$$

Formülde T_0 için 25°C, η_0 için ise üretici firmanın 25°C için verdiği verim değeri alınmalıdır. α ise deneysel olarak elde edilen sıcaklık katsayısı olup bu değer yerine kullanacağımız sıcaklıklar için $\alpha = 0,003$ alınabilir (Pudney, 2001). Burada önemli bir nokta olarak T_p , panel sıcaklığını bulmak ortaya çıkmaktadır. Bu değeri de aşağıdaki denklemden elde edebiliriz;

$$T_p = T_A + \theta_I (1 + \theta_{TA} T_A) (1 - \theta_w w) I_T \quad (4.5)$$

Formülde geçen deneysel sabitler ise;

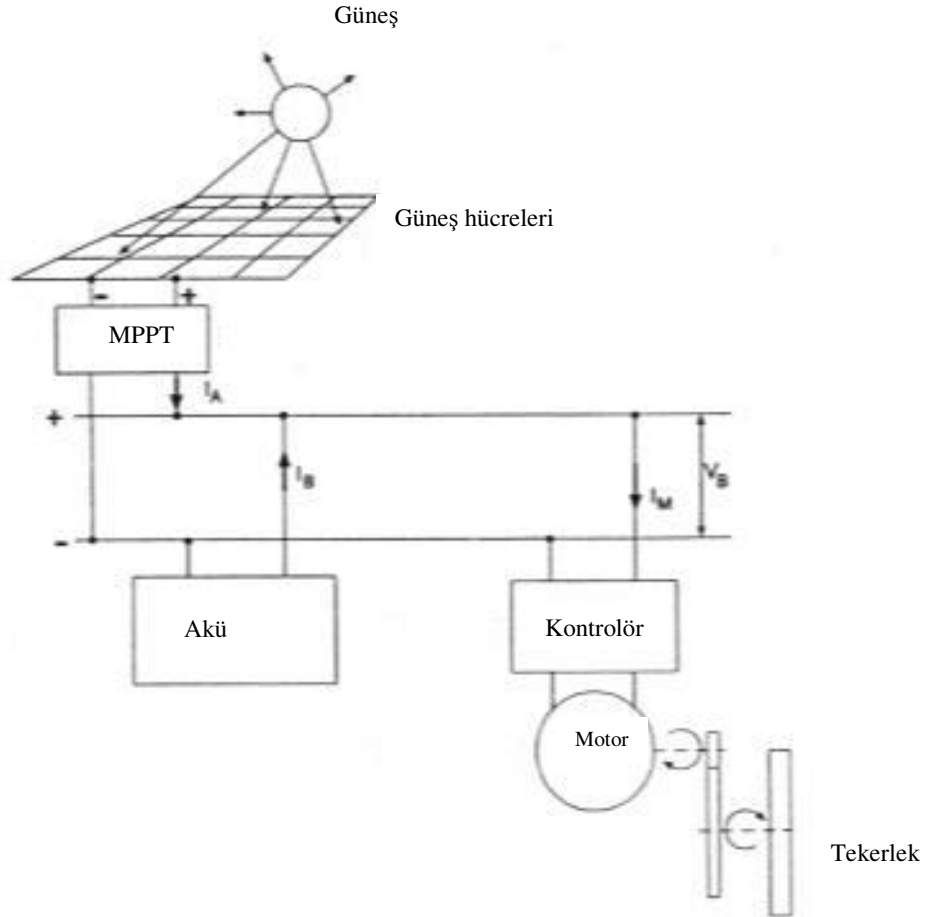
$$\theta_I : 0,0138$$

$$\theta_{TA} : 0,031$$

$$\theta_w : 0,042 \text{ şeklindedir (Pudney, 2001).}$$

Bu değerler belirli şartlarda yapılan deneysel çalışmalar ürünü olduğundan her koşulda kesin sonuçlar vermesi beklenemeyecektir.

4.6.2 Elektrik Sistemi



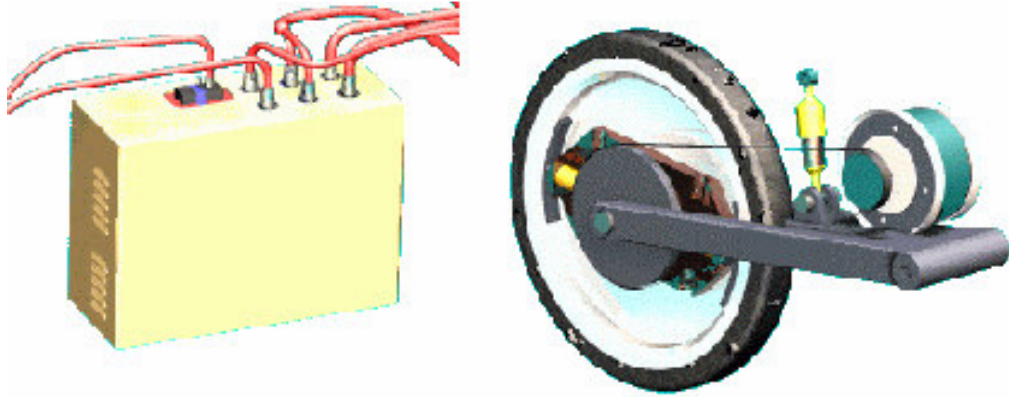
Şekil 4.17 Bir güneş arabasında elektrik sistemi (Thacher, 2005)

Bir güneş arabasının elektrik sistemi can damarı olarak tanımlanabilir. Aracın hareketini sağlayan asıl parçalar bu sistemdedir. Bu sistemin genel olarak Őemasını yukarıda Şekil 4.17’de görebilmekteyiz. AŞağıda ise bileşenleri hakkında detaylı bilgi bulabiliriz.

4.6.2.1 Motor Kontrolörü

Motor kontrolörü ana güç sistemi ile motor arasındaki ara yüzdür. Sürücünün ivmelendirmesinden gelen (gaz pedalı) sinyallere göre motoru kontrol eder, ne kadar devirde dönüp ne kadar güç tüketeceğini belirler (Şekil 4.18). Yüksek verimli bir dizayn elde etmek için motor, kontrolöre bağlanmalıdır. Tasarımcıların kendi kendilerine bu kontrolörün dizaynını yapması imkansızdır fakat satın alınan bu parçayı en iyi şekilde çalışması için optimize etmeyi gerek satıcının teknik bilgileri gerekse de araç üzerinde yapılan deneylerle öğrenmelidir. Genelde alınan elektrik motoru ile birlikte motor kontrolörü de tedarik edilebilmektedir.

Güneş araçlarında kullanılan tek tip motor kontrolörü vardır ve bunlar kalite kalite değişmek kaydıyla %90 verime kadar çıkmaktadırlar. Bu durumda alınan motora göre tavsiye edilen uyumlu kontrolörü seçmek verim açısından kazanç sağlayacaktır.



Şekil 4.18 Motor kontrolörü ve motor (www.formulasun.org/education/seles9.html)

Bu parça bir bakıma aracın beyni olarak da tanımlanabilir, zira motora ne kadar akım verileceği gibi karmaşık bir kararı verir ve bu da aracın ivmelenme, yavaşlama veya sabit hızda kalma seçeneklerinden birinde hareketine devam etme opsiyonunu seçer.

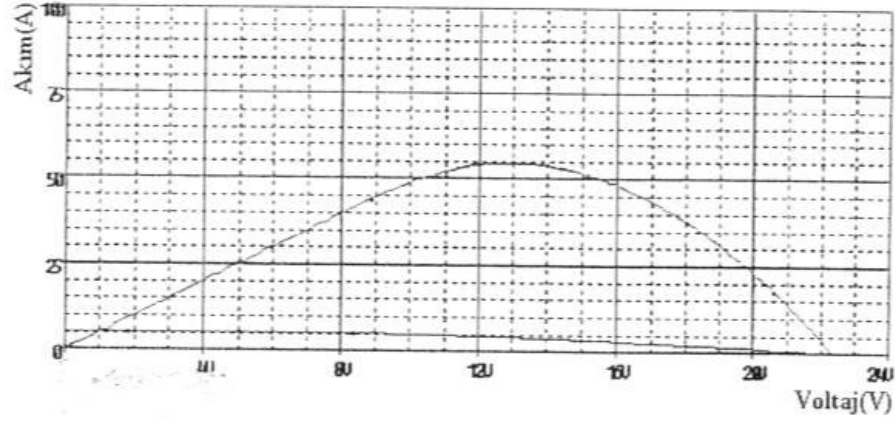
4.6.2.2 MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleyicileri)

Güneş dizisini kullanmanın en kolay yolu direkt olarak aküye bağlamaktır. Eğer dizi voltajını akü voltajından daha yüksek yapacak seri olarak bağlanmış yeterli hücre var ise, güneş panelleri güç üreterek aküyü şarj edecektir. Bu yöntem basit, ucuz ve güvenilirdir.

Eğer bağlantı yukarıda belirtilen şekilde yapılmışsa, genel olarak paneller güç üretip aküyü şarj edecektir. Bu yöntem ile yaklaşık olarak %75 verim elde edilebilecektir ve basitliği ve düşük maliyeti sebebiyle birçok araçta da kullanılabilir.

1. Eğer panellerin gerilimi ile akünün gerilimi eşit ise, sistem neredeyse %100'e yakın verim ile çalışır.
2. Eğer akü voltajı panellerin voltajından daha düşük ise, verim voltajların oranı kadar olacaktır.
3. Eğer akü gerilimi panellerin gerilimden yüksek ise, verim çok ciddi olarak düşecektir.
4. Eğer akü voltajı, açık devre voltajından (sıfır akımda hücrenin verdiği gerilim) büyük ise, güç üretilmeyecektir.

Öyle ise bu basit tasarımda ilk hedef elde edilen gerilimi her zaman akü geriliminden yüksek tutmaktır. Hücre dizisi gerilimini yüksek tutmak her zaman güç üretileneğinden emin olmak manasına gelse de doğru çözüm olmayacaktır çünkü bu şartlarda üretilen güç miktarı az olacaktır. Optimum nokta bulunarak bu değerlerde çalışılacaktır ve daha önce de söylendiği gibi bu şartlarda verim %75 civarında olacaktır.

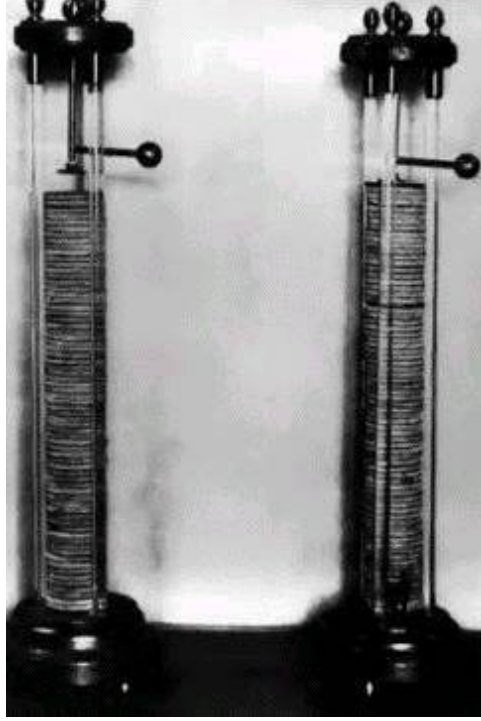


Şekil 4.19 Örnek bir güneş hücresinin I-V karakter eğrisi.

Yukarıdaki paragrafların akabinde MPPT'lerin ne için kullanıldıkları ortaya çıkmıştır denilebilir. İdeal olarak hücre dizisi sürekli olarak en fazla gücü üretebilecek gerilimde çalışmalıdır. MPPT'nin görevi de budur. %97-98 gibi yüksek verimlerle çalışarak ilk anlatılan yöntemle göre oldukça avantajlıdır. Yukarıdaki şekil 4.19'da görülen ve güneş ışınımı ve hücre sıcaklığına göre farklılık gösterebilen V-I eğrisinde bir maksimum güç noktası mevcuttur ve MMPT de bu değerde güç üretimini sağlamaktadır (Nizam, 2004) .

4.6.2.3 Elektrik Pilleri (Aküler)

Elektrokimyasal güç kaynağı olarak tanımlayabileceğimiz bataryalar güç üretmeyip sadece depo ederler ve taşınabilir güç kaynaklarıdır. Modern hayatta bir çok örneği ile karşılaştığımız aküler elektrikli saatlerden aydınlatma araçlarına, elektronik cihazlardan alternatif enerji kaynakları ile beraber kullanıma kadar pek çok yerde karşımıza çıkarlar. İlk tespit edilen akü 1800 yılında İtalya'nın Pavia üniversitesinde fizik bilimleri profesörü Alessandro Volta tarafından bulunmuştur (Şekil 4.21) .



Şekil 4.21 Volta pili.

Alexsander Volta'nın 1800'de bulduğu Volta pilinde elektrolit olarak sülfat asidinin suda eriğiği kullanılır. Elektronlar ise, bir bakır bir de çinko çubuktur. Çinko çubuk negatif, bakır çubuk ta pozitif kutbu oluşturmaktadır. Daha hiçbir elektrik devresine bağlanmamış bir volta pilinin iki ucu arasındaki potansiyel farkı 1 voltur. Devre tamamlandığında 1 voltluk gerilimin hızla düştüğü görülür. Çünkü çinko iyon salarak hızla erimeye başlamıştır. Bu iyonlar SO_4 (sülfat)'la birleşerek $ZnSO_4$ (çinko sülfat karışımı)'ü oluştururlar. Bu arada hidrojen gazı da bakır çubuk etrafında kaçak hava kabarcıkları şeklinde yükselmiştir. Akım devam ettikçe gerilim farkı azalır. Artık öyle bir an gelir ki devreden akım geçmez. Eriyik içindeki hidrojen bakır çubuğu kaplar. Elektrolit, artık bakır çubuğun çeperine dokunamaz hale gelmiştir. Kutupların yeni hidrojenle kaplanan bakır çubuğun üzeri temizlenirse ve yeniden eriyik içine batırılırsa, akım geçmeye devam eder. Bu iki türlü yapılır. Biri zımpara kağıdı ile bakırın üzerindeki hidrojen tabakası kazınır. Diğeri ise bakır çubuk ateşe tutularak hidrojen kaplı tabaka yakılır. En basit ve ilk elektrik pili olan volta pili pratik olmadığından günümüzde kullanılmaz. (http://tr.wikipedia.org/wiki/Volta_pili)

Günümüzde ise çok ilerleyen batarya teknolojisi uzay uygulamalarında dahi kullanılmaktadır. Yeter kadar büyük aküler hayal edilemeyecek kadar fazla elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. İlerleyen teknoloji ile çok fazla çeşitliliğe ulaşan bataryaları sınıflandırmak bile oldukça güçtür.

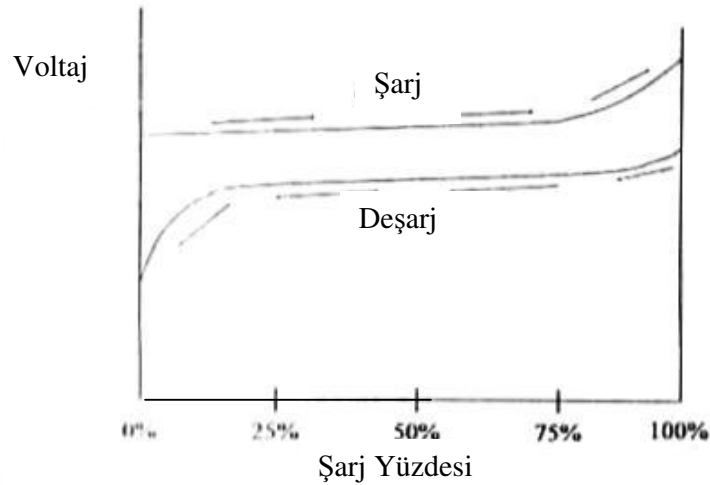
Bir güneş arabasında en temel elektrik bileşenlerinden biri de akülerdir. Üretilen fazlalık enerjinin, güneşsiz ya da fazladan enerji gerektiren zor koşullarda kullanılması için depolanmasını sağlayan aygıtlardır.

Batarya paketi konvansiyonel bir arabadaki benzin deposu gibi görev görür. Yarış başlarken araçlar dolu aküyle başlarlar fakat başlangıçtan itibaren akünün dolumu sadece fotovoltaik piler aracılığı vasıtasıyla güneş ile mümkündür. Genel olarak kullanılacak akü tipine göre ağırlık sınırlamaları vardır ve bu sayede de eşitsizlik olmasının önüne geçilmektedir. Genel olarak güneş arabalarında kullanılan piller kurşun asitli, nikel metal hidrit (NiMH), nikel kadmiyum (NiCd), lityum iyon ve lityum polimerdir.

Bir batarya paketi gerekli sistem voltajını sağlamak üzere birleştirilmiş birden çok modülden oluşabilir. Takımlar oluşturdukları sisteme göre 100 V civarı gerilimlerde sistemler kullanırlar, tabi çok daha düşük voltajlar kullanmak da mümkündür. Burada belirleyici etken hesaplamalar sonucu elde edilecek ihtiyaç değerleridir.

İdeal bir akü, belirli şartlarda verilen enerjiyi saklayıp istenen şartlarda geri sunabilecektir. Eğer aküye verilen enerjinin tamamı geri alınabilseydi verim %100 olacaktı. Fakat bu özelliğe sahip, ve de istenilen kadar hafif bir akü mevcut değildir. Aküler ağır, elektriği depolama ve salıvermede de %100 verimli değildir. Yine ihtiyaçlara göre olabileceğin en iyisi seçilebilir. Bu seçimi yaparken de optimuma ulaşmak için aşağıda sıralanmış bazı terimler göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Enerji Yoğunluğu : Akünün kilogram ağırlığı başına depolayabileceği enerji miktarıdır. Birimi Watt.saat / kilogram olup yüksek yoğunluk tercih edilecektir.
2. Amper-Saat Kapasitesi : Akünün tutabileceği toplam şarj kapasitesidir. Amper saat kapasitesi tüm akü sistemlerinde şarj ve deşarj oranının fonksiyonudur. İyi dizayn edilmiş bir aküde amper saat kapasitesi olarak %90 verimlidir ki bu da 100A-h'lik bir şarjın aküye verildiğinde 90 A-h kadarının geri alınabileceği manasına gelir.
3. Watt-Saat Kapasitesi : Akünün tutabileceği toplam enerji miktarıdır. Akülerdeki kullanılabilir enerji bütün akü sistemlerinde şarj ve deşarj oranlarına bağlıdır. Yüksek akımlarda şarj ve deşarj yapılması akünün Watt-saat kapasitesini azaltacaktır çünkü enerjinin daha fazla bir yüzdesi ısıya dönüşecektir.
4. Şarj Verimi : Şarjdan sonra geri alınacak şarj (amper-saat) yüzdesidir. Güneş arabalarında düşük şarj verimi olan aküler istenmeyecektir, zira zaten enerji çok kıymetlidir. Su bazlı elektrolit kullanılan akülerde şarjın bir kısmı suyun elektrolizinde kaybedilecekken, organik veya polimer esaslı elektrolitin kullanıldığı aküler (lityum iyon, lityum polimer) neredeyse %100 verime ulaşabilirler.
5. Enerji Verimliliği : Aküler bir voltaj eğrisi boyunca şarj ve daha düşük bir şarj eğrisi boyunca deşarj edilirler. Örnek olarak bu eğrileri şekil 4.22'de görebilmekteyiz.



Şekil 4.22 Tipik bir akü için şarj-deşarj eğrileri (Carroll, 2003)

Eğer akünün şarj verimliliği %100 ise, verim ortalama deşarjın şarj gerilimine oranı olacaktır. Şarj veriminin de formülize edildiği, akülerin enerji verimi ifadesini aşağıda görebilmekteyiz.

$$\text{Enerji verimliliği} = (V_{\text{deşarj}} / V_{\text{şarj}}) \times \text{Şarj verimi} \quad (4.6)$$

Aküler az şarjlı durumda deşarj voltajı düşük olduğundan kötü verimde çalışırlar. Tam şarjlı durumda ise gerilim yüksek olduğundan yine düşük verim gündeme gelmektedir. Bu durum şekil 4.22’de görülebilmektedir. Grafikten de okunabildiği üzere, akülerin en verimli çalıştığı şartlar %25 ile 75 arasında şarjlı olduğu durumlardır.

Bu şartlar altında ideal akü seçiminde esas olarak yüksek enerji yoğunluğu ve yüksek enerji verimi göz önüne alınmalıdır. Enerji yoğunluğu hakkında bilgi almak çok daha kolay olacaktır fakat her ikisi de çok önemlidir. 2000’li yıllara kadar birçok güneş arabasında en yüksek enerji yoğunluğu değerine sahip gümüş-çinko aküler kullanılmaktaydı. Bu seçim artık günümüz teknolojisinde lityum iyon veya lityum polimer akülerin çıkarılmasıyla bu yöne kaymıştır ve bu tür akülerin seçimi enerji yoğunluğu açısından doğru olacaktır. Enerji yoğunluğu da daha önce tanımlandığı üzere aracın daha az ağırlıkta üretilmesine etki etmektedir. Ancak daha önce de dendiği gibi enerji verimliliği de değerlendirilmelidir. Hemen hemen bütün akü üreticileri enerji yoğunluğu hakkında bilgi vermekte fakat bunlardan çok azı enerji verimliliği konusunda veri bildirmektedir. Birçok tasarımcı seçim yaparken esas olarak enerji yoğunluğunu değerlendirmektedir ama enerji verimliliğindeki artışın daha fazla ağırlık taşıma kabiliyeti doğuracağını unutmamak gerekir. Konuya örnek vermek gerekirse kurşun-asit akü yerine nikel-kadmiyum akü kullanımını karşılaştırabiliriz. Nikel-kadmiyum akülerin enerji yoğunlukları daha yüksek olsa da enerji verimlilikleri daha azdır. %100 doğrulukta bir değerlendirme sayılamasa da, tarihsel olarak güneş arabası yarışlarına bakıldığında ise kurşun asit akülü araçların nikel-kadmiyum akülü araçlara oranla daha iyi performans verdiği bilinmektedir (Carroll, 2003).

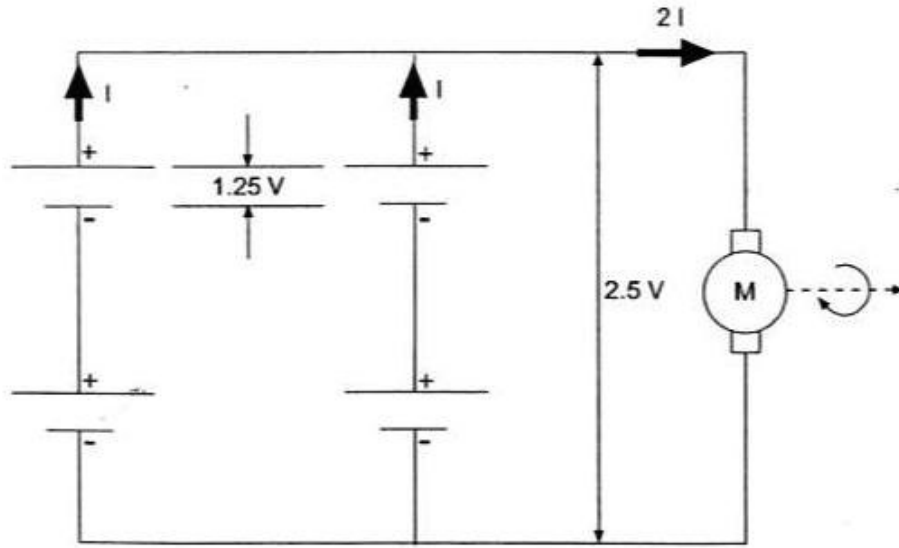
Akülerin de paralel veya seri bağlanması mümkündür. Hücrelerdeki ile aynı şekilde seri bağlanan akülerin gerilimleri, paralel bağlanma durumunda ise akım değerleri toplanmaktadır. İhtiyaç duyulan değerlere göre istenilen sayıda akü paralel veya seri olarak

bağlanabilmektedir. Örnek olarak elimizde 0,08 A ve 2 V gerektiren küçük bir motor olduğunu düşünelim. Bu motorun beslenmesi için elimizde 1,25 VDC ve 0,045 A değerlerinde akülerden bulunduğunu düşünürsek;

$2V / 1,25V = 1,6$ adet, yani 2 adet akü seri olarak bağlanmalıdır.

$0,08A / 0,045A = 1,78$ adet, yani yine 2 adet akü de paralel olarak bağlanmalıdır.

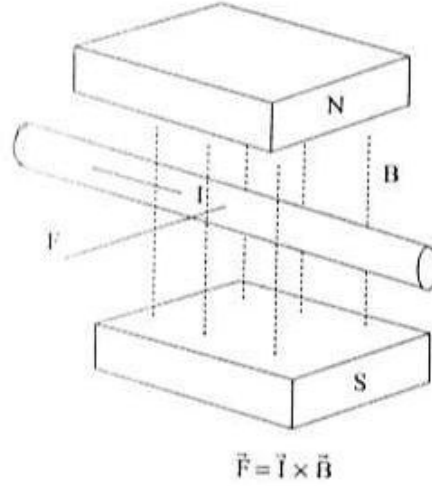
Bu duruma göre ikisi seri ikisi de paralel olarak bağlanacak toplam 4 akünün devresini aşağıdaki şekilde görebilmekteyiz (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Seri ve paralel bağlanmış bir akü devresi.

4.6.2.4 Elektrik Motoru

Elektrik motorları elektrik enerjisini hareket enerjisine çeviren cihazlardır. Bu dönüşümü meydana getiren zincir ise; Manyetik bir alandaki bir kablodan bir akım geçtiğinde manyetik alan vektörünün ve akım vektörünün bulunduğu düzleme dik bir kuvvetle karşılaşır. Bu durum şekil 4.24'de görülebilmektedir.



Şekil 4.24 Akım taşıyan bir kablodaki manyetik alan kuvveti (Carroll, 2003)

Motor mekanizması da motor şaftının dönmesini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Bu dönen şaft ise iş yapımında kullanılabilir.

Bir elektrik motorunun iki ana kısmı vardır. Sabit duran kısım, stator, ve dönen kısım da rotor olarak adlandırılır. Manyetik alanı ise stator veya rotordaki endüvi sargısına verilen akım ortaya çıkarır.

Elektrik motorları sağlanan akımın cinsine göre doğru akım ve alternatif akımlı motorlar olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Aynı zamanda manyetik alanlarını oluşturma açısından sürekli manyetik ve elektromanyetik olmak üzere de sınıflandırılabilir. Güneş arabalarında ise tekerlek motorlar ve fırçasız doğru akım motorların kullanılması doğru olacaktır. Fırçalı motor da kullanılması mümkündür fakat daha ucuz olsalar da bu motorlarda fırçasızlara göre %10 kadar daha az verim elde edilebilmektedir. Tekerlek motorda adından da anlaşılacağı üzere direkt olarak tekerleğe entegre edildiğinden transmisyon düzeneğine gerek yoktur, fakat fırçasız doğru akım motorlarında transmisyon sistemine gerek vardır. Bunlar arasında seçim yapılırken verim ve maliyet gibi hususlar düşünülmelidir. Fırçasız doğru akım motorları tekerlek motorlara göre yüksek güçte daha az, düşük güçlerde ise daha fazla verimlidir. . Fırçasız motorlarda yüksek verimlere çıkılabilmektedir ama karar verilirken ilave kullanılacak sistemlerin karmaşıklığı ve meydana getirebileceği sorunlar da göz önüne alınmalıdır.

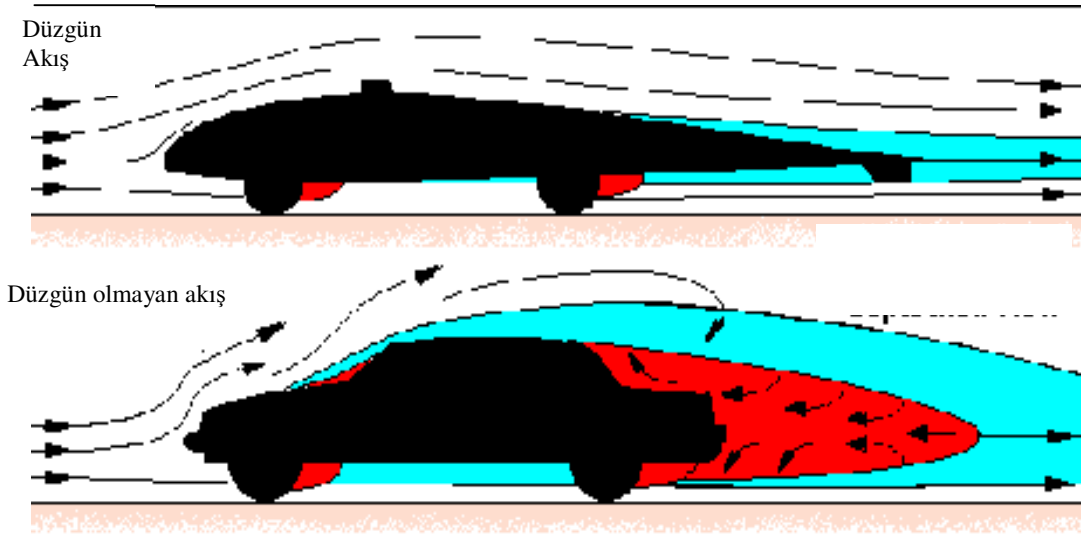
4.6.3 Aerodinamik Yapı

Aerodinamik direnç araç hızlı giderken gördüğü toplam direnç kuvvetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Düşük hızlarda çok önemli olmasa da 40 km/s ve üzeri hızlarda çok önemlidir. Aerodinamik direnç kuvvetinin formülünü aşağıda görebilmekteyiz.

$$D_A = (0.5) \rho V_A^2 AC_d \quad (4.7)$$

Hava akımına dik bir plaka için aerodinamik direnç katsayısı 2,0 dır (Carroll, 2003). Bu değer pürüzsüz bir damla şekli için 0.05 olabilirken iyi bir güneş arabası için 0,1 ila 0,3 arası bir değer hedeflenmelidir.

AC_d direnç alanı olarak tanımlanır. İyi araçlarda bu değer 0,1-0,35 arasında olmalıdır. Aerodinamik olarak kaybedilen güç hesaplanmak isterse aerodinamik direnç kuvvetinin hızla çarpılması yeterli olacaktır.



Şekil 4.25 Aerodinamik direncin oluşması.

Bir aracın aerodinamik dirence az maruz kalması için araca karşı gelen hava akımının düzgün şekilde aracı sıyırıp geçmesi istenir. Bunun gerçekleşmesi için de aracın geometrisinin buna izin vermesi gerekmektedir. Kullanım şartlarından dolayı günlük hayatımızda kullandığımız araçlarda bu yapıyı elde etmek çok zordur fakat bir güneş arabasında bu konuya önem verilebilir ve başarılı bir araç yapmak için de verilmesi kaçınılmazdır. Aerodinamik yapısı iyi bir araç ile konvansiyonel bir aracın hareket esnasında karşı karşıya kaldığı hava akımları temsili olarak şekil 4.25’de görülebilmektedir.

4.6.4 Diğer Sistemler

4.6.4.1 Mekanik Sistemler

Güneş arabalarının mekanik sistemleri genellikle basittir ve sürtünme ile ağırlığı en aza indirmek asıl hedefdir. Kompozit malzemeler ve titanyum gibi alaşımlar genellikle düşük yoğunluk/dayanım oranına sahip olduğundan tercih edilirler fakat bunlar için de maddi kaynak gerekecektir.

Mekanik sistem süspansiyon, fren, direksiyon ve tekerlekleri içerir. Her birinin tasarımında diğerinin de düşünülmesi uyum ve montaj açısından kolaylık sağlayacaktır. Süspansiyon sistemi aracın güvenliği ve performansı açısından oldukça önemlidir. Burada yapılacak bir yanlış aracın kontrolden çıkmasına sebep olacaktır. Tasarım yapılırken ilk olarak oluşan maksimum gerilimlere dayanabilecek minimum malzeme kullanılmalıdır, yalnız ağırlıktan kaçma için de limitlere çok yaklaşmamak gerekecektir çünkü istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilecektir.

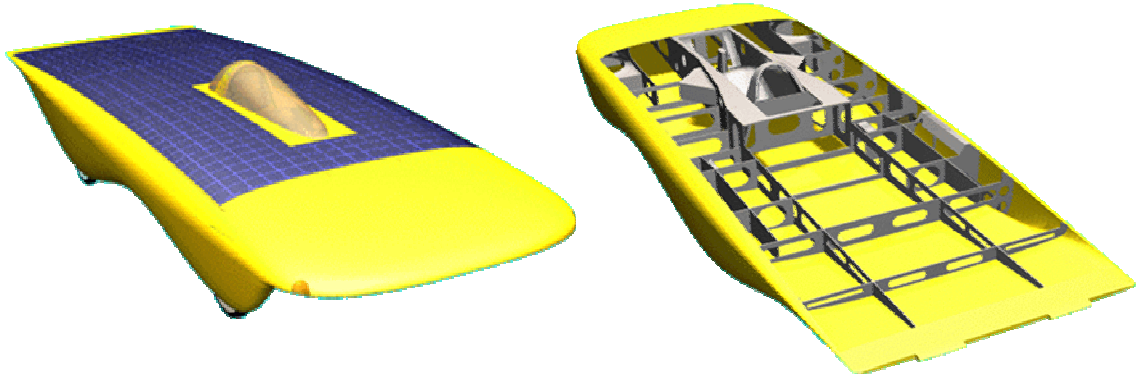
Önemli bir güvenlik sorunu da frenlerdir. Ağırlığın azlığında dolayı normal araçlara göre çok daha az kuvvet gerektirecek frenler mekanik ve hidrolik esaslı olabilirler. Mekanik esaslı sistemler küçük ve hafiftirler fakat yüksek fren gücü uygulayamaz ve bakım isterler. Ama yine de bir güneş arabası için kullanımları daha avantajlı olacaktır. Alternatif olarak rejeneratif fren sistemleri kullanılabilirler. Bunlarda fren yapılırken oluşan sürtünme elektriğe çevrilerek tekrar aküye gönderilirler. Böyle bir sistemin kurulmasına karar verilemeden önce iyi düşünülüp iyi hesap yapılmalıdır. Kazanılacak enerji miktarı oldukça cüzi olup harcanan

emek ve sistemin verimine getirebileceği muhtelif dezavantajlar düşünülünce yapıp yapılmamasına dair tereddütte kalınabilmektedir.

4.6.4.2 Gövde ve Şasi

Güneş arabalarında her zaman ilk etapta enerjinin mümkün olduğunca az harcanmasına dikkat edilir. Bu da aracın hafif ve iyi bir aerodinamik yapıya sahip olmasıyla mümkün olacaktır. Belli bir standart olmayıp istenildiği gibi bir dizayn yapılabilmektedir. İyi tasarlanmış bir gövde yüzlerce Watt enerji tasarrufuna sebep olabilmektedir, bu sebeple de bu araçların tasarımlarında en fazla zamanı belki de bu kısım almaktadır.

Şasi ise aracın omuriliği olarak tanımlanabilir. Ağırlığın mümkün olduğunca az, dayanımın ise fazla olması istenir. Tabi ki bu çalışmalar yapılırken her zaman önceliğin emniyetin olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Aşağıdaki şekilde bir güneş arabasının şasi ve gövdesi görülebilmektedir.



Şekil 4.26 Güneş arabası gövde ve şasisi.

Daha önce de değinildiği gibi aracın gövdesini oluşturacak yapı, pillerden gelen sınırlı enerjiyi en az derecede harcayacak kadar hafif ve herhangi bir kaza anında sürücü güvenliğini sağlayacak kadar da sağlam olmalıdır. Bu iki nokta göz önüne alındığında iki alternatif malzeme ortaya çıkmaktadır. Bunlar da cam-fiber ve karbon-fiber malzemelerdir. Cam-fiberlerin maliyetleri ve ağırlıkları düşük olup yüksek elastik modül ve çekme mukavemeti değerlerine sahiptir. Önceleri yüksek maliyetinden dolayı sadece havacılık ve silah sanayinde kullanılan karbon-fiber ise zamanla üretim maliyetlerinin azalması sonucunda kara taşıtlarında da sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Çok yüksek mukavemet değerlerine sahip karbon-fiberin maliyeti dışında yüksek sertliğinden dolayı kırılma eğilimi de dezavantajları içerisinde sayılabilir (Savaş vd., 2005). Bu değerleri gösteren bir tablo çizelge 4.4'de görülebilmektedir.

Çizelge 4.4 Cam-fiber, karbon-fiber ve çeliğin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri
(Savaş vd., 2005)

| Mekanik/Fiziksel Özellik | Cam-fiber | Karbon-Fiber | Paslanmaz Çelik |
|--|------------------|---------------------|------------------------|
| Yaklaşık Yoğunluk (kg/m ³) | 2.100 | 1.600 | 7.916 |
| Elastik Modül (Gpa) | 45 | 145 | 193 |
| Çekme Mukavemeti (Mpa) | 1.020 | 1.240 | 862 |

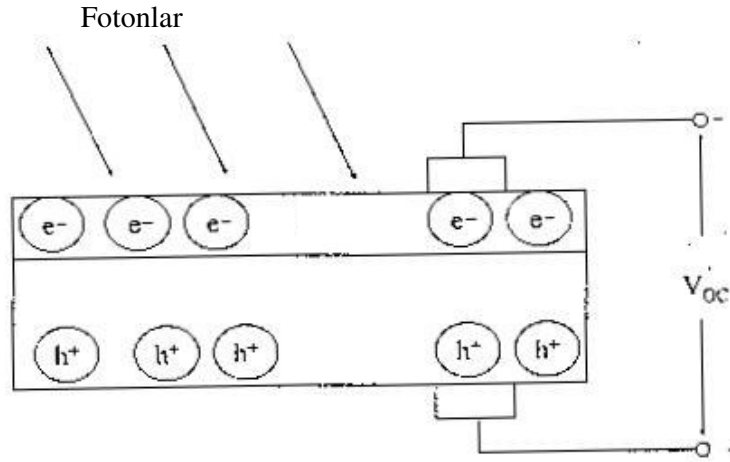
5. HÜCRELERİN UYGULAMADAKİ GERÇEK PERFORMANSININ MATEMATİKSEL OLARAK HESAPLANMASI

5.1 Bazı Önemli Tanımlar

Aşağıda verilmiş olan iki tanım da PV hücre bilimi dendiğinde akla gelen ilk tanımlardan ikisidir. Bunlarla ilgili tanımın 5. bölümde verilmesinin sebebi, yapılacak hesaplarla ilgili oldukları için hesaptan hesaplamalardan hemen önce verilip akılda daha iyi kalması ve bir nevi sürekli üzerinden geçilmesi sonucu tam olarak anlaşılması ve akılda kalmasını sağlamaktır.

5.1.1 Açık Devre Gerilimi (V_{OC})

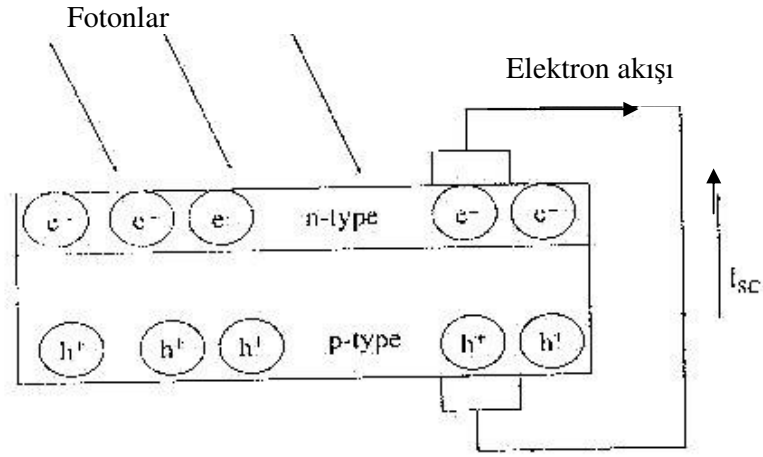
PV hücrelerin çalışmasında anlatıldığı şekilde, hücrenin üst kısımlarında elektron fazlalığı ve alt kısımda da delik fazlalığı vardır. Bu da iki bölge arasında bir voltaj farkı meydana gelmesine sebep olmaktadır. Üst kısım ve alt kısımdaki iletkenler arasında bağlanacak bir voltmetre ile ölçülecek gerilim değerine “açık devre gerilimi (V_{OC})” denir (Carroll, 2003). Bu olay şekil 5.1 ile izah edilebilir. Açık devre gerilimini belirleyen etkenlerden asıl olanı hücre malzemesi iken bir diğer etken de ışınımdır. Daha yüksek güneş ışınımı daha fazla elektron-delik çifti oluşmasını tetikleyerek açık devre gerilimini etkilemektedir.



Şekil 5.1 Açık devre gerilimi (V_{OC}).

5.1.2 Kısa Devre Akımı (I_{SC})

Açık devre geriliminde olduğu gibi, hücrenin üst ve altı arasında bu kez bir tel bağlandığında elektronlardan telde akacak ve deliklerle birleşecektir (Şekil 5.2). Bu halde hücredeki gerilim sıfır olacaktır ve elde edilen akım da “kısa devre akımı” olarak tanımlanacaktır. Kısa devre akımı, açık devre geriliminde olduğu gibi hücrenin malzemesi ve ışınım kuvvetinin yanı sıra hücredeki iletken kısımların tasarımına da bağlıdır, zira elektron ve delikler bu iletken kısma ulaşacak yolları kolayca bulabilmelidir.



Şekil 5.2 Kısa devre akımı (I_{SC}) (Carroll, 2003)

Yukarıda bahsedilen elektron ve deliklerin hareketinde hücrenin iç direnci (R_s) engel teşkil eder. Açık devre akımının güneş ışınımını yoğunluğu ile olduğu gibi hücre alanı ile de hemen hemen orantılı olduğu söylenebilir.

Kısa devre akımı, açık devre gerilimi ile birlikte hücrenin en önemli değerlerinden ikisidir, bunlar ile hesaplamalar ileride gösterilmektedir.

5.1.3 Diğer Tanımlar ve Verim

Bir foton bir güneş hücresine çarptığında dört ihtimal ortaya çıkar;

1. Foton geri yansıtılır ve elektrik üretimi olmaz.
2. Fotonun elektronu yörüngesinden çıkaracak yeterli enerjisi yoktur ve ya geri yansıtılır ya da ısıya dönüşür ve elektrik üretimi olmaz.
3. Foton tam olarak elektronu yörüngeden çıkaracak kadar enerjiye sahiptir. Bu durumda bütün foton enerjisi elektrik enerjisine dönmüş olur.
4. Fotonun elektronu yörüngesinden çıkarmaya yetecek enerjiden daha fazla enerjisi vardır. Bu kısım foton enerjisi elektrik enerjisine dönerken fazlalık miktar ısıya dönüşür.

Elektronun yörüngesinden kopması şartı ise foton enerjisinin elektronun bant boşluğu enerjisinden fazla olmasıdır. Bazı malzemelerin bant boşluk enerjileri aşağıdaki çizelge 5.1’de görülebilmektedir.

Çizelge 5.1 Bazı malzemelerin bant boşluk enerjisi (Goswami vd., 2000)

| Malzeme | Band Boşluk Enerjisi (eV) | Malzeme | Band Boşluk Enerjisi (eV) |
|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
| Si | 1,12 | ZnTe | 2,2 |
| SiC | 2,6 | ZnSe | 2,6 |
| CdTe | 1,44 | AlP | 2,43 |
| CdSe | 1,74 | AlSb | 1,63 |
| CdS | 2,42 | Ge | 0,67 |
| GaAs | 1,4 | Se | 1,6 |
| GaP | 2,24 | InP | 1,27 |

Bir fotonun enerjisi ise;

$$E_f = h \nu \quad (5.1)$$

Yukarıdaki formülde geçen frekans ise;

$$v = c / \lambda \quad (5.2)$$

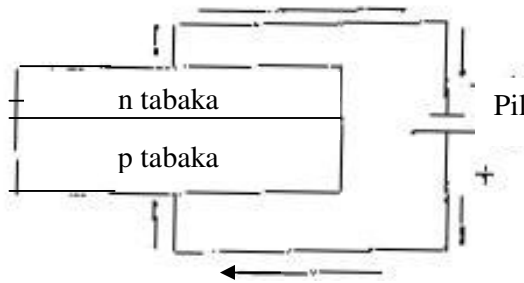
Denklem 5.2, 5.1'de yerine koyulursa;

$$E_f = hc / \lambda \quad (5.3)$$

Bununla birlikte bir başka tanım da hava kütle oranıdır. Atmosferin üzerinde uydular seviyesinde alınan ışınım AM0 (hava kütlesi sıfır) radyasyonu denirken, deniz seviyesinde bu değer AM1,5 'dir. Bu konumlarda ışınımın farklı olacağı gibi frekansların da farklı olması güneş hücresinin verimini etkileyecektir. Bu sebeple hücreleri karşılaştırırken aynı şartlarda denenmiş olmalarına dikkat edilmelidir.

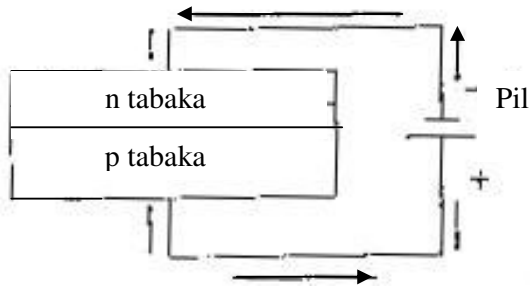
5.2 Güneş Hücresi Modeli

Bir güneş hücresi temel olarak özel bir diyottur denebilir. Eğer hücreye güneş ışınımı gelmez ise, tam olarak bir diyot gibi davranıp akımının sadece bir yöne serbestçe akmasına izin verecektir. Halbuki normal şartlar altında hücre akımı üretip ters yönde akmasına izin veriyor olur. Bu durumu şekil 5.3a ve b'de görebilmekteyiz.



Güneş ışığı olmadığı takdirde hücre akımı ters olarak geçirip pilin boşalmasına sebep olur.

Şekil 5.3a Güneş hücresinin ışık almadığı durum.



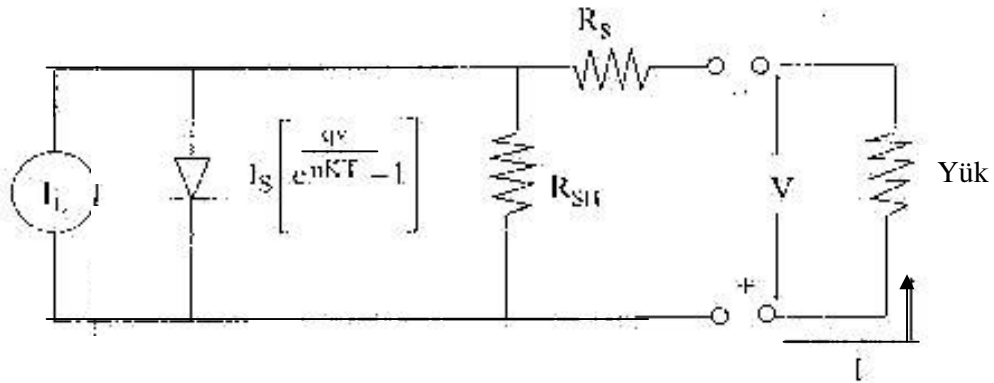
Normal durumda, hücre ışık aldığı anda, hücrenin pili şarj eder.

Şekil 5.3b Güneş hücresinin ışık aldığı durum.

Şekil 5.3a göz önüne alınırsa devreye bir anahtar eklemeli ve böylece ışınım olmadığı zamanlarda ters yöne akımın geçmesi engellenmiş olunarak pilin boşalmasının önüne geçilmiş olur. Şekil 5.,b'de ise normal çalışma durumu söz konusudur. Fakat daha önce de üzerinde durulduğu gibi, hücrelerin seri olarak bağlandığı durumlarda eğer bir hücre ışık alırsa o hücre akım almaz. Öteki hücreler ürettikleri akımı iletmeye çalışacak fakat diyottan ters akım geçirmeye çalışmaktan farkı olmayacaktır. Böyle bütün bir sıra hücre çalışmamış olacaktır. Bunun bir sonucu olarak böyle bir dizinin üreteceği akımın değeri, en az akım üreten hücrenininkine kadar olacaktır denilebilir (Carroll, 2003).

5.2.1 Güneş Hücresinin Elektriksel Modeli

Aşağıda şekil 5.4'de bir hücrenin elektriksel olarak bileşenleri model olarak gösterilmiştir. Bu şekilden yararlanılarak bileşenler açıklanacak ve bir güneş hücresinin akım ve gerilim değerleri formülize edilecektir ve akabinde çalışma şartlarındaki değerlerin nasıl bulunacağı modelleneyecektir.



Şekil 5.4 Bir güneş hücresinin elektriksel modeli (Carroll, 2003)

Bu şekilde gösterilebilecek olan bir güneş hücresinden elde edilecek akım ve gerilim değerlerini denklem 5.4'de görebiliriz.

$$I = I_L - I_S \left[e^{\frac{q}{nKT}(V+IR_S)} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (5.4)$$

Burada verilen R_S ve R_{SH} değerleri üretici firmalar tarafından gizlilik politikası sebebiyle açıklanmamaktadırlar. Bunun yerine alınacak yaklaşık değerlerin nasıl bulunacağı aşağıda açıklanmaktadır.

$$R_{CH} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \quad (5.5)$$

Buna göre ise R_S ve R_{SH} değerlerini elde etmek için;

$$R_{SH} = 1.000 R_{CH} \quad (5.6)$$

$$R_S = 0,1 R_{CH} \quad (5.7)$$

Alternatif olarak denklem 5.4 yerine aşağıdaki denklem 5.5 de kullanılabilir;

$$I = k_0 + (k_1 \times V) + (k_2 \times V^2) + (k_3 \times V^3) + \dots + k_n \times V^n \quad (5.8)$$

Bu polinom denklemindeki katsayılar, deneysel olarak belirlenmiş bir PV pilin I-V karakteristiğinden, kullanılan polinom derecesi kadar, üstteki denklem için n adet, veri alınıp bu n adet denklemin çözülmesi ile veya nümerik diğer yöntemler kullanılarak elde edilebilir. Bir I-V karakteristiğini belli etmek için yedinci dereceden bir polinom yeterli olacaktır (Çetinkaya, 2001). Fakat bu tür denklemlerin derecesi arttıkça katsayıların belirlenmesi zorlaşacaktır ve bu nedenle pek tercih edilmezler. Bununla birlikte böyle bir denklem ile elde edilen I-V karakteristiğinin gerçek I-V karakteristiği ile uyumluluğu denklem 5.4 ile elde edilenden çok daha az olacaktır.

Uygulamada kolaylık sağlaması açısından denklem 5.4’de denklemin en sonunda kalan negatif ifadenin ihmal edilmesi sonucu çok değiştirmeyecektir. Yine de biz hesaplamaları yaparken bu terimi ihmal etmeyeceğiz.

5.2.2 Sıcaklık ve Diyot Doyma Akımı (I_s)

Tanımlarda da söylendiği gibi doyma akımı malzeme ve sıcaklığın fonksiyonudur. Bunu ifade eden denklem ise;

$$I_s = I_{s\infty} e^{-\frac{E_g}{nRT}} \quad (5.9)$$

n : Matematiksel model parametresi olup silikon esaslı malzemeler için 1,5 olarak alınması tavsiye edilmektedir

Bu denklemi denklem 5.4’de kullanarak sıcaklık ile hücreden alabileceğimiz verilerin ne ölçüde değiştiğini hesaplamaya çalışacak ve böylece satıcı tarafından belirli deney koşullarında ($I_T = 1.000 \text{ W/m}^2$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, AM1,5) geçerli katalog değerlerinin, yapacağımız gerçek koşullar altındaki çalışmamıza yönelik hesaplarda yanılmamızın önüne geçebileceğiz.

5.3 Hücrenin Kullanacağımız Şartlardaki Gerçek Değerlerinin Hesabı

Bu hesapların yapılması için önce spesifik bir hücre seçilmelidir. Kullanacağımız amaca uygun gerekli ön şartları belirledikten sonra seçeceğimiz hücremizin kataloğundan daha önce ifade edilmiş şartlar için geçerli gerekli değerleri alıp, bu değerlerin bizim kullanım şartlarımızda ne olacaklarını hesaplayacağız. Bunun için örnek olarak kataloğu Ek-4’de verilmiş olan Q6L-1500 hücreyi kullanacağız. Buna göre hücremizin 1000 W/m^2 ışınımında, AM1,5’de ve 25°C kullanım şartlarında değerleri;

$$V_{OC} = 0,617 \text{ V}$$

$$I_{SC} = 8,38 \text{ A}$$

$$P_{max} = 3,65 \text{ W}$$

$$\eta = \%15 \text{ (verim)}$$

Bu durumda denklem 5.4 göz önüne alınır. Bilindiği gibi,

$$V = V_{OC} \text{ iken, } I = 0$$

$$I = I_{SC} \text{ iken, } V = 0.$$

$$R_{CH} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} = \frac{0,617}{8,38} = 0,07363 \text{ Ohm}$$

$$R_{SH} = 1000 R_{CH} = 1000 \times 0,07363 = 73,63 \text{ Ohm}$$

$$R_S = 0,1 R_{CH} = 0,1 \times 0,07363 = 0,007363 \text{ Ohm}$$

Bu değerler ve V_{OC} ve I_{SC} şartları kullanılarak denklem 5.4'ün altındaki diğer sabitler yerlerine konulduğunda;

$$8.38 = I_L - I_S \left[e^{\frac{1.6021773 \times 10^{-19}}{n \cdot 1.380658 \times 10^{-23} \cdot 298.15} (0 + 8,38 \times 0.007363)} - 1 \right] - \frac{0 + I \cdot 0.007363}{73.63} \quad (5.10)$$

$$0 = I_L - I_S \left[e^{\frac{1.6021773 \times 10^{-19}}{n \cdot 1.380658 \times 10^{-23} \cdot 298.15} (0,617 + 0 \times 0.007363)} - 1 \right] - \frac{0,617 + 0 \times 0.007363}{73.63} \quad (5.11)$$

Elde edilen 5.10 ve 5.11 denklemlerindeki işlemler yapıp sadeleştirildiğinde;

$$8.38 = I_L - I_S \left[e^{\frac{2,4006}{n}} - 1 \right] - 0,00083766 \quad (5.12)$$

$$0 = I_L - I_S \left[e^{\frac{24,006}{n}} - 1 \right] - 0,00838 \quad (5.13)$$

denklemleri elde edilmiş olur.

Denklem 5.12 ve 5.13’de daha önce de söylenildiği üzere $n = 1,5$ alınıp I_L ve I_S değerleri çözülebilir. Bu durumda;

$$\begin{aligned} 8,381 &= I_L - 3,955 I_S \\ 0,00838 &= I_L - 8921726,15 I_S \end{aligned}$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler çözülür ise;

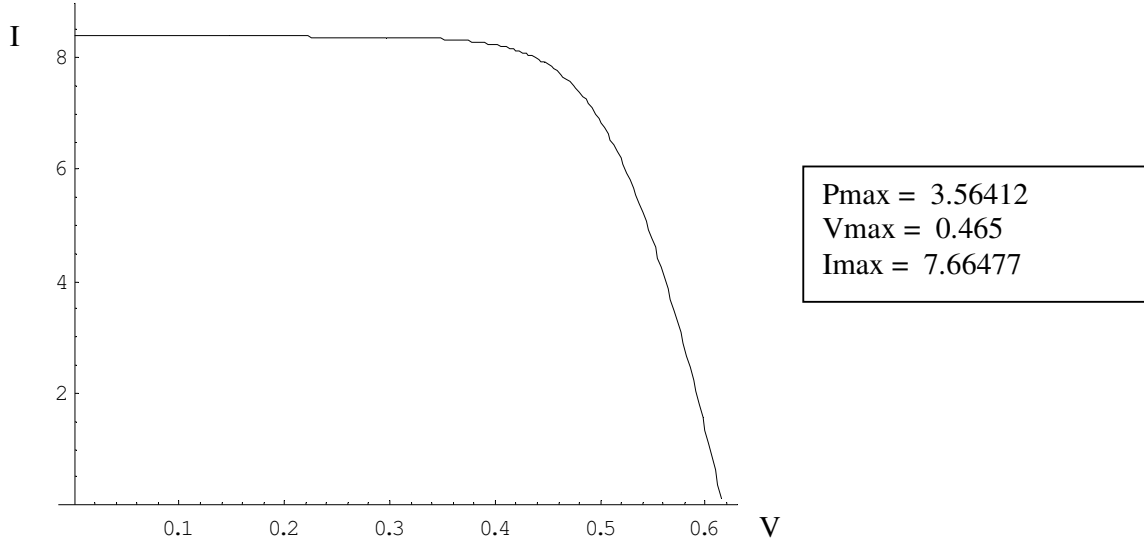
$$\begin{aligned} I_L &= 8,381004 \text{ A} \\ I_S &= 9,38453341 \times 10^{-7} \text{ A} \end{aligned}$$

bulunur. Bu değerler ana denklemimiz 5.4’te yerine koyulursa;

$$I = 8,381004 - 9,38 \times 10^{-7} \left[e^{\frac{1,60217 \times 10^{-19}}{1,5 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 29815} (V + I \times 0,007363)} - 1 \right] - \frac{V + I \times 0,007363}{73,63} \quad (5.14)$$

denklemini elde edilmiş olur ki bu denklemin çözümü ile I-V eğrisi de elde edilmiş olacaktır.

Bu denklem ise sadece bilgisayar programları yardımı ile çözülebilmektedir. “Mathematica” isimli program ile yukarıdaki denklem 5.14 çözülür ise şekil 5.5 elde edilmektedir.



Şekil 5.5 $n = 1,5$ için elde edilen I-V karakteristiği.

Grafiğin elde edilmesi için yazılan program kodu aşağıda görülmektedir.

```

Vlist = Table[v, {v, 0, 0.617, 0.003}];
Vlist;
Jlist = {};
For[V = 0, V ≤ 0.615, V = V + 0.003,
  Jlist = AppendTo[Jlist, NSolve[J == 8.381004 - (9.3810-7) (e25.96 (V+0.007363J) - 1) -  $\frac{V+0.007363J}{78.63}$ , J][[1, 1, 2]]];
Jlist;

liste = {};
For[i = 1, i ≤ 206, i++, AppendTo[liste, {Vlist[[i]], Jlist[[i]]}]];
liste;
ListPlot[liste, PlotJoined → True, PlotRange → {0, 9.0}]
carpimliste = {};
For[i = 1, i ≤ 206, i++, AppendTo[carpimliste, Vlist[[i]] Jlist[[i]]];

carpimliste;
Emax = Max[carpimliste];
pos = Position[carpimliste, Emax][[1]];
Vmax = Vlist[[pos]][[1]];
Imax = Jlist[[pos]][[1]];
Print["Emax = ", Emax];
Print["Vmax = ", Vmax];
Print["Imax = ", Imax];

```

5.3.1 Doğru “n” Değerinin Tayini

Elde edilen sonuçları inceleyecek olursak;

$P_{\max} = 3,56$ gibi bir değer elde edildi fakat bu şartlar altında elde etmemiz gereken değer $3,65$ W olduğunu katalogdan okumuştuk. Öyle ise $n = 1,5$ seçiminin yanlış olduğunu görmüş olduk. Bu değer doğru seçimi için ise denklem 5.4’ü tekrar gözden geçirelim;

$$I = I_L - I_S \left[e^{\frac{q}{nKT}(V+IR_S)} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

Görüldüğü gibi denklemimizden grafiğini elde edeceğimiz I ve V değerleri dışında tek değişken değer “n” olarak görülmekte. Fakat denklemin son halinde sadece n değeri ile oynayarak doğru sonuca gidemeyiz, çünkü hatırlanacağı üzere yukarıdaki denklemde öncelikle I_L ve I_S değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerler ise elde edilirken “n” değerinin her bir değişik değeri için farklı değerler elde edilecektir. Bu sebeple denklemin son halinde n ile oynamak yerine V_{OC} ve I_{SC} değerlerini yerlerine koyarak elde ettiğimiz 5.10 ve 5.11 veya sadeleştirilmiş halleri olan 5.12 ve 5.13 denklemlerinde de n değerini aramalıyız. Bunu yapmak olayın matematiksel yönünü daha da zorlaştıracaktır. Bu durum için;

$$8.38 = I_L - I_S \left[e^{\frac{2,4006}{n}} - 1 \right] - 0,00083766 \quad (5.12)$$

$$0 = I_L - I_S \left[e^{\frac{24,006}{n}} - 1 \right] - 0,00838 \quad (5.13)$$

denklemleri belli bir aralıktaki n'e göre çözülerek her bir "n" değeri için elde edilen I_L ve I_S değerleri, o değere karşılık gelen "n" değeri ile birlikte ana denklemimiz 5.4'de yerine koyulursa "n" için girdiğimiz aralıktaki muhtelif değerler için I-V grafikleri elde edilmiş olacaktır. Bu grafiklerden deneyde elde edilmiş katalog değerlerini hangisi sağlıyor ise, o grafik için alınmış "n" değeri doğru model parametresi olarak karşımıza çıkacaktır. Bu durum için yazılmış Mathematica program kodu aşağıdaki gibidir.

```

eps = {8.38 == JL - JS (e^(2.4006/n) - 1) - 0.00083766, 0 == JL - JS (e^(24.006/n) - 1) - 0.00838};
listn = {};
For[nfix = 1.2, nfix <= 1.8, nfix = nfix + 0.05,
  de = NSolve[eps /. n -> nfix], {JL, JS}]; listn = AppendTo[listn, {nfix, de[[1, 1, 2]], de[[1, 2, 2]]}]
]
listn
Length[listn];

Vlist = Table[v, {v, 0, 0.617, 0.003}];
Vlist;

JList = {};
JJList = {};
For[k = 1, k <= Length[listn], k++,
  For[V = 0, V <= 0.617, V = V + 0.003,
    JList = AppendTo[JList, NSolve[J == listn[[k, 2]] - listn[[k, 3]] (e^(1.602177310^4 / (listn[[k, 1]] 411.6431827^(V + 0.00736J)) - 1)
      - (V + 0.00736J) / 73.63, J][[1, 1, 2]]];
  ];
  JJList = AppendTo[JJList, JList];
  JList = {};
]

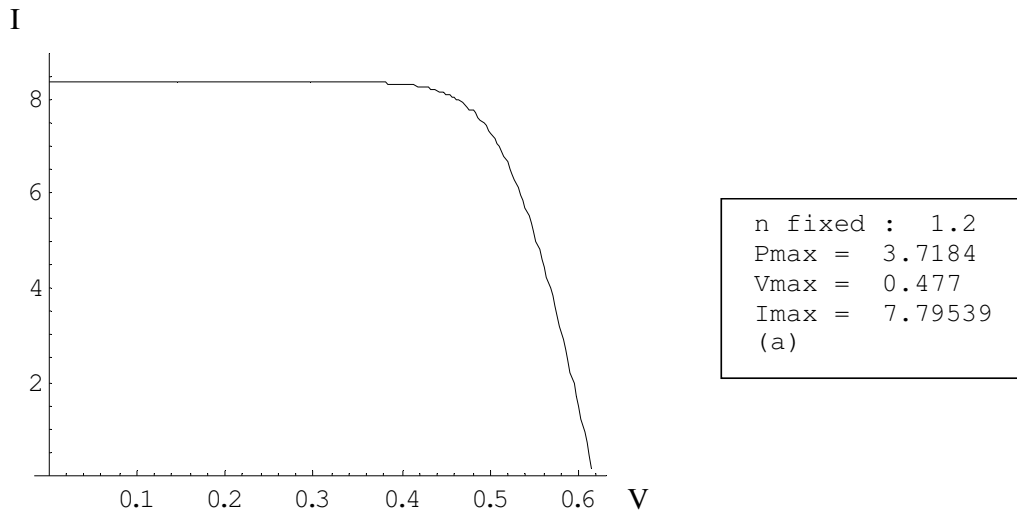
```

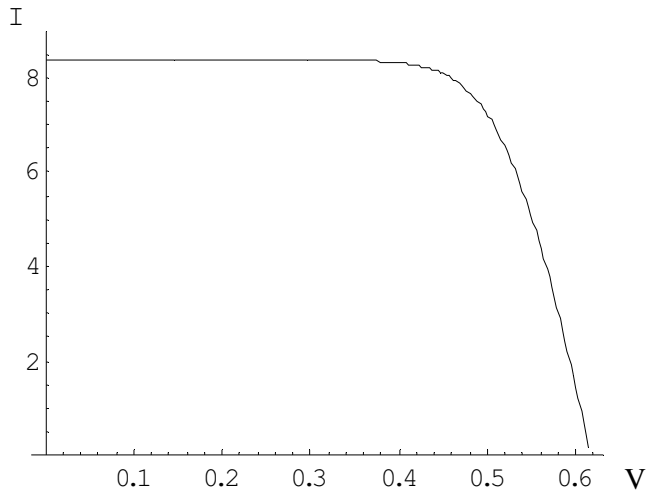
```

carpimliste = {};
liste = {};
For[j = 1, j ≤ Length[JJList], j++,
  For[i = 1, i ≤ Length[Vlist], i++,
    AppendTo[liste, {Vlist[[i]], JJList[[j, i]]}];
    AppendTo[carpimliste, Vlist[[i]] JJList[[j, i]]];
  ];
Print["n fixed : ", listn[[j, 1]]];
pos = Position[carpimliste, Max[carpimliste]][[1]];
Vmax = Vlist[[pos]][[1]];
Imax = JJList[[j, pos]][[1]];
Print["Pmax = ", Max[carpimliste]];
Print["Vmax = ", Vmax];
Print["Imax = ", Imax];
ListPlot[liste, PlotJoined → True, PlotRange → {0, 9.0}];
carpimliste = {};
liste = {};
]

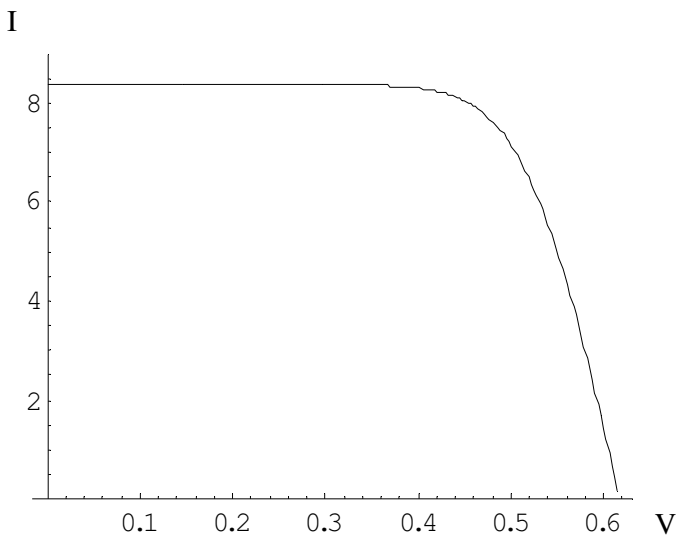
```

Elde edilen sonuçlara bakıldığında ise;

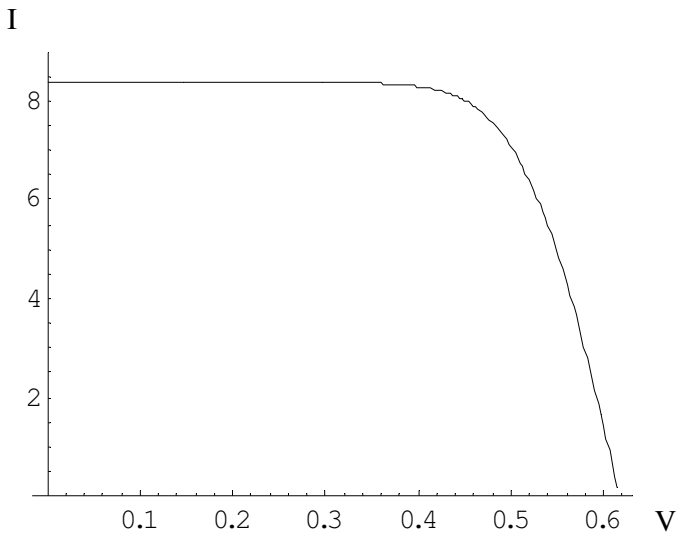




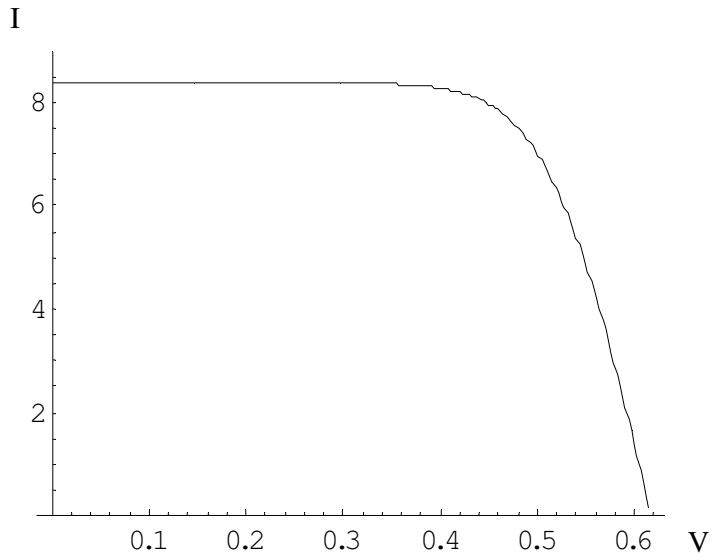
n fixed : 1.25
 Pmax = 3.69175
 Vmax = 0.474
 Imax = 7.7885
 (b)



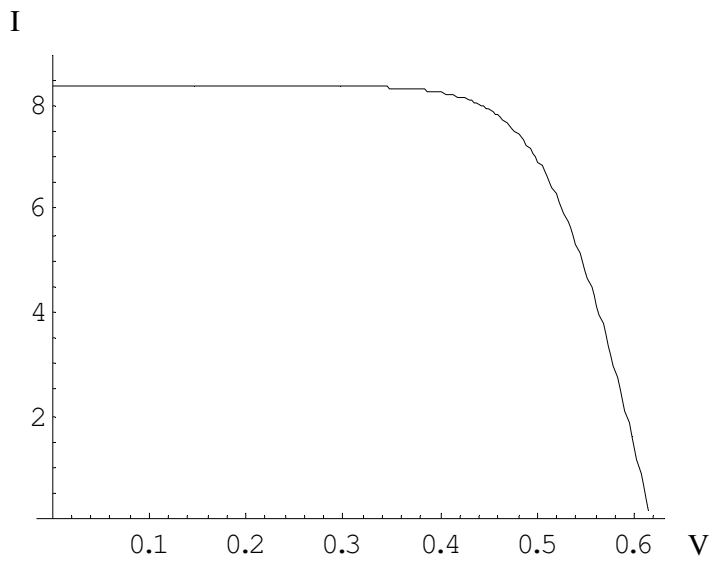
n fixed : 1.3
 Pmax = 3.66558
 Vmax = 0.474
 Imax = 7.73329
 (c)



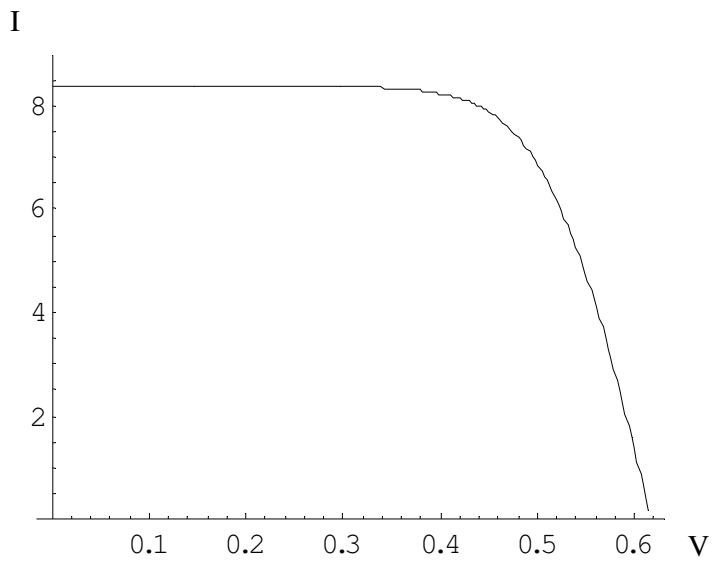
n fixed : 1.35
 Pmax = 3.64007
 Vmax = 0.471
 Imax = 7.72839
 (d)



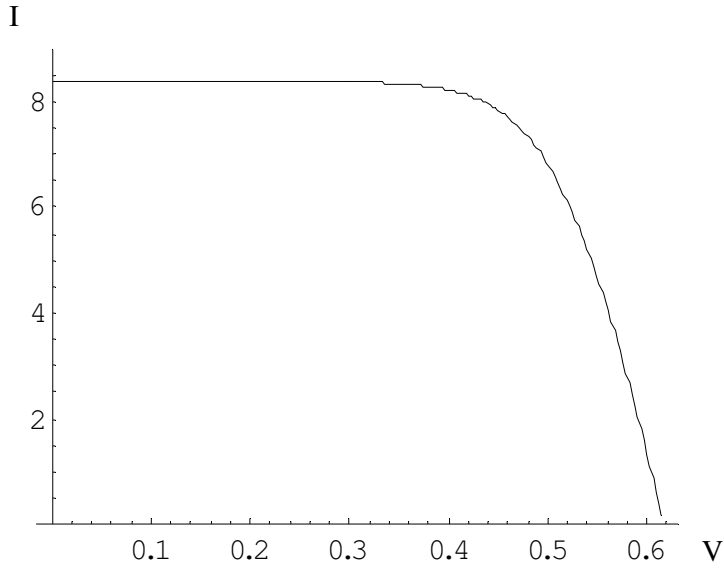
| | |
|-----------|---------|
| n fixed : | 1.4 |
| Pmax = | 3.61473 |
| Vmax = | 0.468 |
| Imax = | 7.72378 |
| (e) | |



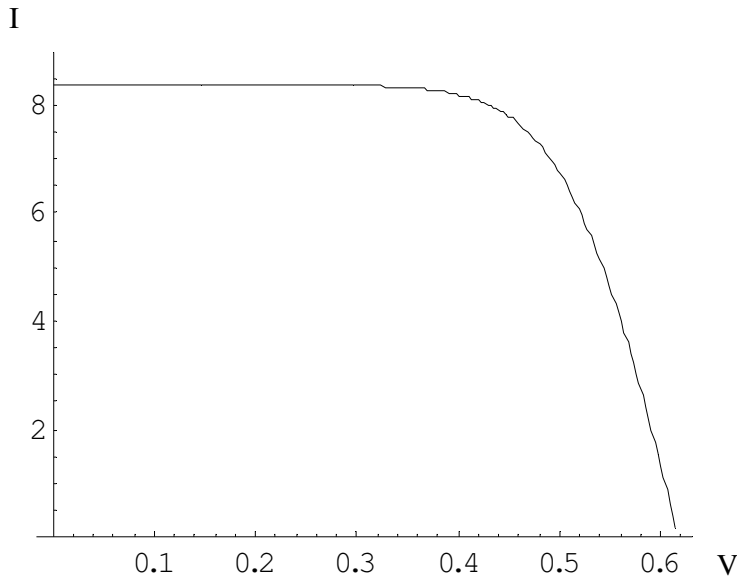
| | |
|-----------|---------|
| n fixed : | 1.45 |
| Pmax = | 3.59014 |
| Vmax = | 0.468 |
| Imax = | 7.67123 |
| (f) | |



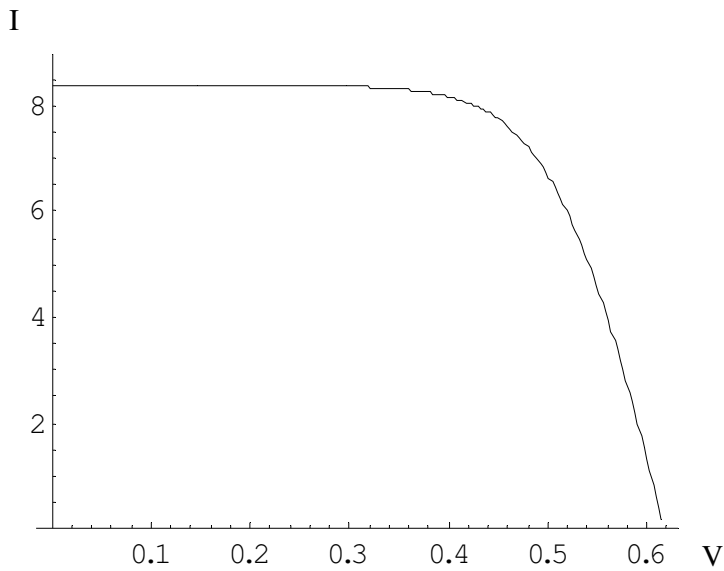
| | |
|-----------|---------|
| n fixed : | 1.5 |
| Pmax = | 3.56577 |
| Vmax = | 0.465 |
| Imax = | 7.66832 |
| (g) | |



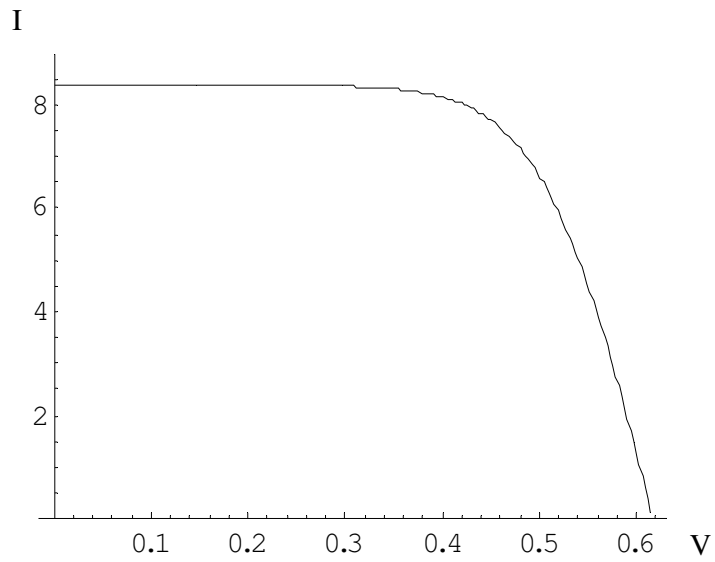
n fixed : 1.55
Pmax = 3.54188
Vmax = 0.465
Imax = 7.61694
(h)



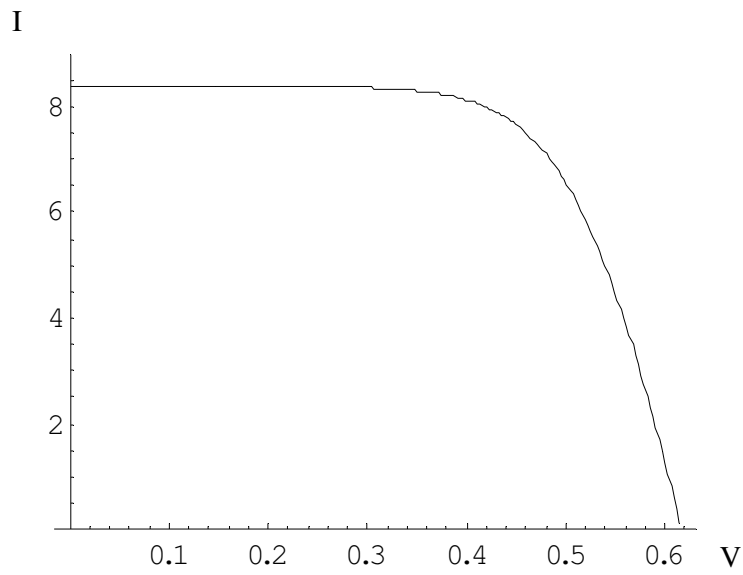
n fixed : 1.6
Pmax = 3.51839
Vmax = 0.462
Imax = 7.61556
(i)



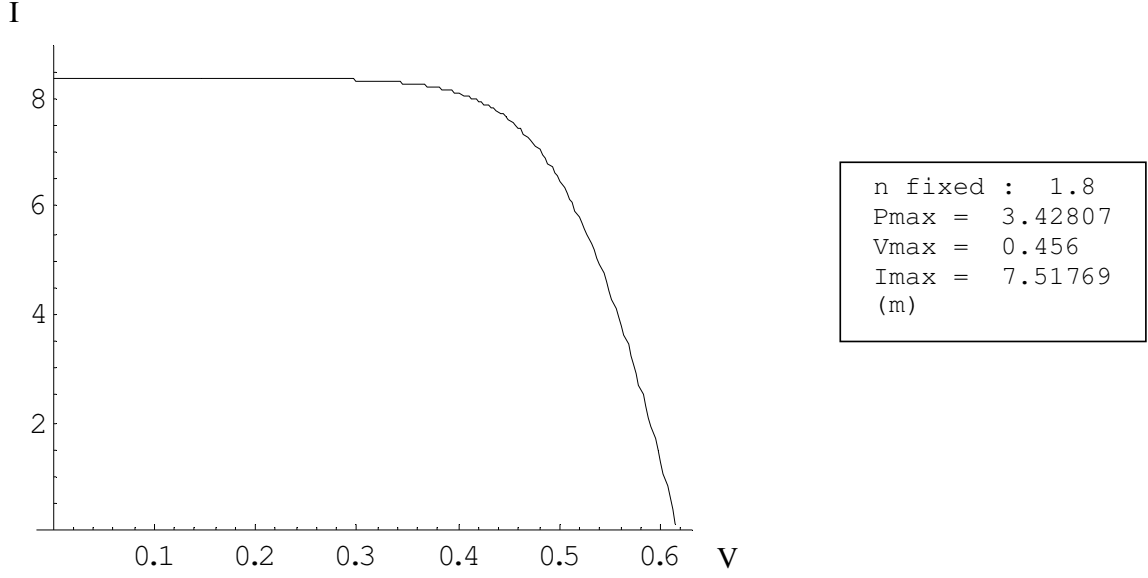
n fixed : 1.65
Pmax = 3.49521
Vmax = 0.462
Imax = 7.5654
(j)



| | |
|-----------|---------|
| n fixed : | 1.7 |
| Pmax = | 3.47251 |
| Vmax = | 0.459 |
| Imax = | 7.56539 |
| (k) | |



| | |
|-----------|---------|
| n fixed : | 1.75 |
| Pmax = | 3.45006 |
| Vmax = | 0.459 |
| Imax = | 7.51646 |
| (l) | |



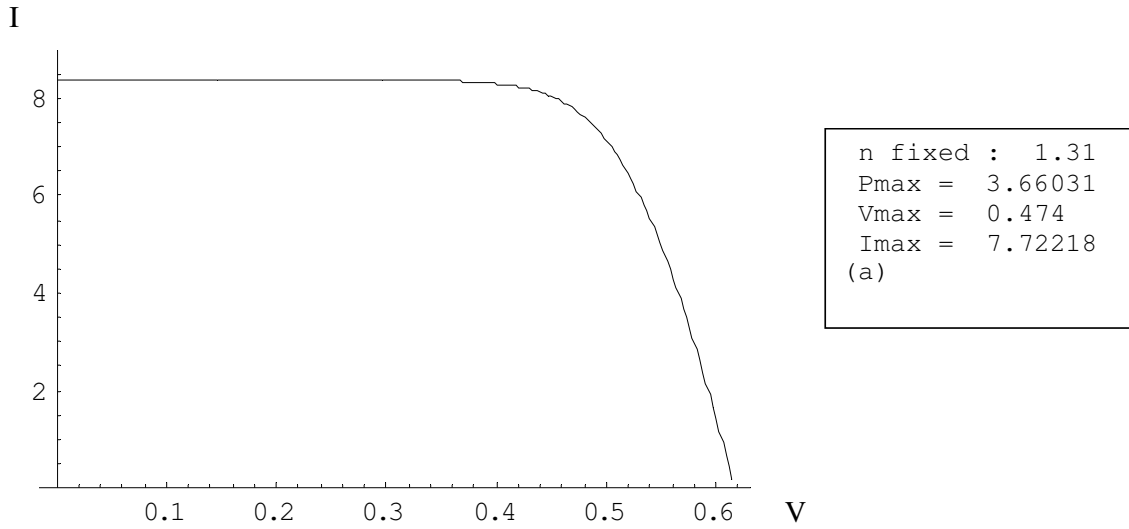
- Şekil 5.6 a. $n = 1,20$ için elde edilen I-V karakteristiği
 b. $n = 1,25$ için elde edilen I-V karakteristiği
 c. $n = 1,30$ için elde edilen I-V karakteristiği
 d. $n = 1,35$ için elde edilen I-V karakteristiği
 e. $n = 1,40$ için elde edilen I-V karakteristiği
 f. $n = 1,45$ için elde edilen I-V karakteristiği
 g. $n = 1,50$ için elde edilen I-V karakteristiği
 h. $n = 1,55$ için elde edilen I-V karakteristiği
 i. $n = 1,60$ için elde edilen I-V karakteristiği
 j. $n = 1,65$ için elde edilen I-V karakteristiği
 k. $n = 1,70$ için elde edilen I-V karakteristiği
 l. $n = 1,75$ için elde edilen I-V karakteristiği
 m. $n = 1,80$ için elde edilen I-V karakteristiği

Grafikler incelendiğinde aradığımız $P_{\max} = 3,65$ W değerinin şekil 5.6c ile 5.6d arasında, yani n 'in 1,3 ile 1,35 arasındaki bir değerinde olduğunu görüyoruz. Değerleri toplu olarak aşağıda çizelge 5.2 de görebiliriz.

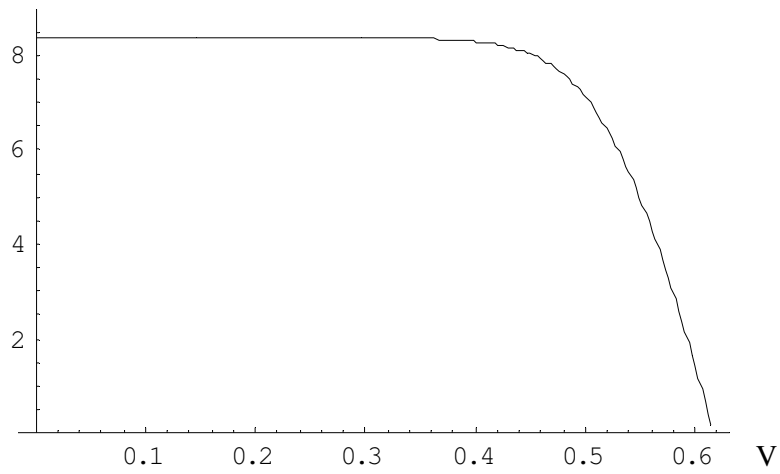
Çizelge 5.2 $n = 1,2$ ila $1,8$ arasındaki değerler için elde edilen P_{\max} , V_{\max} ve I_{\max} değerleri

| "n" | P_{\max} | V_{\max} | I_{\max} |
|------|------------|------------|------------|
| 1,20 | 3,7184 | 0,477 | 7,7954 |
| 1,25 | 3,6917 | 0,474 | 7,7885 |
| 1,30 | 3,6656 | 0,474 | 7,7333 |
| 1,35 | 3,6400 | 0,471 | 7,7284 |
| 1,40 | 3,6147 | 0,468 | 7,7238 |
| 1,45 | 3,5901 | 0,468 | 7,6712 |
| 1,50 | 3,5658 | 0,465 | 7,6683 |
| 1,55 | 3,5418 | 0,465 | 7,6169 |
| 1,60 | 3,5184 | 0,462 | 7,6156 |
| 1,65 | 3,4952 | 0,462 | 7,5654 |
| 1,70 | 3,4725 | 0,459 | 7,5653 |
| 1,75 | 3,4501 | 0,459 | 7,5165 |
| 1,80 | 3,4281 | 0,456 | 7,5177 |

Aynı programı tekrar çalıştırırsak ve bu sefer n için aralığı $1,30$ ile $1,35$ arası seçip, artırımını $0,01$ olarak belirlersek bu şekilde 4 grafik daha elde ederiz ki bu grafiklerde kullanılan n değerlerinden birisi aradığımız n değeri olacaktır.

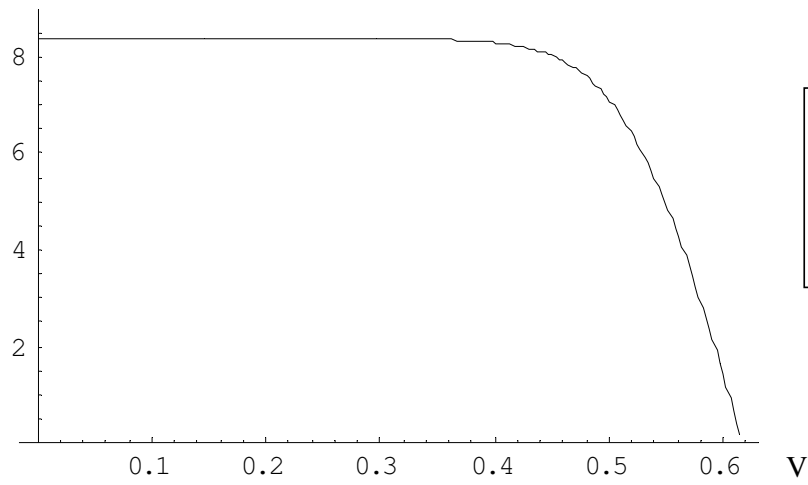


I

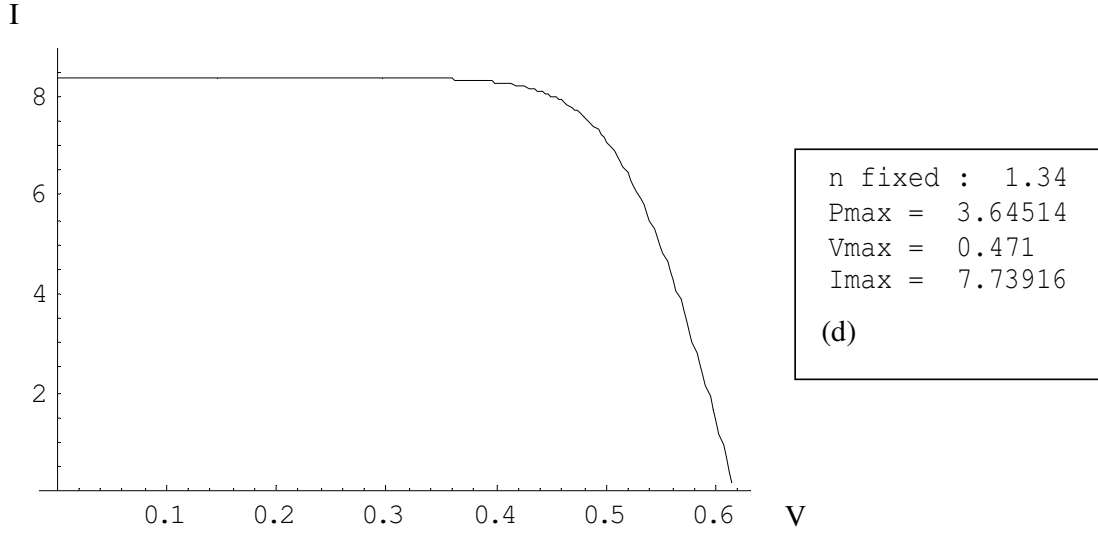


```
n fixed : 1.32
Pmax = 3.65526
Vmax = 0.471
Imax = 7.76063
(b)
```

I



```
n fixed : 1.33
Pmax = 3.6502
Vmax = 0.471
Imax = 7.7499
(c)
```



- Şekil 5.6 a. $n = 1,31$ için elde edilen I-V karakteristiği.
 b. $n = 1,32$ için elde edilen I-V karakteristiği.
 c. $n = 1,33$ için elde edilen I-V karakteristiği.
 d. $n = 1,34$ için elde edilen I-V karakteristiği.

Çizelge 5.3 $n = 1,30$ ila $1,35$ arasındaki değerler için elde edilen P_{max} , V_{max} ve I_{max} değerleri

| "n" | P_{max} | V_{max} | I_{max} |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 1,31 | 3,6603 | 0,474 | 7,7222 |
| 1,32 | 3,6553 | 0,471 | 7,7606 |
| 1,33 | 3,6502 | 0,471 | 7,7499 |
| 1,34 | 3,6451 | 0,471 | 7,7392 |

Bu değerleri de tablo halinde çizelge 5.3'de görebilmekteyiz. Buna göre Şekil 5.6c'de görülen ve şartlarımızı sağlayan n değeri $1,33$ 'dür. O halde hücremizin bahsedilen şartlardaki I-V karakteristiği şekil 5.6c'de görüldüğü gibidir ve $P_{max} = 3,65$ iken, bu maksimum değeri veren $I = 7,75A$ ve $V = 0,471V$ ' dir.

5.3.2 Gerçek Çalışma Şartlarındaki Koşullar

Modelimiz için doğru n değerini bulduktan sonra asıl aradığımız olan çalışma şartlarımızdaki hücre verimini bulmaya geçebiliriz. Bunu için aşağıda tekrar verilen denklemin çözülmesi gerekmektedir. Daha önce de söylendiği gibi diyot doyma akımı I_S , sıcaklığın fonksiyonudur ve çalışacağımız sıcaklık için bu değeri bulup ana denklemde yerine koyarsak aradığımız şartları bulmuş olacağız.

$$I_S = I_{S\infty} e^{-\frac{E_g}{nRT}} \quad (5.9)$$

Burada kullanacak olduğumuz $n = 1,33$ ve $T = 298,15$ K için bulunmuş olan değerleri kullanarak bölüm 5.2.2’de anlatıldığı üzere $T_{S\infty}$ değerini bulmalıyız.

$$n = 1,33$$

$$I_S = 1,2134 \times 10^{-7}$$

$$T = 298,15 \text{ K} \quad \text{değerleri yerlerine koyulursa;}$$

$$1,2134 \times 10^{-7} = I_{S\infty} e^{-\frac{1,12 \times 1,6021773 \times 10^{-19}}{1,33 \times 1,380658 \times 10^{-23} \times 298,15}}$$

$$I_{S\infty} = 20,818,166.35 \text{ A}$$

Öyle ise aradığımız I_S değerinin sıcaklık ile değişimini veren denklem şu şekilde elde edilmiş olur;

$$I_S = (20,818,166.35) e^{-\frac{9772,17}{T}} \quad (5.14)$$

Şimdi aradığımız şartlardaki hücre değerlerini ve böylece yine bu şartlardaki I-V grafiğini bulmaya başlayabiliriz. Bunun için denklem 5.4’deki değerlerin yerine çalışacağımız şartlar için olan değerleri yazmamız gerekmektedir. Bu değerler ise;

Çalışacağımız sıcaklık şartları için bölüm 4.6.1.3.2’de verilmiş olan denklem 4.5’i kullanabiliriz. Ampirik bir formül olan bu denklemde şu değerler yerine yazılır ise;

$$T_A : 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w : 3,25 \text{ m/s}$$

$$I_T : 1.000 \text{ W/m}^2$$

$$\theta_I : 0,0138$$

$$\theta_{TA} : 0,031$$

$$\theta_w : 0,042$$

$$T_p = 35 + 0,0138 (1 + 0,031 \times 35) (1 - 0,042 \times 3,25) 1000$$

$$T_p = 59,85 \text{ } ^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$$

Öyle ise aradığımız 333 K şartındaki I_s değeri için denklem 5.14’de sıcaklık değeri yerine koyulursa;

$$I_s = 20,818,166.35 e^{-\frac{9772,17}{333}}$$

$$I_s = 37,47 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

Bu bulunan değerleri asıl denklemimiz olan 5.4’de yerine yazar isek aramış olduğumuz şartlar için geçerli hücre I-V karakteristiğini elde etmiş oluruz.

$$I = 8,38084 - 37,47 \times 10^{-7} \left[e^{\frac{1,6021773 \times 10^{-19}}{1,33 \times 1,380658 \times 10^{-23} \times 333} (V + IR_s)} - 1 \right] - \frac{V + I \times 0,007363}{73,63}$$

$$I = 8,38084 - 37,47 \times 10^{-7} \left[e^{26,28 \times (V + I \times 0,007363)} - 1 \right] - \frac{V + I \times 0,007363}{73,63} \quad (5.15)$$

Sadeleştirilmiş olan denklem 5.10'u Mathematica'da aşağıdaki program kodu ile tekrar çözdürür isek elde edeceğimiz değerler aşağıdaki gibi olur;

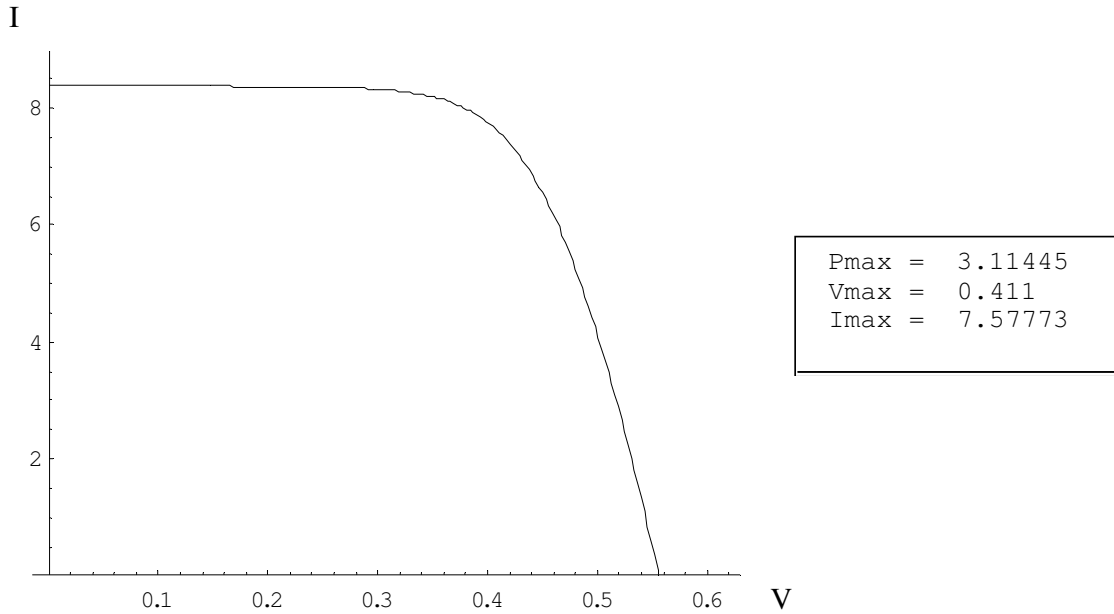
```

Vlist = Table[v, {v, 0, 0.617, 0.003}];
Vlist;
Jlist = {};
For[V = 0, V ≤ 0.615, V = V + 0.003,
  Jlist = AppendTo[Jlist, NSolve[J == 8.38084 - (37.4710-7) (e26.28 (V-0.007363J) - 1) -  $\frac{V+0.007363J}{73.63}$ , J][[1, 1, 2]]];
Jlist;

liste = {};
For[i = 1, i ≤ 206, i++, AppendTo[liste, {Vlist[[i]], Jlist[[i]]}];
liste;
ListPlot[liste, PlotJoined → True, PlotRange → {0, 9.0}]
carpimliste = {};
For[i = 1, i ≤ 206, i++, AppendTo[carpimliste, Vlist[[i]] Jlist[[i]]];

carpimliste;
Emax = Max[carpimliste];
pos = Position[carpimliste, Max[carpimliste]][[1]];
Vmax = Vlist[[pos]][[1]];
Imax = Jlist[[pos]][[1]];
Print["Emax = ", Emax];
Print["Vmax = ", Vmax];
Print["Imax = ", Imax];

```



Şekil 5.7 Gerçek çalışma şartlarındaki I-V karakteristiği.

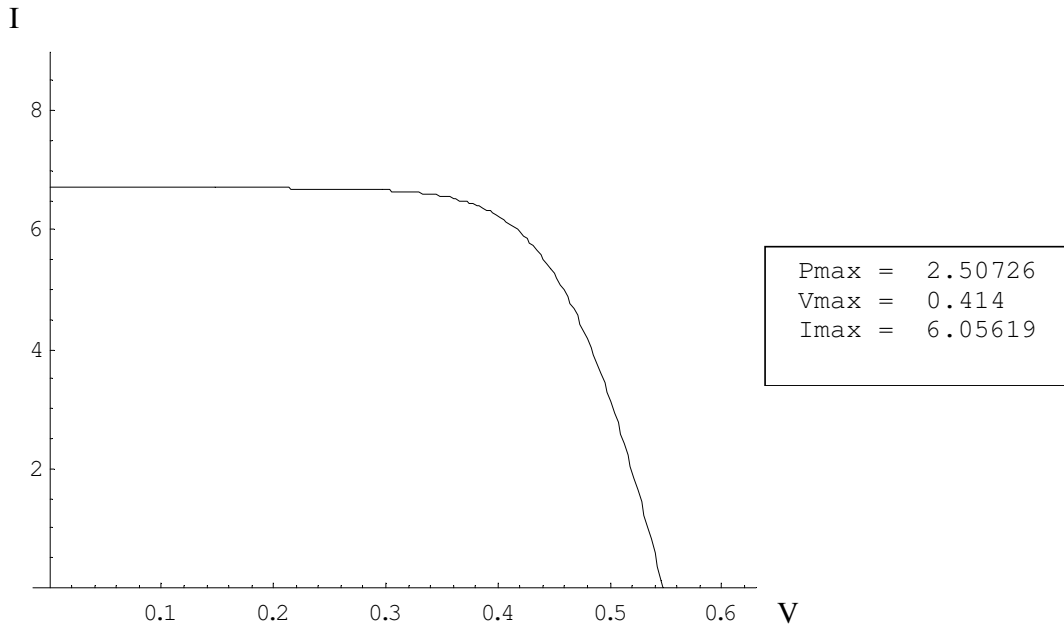
Görüldüğü gibi elde edilecek güç değerinde düşme saptanmaktadır. Çalışma şartlarımız ne ise, bu eğri o şartlar için elde edilmelidir. Eğer ışınım değeri de değişiyorsa;

5.3.3 Işınım Değerinin Değişmesi Durumu

Denklemlerimizdeki I_L değeri ışınım gücünün fonksiyonudur. Yukarıda yapılan çalışmalarda bilindi gibi ışınım eğeri $I_T = 1.000 \text{ W/m}^2$ alınmıştır. Fakat tabi ki ışınım koşulları da coğrafyaya mevsime göre değişiklik gösterebilecektir. Buna göre I_L değeri değiştirilerek istenilen şartlardaki karakteristik elde edilebilecektir. I_L değerinin değişimi ışınım miktarı ile orantılıdır. Mesela ışınım miktarındaki azalma yüzdesinin aynısını I_L 'ye uygulamak yeterli olacaktır. Konuyla ilgili bir örnek yapacak olursak;

Aynı PV pillerin çalışma sıcaklığının yine 333 K olduğunu fakat ışınım miktarını ise 1000 W/m^2 değil de daha düşük bir değer olduğunu göz önüne alalım, mesela 800 W/m^2 . Bu durumda ışınım miktarında %20 bir azalma söz konusudur. Bunu çok kolay bir şekilde denklem 5.10'a uygular ve elde ettiğimiz denklemi aynı program kodu ile tekrar çözdürürsek elde edeceğimiz sonuçlar şöyle olacaktır;

$$I = 0,80 \times 8,38084 - 37,47 \times 10^{-7} \left[e^{26,28 \times (V + I \times 0,007363)} - 1 \right] - \frac{V + I \times 0,007363}{73,63}$$



Şekil 5.8 Işınım miktarının azaldığı durum.

Görüldüğü gibi ışınının değişmesi ile hem hücrenin üretebileceği maksimum gerilim değeri, hem de maksimum akım miktarı ve doğal olarak bu iki değer bir fonksiyonu olan güç miktarı da değişmektedir. Maksimum akım miktarının değişimi hemen hemen ışınım miktarındaki değişim oranı ile aynı olmaktadır. Hatta direkt olarak bu miktar kullanılırsa çok yanılmayacaktır zira denklemin sağ tarafındaki değerler, I_L değerine göre oldukça küçük kalmaktadır. Fakat bu oran belli bir V değerine kadar böyledir. V değerinin de ışınım ile değişim göstermesi sebebi ile bütün aralıklarda doğru sonuca ulaşmak için bu hesabın yapılması gerekmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş enerjisinden yararlanmak açısından çok avantajlı bir coğrafi konuma sahip olan ülkemizde bu açıdan en fakir olan Karadeniz bölgesinin aldığı güneş ışınımı değerleri bile çoğu Avrupa ülkesinden daha iyidir. Bu açıdan şimdiye kadar, sıcak su elde edilmesi dışında çok yol alamadığımız bu uygulama alanı gelecekte ülkemiz için çok önemli bir enerji kaynağı olmaya adaydır. Günümüzde bu alanda toplumu ve yöneticileri bilinçlendirecek çalışmalar yeni yeni hız kazanmaktadır. Böylelikle zamanla çevresel, ekonomik ve stratejik önemi fark edilecek olan güneş enerjisinin istenen düzeye geleceği ve dünya devletlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelişleri dolayısıyla günden güne dünyayı sona yaklaştıran fosil yakıtlar hegemonyasından kurtulunabileceği düşünülebilir.

Günümüz itibari ile güneş pillerinin yeterli verimle çalışmadığı söylenebilir. Yalnız bu yeterli sözcüğü sadece bazı uygulama alanları için geçerlidir, bazıları için ise ana metinde açıklandığı gibi kullanılmaları kaçınılmazdır, mesela yerleşim yerlerinden uzak elektrik şebekesinin olmadığı yerler ve sıcaktan dolayı geçici olarak tepe yük noktasına gelinen yerler gibi. Zamanla ilerleyen teknolojiye paralel olarak verimleri ve ekonomik getirileri artan güneş pilleri ile bu alanlar daha da aratacaktır.

Bu alanlardan biri de taşıtlar olarak değerlendirilebilir. Şimdilik günlük kullanımdan ziyade yarışlara katılma amaçlı yapılan bu araçlar, bu organizasyonlarda elde edilecek birikim ve gelişim ile zamanla günlük kullanımda da kullanılabilir hale geleceklerdir. Bunun oluşması ile de fosil yakıt kullanımı ve bağımlılığının önemli bir kısmını oluşturan ulaşım sorununda büyük bir ilerleme gerçekleşmiş olacaktır. Ayrıca 2005 yılından itibaren ülkemizde de düzenlenen bu tür organizasyonlar konuya olan ilginin zamanla artmasına ve üzerinde durulan bir alan haline gelmesine de sebep olacaktır.

Mevcut haliyle büyük bir eğlencenin yanında elektrikli araçların gelişmesinde büyük bir öneme sahip olunan bu yarışlarda hesaplamaların önemi elde edilen enerjinin az olması sebebiyle daha da ön plana çıkmaktadır. Başarının gelmesi için bütün sistemler için olduğu gibi, enerji sisteminin de hesabının doğru yapılması gerekmektedir. Bu tezde de bunun için önerilen matematiksel bir yöntem gösterilmiştir. Bunun ile hedeflenen ise üretici firmalar tarafından belli şartlar altında geçerli olan performans değerlerinin yerine, pilleri kullanacağımız uygulamadaki performans değerlerinin elde edilmesidir. Detayları ana

bölümde gösterilmiş olan yöntem ile uygulamada çok karşılaşılan katalog değerlerinin dikkate alınarak hesapların yapılması ve yanlış sonuçların elde edilmesinin önüne geçilebilmektedir.

Bu hesaba göre elde edilen değerleri irdelersek, katalog değerinden ziyade kendi hesaplamamızla bulduğumuz değerleri kullanmanın bize getirilerini görmüş oluruz. Örnek olarak hesaplama yaptığımız Q6L-1500 hücresinin katalog değerleri aşağıda tekrarlanmıştır;

$$V_{OC} = 0,617 \text{ V}$$

$$I_{SC} = 8,38 \text{ A}$$

$$P_{max} = 3,65 \text{ W}$$

$$\eta = \%15$$

Bu çalışmada ise hatırlanacağı üzere sıcaklığın etkisinin hesaba katılarak oluşturulan denklemin bilgisayar programı yardımıyla çözülmesi sonucu bulunan hücreden çalışma şartlarında elde edilecek güç $P_{max} = 3,11$ 'dir.

Verimin hesabı için 4.2 denkleminde değerleri yerine yazar isek;

$$E_p = A_p \cdot I_T \cdot \eta \quad (4.2)$$

$$3,11 = (0,156)^2 \cdot 1000 \cdot \eta$$

$$\eta = 0,128 = \%12,8 \text{ bulunur.}$$

Katalogda verilen değer %15 iken, bizim kullanım şartlarındaki verim %12,8 olarak gerçekleşecektir. Bir güneş arabasında fotovoltaik yüzey alanının genellikle 8 m^2 ile sınırlandırıldığı için, bu iki verim değeri arasındaki fark;

$$E_p = 8 \text{ m}^2 \times 1000 \times 0,15 = 1200 \text{ W} = 1,200 \text{ kW}$$

$$E_p = 8 \text{ m}^2 \times 1000 \times 0,128 = 1024 \text{ W} = 1,024 \text{ kW}$$

şeklindedir.

Görüldüğü gibi aynı araç için panellerden elde edilecek enerji katalog verimine göre 176 W fark etmektedir ki bunun önemini aşağıdaki Çizelge 6.1'e bakarak görebiliriz.

Çizelge 6.1 Bazı güneş arabalarında elde edilen değerler (Shacklock, 1998)

| Araç İsmi | Elde Edilen Değerler | | |
|-------------|-----------------------|--------------|---------------|
| | Harcanan Enerji (W) | Ağırlık (kg) | Hız (km/saat) |
| Mad Dog 1 | 700 | 320 | 43 |
| Mad Dog 2 | 786 | 260 | 68 |
| Honda Dream | 1.500 | 327 | 93 |

Çizelgeden de görüldüğü gibi "Mad Dog 2" adlı aracın 68 km/saat hızla giderken tükettiği enerji 786 W iken, güneş hücresinden elde edilecek enerjinin 176 W daha az olması bir güneş arabası için oldukça önemlidir.

Güneş arabalarında gerek üretim gerek de tüketim olarak az sayılabilecek enerji miktarlarındaki yanlış hesaplamalar aracın düşünülenden çok daha kötü performans vermesine sebep olarak istenmeyen sonuçlar doğuracaktır.

KAYNAKLAR

Al-Sabounchi, A.M., (1998), "Effect of Ambient Temperature On The Demanded Energy of Solar Cells At Different Inclinations", *Renewable Energy*, 14:149-155.

Alajlan, S.A., (1999), "Photovoltaic grid-connection system as a load-shaving tool in Riyadh, Saudi Arabia", *Applied Energy*, 63:91-99.

Altın, V., Tok, G., (2003), "Güneş Arabaları Yarışı", *Bilim ve Teknik*, 432:38-46.

Ahmad, G.E., Hussein, H.M.S., (2000), "Comparative Study of PV modules with and without a tilted plane reflector", *Energy Conversion and Management*, 42:1327-1333

Al-Ismaily, H.A, Douglas, P., (1998), "Photovoltaic Electricity Prospects in Oman", *Applied Energy*, 59:97-124.

Andersson, B.A., Azar, C., Holmberg, J., Karlson, S., (1997), "Material Constraints for Thin-Film Solar Cells", *Energy*, 23:407-411.

Aydınöz, C., (1996), "Güneş Enerjisi, Yararlanma Yöntemleri ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi", YTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Batman, M.A., (2001), "Elektrik Üretimi İçin Güneş Panellerinin Kullanımında Verimi Artırıcı Yeni Bir Yöntem", İTÜ FBE Doktora Tezi, İstanbul.

Bücür, Y., (2001), "Konutların Elektrik Enerjisi İhtiyacının Güneş Enerjisi ile Sağlanması", Marmara Üniversitesi FBE Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Carroll, D.R., (2003), *The Winning Solar Car*, SAE International, USA.

Çelik, A.N., (2004), "Present Status of Photovoltaic Energy in Turkey and Life Cycle Techno-economic Analysis of a Grid-connected Photovoltaic-house", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, xx2004: 1-18.

Çetinkaya, H.B., (2001), "Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi", Kocaeli Üniversitesi FBE Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Çolak, M., 1997. Ulusal Elektrik Enerjisi Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Cilt III, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Demircan, O., (2000), "Güneş Enerjisi", *Enerji Kaynakları Sempozyumu*, , 13-15 Nisan 2000, Çanakkale

De Vos, A., (1992), *Endoreversible Thermodynamics of Solar Energy Conversion*, Oxford University Pres, New York.

Diken, Ö., (2000), "Forovoltaik Ünite Tasarımı, Elektrik Enerjisi Üretimi ve Maliyet Analizi", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Duffie, J. A. Ve Beckman W. A., (1980), Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley Sons, New York

Enerji İstatistikleri, (1997), Türkiye 7. Enerji Kongresi Yayını, 3-8 Kasım, Ankara
Fahrenbruch, A.L., Bube, R.H., (1983), Fundamentals of Solar Cells, Academic Press, New York.

Gonzalo, R., (1994), Energiebewusst Bauen, Wegezum Solaren und Energiesparenden Planen, Bauen, Wohnen, Erasmus Baskısı.

Goswami, D.Y., Kreith, F., Kreider, J.F., (2000), Principles of Solar Engineering”, George H. Buchanan Co., Philadelphia.

Gürdilek R., (2004), “Formula G”, Bilim ve Teknik, 441:32-37.

Hazen, E.M., (1996), Alternative Energy, Howard W. Sams & Company, Indianapolis.

Korkmaz, A., (2001), “Güneş Enerjisinden Direkt Elektrik Üretimi”, YTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kreider, J. F., Kreith, F., (1982), Solar Heating and Cooling, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.

Lorenzo, E., Araflio, G., Cuevas, A., Sokorin, A., Egido, M.A., (1994), Solar Electricity – Engineering of Photovoltaic Systems, James & James Ltd.

Markvart T., (1994), Solar Electricity, J. Wiley and Sons, Chichester, UK.

Nizam, O., (2004), “Güneş Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Transferi”, İTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Nelson, J., (2003), The Physics of Solar Cells, Imperial College Press, London UK.

Oğulata, R.T., (2003), “Energy Sector and Wind Energy Potential in Turkey”, Renewable Sustainable Energy, 7:468.

Oluklulu, Ç., (2001), “Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Pearsall, N.M., Hynes, K.M., Hill, R., (1997), “Analysis of Operation of the Northumberland Building Photovoltaic Facade”, Proceedings of the 14th European PV Solar Energy Conference”, Barcelona

Pudney, P., (2001), “Optimal Energy Management for Solar-powered Cars”, University of Sout Australia Uygulamalı Bilimler Yüksek Lisans Tezi, 2000.

Savaş, M.A., Özkan, T., Baykara, M.Z., Ulutaş, İ., Alkan, A., Gürol, A., (2005), “Hafif Kara Taşıtlarında Güneş Enerjisi Kullanımının Araç Tasarımı ve Malzeme Seçimi Üzerine Etkileri”, TMMOB Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 1:69-79.

Shacklock, A., Duke, M., Burgess, N., (1998), "The 1998 World Solar Rallye: Akita, Japan", Journal of Power Sources, 80:199-206.

Snowdon, D., Gren, J., Cousins, P., Stone, S., Simpson, R., Cotter, J.E., (2001), "Composite Curved Laminates for the UNSW Sunswift II Solar Array", ISES 2001 Solar World Congress, Adelaide-S. Australia

Stone, J.L., (1993), "Photovoltaics: Unlimited Electrical Energy From The Sun", Physics Today.

Thacher, E.F., (2005), A Solar Car Primer, Nova Science Publishers, New York.

Ültanır, M.Ö., (1996), "21yy. Eşğinde Güneş Enerjisi", Bilim ve Teknik, 340:50-55

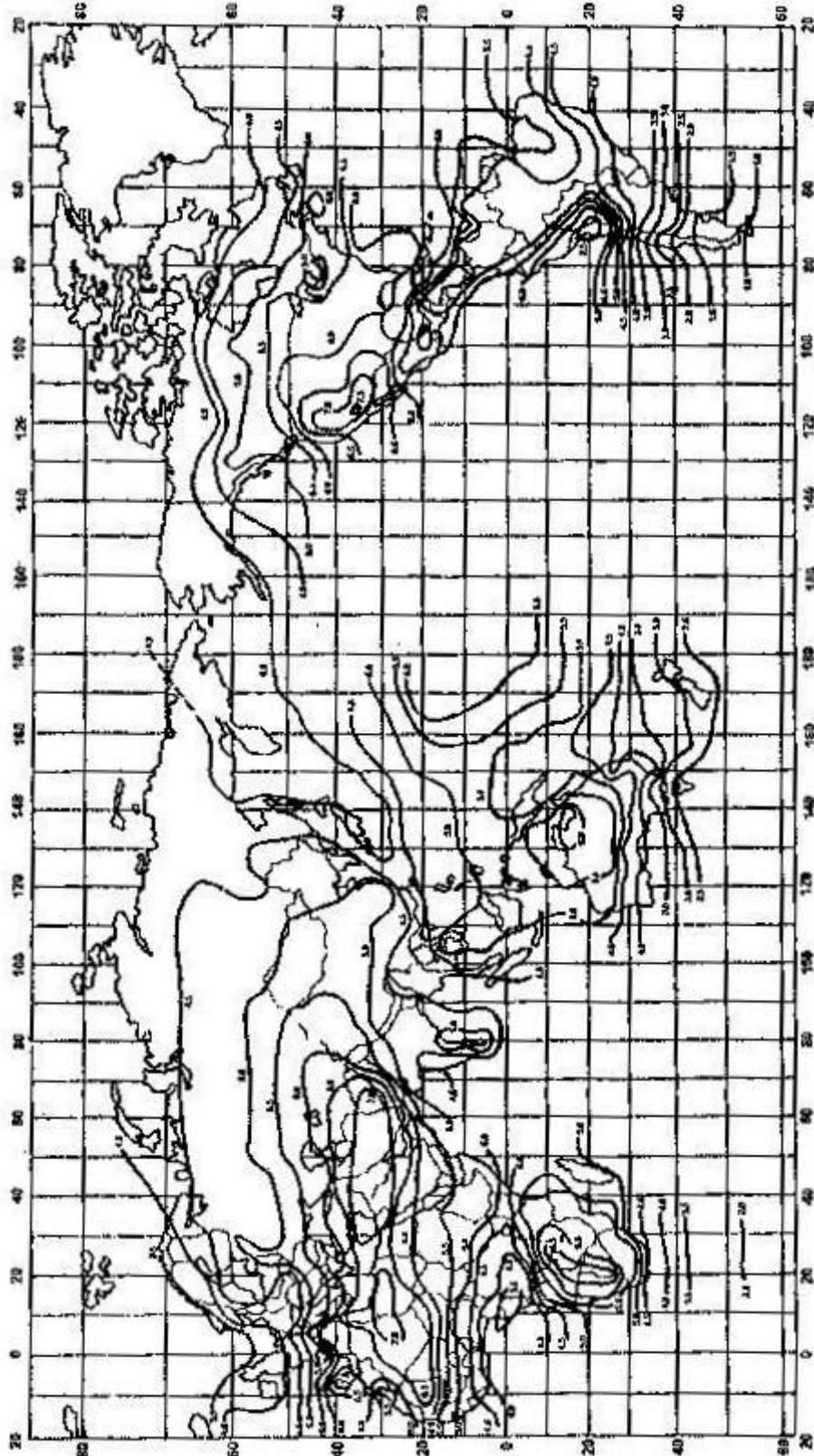
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunesisil.html>)

(http://www.iea-pvps.org/cases/gbr_02.htm)

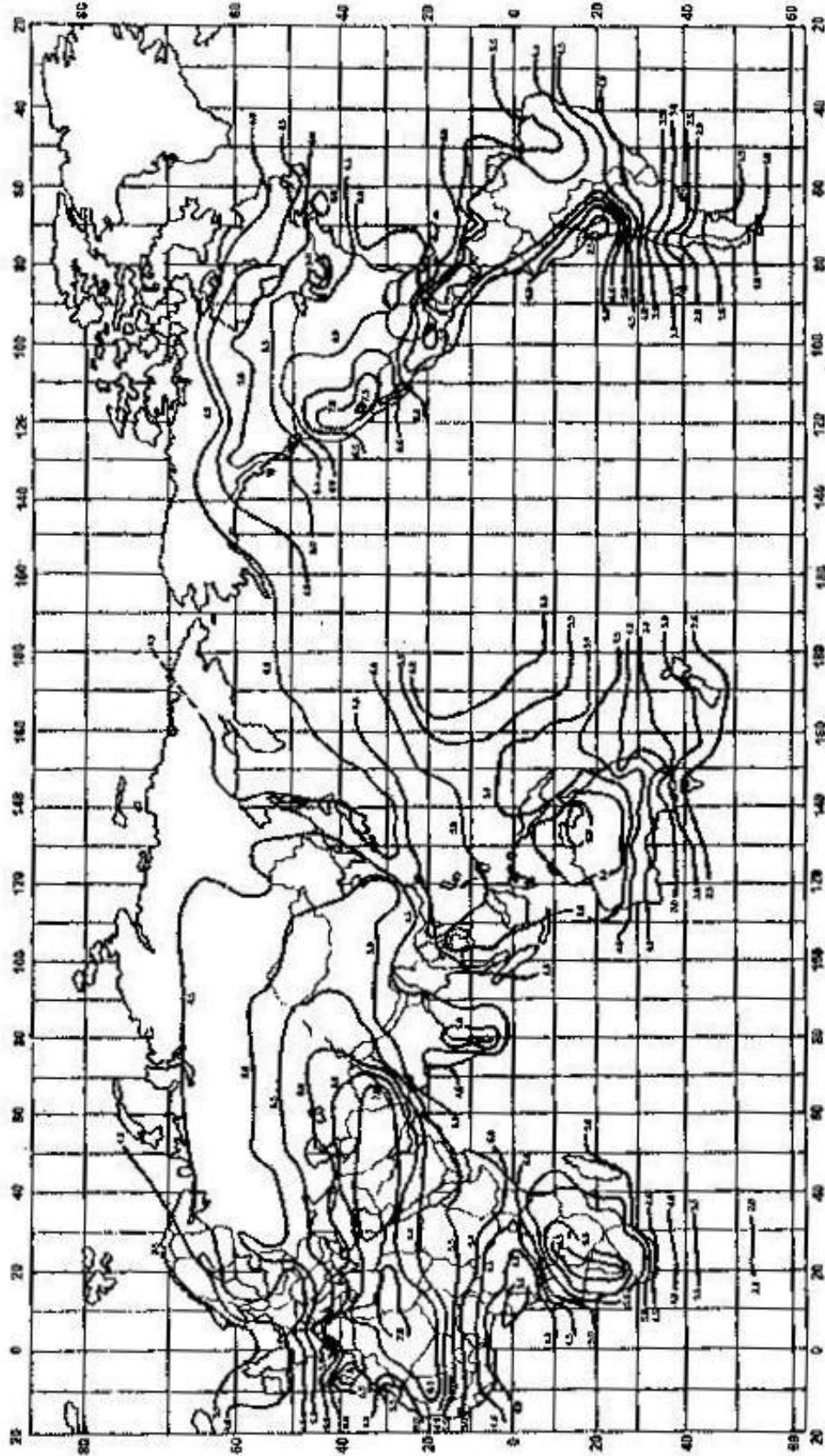
(<http://www.formulasun.org/education/seles9.html>)

EKLER

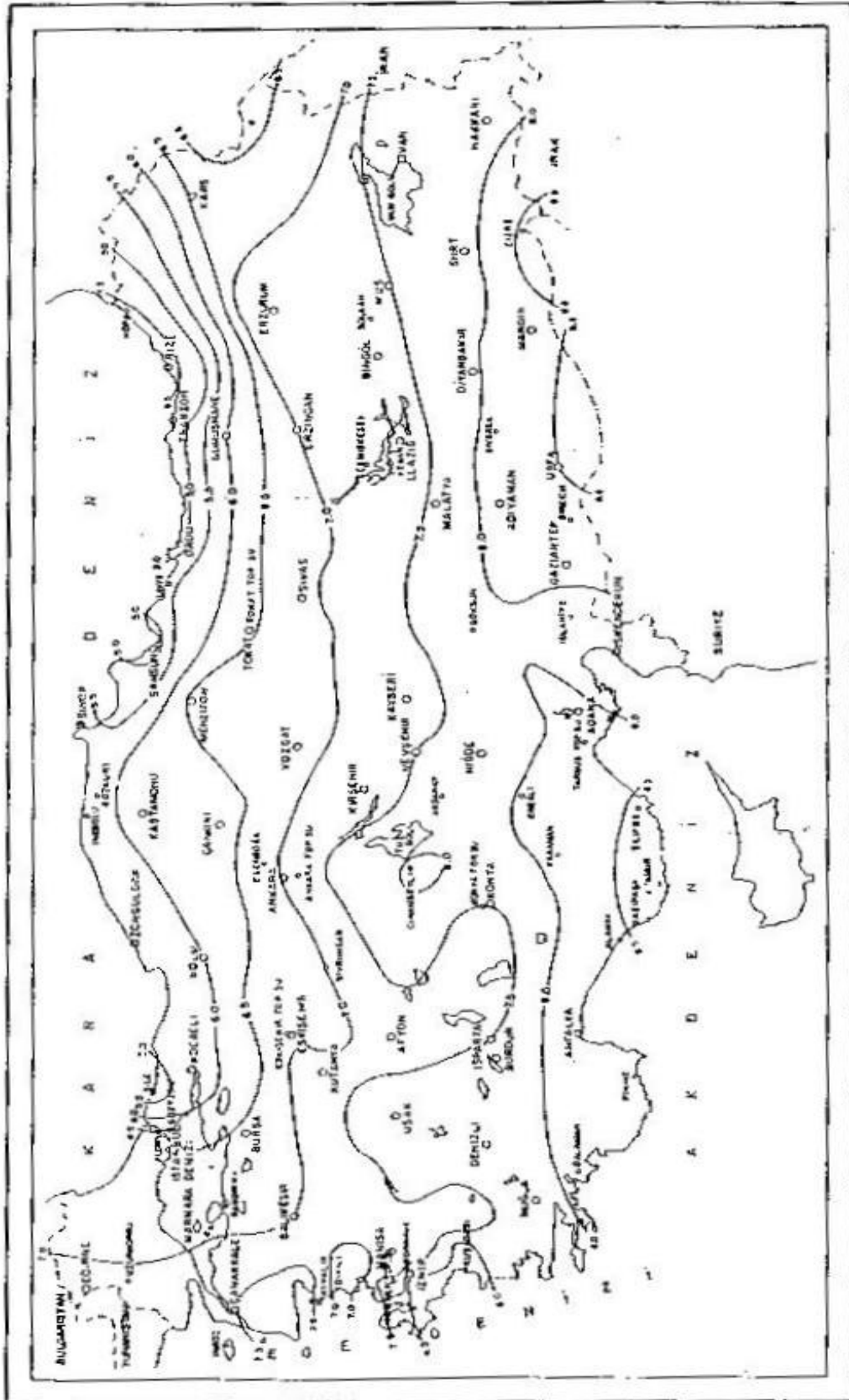
Ek 1-A Dünya Üzerine Gelen Güneş Işınımı Değerleri (cal/cm²gün, Yaz Ayları)
(Aydınöz, 1996)



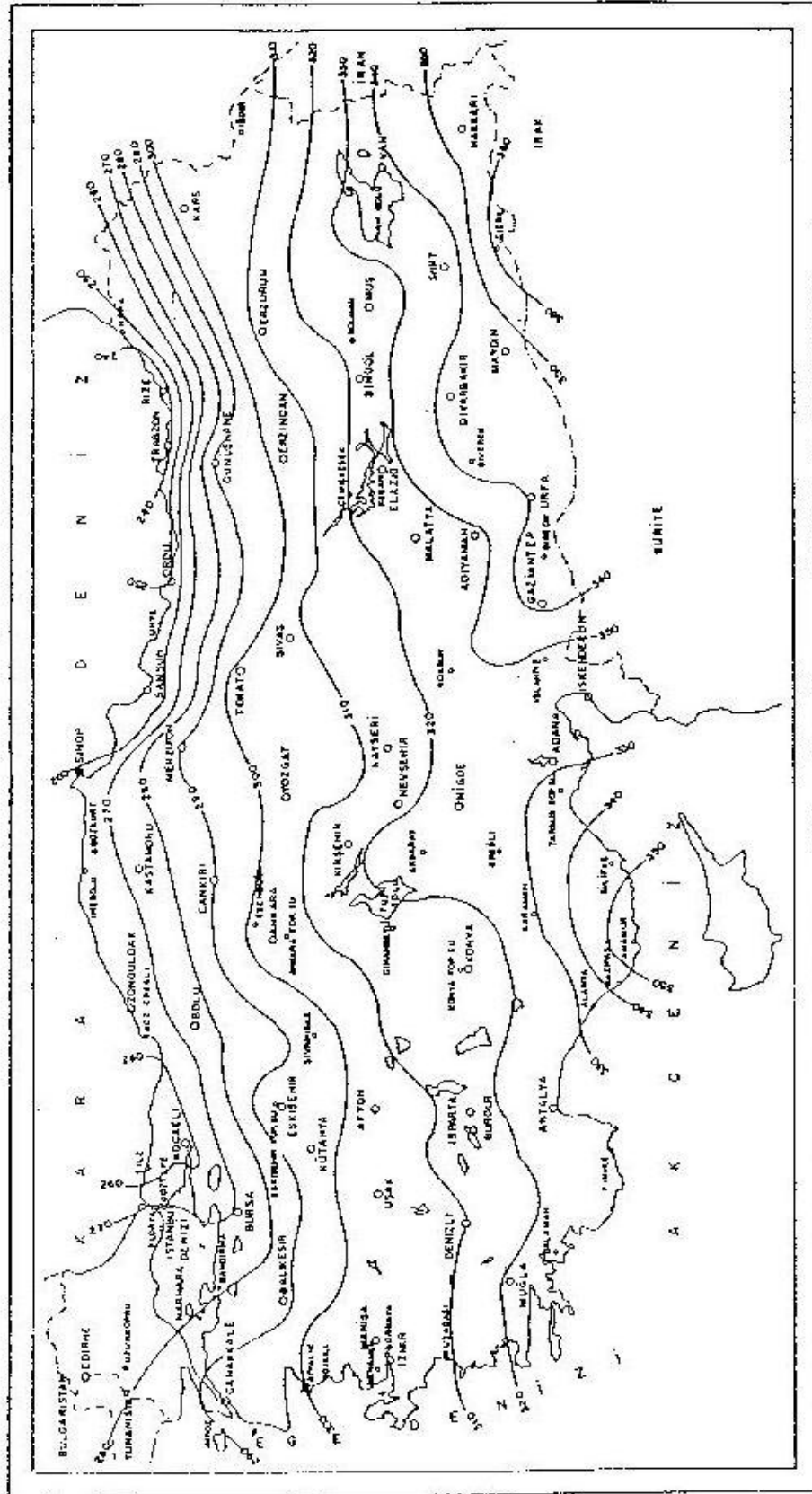
Ek 1-B Dünya Üzerine Gelen Güneş Işınımı Değerleri (cal/cm²gün Kış Ayları)
(Aydınöz, 1996)



Ek 2-A Türkiye’de Güneşlenme Süreleri (saat / gün) (Aydmöz, 1996)



Ek 2-B Türkiye’de Güneş Işım Değerleri (cal / cm² gün) (Aydınöz, 1996)



Ek – 3 İstanbul Formula-G Yarış Kuralları ELEKTRO-SOLAR ve ALTERNATİF ENERJİ ARAÇLARI İÇİN TEKNİK KURALLAR

FIA kurallarında bulunmamasına karşın, haksız avantajları önlemek üzere sürüm aküleriyle ilgili bazı sınırlamalar getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır: Buna göre:

- a) Yarışmaya katılacak araçlardaki akülerin enerji depolama kapasiteleri 1 kWh'yi geçemez.
- b) Yarışmaya katılacak araçların aküleri, sıralama turları ve/veya yarıştan bir gün önce denetçilerce boşaltılacak ve bir gün süreyle güneş gözeleriyle şarj edilerek yarışa hazır hale getirilecektir.

KATEGORİLER

Güneş enerjili YARIŞ arabaları en az 150 kg, en fazla 300 kg olabilir.

TARİFLER

Güneş elektrikli araçlar, itkilerini güneş enerjisinin doğrudan ya da dolaylı dönüştürümüyle elde eden araçlara verilen addır.

Güneş itkili yarış arabaları (Kategori I) bir sürüm aküsü aracılığıyla itkisini araç üzerindeki bir güneş enerjisi jeneratöründen sağlayan, en az üç tekerlekli, maksimum 300 kg ağırlıklı araçları tanımlar.

ARAÇLARIN TEKNİK KİMLİK BELGELERİ

FIA gözetimindeki organizasyonlara katılan tüm araçların, ASN tarafından verilen ve FIA teknik temsilcisi tarafından onaylanmış bir FIA teknik kimlik belgesi bulunması gerekmektedir. Aracın tam bir tanımının yer alacağı bu teknik belgede ayrıca aracın tam olarak tanımlanması için gerekli tüm verilerin bulunması gereklidir.

Teknik kimlik belgesinde, aracın güç devreleriyle, bunların yerlerinin çizimleri bulunmalıdır.

Bu teknik kimlik belgesi araçların kontrolü sırasında yetkililere verilmek zorundadır.

Katılımcının bu belgeyi vermemesi halinde, hakemlerin aracı yarış dışı bırakmak yetkisi vardır.

Araç için teknik kimlik belgesini, varsa eğer belgeye ilişkin değişiklikler ya da eklerle birlikte ASN/FIA'dan almak, katılımcının sorumluluğundadır.

GENEL ÖZELLİKLER

Ağırlık (Asgari ağırlık)

Aracın ağırlığı, sürücü, yük, alet edevat ya da kriko olmaksızın aracın çıplak ağırlığıdır. Tüm sıvı tankları (lubrikasyon, soğutma, fren, akü elektroliti dahil gerene yerde ısıtma için gerekli sıvılar, imalatçı tarafından belirlenen normal düzeylerinde olmalıdır. Kokpit camı ya da far silecek suları, fren soğutucu sistem, yakıt ve enjeksiyon sularının depolarıysa tartı sırasında boş olmalıdır.

Araçlar tartıda belirlenmiş asgari ağırlıktan daha hafif olmamalıdır.

Boyutlar:

Rallilere katılan güneş arabalarının, yerden 1 m'den daha az olmayan yükseklikte en az bir noktası bulunmalıdır (Ör: üzerinde turuncu bayrak bulunan bir anten).

Pist yarışına katılacak araçların boyu 5 m'yi, eniyse 1,8 m'yi geçmemelidir.

Yükseklik:

Aracın bir yanındaki lastiklerin tümünün havası boşaltıldığında, aracın hiçbir noktası yere değmemelidir. Bu test, araçların sürücüleri üzerindeki düz bir yüzeyde gerçekleştirilecektir.

SAFRA:

Aracı izin verilen ağırlık tavanına çıkarmak için , sağlam ve blok yapıda olmaları, aletler yardımıyla araca sabitlenebilme ve mühürlenmeye elverişli olmaları koşuluyla araçlara ağırlık bağlanabilir. Ağırlık, kokpit tabanında görünür bir yere sabitlenmeli ve gözlemciler tarafından mühürlenmelidir. Yedek bir lastik, bu koşullara uyması halinde ağırlık olarak kullanılabilir. Bir aküyse, ağırlık olarak kullanılamaz.

MOTOR:

Farklı tasarımlarda da olsalar, yarışa katılacak araçlarda yalnızca elektrik motorları kullanılabilir.

Başka tür motorların kullanımı kesinlikle yasaktır. Dayanıklı malzemeden yapılmış ve imalatçının adını, motor numarasını, tasarlanmış güç çıktı düzeyini, motorun tipini, seçilen voltajı ve IP korunma kodunu içeren bir plaka sürekli olarak motorun üzerinde bulundurulacaktır. Aracın incelenmesi sırasında bu kimlik kartı yetkililere gösterilecektir. Bir aracın teknik kimlik kartının verilmemesi halinde hakemler yarışçıyı yarışa katılmaktan men edebilir. Araç için gerekli bu kimlik kartını, form üzerindeki değişiklikler ya da eklentilerle birlikte ASN/FIA'dan temin etmek, yarışa katılan ekibin sorumluluğundadır. Teknik kimlik kartı üzerindeki verilerin ve içindeki çizimlerin doğruluğu, katılımcının sorumluluğundadır.

AKTARMA ORGANLARI:

Aracın hareketi tekerlekler aracılığıyla gerçekleştirilmelidir. Minimum ağırlığı 200 kg olan üç ya da daha çok tekerlekli araçların tümünde, çalışır durumda ve sürücünün oturduğu yerden kolaylıkla kullanılabileceği bir geri vites bulunmalıdır.

Yarış koşullarında her araç, hareketsiz durumdan başlayıp %18'lik bir yokuşu tırmanacak yetenekte olmalıdır. 200 kg'dan daha ağır 3 ya da daha çok tekerlekli araçlar ayrıca yarış koşullarında geri vitesle kalkış yapabilmelidir.

ŞASİ:

Şasi, üzerine bağlı tüm parçaları içerir. Şasinin/çerçevenin yapımında titanyum kullanımı yasaktır. Titanyum alaşımli cıvata ve somunların kullanımı serbesttir.

TEKERLEK ve LASTİKLER:

Tekerlek, göbek, kenar ve lastikten oluşur. Tekerleklerde havalı lastiklerin kullanılması zorunludur. Araçta en fazla 6 tekerlek bulunabilir. Lastiklerin herhangi bir yöntemle ısıtılması ya da kimyasal işleme tabi tutulması yasaktır. Aracın dışına taşmamak koşuluyla tekerleklerin kenar ve lastiklerinin boyutları ve yapıldıkları malzeme (titanyum dışında) serbesttir.

ŞASİ NUMARASI:

Araca özel bir numara, şasinin kolayca erişilebilecek bir yerine, kolayca görülebilecek bir biçimde kazanmış olmalıdır. Ayrıca dayanıklı malzemeden, aracın yapımcısını, markasını ve şasi numarasını içeren bir plaka da kolayca erişilebilecek bir yere takılmalıdır.

KAPORTA

Dış kaporta: Hava akımının yaladığı, aracın tüm bağlı parçaları.

İç kaporta: Kokpit ve bagaj.

Kaporta, tümüyle kapalı, tümüyle açık, ya da açılıp kapanabilir (convertible) türlerde olabilir.

Kaportanın her tarafı tam ve özenli yapılmış olmalıdır. İğreti parçalar ya da geçici çözümler kabul edilmez. Güneş enerjili yarış arabalarında yalnızca gövdeye tam olarak bağlı parçaların kaportayla örtülmüş olması zorunludur.

ELEKTRİK EKİPMANI

Tanımlar:

Sürüş Aküsü (Depolama Aküsü):

Sürüş aküsü, güç döngüsüne enerji sağlamak üzere elektriksel olarak birbirine bağlı tüm ikincil güç kaynaklarından oluşur.

Güç kaynağı:

Kapalı bir bölmede de tutulabilecek, akü modülleri ve tutucu çerçeve ya da tabladan oluşur biçimde bir araya getirilmiş mekanik bir birimdir.

Akü modülü:

Tek bir hücre ya da elektriksel olarak bağlanmış ve mekanik olarak bir araya getirilmiş bir dizi hücreden oluşan bir birimdir.

Hücre:

Pozitif ve negatif elektrotlardan ve elektrolitten oluşan, elektrokimyasal enerji depolama düzeneği. Bu düzeneğin nominal voltajı, elektrokimyasal bağlanma için gerekli nominal voltajdır.

Sürüş aküsü tanımı, güneş jeneratörü ya da şarj ünitesince sağlanan elektrik enerjisini geçici olarak depolayan herhangi bir ekipman için kullanılır. Sürüş aküsü, aracın yarış öncesi incelenmesinde kontrol edilir ve mühürlenir. Hakemler, yarış sırasında akünün tümü olmamak kaydıyla, baş denetçinin gözetiminde kısmen değiştirilmesine izin verebilir.

Araçta gövdeye bağlı her akü, aracın sürüş aküsünün bir parçası sayılır. Araçta bulunan ve normal olarak kuru piller, küçük şarj edilebilir piller ya da kendi güneş hücreleriyle çalışan aygıtlar dışında, araçta bulunan tüm elektrikli ekipman, kullanacağı enerjiyi aracın sürüş aküsünden almalıdır. (Bu kural haberleşme ekipmanı için de geçerlidir).

Yarışa katılacak araçlarda aşağıdaki akü tiplerine izin verilebilir:

- Kurşun-asit
- Nikel-kadmiyum
- Nikel-demir
- Nikel-çinko
- Çinko-brom
- Nikel-metal-hidrit
- Lityum-iyon

Bu liste dışındaki kombinasyonlar için, kullanılacak kimyasal işlemlerin tüm ayrıntılarıyla birlikte yarıştan üç ay önce komisyona başvurulması gerekmektedir. İstemin incelenmesi için ücret istenebilir.

OPERASYON VOLTAJI:

Voltaj, iki nokta arasında 1000 voltu geçemez.

ENERJİ GERİ KAZANIMI:

Aracın kinetik enerjisi tarafından sağlanan enerji aracın itkisinde kullanılabilir. Yarış öncesinde bu tür aygıtlarda depolanmış enerji tutulmasına izin verilmez.

HARİCİ ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI:

Aracın performansını artırmak için herhangi bir harici enerji kaynağı kullanmak kesinlikle yasaktır. Aracın soğutma sistemi, aracın kendi sürüş aküsünden alacağı güçle çalışabilir.

Tanımlar:

Güneş hücresi:

Bir güneş hücresi, Güneş'ten gelen ışınımı elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılan bir fotovoltaiik elemandır. Araçlarda her türden güneş hücresi kullanılabilir.

Modül:

Bir modül, bir mekanik birim meydana getirmek üzere bir araya getirilen güneş hücrelerinden oluşur.

Güneş jeneratörü:

Bir güneş jeneratörü, istenen sayıda güneş hücrelerinden oluşmuş modüllerin birbirine bağlanmasıyla ortaya çıkar. Yarış süresince güneş jeneratörünün boyutları büyütülemez ve küçültülemez. Bir arıza halinde, arızalanmış modüller değiştirilebilir. Elektronik araçlarla, güneş jeneratörünün verimi optimize edilebilir. Güneş jeneratörü araca sağlam biçimde sabitlenir ve araç hareket halindeyken aracın gidiş yönüne göre konumunun değişmesine izin verilmez.

Araç hareket halindeyken güneş jeneratörünün tüm aktif yüzeyinin güneş alması zorunludur. Araç dururken aküleri doldurmak için güneş jeneratörünün yüzey konumu değiştirilebilir ya da araç krika yardımıyla güneşe bakacak biçimde yatırılabilir.

Güneş jeneratörü ile sürüş aküsü arasında iki ölçüm noktası (artı ve eksi kutuplu) konularak güneş jeneratörünün toplam güç çıktısının ölçülebilmesi sağlanmalıdır. Ölçüm sırasında jeneratörün tümünün, aracın öteki devreleriyle olan elektriksel bağı kesilmelidir.

Güneş Jeneratörünün Gücü

En az 300 Watt tepe gücünde olan jeneratörünün tümü, yarışan aracın üzerine yerleştirilir. Yarış araçlarında toplam çıktı 800 Watt tepe noktasını aşamaz.

Elektrik Donanımının Çizimi

Aracın elektrik donanımının tüm güç devrelerini gösteren A4 boyutlarında (21 x 29,7 cm) bir çiziminin verilmesi zorunludur. Çizim, aküleri, sigortaları, devre kesicileri, güç ayar düğmelerini, kapasitörleri, motor kontrol araçlarını, motor ya da motorları, şarj ünitesini ve bağlantı kablolarını içermelidir.

Araca tepeden bakan ikinci bir çizimle de bu bileşenlerin araç içindeki yerleri açıkça gösterilmelidir.

GÜVENLİK DONANIMI:

Dizaynı ya da yapımı tehlike yaratabilecek araçlar, hakemlerce yarıştan men edilebilir. Fren telleri, elektrik kabloları ve elektrik ekipmanı, araç dışına monte edildiğinde (taş darbesi, paslanma, mekanik arıza gibi) hasar riskinden, kaporta içine monte edildiğinde de ateş riskinden korunmalıdır.

Frenler:

Bir pedalla harekete geçirilen iki devreli bir fren sistemi zorunludur. Aynı pedal, tüm tekerleklerdeki frenleri harekete geçirmelidir. Fren sıvısının dışarı sızması ya da frenleme kuvvetini aktaran sistemde bir arıza olsa bile frenleme kuvveti araçtaki dingillerden en az birinde etkili olabilmelidir. Karbon fren diskleri kullanılamaz. Frene güçlü basıldığında motorun otomatikman durması zorunludur. Motor, frenleme etkisini güçlendirmek için de kullanılabilir.

Frenlerin denenmesi araç viteste değilken yapılmalıdır. Frenlemeyi sağlayacak aygıtlar, bir yapısal bozulmaya uğramadan maksimum yükü karşılayacak biçimde yapılmalıdır. Bu aygıtlar en az 1200 N düzeyinde bir minimum yüke dayanabilmelidir.

Dört tekerlekli araçlar:

Dört tekerlekli araçlarda ana fren zorunludur. Bu fren dört teker üzerinde de etki yapmalı ve çift devreli bir frenleme sistemi olarak tasarlanmalıdır. Her devre en az farklı taraflardaki iki tekerlek (bir diğer deyişle en az bir dingil) etki yapacak biçimde çalışmalıdır. Devrelerden biri çalışmazsa, tek devreyle kategorideki araçlar için belirlenmiş ters ivmelenme (hız kesme) değerinin üçte biriyle araç yavaşlatılabilmelidir.

Ortalama hız kaybı: 5,8 m/s² olmalıdır.

Dörtten daha az sayıda tekerlekli araçlar:

Bu araçlar birbirinden bağımsız iki fren sistemiyle donatılmalıdır. Frenlerden biri ön dingildeki tekerleklerden en az birine kumanda etmeli, ikinci frense arka dingil üzerindeki tekerleklerden en az birine kumanda etmelidir.

Ortalama hız kesme oranı:

- her iki fren birden kullanıldığında 4,5m/s²
- tek fren kullanıldığında 2,5 m/s²

Bağlama düzenekleri:

Hem kaput, hem de bagaj kapağı için en az iki bağlama düzeneği bulunmalıdır. Araçta taşınacak büyük yükler (Ör: yedek lastik, şarj kablosu, alet çantası vb.) yerlerine sıkıca tutturulmalıdır.

Emniyet kemeri:

FIA standartlarına göre iki omuz kemeri, bir karın kemeri ve iki bacak kemerinin bulunması ve kullanılması zorunludur.

Yangın söndürücüler:

Güneş enerjili yarış arabalarında yangın söndürücü bulunması zorunlu değildir.

Rollbarlar:

Zorunludur. Bu araçlarda kullanılacak rollbarlar en az 350 N/mm² dayanıklılığında en az 38 x 2,5 mm çapında soğuk çekimli, dikişsiz çelik ya da en az 350 N/mm² dayanıklılıkta en az 40 x 2.0 mm çapında karbon çelik borulardan yapılmalıdır. Bunlar minimum standartlar olup, çelik kalitesi seçilirken uzama özelliği ve kaynak tutma yetisine dikkat edilmelidir.

Güvenlik kafesleri:

Sabit plastik kaportalı kapalı araçlarda bir güvenlik kafesi bulunmalıdır. Bu kafeslerin direnci:

- yanlara doğru 1,5 w,
 - öne-arkaya 5,5 w,
 - düşey yönde 7,5 w olmalıdır
- w = aracın ağırlığı + 75 kg

Geri görüş:

Sürücünün bir dikiz aynası ve aracın arkasında en az 50 cm genişliğinde ve 10 cm yüksekliğinde bir açıklıkla arkasını görmesi sağlanır. Bu mümkün olmadığı takdirde başka yollarla (örneğin 2 dış ayna) bu olanak sağlanır. Ralli ve pist yarışlarında iki dış aynanın araçlarda bulunması zorunludur.

Çekme halkaları:

Araçların hepsinde, biri önde ve bir arkada olmak üzere, kolayca görülebilecek yerlerde kırmızı, turuncu ya da sarıya boyalı çekme halkaları bulunmalıdır. Bu halkalar yardımıyla araçlar, ancak serbestçe hareket edebilir durumdayken çekilebilir. Bu halkalar, aracı yukarı kaldırmak için kullanılamaz.

Ön cam ve pencereler

Güneş enerjili pist yarış arabaları için lamine cam zorunluluğu yoktur. Tüm pencereler, kırıldığında ciddi yaralanmalara yol açmayacak malzemedan yapılmalıdır. Sürücüye görüş alanı sağlayacak tüm pencereler berrak olmalı ve görüntüyü çarpıtmamalıdır. Uzun süre kullanımdan sonra bile ışığın %70'ini geçirebilmelidir.

Elektrik güvenliği:

Tüm araçlar, düşük voltajlı elektrik aksamıyla ilgili olarak ulusal yetkililerce konulmuş kurallara uymak zorundadır. Aynı şekilde Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)'nin ya da IEC'nin ulusal temsilcilerinin koyduğu kurallara da uyulmalıdır.

Elektrik ekipmanının hiçbir noktasında yere ve sistemin topraklamasına verilen 500 volttan daha yüksek voltaj olmamalıdır. Sistem topraklamasıyla şasi ya da kaporta arasında 50 volttan daha yüksek bir voltaja izin verilemez. Voltaj, herhangi iki nokta arasında 1000 volt tavanını aşamaz.

Güç devresinin voltajının 42 voltu aştığı durumlarda, bu güç devresi, yedek güç devresinden uygun bir yalıtkanla ayrılmalıdır. Elektrik ekipmanının koruyucu mahfazaları üzerinde ya da yanlarında "Yüksek Voltaj" uyarı sembolleri bulunmalıdır. Bu sembol kenarları 12 cm olan bir üçgen içinde kalın ve siyah bir şimşek işaretidir.

-Güç devresi, elektrik donanımının aracın hareket etmesi için kullanılan tüm parçalarını kapsar.

-Yardımcı devre (network) elektrik donanımının sinyal, ışık düzeni ya da iletişim için kullanılan kısımlarını kapsar.

Elektrik donanımının tüm parçaları en az IP 44 tipi (toza ve su sıçramasına karşı güvenli) koruma altına alınması gerekmektedir de IP 55 tipi koruma tavsiye edilir.

Genel devre kesici:

Sürücü normal pozisyonda dik ve bağlı durumda direksiyon başındayken sürücü, tüm sürüş akü donanımıyla enerji tüketen birimler arasındaki tüm elektrik iletişimini, kıvılcım çıkarmayan bir devre kesici ile (acil durdurma düğmesi aracılığıyla kesebilmelidir. Düğme, sürücünün kolayca görebileceği ve icabında dışarıdan da kolayca erişilebilecek bir yerde olmalıdır.

Ek – 4 Güneş Hücresi Kataloğu

| PRODUCT | EDGE LENGTH (MM) | EFFICIENCY (%) | PRODUCT CATEGORY | |
|------------|------------------|----------------|-------------------------|---|
| Q6L | 156 | ≥ 14.10 | high performance |  |

1 Q6L HIGH PERFORMANCE

The extended 6-inch format solar cells with their edge length of 156 mm are 8 % more powerful than even the 150 mm Q-Cells Q6 by and over 50 % more powerful than conventional standard formats with their 125 mm edge lengths. This means the Q6L gives you enormous cost and capacity advantages. The results from series production have shown a mean efficiency of 15 %. The Q-Cells Q6L is the first cell in this format to be produced by an European manufacturer – another first for Q-Cells.

Production technology

Q-Cells production processes are fully automated from the silicon wafer to final quality control. Our production technology and manufacturing techniques allow us to produce super-efficient solar cells with an efficiency of over 16 %. Our multicrystalline solar cells are among the most efficient on the market.

Optimised properties

The cells are manufactured and tested for optimum performance and processing characteristics. Cells are sorted according to very narrow current classes and visual appearance criteria. As well as performance testing and categorisation, our quality control procedures also include checking every single cell for mechanical and aesthetic faults. All this means you get a high-performance cell with precisely defined product characteristics. Q-Cells offer the narrowest current tolerances in the world.

2 THE ADVANTAGES AT A GLANCE

Production and quality control

- Current measurement under STC to avoid module mismatches
- Hot spot resistance testing of every single cell via the reverse current characteristic
- Across-the-board soft handling during production to avoid microfissures and reduce breakage rates during onward processing
- High-quality, homogeneous appearance thanks to visual checks of properties and sorting into three predefined colour categories

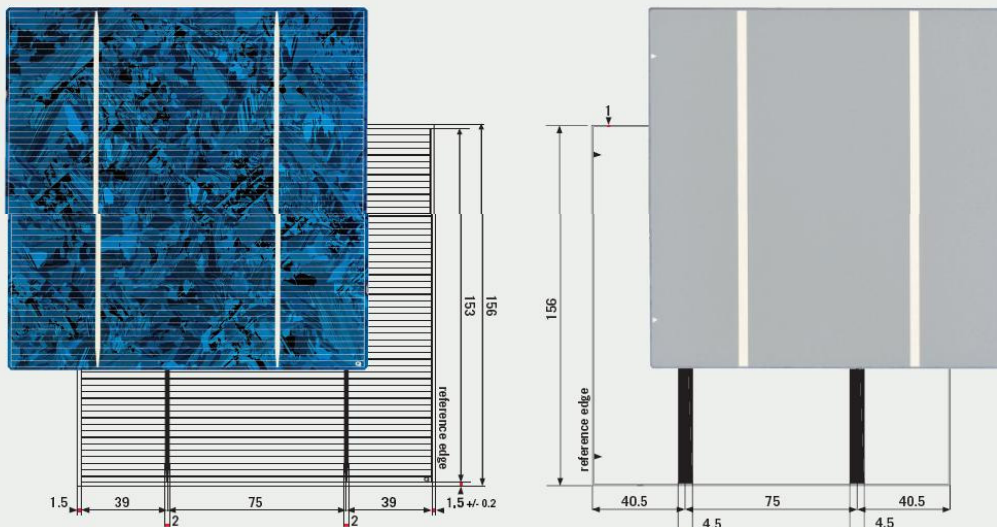
Electrical Properties

- Very good long-term electrical stability through crystalline silicon technology
- Excellent low light behaviour thanks to parallel resistance checks on every cell
- Narrowest worldwide current classes
- Classification into very narrow current classe

Onward processing recommendations

- Solder joint: tin-coated copper ribbons, coated with 10 – 15 µm 62%Sn/36%Pb/2%Ag

3 FRONT AND BACK OF THE CELL AND REFERENCE EDGES



Q-CELLS AG

Guardianstraße 16
06766 Thalheim
Germany

TEL +49 (0)3494 668-888
FAX +49 (0)3494 668-799

MAIL q-cells@q-cells.com
WEB www.q-cells.com



DIN EN ISO 9001:2000
Certificate: 01 100 055125

Specifications subject to technical changes © Q-Cells AG January 06/004_english

| | | | | |
|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| PRODUCT | EDGE LENGTH (MM) | EFFICIENCY (%) | PRODUCT CATEGORY | Q.CELLS |
| Q6L | 156 | ≥ 14.10 | high performance | |

4 MECHANICAL DATA AND DESIGN

| | |
|--------------------------|--|
| Product | Multicrystalline silicon solar cell |
| Format | 156 mm x 156 mm +/- 0.5 mm |
| Average thickness | 220 µm/200 µm +/- 40 µm |
| Front (-) | 2 mm bus bars (silver), blue anti-reflecting coating (silicon nitride) |
| Back (+) | 4.5 mm wide soldering pads (silver/aluminium), back surface field (aluminium) |

5 ELECTRICAL DATA

| | Q6L-1410 | Q6L-1440 | Q6L-1460 | Q6L-1480 | Q6L-1500 |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Current at 0.5 V | ≥6.70 A | ≥6.94 A | ≥7.03 A | ≥7.13 A | ≥7.23 A |
| ∅ I_{sc} | 8.26 A | 8.27 A | 8.30 A | 8.36 A | 8.38 A |
| ∅ U_{oc} | 608 mV | 609 mV | 610 mV | 613 mV | 617 mV |
| ∅ P_{max} | 3.43 W | 3.50 W | 3.55 W | 3.60 W | 3.65 W |
| ∅ Efficiency | 14.1 % | 14.4 % | 14.6 % | 14.8 % | 15.0 % |

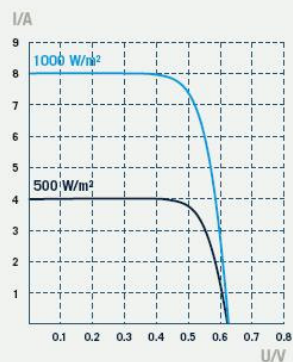
All data at standard testing conditions: STC=1000 W/m², AM 1.5, 25°C, P_{max}: +/- 1.5% rel., Efficiency: +/- 0.2% abs.

6 TEMPERATURE COEFFICIENTS

| | |
|----------------|------------|
| Power | -0.43 %/K |
| Current | +2.50 mA/K |
| Voltage | -2.12 mV/K |

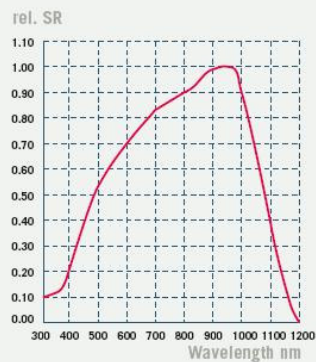
7 ELECTRICAL CURVES

IV-Curve*



* calibrated against Fraunhofer ISE Freiburg

Spectral Response



Intensity Dependence

| Intensity W/m ² | U _{MPP} * | I _{MPP} * |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1000 | 1.000 | 1.0 |
| 800 | 0.999 | 0.8 |
| 500 | 0.994 | 0.5 |
| 400 | 0.986 | 0.4 |
| 300 | 0.970 | 0.3 |
| 200 | 0.936 | 0.2 |
| 100 | 0.862 | 0.1 |

*Ratio of U_{MPP}/I_{MPP} at reduced intensity to U_{MPP}/I_{MPP} at 1000 W/m²

Q-CELLS AG
Guardianstraße 16
06766 Thalheim
Germany

TEL +49 (0)3494 66 8-888
FAX +49 (0)3494 66 8-799

MAIL q-cells@q-cells.com
WEB www.q-cells.com



DIN EN ISO 9001:2000
Certificate: 01 100 059125

Specifications subject to technical changes © Q-Cells AG February 06/002_english

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.06.1980

Doğum yeri Trabzon

Lise 1996-1999 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 1999-2003 Kocaeli Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2005-2006 UTS – Universal Takım San. ve Tic. Ltd. Şti.

2006-Devam ediyor Cengiz Makine San. ve Tic. A.Ş.

İletişim

e_b_u@yahoo.com