

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE
TARIMDA UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI**

79245

Makina Mühendisi Mehmet KOÇ

F.B.E. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Isı Proses Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Ümit Doğay Arıncı

U. D. A.

Doc. Dr. Fikret BUDANUR İmri
Prof. Dr. Bahri SAHİN

İSTANBUL, 1998

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
ÖNSÖZ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. JEOTERMAL ENERJİ.....	4
2.1 Tanım	5
2.1.1. Sınıflandırılması.....	5
2.2. Dünyadaki Mevcut Durum.....	6
2.2.1. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar.....	6
2.2.2. Rezervler.....	7
2.3. Jeotermal Enerji Tüketimi ve Uygulamaları.....	8
2.3.1. Tüketim alanları.....	8
2.3.2. Isıtma uygulamaları.....	9
2.3.2.1. 40°C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan uygulamalar.....	9
2.3.2.2. Endüstriyel uygulamalar.....	11
2.3.2.3. Kimyasal madde uygulamalar.....	12
2.4. Jeotermal Enerji Üretimi.....	12
2.4.1. Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	12
2.4.1.1. Elektrik enerjisi üretimi.....	13
2.4.1.2. Isı enerjisi üretimi.....	15
2.5. Jeotermal Enerji Teknolojisi.....	19

2.6.	Jeotermal Enerji Maliyeti.....	20
2.6.1.	Birim üretim girdileri.....	20
2.6.2.	Maliyetler.....	21
2.6.3.	Fiyatlar.....	22
2.7.	Stok Durumu.....	23
2.8.	Türkiye’de Jeotermal Enerji Durumu.....	23
2.8.1.	Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri.....	23
2.8.2.	Türkiye’de jeotermal enerji tüketim alanları.....	27
2.8.3.	Türkiye’de tüketim miktarı ve değeri.....	28
2.9.	Seraların Jeotermal Enerji İle Isıtılması.....	30
2.9.1.	Jeotermal kaynağa bağlantı.....	30
2.9.2.	Isı sağlamada düzenleme.....	33
2.9.3.	Isı değıştiriciler.....	35
2.9.4.	Malzeme seçimi.....	36
2.10.	Çevre Sorunları.....	37
2.10.1.	Türkiye’de jeotermal enerji çevre sorunları.....	39
2.11.	Jeotermal Enerji Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri.....	41
3.	RÜZGAR ENERJİSİ.....	43
3.1.	Rüzgar Enerjisi Kaynakları.....	44
3.1.1.	Rüzgar özellikleri.....	46
3.1.2.	Rüzgar enerjisi ve gücü.....	46
3.2.	Dünya Rüzgar Enerjisi.....	48
3.2.1.	Türkiye’de rüzgar enerjisi.....	49
3.3.	Rüzgar Makinaları.....	52
3.3.1.	Yatay eksenli rüzgar makinaları.....	53
3.3.2.	Düşey eksenli rüzgar makinaları.....	54
3.4.	Rüzgar Enerjisinin Depolanması.....	55
3.4.1.	Mekanik enerji depolama.....	56
3.4.1.1.	Potansiyel enerji olarak.....	56
3.4.1.2.	Kinetik enerji olarak.....	56
3.4.2.	Kimyasal enerji depolama.....	58

3.4.3.	Elektrik veya manyetik enerji depolama.....	58
3.4.4.	Isıl enerji depolama.....	58
3.4.4.1.	Duyulur ısı olarak.....	58
3.4.4.2.	Gizli ısı olarak.....	61
3.4.5.	Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	61
3.5.	Rüzgar Enerjisinin Belirlenmesi.....	63
3.5.1.	Rüzgar enerjisinde hedefler.....	64
3.5.2.	Türkiye’de rüzgar santrali girişimleri.....	65
3.6.	Rüzgar Enerjisi Uygulama Alanları.....	65
3.6.1.	Su çıkarmada kullanılan yöntemler.....	66
3.6.1.1.	Su helezonu ve zincirle su çıkaran türbinler.....	67
3.6.1.2.	Suyu pompalayarak çıkarma.....	68
3.6.1.2.1.	Pistonlu ve santrifüj pompa kullanılarak su çıkarma.....	68
3.6.1.3.	Diğer su pompalama yöntemleri.....	69
3.6.1.3.1.	Hidrolik işletim.....	69
3.6.1.3.2.	Hidrojektör kullanım.....	71
3.6.1.3.3.	Pnömatik işletim.....	71
3.6.1.3.3.1.	Emülsiyon yöntemi.....	72
3.6.1.3.3.2.	Pnömatik pompa kullanımı.....	73
3.6.1.3.4.	Elektrik enerjisi kullanımı.....	74
3.6.1.3.5.	Vidalı pompa.....	74
3.6.2.	Rüzgâr enerjisinin elektriksel uygulamaları.....	75
3.6.2.1.	Şebekeye bağlantılı AC (Alternatif Akım) uygulamaları.....	77
3.6.2.2.	Şebekeye bağlantısı olmayan DC/AC uygulamaları.....	78
3.6.2.3.	Uzak DC sistem uygulamaları.....	78
3.6.3.	Rüzgar enerjisinden seralarda yararlanma.....	79
3.7.	Rüzgar Enerjisinin Çevre Etkisi.....	81
3.7.1.	Güvenlik.....	82
3.7.2.	Görüntü ve estetik etki.....	82
3.7.3.	Gürültü.....	83
3.7.4.	Arazi kullanımı ve toprak kirliliği.....	83
3.7.5.	Biyofiziksel etki.....	83
3.7.6.	Dönen yapıların oluşturduğu elektromagnetik girişim.....	84

4.	BİYOKÜTLE ENERJİ KAYNAKLARI.....	85
4.1.	Tarımsal Biyokütleden Enerji Elde Edilmesi.....	85
4.2.	Kuru Biyokütle Doğrudan Yakılması.....	86
4.3.	Tarımsal Atıkların Sıkıştırılması.....	87
4.4.	Enerji Değerlikli Ham Madde Olan Bitkisel Yağlar.....	89
4.5.	Biyokütleden Odun Kömürü ve Sıvı Yakıt Üretimi.....	90
4.6.	Bitkisel Biyokütleden Gaz Yakıt Üretimi.....	91
4.7.	Hayvansal Atıklardan Gaz Yakıt Üretimi.....	92
4.8.	Biyogaz Tesisleri.....	94
4.8.1.	Büyük kapasiteli biyogaz tesisleri.....	94
4.8.2.	Küçük kapasiteli biyogaz tesisleri.....	96
4.9.	Organik Çöpler.....	97
4.10.	Sera Isıtmasında Biyokütle Kullanım Ekonomisi.....	97
4.11.	Gelişim ve Beklentiler.....	98
5	GÜNEŞ ENERJİSİ.....	99
5.1	Türkiye Açısından Güneş Enerjisinin Önemi.....	100
5.2	Güneş Enerjisinin Toplanması.....	101
5.2.1	Güneş enerjisinin ısısal yolla toplanması.....	101
5.2.1.1	Düz yüzeyli kolektörler.....	101
5.2.1.1.1	Konstrüksiyonları ve özellikleri.....	101
5.2.1.1.1.1	Kolektör kasası ve yalıtımı.....	103
5.2.1.1.1.2	Kolektör örtüsü.....	104
5.2.1.1.1.3	Yutucu plaka ve yüzey kaplamaları.....	105
5.2.1.1.1.3.1	Siyah boyalı yüzey kaplama.....	106
5.2.1.1.1.3.2	Seçici yüzeyli kaplama.....	106
5.2.1.2	Odaklayıcı Kolektörler.....	107
5.2.2	Güneş enerjisinin elektriksel yolla toplanması.....	108
5.2.2.1	Güneş enerjisinin direk elektriksel yolla toplanması.....	108
5.2.2.2	Güneş enerjisi termodinamik dönüşüm tekniği yoluyla toplanması	109

5.3	Güneş Enerjisinin Depolanması.....	110
5.3.1	Isıl enerji depolaması.....	111
5.4	Güneş Enerjisinden Faydalanma İmkanları.....	111
5.4.1	Isıl uygulamalar.....	112
5.4.2	Fotovoltaik uygulamalar.....	113
5.5	Güneş Enerjisinin Kullanıldığı Yerler.....	114
5.5.1	Güneşli su ısıtıcısı.....	114
5.5.2	Güneş enerjisinden yararlanarak tuz ve tatlı su elde etme yöntem.....	115
5.5.3	Çeşitli pişirme işlemlerinde.....	116
5.5.4	Binaların güneş enerjisi ile ısıtılması ve iklimlendirilmesi.....	116
5.5.5	Özel güneş kurutucular.....	116
5.5.6	Güneş enerjisinin soğutmada kullanılması.....	117
5.5.7	Güneş enerjisiyle çalışan su pompaları.....	118
5.5.7.1	Güneş enerjisi termal değişimle pompa çalıştırılması.....	118
5.5.7.2	Güneş enerjisi, fotovoltaik pillerle pompa çalıştırma.....	120
5.5.8	Güneş enerjisinden yararlanarak bitki büyümesini hızlandıran yöntem.....	120
5.5.9	Güneş enerjisi ile sera Isıtılması.....	122
5.5.10	Toprak sterilizasyonu.....	127
5.6	Türkiye’de güneş enerjisi kullanımı.....	128
6.	GÜNEŞ PİLLERİ ve GÜNEŞ PİLLERİ İLE SU POMPASI ÇALIŞTIRILMASI.....	132
6.1	Güneş Pili.....	133
6.1.1	Güneş pili avantajları ve dezavantajları.....	135
6.1.1.1	Avantajları.....	135
6.1.1.2	Dezavantajları.....	136
6.1.2	Güneş pili uygulama alanları.....	136
6.1.3	Güneş pillerinde verime etki eden parametreler.....	137
6.1.4	Güneş pili sisteminin elemanları	138
6.1.4.1	Akümülatör.....	139
6.1.4.2	Elektrik enerjisini depolayan istemler.....	140
6.1.4.3	Dünya PV üretimi.....	140
6.2	Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi	141

6.2.1	Yarı iletkenler.....	141
6.2.2	Katkılandırılmış yarı iletkenler.....	144
6.2.2.1	N tipi yarı iletkenler.....	144
6.2.2.2	P Tipi yarı iletkenler.....	146
6.2.3	PN Kavşağı.....	146
6.2.4	PN Kavşağında uygulamalar.....	151
6.2.4.1	Tıkama yönünde kutuplama (Ters Bias).....	151
6.2.4.2	Geçirme yönünde kutuplama (İleri Bias).....	152
6.3	Fotovoltaik Olay.....	153
6.4	Güneş Pili Karakteristikleri.....	156
6.4.1	Güneş pilinin verimi.....	162
6.5	Güneş Modülleri.....	165
6.5.1	Pillerin seri ve paralel bağlanması.....	166
6.5.1.1	Seri bağlama.....	166
6.5.1.2	Paralel bağlama.....	166
6.5.1.3	Seri+Paralel bağlama.....	167
6.5.2	Modül çıkışına, ışık şiddeti ve sıcaklığın etkisi.....	168
6.5.2.1	Spectral dağılım.....	168
6.5.2.2	Işığın etkisi.....	168
6.5.2.3	Sıcaklığın etkisi.....	170
6.6	I-V Eğrisinde Çalışma Noktasının Bulunması.....	173
6.6.1	Fotovoltaik sistemin işletimi.....	174
6.7	Güneş Pillerinin Kısımları.....	176
6.7.1	Absorblayıcı üretici tabaka.....	177
6.7.2	Toplayıcı-çevirici tabaka.....	179
6.7.3	Güneş pillerinin elektriksel bağlantıları ve çevre ile etkileşim içinde olan yüzeyler.....	181
6.7.3.1	Saydam kontak.....	181
6.7.3.2	Opak elektrik kontakları.....	181
6.7.3.3	Kaplama.....	182
6.7.3.4	Yansıma koruyucu.....	182
6.8	Pil Çeşitleri.....	183
6.8.1	Bakır-bakır oksit pili.....	183
6.8.2	Selenyum pili.....	185

6.8.3	Silisyum pili.....	187
6.8.4	İnce film güneş pilleri.....	190
6.8.5	CdS-Cu ₂ S pilleri.....	190
6.9	Güneş Pilleri ile Su pompası Çalıştırılması.....	193
6.9.1	Güneş pili modül seçimi tasarım parametreleri.....	193
6.9.1.1	Yerel güneşlenme miktarı.....	193
6.9.1.2	Yerel sıcaklık.....	194
6.9.1.3	Sistem kayıpları.....	194
6.9.1.4	Diğer güç sistem kayıpları.....	194
6.9.1.5	Enerji depolama ünitesinin kapasitesi.....	194
6.9.2	Uygulama.....	195
6.9.2.1	Modül seçimi.....	198
6.9.2.2	Akü seçimi.....	200
6.9.3	Maliyet analizi.....	201
6.10	Deneysel Çalışmalar.....	204
7	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	209
	KAYNAKLAR.....	210
	EKLER.....	213
	Ek 1 Uygulamada Kullanılan BP 275 Güneş Pili Özellikleri.....	213
	Ek 2 Güneş Pili -Akü Panel Bağlantı Kabloları.....	215
	Ek 3 DC/DC Konverteri ve Elektronik Kart ile Diotlar.....	216
	Ek 4 Güneş Pilleri ile Çalışan Su Pompası.....	217
	ÖZGEÇMİŞ.....	218

SİMGE LİSTESİ

A	Rüzgâr yönündeki dik alan
A_1	Valans ve iletim bandı yoğunluğu
A_c	Güneş kollektörü alanı
C_n	Yarı iletkenin özelliklerine ve kavşak yüzeyine göre belirlenen bir sabit
C_k	Katının özgül ısısı
C_z	Sıvının özgül ısısı
E	Bir ışık fotonunun enerjisi - Elektrik alan
E_f	Fermi seviyedeki elektron seviyesi
E_G	Yasak bant genişliği
E_K	Kinetik enerji
E_o	Enerji seviyeleri arasındaki kayma enerjisi
E_{cn}	n yarı iletkene ait iletkenlik bandı genişliği
E_{cp}	P yarı iletkene ait iletkenlik bandı genişliği
E_{ph}	Fotonlama enerjisi
E_{vp}	P yarı iletkene ait valans bandı genişliği
E_{vn}	n yarı iletkene ait valans bandı genişliği
ΔE	İletim bandı genişliği
f	Frekans
G	Kavşağa düşen fotonların ürettiği birim hacimde birim zamanda elektron boşluk çifti verimi
H_m	Enerji kayıpları
h	İletim ve valans bandı uzunluğu - Planck sabiti - Yükseklik
h_{kz}	Ergime gizli ısısı
I	Akım
I_1	Elektron akımı (N'den P'ye geçen)
I_2	Elektron akımı (P'den N'ye geçen)
I_L	Yükten geçen akım
I_m	Maksimum güce karşılık gelen akım
I_o	Doyma akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
$I_{AKÜ}$	Akünün amper ihtiyacı

$I_{GÜN}$	Günlük akım ihtiyacı
K	Havanın yoğunluğuna bağlı katsayı
k	Kayıp düzeltme faktörü - Boltzman sabiti
L	Difüzyon uzaklığı
L_e	Elektron difüzyon uzaklığı
L_b	Boşlukların difüzyon uzaklığı
m_e	Effektif kütle
N_{ph}	Güç fotonlarının sayısı
n	Elektron konsantrasyonu
n_i	Saf haldeki taşıyıcı konsantrasyonu
n_p	P tipi yarı iletkenle elektron konsantrasyonu
R	Yük direnci
R_s	Diodun iç seri direnci
Q	PN kavşağında elektrik yükü - Suyun debisi
Q_d	Isıl enerji
Q_r	Gerekli ısı ihtiyacı
P	PV çıkış gücü - Elektrik motor gücü
P_m	Maksimum PV gücü
P_w	Rüzgâr türbününden elde edilen enerji
$P_{GÜN}$	Günlük güç ihtiyacı
p	Delik konsantrasyonu
T	Sıcaklık
t	Pompanın günlük çalışma süresi
t_k	Kötü gün sayısı
V	PV çıkışından alınan gerilim
V_b	Kıyıcı çıkış gerilimi
V_o	Doyma gerilimi
V_L	Yükten geçen akım
V_m	Maksimum güce karşılık gelen gerilim
V_{oc}	PV elemanın açık devre gerilimi
V_{ort}	Ortalama rüzgâr hızı
V_{ref}	Referans gerilimi
V_{blok}	Blok gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Altenatif Akım
ATP	Adenozin Tri Fosfat
BDT	Birleşmiş Devletler Topluluğu
DERM	Düşey Eksenli Rüzgâr Makinaları
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DC	Doğru Akım
FF	Fill (Dolgu) Faktörü
MPP	Maximum Power Point
PC	Polikarbonat
PCC	Power Conditioning Curcuit
PE	Polietilen
PN	Fotovoltaik Kavşak
PMMA	Akrilik
PPC	Propanniklorid
PPVC	Propanviniklorid
PTT	Posta Telefon telgraf
PV	Fotovoltaik
PVC	Poliviniklorid
PWM	Pulse-Width Modulation
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TRT	Türkiye Radyo Televizyon
TÜREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
YERM	Yatay Eksenli Rüzgâr Makinaları
μP	Mikrodenetleyici

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sıcak su egemen jeotermal elektrik üretim sistemleri.....	14
Şekil 2.2	Binary çevrim jeotermal elektrik üretim sistemi.....	15
Şekil 2.3	Kuyu içi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi.....	16
Şekil 2.4	Kuyu dışı eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi.....	17
Şekil 2.5	Jeotermal ısı pompası sistemi örnek sıcaklık rejimi.....	18
Şekil 2.6	Simav jeotermal merkezi ısıtma sistemi.....	25
Şekil 2.7	Jeotermal kuyuya basit bir şekilde doğrudan bağlantı.....	31
Şekil 2.8	Jeotermal kuyuya doğrudan bağlantılı ısı pompası donanımı	32
Şekil 2.9	Seraların jeotermal enerjiyle ısıtılmasında kullanılan kontrol sistemi	32
Şekil 2.10	Isı akışının düzenlendiği seralarda sıcaklık kontrolü	33
Şekil 2.11	Isı pompası ve aşırı ısı yükünü karşılayan ısıtma tesisine sahip jeotermal donanım için otomatik kontrol şeması.....	34
Şekil 3.1	Yerel rüzgâr sirkülasyonu.....	45
Şekil 3.2	YERM Türbin kanadının önden görünüşü.....	53
Şekil 3.3	YERM Türbün kanat kesitine etki eden kuvvet ve hızlar.....	54
Şekil 3.4	DERM Kanadındaki hız ve kuvvet diyagramı.....	55
Şekil 3.5	Rüzgâr enerjisinin pnömatik depolanması.....	57
Şekil 3.6	Rüzgâr enerjisinin sıkıştırılmış hava depolanması.....	57
Şekil 3.7	Hidrojen kullanımı ile enerji depolama.....	59
Şekil 3.8	Elektrokimyasal depolama.....	60
Şekil 3.9	Şarj edilebilir petrol pilleri ile enerji depolama.....	60
Şekil 3.10	Rüzgâr enerjisinin ısıl formda depolama yöntemleri.....	62
Şekil 3.11	Arşimet vidası çalıştıran rüzgâr türbini.....	67
Şekil 3.12	Rüzgâr su pompaj sistemi.....	68
Şekil 3.13	Hidrolik pompa.....	70
Şekil 3.14	Vergnet pomppa.....	70
Şekil 3.15	Hidrojektör sistem.....	71
Şekil 3.16	Emülsiyon sistemi.....	72
Şekil 1.17	Pnömatik pompa sistemi.....	73
Şekil 3.18	Vidalı pompa sistemi.....	75

Şekil 3.19	Rüzgâr elektrik sisteminin basit bileşenleri.....	76
Şekil 3.20	Rüzgar enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri.....	77
Şekil 3.21	Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri şebeke dağıtım bağlantı şeması.....	78
Şekil 4.1	Büyük kapasiteli biyogaz tesisi.....	94
Şekil 4.2	Küçük kapasiteli biyogaz tesisi.....	96
Şekil 5.1	Düz bir kollektörün şematik şekli.....	102
Şekil 5.2a	Basitleştirilmiş güneş pili sistemi.....	108
Şekil 5.2b	Termodinamik dönüşümlü , kule tipi güneş güç santrali.....	109
Şekil 5.3	Pompa sıcak su hazırlama devresi.....	114
Şekil 5.4	Tatlı su elde edilmesi.....	115
Şekil 5.5	Periyodik adsorpsiyonlu soğutma makinasının prensip şeması.....	118
Şekil 5.6	Güneş enerjisi termal değişimli su pompası.....	119
Şekil 5.7	ATP'nin oluşumu.....	121
Şekil 5.8	Doğadaki O ₂ , CO ₂ döngüsü.....	121
Şekil 5.9	Plastik-film güneş toplacı.....	125
Şekil 5.10	Sera içerisinde bitki sıraları arasına yerleştirilmiş ısı dönüştürücü.....	126
Şekil 5.11	Pasif güneş enerjisi toplacı olarak, içi su dolu geçirimli PE tüpler.....	127
Şekil 6.1	Fotovoltaik pilli su pompası sisteminin blok diyagramı.....	133
Şekil 6.2	Bir güneş pili hücresinin genelleştirilmiş şematik gösterimi.....	134
Şekil 6.3	Saf yarıiletkenlerin enerji bandı yapıları.....	142.
Şekil 6.4	Si, Ge, GaAs için saf haldeki taşıyıcı yoğunluklarının sıcaklığa göre değişimleri.....	144
Şekil 6.5	Katkılandırılmış yarı iletkenin fermi fonksiyonu dağılımı ve katkılandırma enerji seviyeleri.....	145
Şekil 6.6	Bir PN kavşağında elektrik alan oluşumu.....	147
Şekil 6.7	PN Kavşağının enerji bant diyagramı.....	148
Şekil 6.8	PN kavşağında denge halinde enerji bant diyagramı.....	149
Şekil 6.9	Ters bias.....	152
Şekil 6.10	İleri bias.....	153
Şekil 6.11	PN Kavşağında fotovoltaik olay.....	154
Şekil 6.12	Fotovoltaik olayın dış devreye aktarılması.....	155
Şekil 6.13	Güneş pili ve eşdeğer devresi.....	156
Şekil 6.14	Işık şiddetinin fonksiyonu olarak kavşak akımı ve voltajı.....	160
Şekil 6.15	Güneş pilinin akım gerilim karakteristiği.....	161

Şekil 6.16	Güneş pillerinin seri bağlanması.....	166
Şekil 6.17	Güneş pillerinin paralel bağlanması.....	167
Şekil 6.18	Güneş pillerinin seri ve paralel bağlanması.....	168
Şekil 6.19	Işık şiddetine bağlı olarak pilin I-V karakteristiği.....	170
Şekil 6.20	Sıcaklığa bağlı olarak pilin I -V karakteristiği.....	171
Şekil 6.21	Batarya şarjında yüksek sıcaklığın etkisi.....	172
Şekil 6.22	Işık şiddetine bağlı olarak pilin P-I karakteristikleri.....	172
Şekil 6.23	Sıcaklığa bağlı olarak pilin P-V karakteristikleri.....	173
Şekil 6.24	Fotovoltaik sistemin blok diyagramı.....	174
Şekil 6.25	Solar sistemin maksimum noktası ve işletim eğrisi	175
Şekil 6.26	Bir güneş pilinin beş tabakası.....	176
Şekil 6.27	Doğrudan güneş ısıtımında, yeryüzü fotovoltaik güneş pilleri için en yüksek çevrim veriminin enerji aralığına göre değişimi.....	177
Şekil 6.28	İnce-yaygı güneş pili malzemeleri absorblama katsayılarının, foton enerjisine göre değişimi.....	178
Şekil 6.29	Bakır - Bakır oksit pili.....	184
Şekil 6.30	Selenyum pili.....	185
Şekil 6.31	Selenyum pilin renk-duyarlılığı eğrisi.....	186
Şekil 6.32	Selenyum pilin akım-yük direnci eğrisi.....	187
Şekil 6.33	Kristalin büyütülmesinde kullanılan düzenek.....	188
Şekil 6.34	Silisyumu saflaştırmak için kullanılan düzenek.....	189
Şekil 6.35	Cu_2S 'den CdS 'e geçerken absorblanması şematik şekli.....	191
Şekil 6.36	Tipik bir CdS pili.....	192
Şekil 6.37	Türkiye için ortalama iklim faktörü.....	198
Şekil 6.38	Güneş pilleri ile su pompası çalıştırılması şematik diyagramı.....	203
Şekil 6.39	Güneş pilinin I-V karakteristiklerini incelemeye kullanılan deney düzenegi.....	204

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanma yerleri.....	10
Çizelge 2.2	Türkiye’de jeotermal olarak merkezi ısıtma imkanı bulunan bazı yerleşim birimleri.....	26
Çizelge 2.3	İnşa halindeki jeotermal ısıtma sistemleri ve kapasiteleri.....	28
Çizelge 2.4	Halen işletilmekte olan jeotermal ısıtma sistemleri ve kapasiteleri	29
Çizelge 3.1	Bölgelere göre ortalama rüzgâr gücü yoğunlukları.....	50
Çizelge 3.2	Aylık bazda uzun yıllar ortalama rüzgâr hızları.....	51
Çizelge 4.1	Bazı biyokütle enerji kaynaklarının ısı değerleri.....	87
Çizelge 4.2	Sıkıştırılmış bazı tarımsal atıkların ısı değerleri.....	88
Çizelge 4.3	Seçilmiş bazı bitkisel yağların ısı değerleri.....	89
Çizelge 4.4	Odun kömürü ve bio-sıvı yakıtların ısı değerleri.....	90
Çizelge 4.5	Biyogaz ve bazı biyo-sıvı yakıtların ısı değerleri.....	91
Çizelge 5.1	Kollektörler için çeşitli örtü malzemelerinin özellikleri.....	105
Çizelge 6.1	III., IV., V. Grup elementleri.....	141
Çizelge 6.2	Bazı yarıiletkenlerin yasak band genişlikleri.....	143

ÖNSÖZ

Enerji talebindeki hızlı artış, yüksek fiyatlar, çevre sorunları ve fosil yakıt rezervlerinin bir gün tükeneceği gerçeği ile karşı karşıyayız. Bu nedenle insanoğlu alternatif enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir enerji açığının kapatılması yönündeki çalışmalara ışık tutacağını ümit ederim.

Tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Ümit Doğay ARINÇ'a, sayın Prof. Dr. Durul ÖREN'e, Sun Power şirketi sahibi sayın Murat ERCAN'a, değerli meslektaşlarıma, sevgili arkadaşlarıma, aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet KOÇ

Makina Mühendisi

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarından, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin incelenmesi ve tarımda uygulama alanları üzerinde araştırmalar yapılmasıdır.

jeotermmal enerjinin tüketim alanları, kullanılan teknoloji, rezervler, maliyeti, çevre sorunları ve karşılaşılan teknik sorunlara çözüm önerileri getirilmiştir.

Rüzgâr enerjisinin belirlenmesi, rüzgâr makinaları, rüzgâr enerjisinin depolama teknikleri, ülkemizde rüzgâr enerjisindeki hedefler, girişimler, uygulama alanları, ve çevre etkileri belirtildi.

Biyokütle enerji kaynaklarından faydalanma yöntemleri, biyogaz tesisleri, organik çöplerden faydalanma ve seraların ısıtılması üzerinde yapılan araştırmalar ele alındı.

Sonsuz enerji kaynağı olan güneş enerjisini yararlı enerji haline getirmek için kullanılan yöntemler, uygulama alanları ve oluşabilecek teknik ve ekonomik problemler incelendi.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme sistemlerinin başında, temeli fotovoltaiik olaya dayanan güneş hücreleri (veya pilleri) gelmektedir. Güneş hücrelerinde ilke olarak, güneş ışınımı yarı iletken malzemelerdeki elektronların hareketinden yararlanarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Güneş hücrelerinin biraraya getirilmesinden modüller oluşturulur. Modüllerde kendi aralarında seri veya paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değerlerine ulaşılır. Bir güneş modülü sisteminin çıkış karakteristiği, sistemin üzerine gelen ışığın şiddeti, dalga boyu ve ortamın sıcaklığı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bir güneş pili direk olarak yüke bağlandığı gibi bir bataryaya da şarj için bağlanabilir. Güneş pillerinin akım ve gerilim karakteristikleri deneysel olarak belirlendi. Ayrıca güneş pilleri ile su pompası çalıştırılması hususunda teorik olarak uygulama yapıldı.

ABSTRACT

The aim of this experiment is to make researches on the renewable energy sources such as geothermal energy, wind energy, biomass energy and solar energy.

For the consumption of geothermal energy areas are discussed and tried to find solutions on these points: The technology used, reserves, economics, environmental problems and possible technological problems are mentioned.

The determination of wind energy, wind machines the techniques of saving wind energy, the target of wind energy in Türkiye, attempts, application areas and environmental affects are mentioned.

The technique of the biomass energy is regarded such as biogas plants, using organic junks, and organising this energy for heating green house are discussed.

The everlasting energy, solar radiation energy and it's use by the people as a main energy source is investigated.

Solar cells based on photovoltaic reaction are the most common system of those that are used to produce electricity from solar energy. In a solar cell, principally, electricity is produced by using the movements of electrons of a semi-conductor material. The combination of solar cells form modules. Required current and voltage are obtained by connecting these modules to each other either in series or in parallel. The output characteristic of a solar module may vary according to the intensity of light, wave length and the temperature of the medium. A solar module system can be connected directly to a battery in order to charge it. Sun batteries, especially current voltage graphics, are experimented and also some experiments are made for working the water pumps with solar energy.

GİRİŞ

Bugünlerde dünya yüzeyinde kullanılan enerjilerin çoğunluğu düşük maliyetli fosil yakıtlardır. Petrol, gaz ve kömür bugünkü yakıt ihtiyacının %90'a yakın miktarını karşılamaktadır. Yapılan projelere ve uygulanması düşünülen sistemlere bakıldığında bunun yüzyılın sonuna kadar devam edemeyeceği tahmin edilmektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaşanan, enerji üretiminin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerinin azaltılması çalışmaları enerji maliyetini yükseltmektedir. İnsan için önemli olan bu sebepler birçok kömür kullanıcılarını biraz daha temiz olan petrol ve gaz kullanımına yöneltmiştir. Dünyada zamanla tercih sebebi olan nükleer enerji fazlasıyla yaygınlaşıp elektrik enerjisi şebekesi içinde büyük bir yer almayı başaramayınca sentetik yakıtlara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelindi. Fakat bunlarda pahalılıkları nedeniyle ancak gelecekte enerji pazarında büyük bir pay almaya adaydır.

1973'te dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyanın birçok bölgesinde enerji arzında küçüğe olsa bir katkıda bulunacağından kimsenin şüphesi bulunmamaktadır.

Yukarıda sayılan birçok zorluk ve gelişmenin getirmiş olduğu enerji problemleri aslında üç ana grupta toplanır. Birincisi gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması ihtimalidir. Burada hayat standartlarına bağlı olan iki ayrı yön vardır. Bunlardan birincisi yüksek enerji ihtiyacı, ikincisi ise düşük enerji ihtiyacıdır. İkinci problemse teknik olarak şu anda kullanılan enerji elde etme yöntemlerinin gelecekteki yöntemlerle uyum sağlayıp sağlayamayacağıdır. Yakında görülen en küçük sorunsal kaynak ve kaynak elde etme yöntemlerini etkileyen politik ve ekonomik kararlardır.

Enerji kaynakları geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynakları diye ikiye ayrılır.

Geleneksel enerji kaynakları yararlanılmaları yaygınlık kazanmış bulunan:

1. Odun, kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan,

2. Akarsulardan.

3. Çekirdekleri fisyon yoluyla parçalanan uranyum ve toryum gibi nükleer yakıtlardan oluşur.

Geleneksel enerji kaynaklarının ortak ve en önemli özelliği şimdiye kadar geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuş olan teknolojiler sayesinde:

1. Kontrollü olarak üretilen,

2. Sürekli üretilen,

3. Üretilmiş olan enerjinin depolanmasını gerektirmeyen bir enerji üretimi mümkün kılmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak ise:

1. Güneş enerjisi,

2. Rüzgâr enerjisi,

3. Jeotermal enerji,

4. Biyokütle enerji kaynakları,

5. Deniz dalgaları ve gelgit olayı,

en genel anlamda sayılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından insanlığın son ümidi termonükleer enerjidir. Termonükleer enerji, hidrojen izotopları çekirdeklerinin birbiriyle kaynaşarak (füzyon) helyum çekirdeği oluşturmaları sonucu ortaya çıkan enerji türüdür. Hammaddesinin hidrojen izotoplarının olması, termonükleer enerjiyi insanlığın uzun vadede bütün enerji ihtiyacına cevap verebilecek tükenmez bir enerji kaynağı kılmaktadır. Fakat teknolojisi tam olarak gelişmediğinden maliyeti yüksektir.

Tezde yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, biyokütle enerji kaynakları ile güneş enerjisi üzerinde durulmuş ve bu enerji kaynaklarının tarımda kullanma alanları incelenmiştir.

Ayrıca güneş pilleri ve güneş pilleri ile su pompası çalıştırılması konularında araştırmalar yapılmıştır.

Deniz dalgaları ve gelgit olaylarından enerji elde etmek bugünkü teknolojide tarımda kullanıma elverişli olmadığından incelenmemiştir. Bu enerjiden küçük çaptaki elektrik gereksinimlerini karşılamak amacıyla yararlanılmaktadır.



2. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal Enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içirebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Düşük (20-70°C), orta (70-150°C) ve yüksek (150°C den yüksek) sıcaklıklı (entalpili) olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Yüksek entalpili akışkandan elektrik üretiminde, düşük ve orta entalpili akışkandan ise ısıtmacılıkta yararlanılmaktadır. Bunların yanısıra jeotermal akışkanlardan, kimyasal madde üretimi, kültür balıkçılığı gibi çok değişik amaçlarla da yararlanılabilmektedir.

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi dünyada ilk olarak 1904 yılında İtalya'da gerçekleştirilmiştir. Bugün İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Yeni Zelanda başta olmak üzere toplam 18 ülkede jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapılmaktadır. Halen dünyadaki jeotermal enerjiye dayalı elektrik üretim kapasitesi 6275.3 MWe düzeyindedir.

Günümüzde dünyada, enerji ihtiyacının büyük bir kısmı hidrolik enerji ve fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak gelecekte, fosil yakıtların giderek tükenmesi ve yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Jeotermal enerji, fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları arasında en önemlilerden birisi durumundadır. Jeotermal enerjiye dayalı elektrik kurulu gücünün yıllık %15 artışla, 2000 yılına kadar 38.400 MWe'a, ısı enerjisi olarak tüketiminin ise yıllık %7 artışla 33.100 MW'a ulaşması beklenmektedir. Jeotermal enerji üretim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına oranla oldukça düşüktür. Söz konusu maliyet entegre kullanımlar sözkonusu olduğundan, daha da düşmektedir. 110 MWe kapasiteli bir santralin birim maliyeti 4.5 Cent/kWh düzeyindedir (Mertoğlu, 1993; DPT, 1996).

2.1 Tanım

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemler ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.

2.1.1 Sınıflandırılması:

Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılır.

- 1- Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70°C)
- 2- Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150°C)
- 3- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150°C’den yüksek)

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayiinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışlarındaki CO₂ den kurubuz eldesinde) kullanılmaktadır. Ancak, orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkan ise, elektrik üretiminin yanısıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilmektedir.

2.2 Dünyadaki Mevcut Durum

İlk çağlardan beri, sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da, asitborik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. 1905 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında, gücü 250 kWe olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur.

1930'larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığı sondajlara daha sonra, elektrik elde edilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe kapasiteli bir santaral kurulmuştur. 1960 da Amerika'da, 1961 de Meksika'da ve 1966 da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımında önemli gelişmeler sağlanmıştır. 1992 yılı verilerine göre dünyadaki elektrik kurulu güç kapasitesi 6.275,3 MWe ve 1993 yılı verilerine göre ısıtma amaçlı doğrudan kullanım ise 13.044 MW'a ulaşmıştır.

2.2.1 Dünyadaki Önemli Jeotermal Kuşaklar:

Dünyada, jeolojik özellikleri nedeniyle (genç tektonizma ve volkanizma) birçok jeotermal kuşak bulunmaktadır.

And Volkanik Kuşağı : Güney Amerika'nın batı sahillerinde bulunan kuşak, Venezuela, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantini kapsamaktadır. Çok sayıda aktif volkanizmanın varlığı nedeniyle, yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin bulunduğu bu kuşaktaki jeotermal alanlar henüz çok fazla değerlendirilmemiştir.

Alp-Himalaya Kuşağı : Hindistan Plakası ile Avrasya Plakasının çarpışması sonucu oluşan bu jeotermal kuşak, dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğunda olan kuşak, İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Yunnan (Çin), Myanmar (Burma) ve Tayland'ı kapsamaktadır.

Doğu Afrika Rift Sistemi : Aktif olan bu sistem Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya, Djibuti gibi ülkeleri içine alır. Aktif volkanizma Kenya, Etiyopya ve Tanzanya'dadır.

Karayib Adaları: Aktif volkanizmanın hakim olduğu kuşakta, önemli potansiyel görülmektedir.

Orta Amerika Volkanik Kuşağı: Guatemela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı içine alan bu kuşakta, çok sayıda jeotermal sistem bulunmaktadır.

Bunların dışında: Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa, Bağımsız Devletler Topluluğu gibi ülkeler farklı tektonik oluşumlar nedeniyle verimli jeotermal sahalara sahiptir.

2.2.2 Rezervler

Teorik hesaplamalara göre 0-10 km derinlik arasında dünyada birikmiş ısı enerjisi, yüksek ısı akıllı alanlar için $245 \cdot 10^6$ EJ (exajoules), düşük akıllı alanlar için $181 \cdot 10^6$ EJ'dur. Bu enerjinin %0.1'nin işletilebileceği düşünülürse, jeotermal kaynak $10 \cdot 10^6$ EJ'den fazla olacaktır. Bu ise dünyada bugünkü mevcut enerji tüketimine göre yıllık rezerv demektir. Dünyada doğal akifelerden toplam 0,5 EJ üretim yapıldığı, üretililecek isbatlanmış rezervin ise 50 EJ olduğu tahmin edilmektedir.

Bugün için jeotermal enerji, dünyada enerji sektöründe sadece %0.2'lik bir pay almaktadır. Ancak, ülkelere göre bu oran büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin Filipinler'de jeotermal santraller, toplam kapasitenin %17'sini oluşturmaktadır. Bilindiği gibi jeotermal enerji yeni bir kaynaktır ve 1950'den bu yana jeotermal santrallerin kurulu kapasitesinde yıllık %8,5 artış gözlenmiştir. 1970 yılının baz olarak alınması durumunda ise, kurulu kapasitedeki artı hızı %12,2, geliştirilen yeni sahalar için %10 ve jeotermal araştırmalara yeni giren ülkeler için %8 olmuştur. Bu büyüme hızının devam etmesi halinde, 2000 yılında, işletilmekte olan 250 sahadaki toplam kurulu gücün 21.000 MWe'a ulaşması beklenmektedir. Elektrik endüstrisinin bugünkü büyüme hızının sadece %4 veya %5 olduğu göz önüne alındığında, gelecekte elektrik üretiminde jeotermal enerjinin payının giderek artacağı ortaya çıkmaktadır.

Bugün dünyada, jeotermal enerjiye dayalı elektrik üretim kapasitesi 6.275,3 MWe düzeyindedir. Buna karşılık dünyada, yaklaşık 13044 MW karşılığı jeotermal akışkan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır (DPT, 1996).

2.3 Jeotermal Enerji Tüketimi ve Uygulama Alanları

2.3.1 Tüketim alanları

Jeotermal enerjinin en önemli kullanım alanları elektrik üretimi ile konut ve sera ısıtmacılığıdır. Jeotermal enerji ayrıca, tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde, hayvan çiftliklerinin, cadde ve havaalanı pistlerinin ısıtılmasında, yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde kullanılmaktadır.

Bunların yanısıra yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyonunda, konservecilikte, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayiinde, kağıt ve dokuma endüstrisinde ağartma maddesi olarak, deri

kurutulması ve işlenmesinde, şeker, ilaç, pastörize süt fabrikalarında, soğutma tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca jeotermal akışkandan çeşitli kimyasal maddeler elde edilebilmektedir

2.3.2 Isıtma uygulamaları

Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı pompaları yardımıyla sıcaklığı 5°C'ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir. Sıcaklıklara göre kullanım yerleri gösterilmiştir (Çizelge2.1).

2.3.2.1 40°C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan uygulamaları

1. Binaları ve kentleri merkezi sitemle ısıtma ve de sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Türkiye, B.D.T , Macaristan, Kanada, Çin, Meksika, Arjantin, Kuzey Avrupa Ülkeleri) .
2. Seraların ısıtılmasında (dünyada yaklaşık 10.000 MW karşılığı jeotermal enerji bu amaçla kullanılmaktadır. Macaristan, İtalya, Türkiye, ABD, Japonya, Meksika, Doğu Avrupa Ülkeleri, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30°C'den fazla sıcaklıktaki akışkan kullanılarak seralar ısıtılmaktadır) .
3. Tropikal bitki (Japonya) ve balık (Japonya'da timsah yetiştiriciliği dahil, Filipinler, Çin, İzlanda) yetiştirilmesinde.
4. Tavuk ve Hayvan Çiftliklerinin ısıtılmasında (Japonya, ABD, Yeni Zelanda, Macaristan, B.D.T).

“Çizelge 2.1” Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanma yerleri (Şamilgil, 1992)

°C		
190-		
180-	Sölüsyonun yüksek konsantrasyonunun buharlaşması. Amonyum absorpsiyonu ile soğutma.	
170-	Ağırsu (D ₂ O Döteryum oksit) ve hidrojen sülfid eldesi, Diyatomitlerin kurutulması.	
160-	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması.	
150-	Bayer's yoluyla alüminyum ve diğer kimyasal maddeler eldesi.	
140-	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservacilikte).	
130-	Şeker endüstrisi, tuz eldesi.	
120-	Saf su eldesi, tuzluluk oranının arttırılması.	
110-	Kerestecilik, çimento kurutulması.	
100-	Organik maddeleri kurutma (yosun, et, sebze vb.), yün yıkama ve kurutma.	
90-	Balık kurutma.	
80-	Ev ve sera ısıtma.	
70-	Soğutma (alt sıcaklık sınırı).	
60-	Sera, kümes ve ahır ısıtma.	
50-	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar.	
40-	Toprak ısıtma, kent ısıtılması (alt sınır), sağlık tesisleri.	
30-	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma ve sağlık tesisleri.	
20-	Balık çiftlikleri.	
5-		

Elektrik üretimi

Isıtma

5. Toprak, cadde, havalanı pistlerin (Sibirya) vb. ısıtılmasında,
6. Yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde (İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye, Çin, Endonezya, Yeni Zelanda, Arjantin, Doğu Avrupa Ülkeleri, B.D.T) kullanılmaktadır.

2.3.2.2 Endüstriyel uygulamalar

Jeotermal akışkan;

1. Yiyeceklerin kurutulmasında (balık, yosun vb.) ve sterilize edilmesinde, konservecilikte (Japonya, ABD, İzlanda, Filipinler, Yeni Zelanda, Tayland),
2. Kerestecilikte ve ağaç kaplama sanayiinde (Yeni Zelanda, Meksika, B.D.T),
3. Kağıt (Yeni Zelanda, İzlanda, Japonya, Çin, B.D.T), dokuma ve boyamacılıkta (Yeni Zelanda, İzlanda, Çin ve B.D.T),
4. Derilerin kurutulması ve işlenmesinde (Japonya vb.),
5. Bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtmada (Japonya),
6. Soğutma tesislerinde (İtalya, Meksika),
7. Beton Blok kurutulmasında (Meksika),
8. Soğutularak içme suyu olarak (Macaristan, B.D.T, Tunus, Cezayir),
9. Yıkama amaçlı olarak çamaşırhanelerde (Japonya) kullanılmaktadır.

2.3.2.3 Kimyasal madde üretimi uygulamaları

1. Jeotermal akışkan, borikasit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit - D_2O), amonyum sülfat, potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde (İtalya, ABD, Japonya, Filipinler, Meksika),
2. Akışkanın bünyesindeki CO_2 'den kuru buz elde edilmesinde (ABD, Türkiye),
3. Deniz suyundan tuz üretmede (Japonya, Filipinler),
4. Deniz suyundan tatlı su elde etmede (Japonya, Filipinler) kullanılmaktadır.

2.4 Jeotermal Enerji Üretimi

Jeotermal enerji üretimi; yerin derinliklerinde bulunan sıcak akışkanın sondajlar aracılığı ile üretilerek doğrudan veya dolaylı olarak ekonomik kullanıma sunulması ile olur. Bu enerji türünde arama kuyuları da, olumlu sonuç alındığı ve uygun teknoloji ile teçhiz edildiği takdirde üretim kuyusu olarak kullanılabilir.

2.4.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Jeotermal enerjide üretim teknolojisi, yer ısısının akışkanlar ve sondajlar aracılığı ile yüzeye çıkartılmasından sonra, bu enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, ısı enerjisi şeklinde

doğrudan kullanımı, endüstri ve turizm alanında çeşitli yöntemlerle kullanılması şeklinde olmaktadır.

2.4.1.1 Elektrik enerjisi üretimi

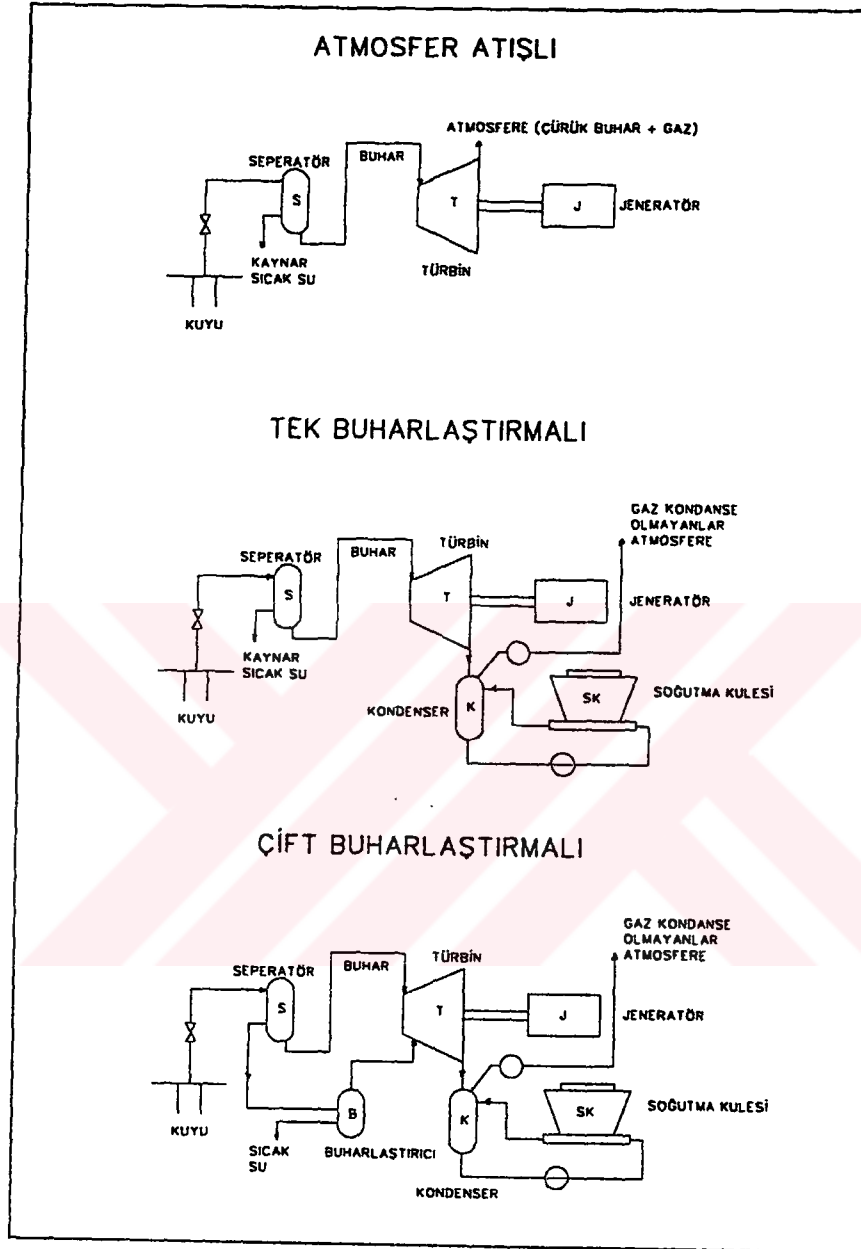
Gerekli araştırmaları yapılmış olan jeotermal sahada açılan kuyulardan üretilen akışkan, seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra, buhar türbinlere gönderilerek jeneratör aracılığı ile elektrik üretilir (Şekil 2.1).

Jeotermal sistemler; buhar hakim ve su hakim sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Santral kurulmasında sahanın durumu da gözönüne alınarak en ekonomik ve verimli teknolojiyi seçmek gereklidir.

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi için tek buharlaşmalı “single flash cycle” sistem yerine, yüksek verimli çift buharlaşmalı “double flash cycle” sistemi 1977 yılından beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca “total flow” ve “binary cycle” tipi santrallarda da verim yüksek olmaktadır. “Double flash cycle” sisteminde akışkan, iki aşamada iki ayrı seperatörde buharlaştırılarak türbine gönderilir. Santralin verimi “single flash cycle” sistemine göre %15 ile %20 daha fazladır. KWh başına net maliyetin %10 ile %20 daha düşük olduğu hesaplanmaktadır.

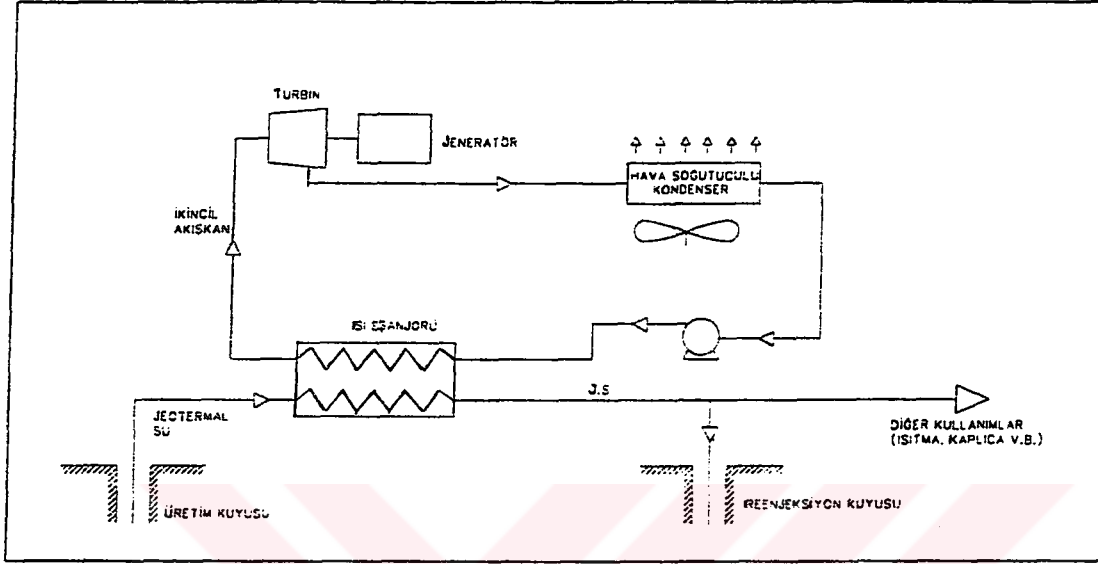
“Single flash” orta büyüklükte, 200°C dolayındaki sıcaklıktaki sahalar için uygundur. Bu sistemde buhar seperatörde ayrılarak doğrudan türbine gönderilir (Şekil 2.1).

“Double flash” sistemler elde edilen akışkandan maksimum ölçüde yararlanmak için kullanılan sistemlerdir. Akışkan birinci seperatörde ayrıştırıldıktan sonra sıcak su ikinci bir seperatöre gönderilerek tekrar ayrıştırılır ve iki seperatörde ayrıştırılan buhar türbinlere gönderilir (Şekil 2.1).



“Şekil 2.1” Sıcak su egemen jeotermal elektrik üretim sistemleri

“Binary Çevrim” sistemleri, jeotermal akışkanın flashing edilmeden (buharından, gazından ve suyundan ayrıştırılmadan) doğrudan doğruya elektrik üretim amaçlı olarak ısı eşanjörüne



“Şekil 2.2” Binary çevrim jeotermal elektrik üretim sistemi

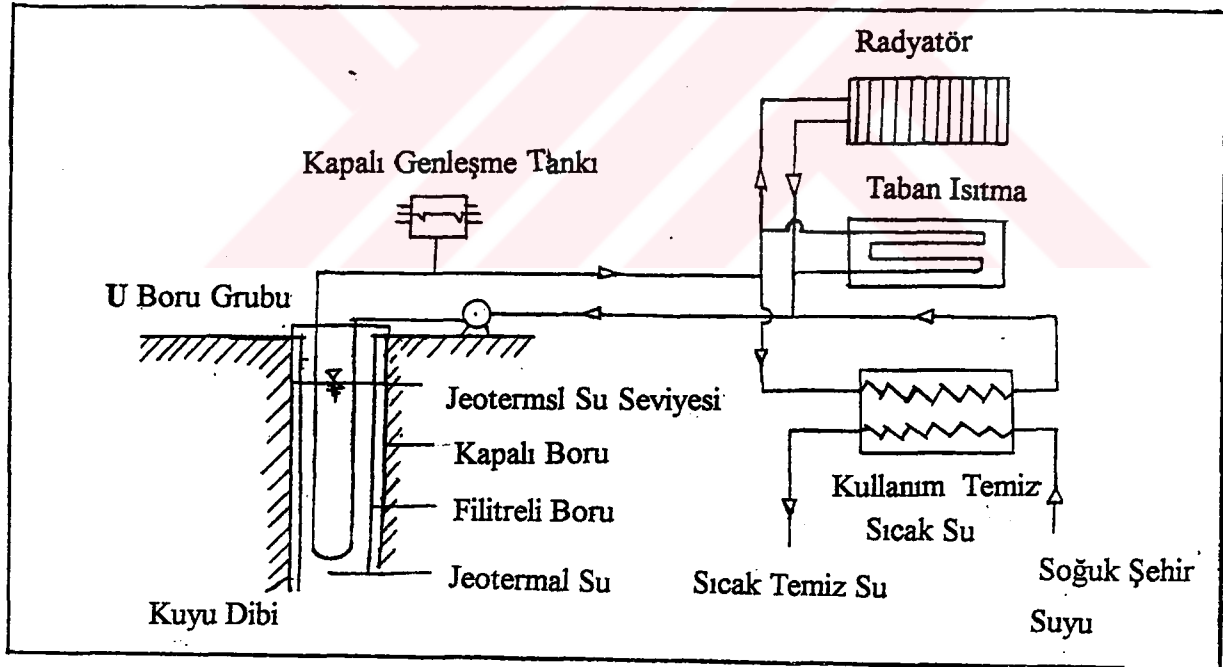
verilip, enerjisinin ikincil akışkana aktarılmasından sonra, direkt olarak reenjeksiyona gönderildiği sistemlerdir. Bu sistemler, rezervuar sıcaklığının 100-200°C olduğu sahalarda son derece olumlu sonuçlar vermektedir (Şekil 2.2).

2.4.1.2 Isı enerjisi üretimi

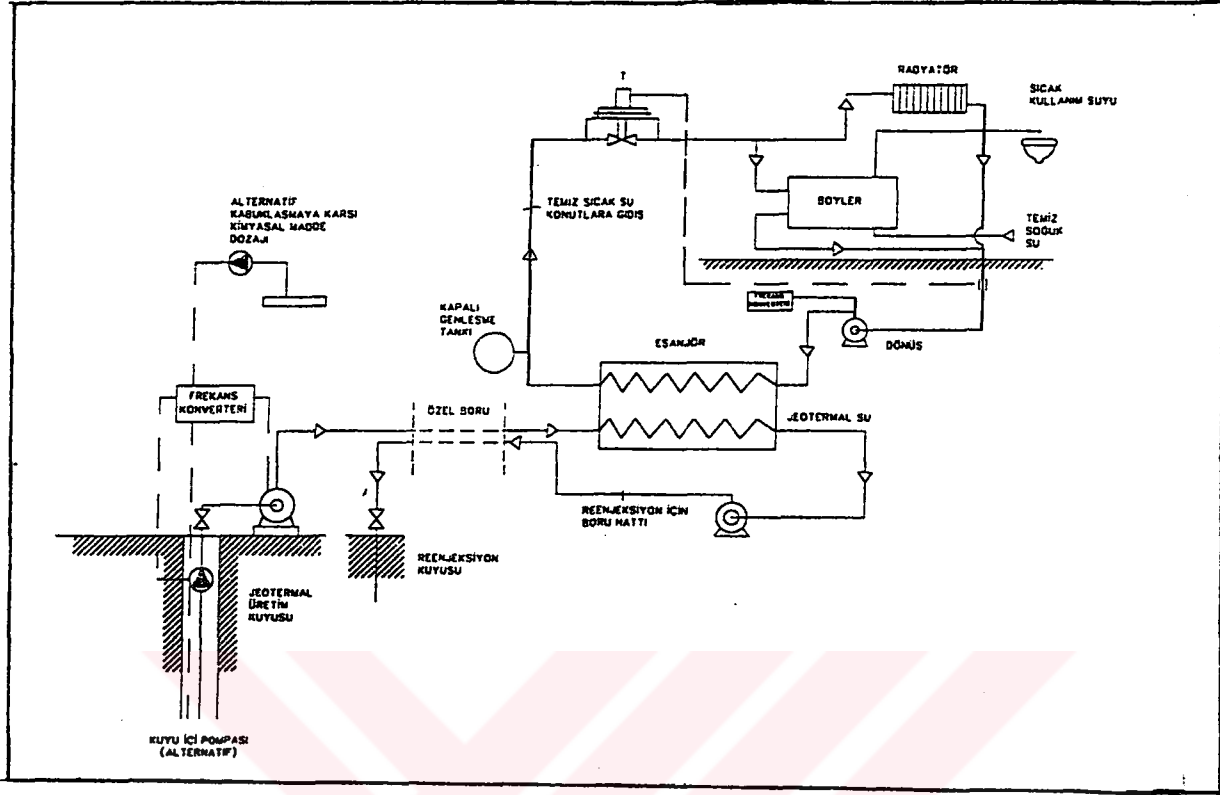
Jeotermal akışkanın kimyasal özelliğine bağlı olarak, ısıtma sistemleri önemli farklılıklar göstermektedir. Akışkanın kimyasal bakımdan problemli nitelikte olmadığı durumlarda, jeotermal akışkanın ısıtılacak alanda radyatör ve uygun borular sistemi aracılığı ile

dolaştırılması suretiyle ısıtma sağlanabilmektedir. Akışkanın kimyasal açıdan problemlilikte (kabuklaşma, korozyon) olduğu durumlarda ise, ısıtma jeotermal akışkanın ısısının ısı eşanjörleri aracılığı ile düşük kimyasal konsantrasyonlu suya (şehir şebeke suyuna) aktarılması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Söz konusu eşanjör sistemleri ise, sahanın ve akışkanın özelliğine göre kuyu başı ve kuyu içi eşanjörleri şeklinde, olabilmektedir. Bu eşanjör sistemler Şekil 2.3'te kuyu içi eşanjörlü ve Şekil 2.4'te ise kuyu dışı eşanjörlü ısıtma sistemi görülmektedir.

Isıtma sistemlerinin verimliliği, sürekliliği veya başarısı uygun teknolojinin seçilmesine bağlı bulunmaktadır.



“Şekil 2.3” Kuyu içi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi



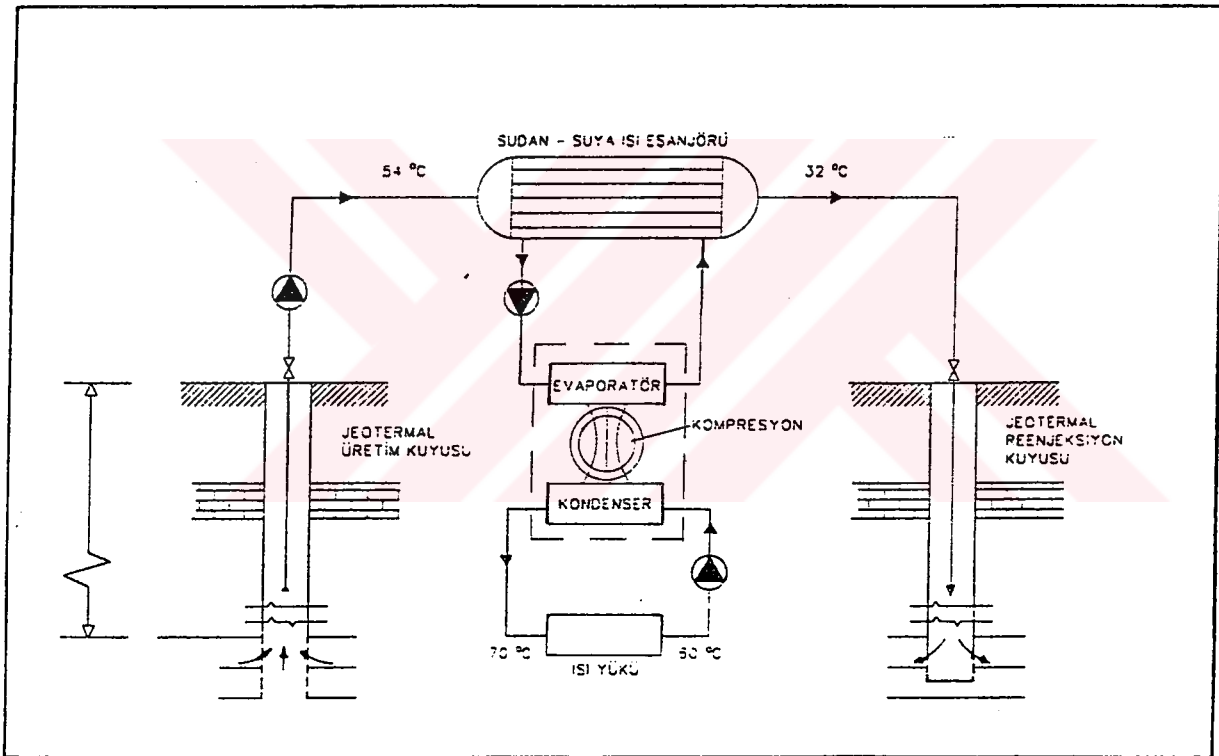
“Şekil 2.4” Kuyu dışı eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi

Kimyasal madde içeriğine göre, jeotermal akışkanlardan endüstride beyazlatıcı olarak veya kimyasal madde elde etmek amacıyla da yararlanılmaktadır.

Isı pompaları, daha derin kuyuların açılmasına alternatif olarak sıcaklıkların yükseltilmesinde kullanılmaktadır. Isı pompalarının kullanımında amaç, jeotermal akışkanın debisinin sınırlı olduğu durumlarda, ΔT 'yi (sıcaklık farkını) büyütürerek akışkandan daha fazla enerji alınmasıdır. Endüstriyel ısı pompaları, 15 ile 55°C arasındaki sıcaklıkları, tersinmez ısı pompası ilkesi ile yükselterek kullanılabilir seviyeye getirirler. Isı pompaları sayesinde günümüze kadar elde edilen en yüksek sıcaklık 110°C olmuştur (Şekil 2.5).

Genellikle sıcaklık yükseltilmesi 44 ile 50°C arasında (ısıtma suyu sıcaklığı ile atık jeotermal akışkan sıcaklığının farkı) olmaktadır.

Isı pompası uygulanarak, 30-55°C sıcaklıktaki jeotermal akışkanlar ekonomik olarak kullanıma sunulabilir. Isı pompası kullanan kapalı bir sistemle, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının ekonomisi karşılaştırıldığında, ısı pompası sisteminin hem ilk maliyetinin hem de yıllık işletme maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir (DPT, 1996).



“Şekil 2.5” Jeotermal ısı pompası sistemi örnek sıcaklık rejimi

2.5 jeotermal Enerji Teknolojisi

Bir jeotermal merkezi ısıtma sistemi, kuyular pompalar, jeotermal su taşıma hattı, eşanjör merkezi, şehir içi şebekesi, kontrol sistemi ve reenjeksiyon sisteminden meydana gelir.

Kuyubaşı sisemleri; dozajlama, üretim, pompalama (kuyuiçi ve kuyubaşı) ve gaz seperasyonu bölümlerini kapsamaktadır. Jeotermal akışkanın kimyasal kompozisyonuna göre gerektiğinde kuyuiçi, kuyubaşı ekipmanı, boru hattında meydana gelecek kabuklaşmayı engellemek için kuyu içine kimyasal madde dozajı yapılmaktadır.

Kuyunun artezyenik olup olmaması ve kuyubaşı basıncına bağlı olarak kuyuiçi pompası veya kuyubaşı pompalama sistemi için malzeme seçimi yapılmaktadır.

Jeotermal ısıtmanın yapılacağı yerin, yani uygulama yerinin jeotermal sahasının dışında olması durumunda, jeotermal suyun nakli direk olarak toprağa gömülen izolasyonlu özel paket borular aracılığı ile yapılmaktadır. Jeotermal su taşıma ana hattında 0,1-0,3 °C/km sıcaklık kaybı gradyanı başarı ile elde edilmektedir. Bu boru sisteminin düşük sıcaklık kaybı gradyanı özelliğinin yanı sıra, düşük basınç kaybı, daha iyi boru iç yüzey kalitesi, korozyona karşı mükemmel rezistans, daha az ısı uzama ve klasik beton ısı galerili sisteme göre daha düşük maliyet gibi avantajları vardır. Teknik ve ekonomik şartlar uygun olduğu durumda jeotermal su 150-200 km (kilometre) mesafeye teknik olarak taşınabilmektedir.

Jeotermal merkeze gelen jeotermal akışkanın enerjisi özel olarak dizayn edilmiş 1-1,5 °C yaklaşım sıcaklığına sahip çok yüksek verimli eşanjörle kapalı çevrimde sürkile eden temiz suya aktarılmaktadır. Bu eşanjör sistemi ise kuyubaşı ve kuyuiçi eşanjörleri şeklinde sahanın ve akışkanın özelliğine göre kurulmaktadır. Enerjisi aktarılan jeotermal su mevcut termal tesislere verilmekte veya reenjeksiyon boru hattı ile yeniden rezervuara gönderilmektedir. Böylece rezervuar ömrü artmakta ve bor tuzluluktan dolayı bitki örtüsüne zarar vermemektedir. Jeotermal akışkanın kimyasal özelliğine göre problem olmayacaksa ısıtma radyatör veya taban ısıtma sistemine direk uygulama ile sağlamaktadır. (Örnek olarak Rize -

Ayder Kültür Merkezi ve Kaplıca Tesisleri ve Haymana'da camii ısıtmasını verebiliriz). Şehir içi Şebekesi, kapalı genleŐmeli bir sistem olup, direk toprağa gömülen izolasyonlu özel paket borulardan oluşmaktadır. Őehiriçi Őebekesinde sıcaklık kaybı sadece 0,5  C/km olmaktadır.

Merkezi ısıtma sistemi Őebekesinde dengeli dağıtımı sağlayabilmek, gerekli olan debinin geçmesi ve sıcaklık kontrolünün yapılabilmesi için bina giriŐlerine debi ve dönüş sıcaklık kontrol cihazları monte edilmiştir.

Isıtma sistemlerinin verimliliği, sürekliliği ve teknolojisine uygun olarak kurulmasına ve iŐletilmesine bağlıdır. İŐletmenin sürekli denetlenmesi ve yönlendirilmesi zorunludur.

Jeotermal akışkanın kimyasal kompozisyonuna göre kullanılacak malzemeler seçilmektedir. Türkiye'deki jeotermal akışkanlar çoğunlukla kalsiyum-karbon veya kalsiyum-sülfat orijinli olmakta ve buna bağlı olarak da kabuklaşma problemi meydana gelmektedir. Türkiye'de bugünün teknoloji ile kabuklaŐmaya karşı jeotermal akışkanın kısmi basıncı arttırılarak CO₂ gazı, sıvı hale dönüŐtürülmekte veya üretim kuyusunun derinliklerine kimyasal inhibitör enjekte edilmektedir. Korozyona karşı alınan önlemler ise kısmen inhibitörün kullanımı, PE, PVC, PPC, epoxy cam elyaf veya polyester özel paket borular, paslanmaz  elik veya titanyum plaka tip eŐanjörlerinin kullanımı ile omaktadır.

Jeotermal akışkanın üretimi, taşınması ve ayrıŐtırılması esnasında meydana gelen CO₂ veya H₂O gaz korozyonuna karşı alınan önlemlerin başında ise yüksek basınç uygulaması, uygun plastik, epoxy cam elyaf ve 316 paslanmaz  elik boruların kullanılması gelmektedir (DPT, 1996).

2.6 Jeotermal Enerji Maliyeti

2.6.1 Birim  retim girdileri

Jeotermal enerjinin, elektrik üretimi ve ısıtmacılıkta kullanımına ilişkin önemli maliyet unsurları aşağıda belirtilmiştir.

Eletrik enerjisi üretiminde: İşçilik, bakım, iç tüketim, kimyasal madde ve kuyuların bakım giderleri (amortisman ve faiz hariç)...

Jeotermal ısıtma sistemlerinde: Elektrik enerjisi gideri, işçilik, bakım, kimyasal madde giderleri...

2.6.2 Maliyetler

Jeotermal enerji üretim maliyeti diğer enerji kaynaklarına oranla oldukça düşüktür. Entegre sistemler söz konusu olduğunda, maliyet daha da düşmektedir.

Jeotermal enerji yatırımları 5 kısımda incelenebilir:

- 1- Arama faaliyetleri (jeoloji, hidrojeoloji, jeofizik, jeokimya, sondaj, test),
- 2- Kuyudan üretim,
- 3- Üretimin kuyudan santrale (elektrik veya ısı) taşınması,
- 4- Santralda elektrik üretilmesi veya ısı enerjisinin kullanıma sokulması,
- 5- Yöresel, yasal ve diğer teknolojik koşullar.

İklim, vergiler, kuyu derinlikleri ve mesafeleri, akışkanın sıcaklığı ve niteliği (buhar yüzdesi veya sıcak su), kimyasal özellikleri, santral tipi, atık akışkanın entegre kullanımının varlığı veya yokluğu gibi faktörler maliyet üzerinde etkilidirler.

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde toplam maliyetin yaklaşık %40'ını arama faaliyetlerini de kapsayan rezervuar tesbit çalışmalarıyla üretim ve reenjeksiyon kuyularının açılması, %50'sini santral inşaatı, geri kalan %10'unu ise diğer faaliyetler oluşturmaktadır. Büyük kapasiteli jeotermal santraller (100MW) için maliyet, 1.000 US\$ kW, küçükler (2,5-10 MW) için ise, 1.250-1.500 US\$ kW olarak verilmektedir. Bugün için jeotermalden üretilen elektriğin tahmini birim maliyeti, 4-6 Cents/kWh arasındadır. Jeolojik yapı, buharın kalitesi, kuyu verimi ve santral tipi maliyete etki eden en önemli unsurlardır (DPT, 1996).

2.6.3 Fiyatlar

Uluslararası ticaretin olmaması nedeniyle, jeotermal enerjinin dünyadaki fiyatlarına ilişkin herhangi bir bilgi de bulunmamaktadır. Bununla birlikte, jeotermal enerji maliyetlerinin diğer enerji türleriyle kıyaslanması ve jeotermal akışkandan elde edilen kimyasal maddelerin ekonomik değerleri konusunda literatürden derlenen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Çeşitli ısıtma sistemlerinde ortalama maliyetler:

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1) Jeotermal bazlı | : 1 Cent/kWh ısı |
| 2) Fuel-Oil bazlı | : 6 Cent/kWh ısı |
| 3) Elektrik bazlı | : - |
| a) Ev Tarifesi | : 5 Cent/kWh ısı |
| b) Ticari tarife | : 9 Cent/kWh ısı |

Toplam çözünmüş maddelerin 10.000 ppm'den daha fazla olduğu akışkanlarda minerallerin değeri daha çok önem taşımaktadır.

Salton Sea’de (U.S.A) jeotermal akışkandan elde edilen minerallerin toplam üretim değeri 148 Milyon\$/yıl’dır (Dickson, 1993; DPT, 1996).

2.7 Stok Durumu

Teknolojik olarak jeotermal enerjinin stoklanması söz konusu değildir. Bununla birlikte, jeotermal alışılanlıklardan elde edilen kimyasal maddelerin stoklarından söz edilebilir. Jeotermal akışlardan üretilen, ticari değeri olan başlıca kimyasal maddeler, sıvı karbondioksit, kuru buz, sodyum klorür, potasyum klorür, kalsiyum klorür, çinko, bor, mangandioksit, lityum klorür, kalsiyum sülfat, stronsiyum sülfat, kurşun sülfat ve baryum sülfattır.

2.8 Türkiye’de Jeotermal Enerji Durumu

2.8.1 Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri

Ülkemizde dünyü standartlarına uygun olarak:

- a) Yüksek sıcaklıklı ($>150^{\circ}\text{C}$),
- b) Orta sıcaklıklı ($150-70^{\circ}\text{C}$) ve
- c) Düşük sıcaklıklı ($<70^{\circ}\text{C}$) olmak üzere birçok saha bulunmaktadır.

Türkiye’de 40°C’nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 140 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bunlardan Aydın-Germencik (200-232°C), Denizli-Kızıldere (200-212°C), Çanakkale-Tuzla (173°C), Aydın-Salavaltı (171°C) elektrik üretimine uygun, diğerleri ise merkezi ısıtmaya uygundur.

Yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan içeren sahalar genelde genç tektonik etkinlikler sonucu oluşan grabenlerden dolayı Türkiye’nin batısında yer almaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar ise volkanizmanın ve fay oluşumları etkisi ile Orta ve Doğu Anadolu’da ve Kuzey Anadolu fay hattı boyuncada Kuzeyde yer almaktadır.

Türkiye’de elektrik üretimine yönelik ilk uygulamalar, 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamış ve 1974’de 0.5 MWe kapasiteli pilot santral devreye girmiştir. Daha sonra 1984 yılında TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) tarafından 20.4 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. Aydın-Germencikte ise kapasitesi 50-100 MWe arasında değişebilecek bir santralin kurulmasına yönelik girişimler sürdürülmektedir.

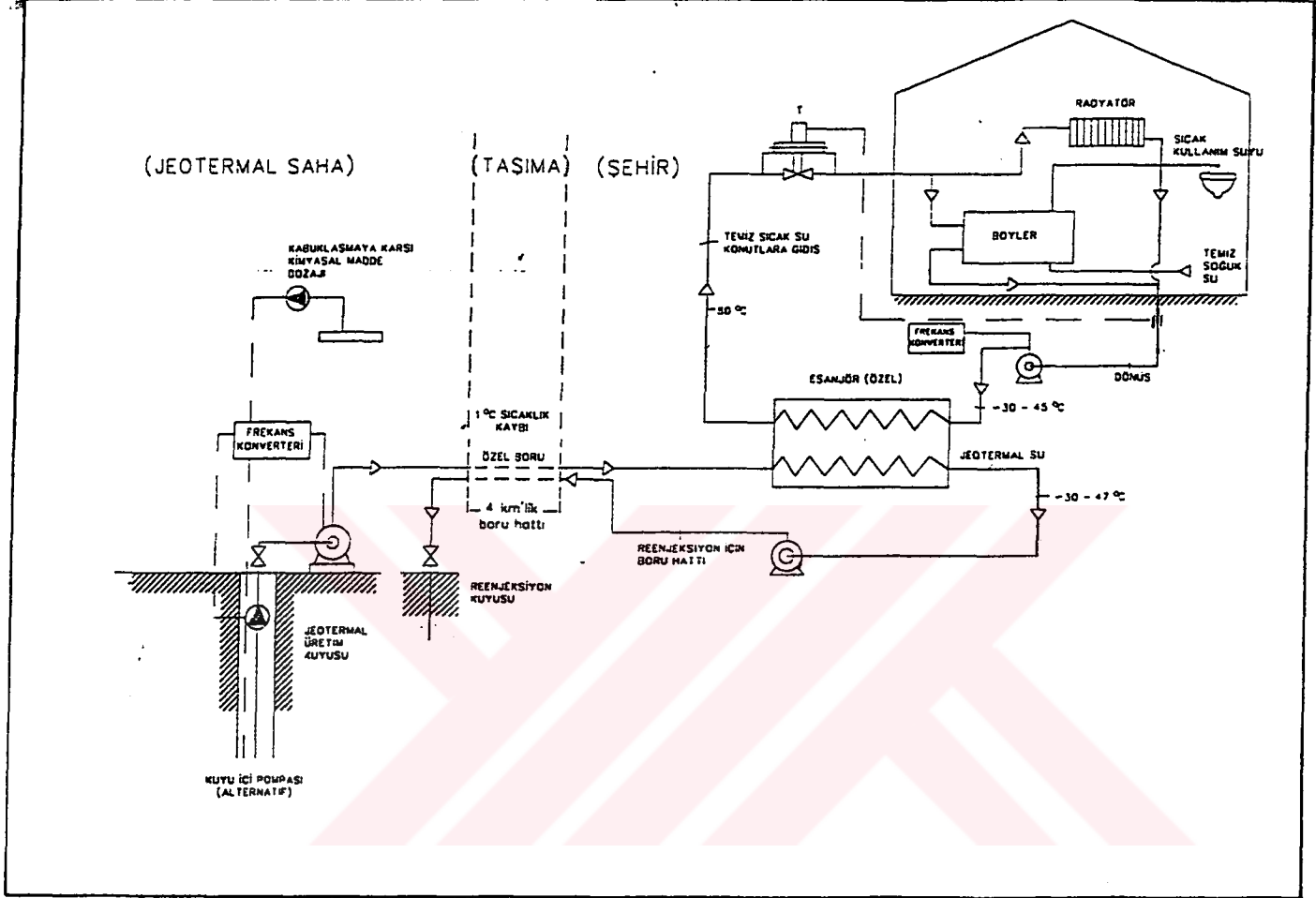
Türkiye’de jeotermal ısıtma uygulamaları 1964 yılında Gönen Park Otelinin ısıtması ile başlamıştır. Balıkesir-Gönen’de 1987 yılından beri 16,3 MW kapasiteli ısıtma (konutlar, sera ve otel) yapılmakta ve 54 adet tabakhane için sıcak proses suyu ihtiyacı karşılanmaktadır.

Türkiye’de halen işletilmekte olan jeotermal ısıtma sistemleri arasında, 17,8 MW kapasiteli Balçova termal tesisleri ve Dokuz Eylül Üniversitesi kampüs ısıtması, 66 MW kapasiteli Simav’da 1.etap 3.500 ve 2. etap toplam 6.500 konut ısıtma+sıcak su ve 2,2 MW kapasiteli Simav-Eynal termal tesisleri, kaplıca, otel ve sera jeotermal ısıtmaları en önemlilerini oluşturmaktadır. Simav jeotermal merkezi ısıtma sistemi gösterilmiştir (Şekil 2.6).

Toplam 1.800 konut kapasiteli Kırşehir Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi 29 Ekim 1993 tarihinde 500 konut eşdeğeri kapasiteyle devreye alınmıştır. Isıtılan konut sayısı her geçen gün artmaktadır.

İnşaat halinde olan başlıca jeotermal merkezi ısıtma sistemleri arasında 56 MW kapasiteli Dikili (7.000 konut ısıtma, 1.000 konut soğutma (air-conditioning), 3,37 MW kapasiteli

Çanakkale-Ezine-Kestanbol Termal Tesisleri ısıtması, 1,05 MW kapasiteli Afyon-Bolvadin kaplıca ve oteli jeotermal ısıtımları sayılabilir.



“Şekil 2.6” Simav jeotermal merkezi ısıtma sistemi (Mertoğlu, 1993)

Fizibilite ve projesi tamamlanmış olanlar arasında ise İzmir (168 MW, 25.000 konut ısıtma+sıcak su), Kozaklı (11,1 MW, 1.etap 1.100 konut ısıtması+sıcak su), Salihli (47 MW, 7.000 konut ısıtma ve 1.000 konut soğutma), Aydın (174 MW, 18.000 konut ısıtma ve 3.500 konut soğutma), Afyon (107,3 MW, 16.000 konut ısıtma ve sıcak su) , Kırşehir

(65 MW, toplam 6.400 konut ısıtma ve sıcak su), Simav (20 MW, toplam 80.000 m² sera ısıtması) sayılabilir.

“Çizelge 2.2” Türkiye’de jeotermal olarak merkezi ısıtma imkanı bulunan bazı yerleşim birimleri

AFYON	AKYAZI	AYDIN	BADEMLİ
BALÇOVA	BALIKESİR	BALYA	BİGADİÇ
BOLVADİN	BULDAN	BURSA	DENİZLİ
DİKİLİ	EDREMİT	EMET	ERCİŞ
ERZURUM	GEDİZ	GERMENCİK	GÜRE
HAVRAN	HAVZA	HİSARALAN	ILGIN
ILICA	İZMİR	KARACASU	KIZILCAHAMAM
KOZAKLI	KUZULUK	NAZİLLİ	SARAYKÖY
PAMUKÇU	PASINLER	REŞADİYE	SAKARYA
SALAVATLI	SALİHLİ	SANDIKLI	SEBEN
SEFERİHİSAR	SINDIRGI	SİVAS	SORGUN
SUSURLUK	TURGUTLU	YENİCE	YOZGAT

Türkiye’de jeotermal olarak merkezi ısıtma imkanı bulunan bazı yerleşim birimleri Çizelge 2.2’de belirtilmiştir

Şu anda Türkiye’de 120.000 konut ısıtması projelendirilmiştir ve halen 17.000 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır.

Bugünkü teknoloji ile 35°C’nin üzerindeki (ısı pompası hariç) jeotermal akışkanlar ile ısıtma yapılmaktadır. Buna örnek olarak, Havza Kaplıcaları, Haymana’da 2 adet caminin 43°C jeotermal akışkanla ısıtılması uygulaması, Afyon-Oruçoğlu termal tesisleri (48°C) ve Rize-Ayder kültür merkezi ve kaplıca tesisi (54°C) verilebilir. Türkiye’de kaynak sıcaklığı 40°C’nin üzerinde olan yaklaşık 140 saha bulunmaktadır (DPT, 1996).

2.8.2 Türkiye’de jeotermal enerji tüketim alanları

Türkiye’de jeotermal enerji, elektrik üretiminden, ısıtmacılığa, kimyasal madde üretimine (sıvı karbondioksit) ve deri işlemesine kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Bugüne kadar en önemli tüketim alanları ısıtmacılık (konut, sera) ve sağlık turizmi olmuştur. Türkiye’de toplam jeotermal enerji tüketiminin %87’sinin ısıtma amaçlı olduğu hesaplanmaktadır. Türkiye’deki jeotermal sahalarının %95’i ısıtmaya uygun niteliktedir.

En son yapılan uygulamalar da (1993) göz önüne alındığında Türkiye’de işletmeye alınmış merkezi ısıtma sistemleri ve termal tesis ısıtmalarının toplam kapasitesi 140 MW, inşaat halinde olan sistemlerin kapasitesi 90,4 MW, fizibilite çalışmaları tamamlanmış olan projelerin kapasitesi ise 635,56 MW düzeyindedir. Öte yandan mevcut kaynak ve kuyuların kapasitesi (atım sıcaklığı 35°C kabul edilmiştir) bugünkü verilere göre en az 1000 MW seviyesindedir. Bu değerlere göre, Türkiye’nin görülebilir mevcut kapasitesi 2.000 MW’a ulaşmaktadır.

2.8.3 Türkiye’de tüketim miktar ve değerleri

Ülkemizde jeotermal enerji, yukarıda söz edildiği gibi elektrik üretimi, ısıtmacılık, CO₂ üretimi ve sağlık turizmi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kızıldere’de bulunan ve 20 MWe kurulu güce sahip santralden üretilen elektriğin tamamı tüketilmektedir.

Isıtma amaçlı olarak kullanılan jeotermal kaynak alanlarında inşaat halinde ve kurulmuş olan ısıtma tesislerinin kapasiteleri aşağıda verilmiştir (DPT, 1996).

“Çizelge 2.3” İnşa halindeki jeotermal ısıtma sistemleri ve kapasiteleri

YER	KAPASİTE (MW)	AÇIKLAMA
Çanakkale-Ezine	3.37	Kestanbol termal tesisleri ısıtma
Balkesir- Pamukcu	1.60	Balpaş termal Tesisleri ısıtma
Kütahya-Yoncalı	0.93	Yoncalı termal tesisleri ısıtma
Afyon-Bolvadin	1.05	Kaplıca ve otel ısıtma
Dikili	56.00	Merkezi ısıtma ve soğutma
Kırşehir	18.25	1.800 konutluk merkezi ısıtma sistemi
Kütahya-Simav	12.20	15.00 konutluk merkezi ısıtma sistemi
TOPLAM	90.40	13.000 konut eşdeğer ısıtma

“Çizelge 2.4” Halen işletilmekte olan jeotermal ısıtma sistemleri ve kapasiteleri (DPT, 1996)

YER	KAPASİTE (MW)	AÇIKLAMA
Gönen	16.20	1.400 Konut eşdeğeri ısıtma, 2.000m ² sera ve 60 adet tabakhane
Balçova	17.80	Balçova termal tesisleri ve 9 Eylül Ün. Kmp. ısıtma
Kızılcahamam	0.76	Kaplıca oteli ısıtılması
Gediz	0.61	Kaplıcalar ısıtma sistemi
Havza	0.07	Türk hamamı ve kaplıca ısıtılması
Salihli	0.26	50 apt., otelin ısılması
Afyon Ömer	2.60	35 apt., otel, restoran, kaplıca, sera ısıtılması
Afyon Oruçoğlu	2.73	Otel ve kültür merkezi ısıtma sistemi
Afyon Gazlıgöl	0.64	Kaplıca tesisleri ısıtma
Simav	66.00	3.00/6.500 konut ısıtma ve sıcak su
Simav-Eynal	2.20	Termal, kaplıca, otel ve sera ısıtılması
Rize-Ayder	0.24	Kültür merkezi ısıtma
Diğerleri (Havran, Hüdai, Hisaralan vd.)	30.00	Bazı sera ve küçük kaplıca ısıtmaları
TOPLAM	140.00	20.000 konut eşdeğer ısıtma, 6.000m² sera ısıtma (1.00 m²'den büyük olan seralar toplamı)

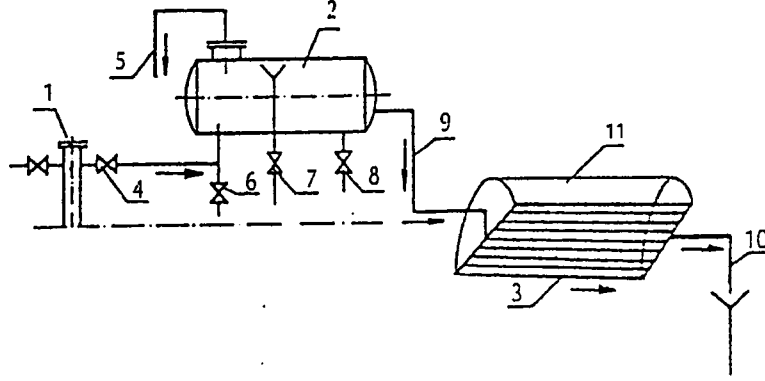
2.9 Seraların Jeotermal Enerjiyle Isıtılması

1970’li yılların sonunda ve 80’lik yılların başlagıcından ortaya çıkan enerji krizi, çiftçilerin gelirlerinin azalmasına, ekonomide durgunluğa ve diğer bazı olumsuz sonuçlara neden olmuştur. Bu durum Avrupa’daki tarımsal sektörü önemli ölçüde ısı tüketiminin fazla olduğu sera tarımına yönlendirmiştir. Bu durum, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına, bunlar arasında da önceliğin jeotermal enerjinin yer almasına neden olmuştur. Tarımda jeotermal enerjiyle düşük-sıcaklıklı ısıtmanın gerçekleştirildiği diğer kullanım alanları, toprak ve sulama suyunun ısıtılması, hayvan barınaklarında iklimlendirilme ve tarımsal ürünlerin kurutulmasıdır.

2.9.1 Jeotermal kaynağa bağlantı

Jeotermal kuyuya bağlantının tasarımında, kuyu ve sıcak suyun özellikleri ile bu enerji kaynağının son kullanım olanaklarının yatırım ve işletme giderlerini karşılanması etkilidir.

Sadece mineral içeriği az olan düşük sıcaklıktaki doğal su kaynakları ve kuyularda, bağlantı için basit ve ucuz tasarımlar uygulanabilir. Bu tasarımlar Şekil 2.7’de görüldüğü gibi sistemdeki su, toprak seviyesinden yukarıya yerleştirilmiş havası alınabilen bir depo içerisinde toplanır. Suyun iletim boruları ile ısıtma tesisatlarına akışı yerçekimiyle olur. Sistemde gerekli ısı miktarının ayarlanması ise vanaların elle açılıp-kapatılmasıyla gerçekleştirilir. Bu sistemler, basit toprak veya zemin üzerindeki ısıtma sistemlerinin uygulandığı ucuz plastik seralarda, üretimin daha düşük kalitede ürün gerektiren pazarlara yönelik olarak yapıldığı az gelişmiş ülke veya bölgelerde, erken ilkbaharda veya sonbaharın sonlarında seraların ısıtılması için kullanılabilir.

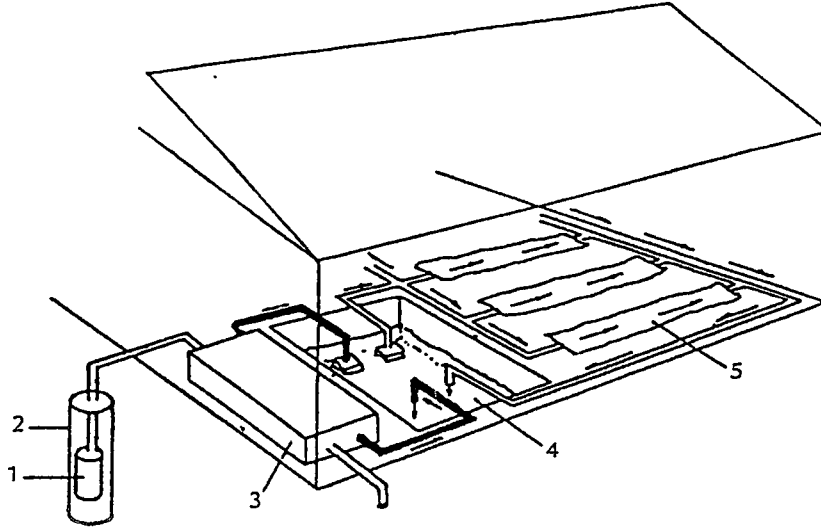


“Şekil 2.7” Jeotermal kuyuya basit bir şekilde doğrudan bağlantı

Şekil 2.7’de (1) Jeotermal kuyu; (2) sıcak su toplama tankı; (3) toprak ısıtma tesisatı; (4) bağlantı ve ayar vanası; (5) havalandırma borusu; (6) boşaltma vanası; (7) taşıma; (8) boşaltma vanası; (9) bağlantı borusu; (10) kullanılan suyun dışarıya bırakılması; (11) plastik sera.

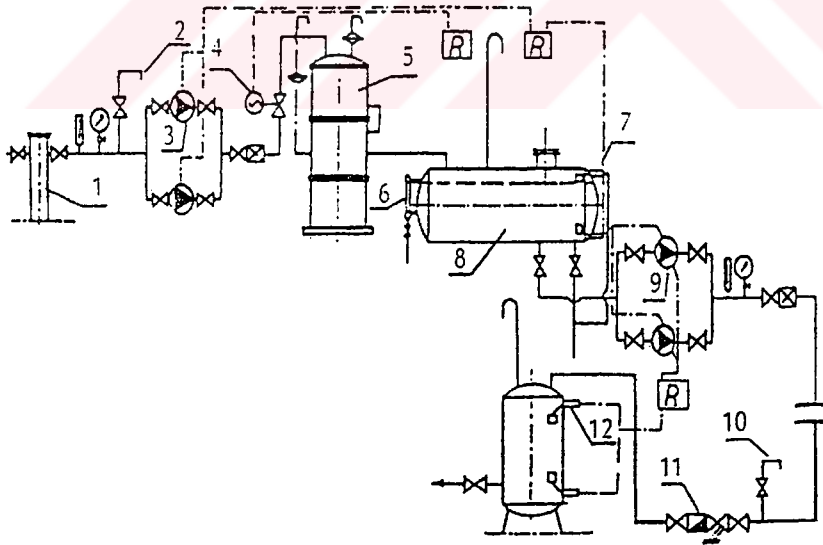
Jeotermal suyun mineral içeriği çok düşük ve üretim profilinin daha yüksek yatırımları olanaklı kıldığı durumlarda, ısıtma sistemlerinde daha ayrıntılı teknik tasarımlar uygulanabilir (Şekil 2.8).

Çevre korunumu ve sıcak suyun yüksek mineral içeriği ile ilgili sınırlamalar; CO₂ içeriğinin havalandırma ayarı, pH düzeyinin kontrolü, korozyona karşı koruma ve su akışının düzenlenmesinden oluşan çok karmaşık teknik çözümleri gerektirmektedir (Şekil 2.9). Kuyuya doğrudan veya dolaylı olarak bağlantı, ısıtma sisteminin açık veya kapalı şekli, sıcak suyun kalitesi, pompa ünitesi ve teknik donanım için kullanılan malzemelere bağlı olarak uygulamada çok farklı yapılar bulunabilir.



“Şekil 2.8” Jeotermal kuyuya doğrudan bağlantılı ısı pompası donanımı

Şekil 2.8’de (1)pompa; (2) kuyu; (3) ısı pompası; (4) su deposu; (5) plastik ısıtım malçlı ısıtma sistemi.

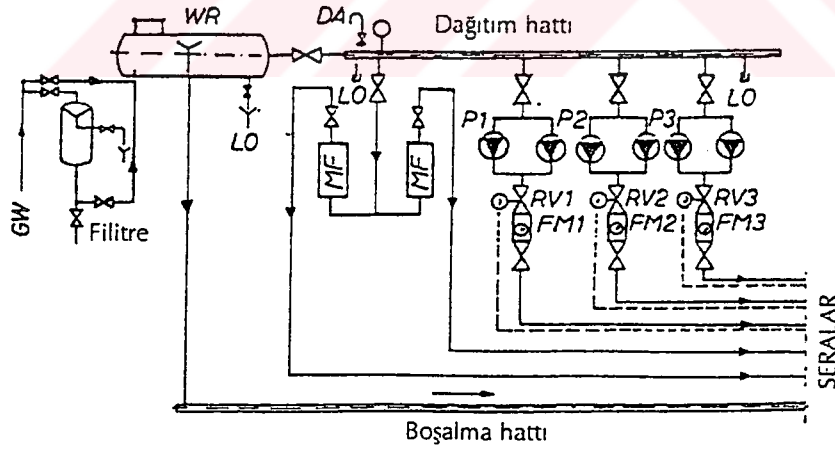


“Şekil 2.9” Seraların jeotermal enerjiyle ısıtılmasında kullanılan kontrol sistemi (Aksin, 1985)

Şekil 2.9’de (1) kuyu; (2) su örnek alma yeri; (3) pompalar; (4) elektromagnetik vana; (5) havalandırmasız depo; (6) seviye algılayıcı; (7) seviye düzenleyici; (8) su tankı; (9) pompalar; (10) su örnek alma yeri; (11) debi ölçer; (12) seviye düzenleyicisi.

2.9.2 Isı Sağlamada Düzenleme

Jeotermal kaynaktan sağlanan ısıнын elle ayarlanması, yüksek kaliteli sera üretimi için uygun değildir. Çünkü, bu durumda serada tam kontrollü sıcaklık sağlanamayabilir ve sürekli olarak çevrenin ısıl kirlenmesine neden olur. Serada yetiştirilen ürünler için seçici sıcaklık kontrolü gerektiğinde, iç ortam ve toprak sıcaklığına bağlı olarak sıcak suyun debisi ayarlanabilmelidir (Şekil 2.10).



“Şekil 2.10” Isı akışının düzenlendiği seralarda sıcaklık kontrolü

konvektör; PO4- toprak ısıtması; RBV- banyo tedavisi için su tankı; BO- aşırı ısı yükü karşılayan kazan

Bu jeotermal enerji tesisinde dört farklı ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Sulama suyunun ön ısıtması, temel ısı kaynağı olarak $+2^{\circ}\text{C}$ üzerindeki dış ortam kullanılarak yapılmaktadır. Dış ortam sıcaklığı $+2^{\circ}\text{C}$ 'den -5°C 'ye düştüğünde ısıtma kullanılan suyun sıcaklığını 70°C 'ye kadar yükseltmek için ısı pompaları çalıştırılır. Dış ortam sıcaklığı -5°C ile -18°C arasında gerçekleştiği durumlarda da, ısıtma suyunun sıcaklığını 90°C 'ye kadar yükseltmek için aşırı ısı yükünü karşılayan kazan tesisi çalışacaktır. Sulama suyunun ön ısıtması durumunda, tesiste kullanılan üç yönlü vana ile dışarıya bırakılan su sıcaklığının 22°C 'den daha yüksek olmaması sağlanır. Tesiste sıcak suyun kalitesi uygun olmadığından, ısıtma ünitelerinin kuyuya bağlantısı dolaylı olarak yapılır

2.9.3 Isı değiştiriciler

Seraların jeotermal enerjiye ısıtılmasında kullanılan ısıtma sistemlerinde, diğer alternatif enerji kaynaklarıyla yapılan uygulamalardakine benzer sorunlarla karşılaşılır. Örneğin, güneş enerjisi veya özellikle endüstriyel ısı atıklarının kullanılması durumunda, jeotermal enerjiyle ısıtma kullanılan düşük sıcaklıklı ısıtma sistemlerine benzer sistemler gerekmektedir.

Uygun sera ikliminin sağlanması için farklı tiplerde düşük-sıcaklıklı ısıtma sistemlerinin kullanılmasıyla; teknik, teknolojik ve tarımsal üretim açısından önemlidir. Sistemde ısıtma akışkanı olarak jeotermal su kullanılması durumunda belirlenen özellikler aşağıda verilmiştir.

1. Isıtma akışkanının sıcaklık derecesi, sıcak su kaynağının yani jeotermal kuyunun özellikleriyle belirlenir. Akışkanın sıcaklık derecesi, bütün yıl boyunca genellikle sabit ve ısıtma için uygundur. Bir çok durumda ısı suyun sıcaklığı 70°C 'den daha azdır.

2. Jeotermal suyun anma debisi de, kaynağın boşalma özelliklerine bağlı olarak genellikle sabittir. Ancak, belirlenen en yüksek debinin üzerinde kaynaktan su pompalanması durumunda, jeotermal ısı kaynağına, zarar verilebilir. Bütün yıl boyunca tüketiciler için gerekli ısı gereksiniminin karşılanmasıyla birlikte, jeotermal kaynağın korunması için gerekli önlemler de alınmalıdır.

3. Jeotermal enerji, genellikle sanıldığı gibi “temiz” bir enerji değildir. Isıtma sistemlerinin tasarımında, dışarıya bırakılan su sıcaklığının (ısıl kirlenmeye karşı korunum nedeniyle) belirlenen dereceyi aşmaması ve atık suyun kimyasal içeriğinde zehirli ve istenmeyen elementlerin olmaması dikkate alınmalıdır.

Çevre korunumuna ilişkin olarak, özellikle yüksek mineral içeriğine sahip sıcak suların kimyasal bileşimlerinin asitlik veya alkaliliğinin giderilmesi konusunda henüz arzulanan bir çözüm bulunamamıştır. Bu sorunların bir çoğu, teknik olarak mümkün olan atık suyun geri basılması ile önlenabilir.

2.9.4 Malzeme seçimi

Jeotermal enerjiyle sera ısıtmak için malzeme seçimi; ısıl kaynağın yapısı ve özellikleri ile serada yapılan üretime bağlı olarak iki farklı yaklaşım içerisinde incelenir:

1. Üretimin bölgesel tüketim için yapıldığı durumlarda, kısa ilkbahar ve sonbahar üretim dönemleri için, ucuz ve basit plastik seralarda jeotermal kuyuya doğrudan bağlantı yapılabildiği gibi, ısıtma donanımları da, ısı kaynağına doğrudan bağlanabilir.

2. Bütün yıl boyunca yüksek kaliteli ürün üretilmesi durumunda, yüksek yatırım giderlerini geri kazandırabilen ve okside olmayan çelikler gibi yüksek kaliteli malzemeler kullanılarak daha gelişmiş teknik tasarımların ve daha pahalı ısıtma sistemlerinin uygulanmasına olanak tanıyan tam kontrollü seralar kurulabilir.

Birinci grupta yer alan uygulamalar için, ekonomik nedenlerden dolayı fiberglas, sert ve yumuşak plastik malzemeler kullanılabilir. Seraların jeotermal enerjiyle ısıtılmasında kullanılmak üzere, plastik malzemelerden yapılmış çok sayıda ısıtma sistemi geliştirilmiştir. Bir çok Avrupa ülkesinde, plastik malzemeler, açıp-kapama ve ayar parçaları, fiberglas boru ve boru ısıtılmasında kullanılan, plastik malzemelerden yapılmış sudan-suya ısı dönüştürücülerin en önemli üstünlükleri, kimyasal kalitesi kötü olan ısı suların korozyonuna karşı dirençli olmaları ve kolayca tesis edilebilmeleridir. Güney Avrupa ülkelerinde olduğu gibi, sera ısıtılmasında yumuşak plastik malzemeler de sezonluk olarak kullanılmak üzere üreticiler tarafından kolayca yerleştirilebilir.

İkinci grup uygulamalarda, jeotermal kaynağa dolaylı bağlantı yapılabilir. Isıtma donanımlarında daha dayanıklı ve pahalı malzemeler kullanılabilir. Nadiren olası olan yalnız plastik malzemelerin kullanıldığı ısıtma sistemlerinde de mümkün olan sıcaklık farkı tam olarak sağlanabilir.

Isı kaynağına doğrudan bağlantı yapılması durumunda, ısıtma donanımlarında normal karbon çelikliğinden yapılmış malzemeler kullanılmaz. Bu malzemelerde düzenli bir şekilde korozyon oluşur ve bu durum önlenemez. Isıtma sisteminde zarar görmüş parçaların değiştirilmesi pahalı olup, ayrıca soğuk kış dönemlerinde sistemin her an arızalanması riski vardır. Bu nedenle daha pahalı olan dolaylı bağlantıların uygulanması gerektiği dikkate alınmalıdır. Plastik malzemelerden yapılmış basit donanımlar, demir malzemelerden yapılmış olanlardan daha üstün özelliklere sahiptir. Günümüzde, özellikle yöresel olarak mevcut jeotermal suların bileşimi nedeniyle, siyah demirden yapılmış donanımlara sahip çok az jeotermal ısıtma tesisi vardır (Popovski, 1987).

2.10 Çevre Sorunları

Jeotermal enerji, fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve

asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum öncelikle, jeotermal enerjinin çevre yönünden diğer enerji türlerine kıyasla sahip olduğu doğal üstünlüklerden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, jeotermal enerjinin kullanımıyla ilgili olarak söz konusu edilebilecek çevre sorunlarının çözümü konusunda son zamanlarda önemli gelişmelere sağlanmıştır. Bu durum, jeotermal enerjinin çevre açısından önemini daha da artırmıştır.

Jeotermal enerjiye dayalı modern santrallarda CO₂, NO_x, SO_x atımı çok düşük, düzeylere indirilmiştir. Özellikle merkezi ısıtma sistemlerinde söz konusu gazlarla ilgili sorun tümüyle çözümlenmiş durumdadır.

Yeni kuşak modern jeotermal santrallarda (Binary Cycle Sistem), yoğunlaşmayan gazları buharı içinden alıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yeraltına geri veren reenjeksiyon sistemleri vardır. Söz konusu modern jeotermal santrallar ile jeotermal ısıtma sistemlerinde dışarıya hiç bir atık bırakılmaz. Eski tip jeotermal santrallerde ise, üretilen her MWh elektrik için en fazla 0,136 kg karbon dışarı atılır. Bu değer, doğalgaz ile çalışan bir santralda 128 kg/MWh, 6 nolu fuel-oil ile çalışan bir santralda 190 kg/MWh, kömür ile çalışan bir santralda ise, 226 kg/MWh'dır.

Kömür yakıtlı santrallardaki CO₂ atımı, eski tip jeotermal santrallardakine oranla 1600 kat daha fazladır. Bu karşılaştırmalar, jeotermal enerjinin çevre yönünden sahip olduğu üstünlüğü açık olarak ortaya koymaktadır.

Eski tip jeotermal santrallar, fosil yakıtları ile çalışanların sadece %1'i kadar kükürt atarlar. Ayrıca azot-oksit atışı da fosil yakıtlı santrallara göre çok düşüktür.

Eski tip jeotermal santrallardaki parikül atımı, sadece soğutma kulelerinin içindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu da, kömür ve petrol yakan santrallardan 1000 kat daha azdır.

Sonuç olarak, yeni kuşak "Binary" jeotermal elektrik santralleri ile jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde, dışarıya gaz ve partikül olarak herhangi bir zararlı madde atılmaz.

Gelişen teknolojiye ve duyulan ihtiyaca göre atık su içindeki bazı kimyasal maddeler üretilerek, akışkan bu yönden de zararsız hale getirilebilmektedir. Ayrıca, atık akışkan dinlendirme havuzlarında bekletilerek bazı bileşenler havuzlarda çöktürülmekte ve su arındırılmaktadır. Denize yakın bazı jeotermal alanlarda ise, akışkan kimyasal yönden deniz suyu karakterindedir. Bu nedenle, bazı durumlarda atık suyun denize gönderilmesi bir sorun yaratmamaktadır. Atık suların tekrar yeraltına reenjeksiyonu ise, hem çevre hem de rezervuar parametrelerinin korunması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle birçok jeotermal alanda da bu yöntem uygulanmaktadır.

Sıcaklık ve gürültü; jeotermal sahalar genellikle yerleşim alanlarında uzakta olmaları nedeniyle, bu konuda önemli problemler yaratmamaktadırlar.

2.10.1 Türkiye’de jeotermal enerji çevre sorunları

Jeotermal enerji, fosil yakıtların tüketimiyle ilgili olarak ortaya çıkan sera etkisi ve asit yağmuru gazlarının atmosfere atılmasından doğan çevre sorunlarının önlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Jeotermal enerjiye dayalı modern elektrik santrallerinde CO₂, NO_x, SO_x atımı çok düşük düzeylerde dir. Merkezi ısıtma sistemlerinde ise, söz konusu gazların deş arj miktarları sıfır değerine indirilmiştir.

Eski tip jeotermal santraller, üretilen her MWh elektrik için en fazla 0,136 Kg karbon dışarı verirler. Bu değer konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında (doğalgaz ile çalışan bir santral için 128 Kg/MWh, 6 nolu fuel-oil ile çalışan bir santral için 190 Kg/MWh ve kömür ile çalışan bir santral için ise, 226 Kg/MWh jeotermal enerjinin zararlı atık deş arjı yönünden sahip olduğu üstünlük açıkça ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, yeni kuş ak jeotermal santrallerde (Binary Cycle Sistem), yoğunlaşmayan gazları buharın içinden alıp, kullanılmış

jeotermal akışkan ile birlikte yeraltına geri veren reenjeksiyon sistemleri bulunmaktadır. Bu tür santraller ile jeotermal ısıtma sistemlerinde atık sorunu tümüyle çözülmüş durumdadır.

Kömür yakıtı santrallerdeki CO₂ atımı, eski tip jeotermal santrallerdekine oranla dahi 1600 kat daha fazladır. Bu karşılaştırmaların ışığında, jeotermal enerjinin avantajı kesin olarak görülebilmektedir.

Eski tip jeotermal santraller, fosil yakıtlar ile çalışanların sadece %1'i kadar kükürt atmaktadırlar. Ayrıca azot-oksit atışı da fosil yakıtlı santrallara göre daha düşüktür.

Eski tip jeotermal santrallerdeki partikül atımı, sadece soğutma kulelerinin içindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu da, kömür ve petrol yakan santrallerden 1000 kat daha düşüktür.

ABD ve Avrupa'da birçok yerleşim bölgesinde fuel-oil veya kömüre dayalı merkezi şehir ısıtma sistemleri bulunmaktadır. Bunlar hava kirliliğini önleyen ve buna ilaveten yakıt ekonomisi sağlayan alt yapı tesisleridir. Bu merkezi ısıtma sistemlerinin ucuz ısı kaynağı olan jeotermal enerjiye dayalı hale getirilmesi durumunda, çevre ve ülke ekonomisi açısından çok daha ileri düzeyde olumlu sonuçlar almak mümkün olabilecektir.

Türkiye'de şu anda (1993), Gönen ve Simav'dan başka merkezi şehir ısıtma sistemi bulunmamaktadır. Buna karşılık, Türkiye, jeotermal enerji (ısıtma amaçlı) potansiyeli açısından, dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır.

Jeotermal enerji yeni ve yenilenebilen bir enerji türü olup, Türkiye potansiyelinin yaklaşık %95'i ısıtmaya uygun niteliktedir. Söz konusu potansiyelin değerlendirilmesi, özellikle ısıtmacılıkla ilişkili hava kirliliği sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de, jeotermal enerjinin üretilmesi ve kullanılmasıyla ilişkili çevre sorunlarının önlenmesi konusunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Gelişen teknolojiye ve duyulan ihtiyaca göre atık su içindeki bazı kimyasal maddeler üretilerek, akışkan bu yönden zararsız hale getirilebilmektedir. Ayrıca, atık akışkan dinlendirme havuzlarında

bekletilerek bazı bileşenler havuzlarda çöktürülmekte ve su arındırılmaktadır. Denize yakın bazı jeotermal alanlarda ise, akışkan kimyasal yönden deniz suyu karakterindedir. Bu nedenle, bazı durumlarda atık suyun denize gönderilemesi bir sorun yaratmamaktadır. Atık suların tekrar yeraltına reenjeksiyonu ise, hem çevre hem de rezervuar parametrelerinin korunması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, Türkiye’de de reenjeksiyon uygulamalarının yaygınlaştırılmasına önem verilmelidir (DPT, 1996).

2.11 Jeotermal Enerji Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri

1. Finansman, yedek parça ve makina donanımı:

Jeotermal enerji aramalarından, gerekli etütlerden sonra sahadaki gerçek potansiyeli bilerlemek amacıyla sığı ve derin sondajlar yapılmaktadır. Finansman güçlüğü nedeneiyle derin sondaj makinası ve yedek parçalarının sağlanamaması çalışmaları büyük ölçüde aksatmaktadır

2. Yetişmiş elemanların devlet sektöründe tutulmaması:

Konuda deneyim kazanmış ve kurslara katılmış elemanlar çeşitli nedenlerle kamu sektöründen ayrılmakta ve bu nedenle zaman zaman uzman kadro sıkıntısı çekilmektedir.

3. Kimyasal sorunlar:

a) **Atık akışkan sorun:** Sondajlı çalışmalar sonucu üretilen akışkanda zaman zaman kimyasal kirleticilerle karşılaşmaktadır (bor vb.). Ancak bu problem, uygun koşullarda reenjeksiyon yapılarak aşılmaktadır.

b) **Kabuklaşma ve korozyon sorunu :** Kuyu içinde ve tesisatta basıncın yüksek tutulması

veya kimyasal inhibitör enjekte edilmesi sonucunda CaCO_3 kabuklaşmasına ekonomik şekilde engel olunmaktadır.

5. En önemli sorunlardan birisi de jeotermal enerjinin araması ve üretilmesi konusundaki yasal boşluktur:

Özellikleri nedeniyle, halen yürürlükte olan madın, yeraltı suları, kaplıcalar ve maden suları ile ilgili yasaklar çerçevesinde ele alınmasında büyük sakıncalar olan bu kaynak için hazırlanmış olan yasa taslağının bir an önce yasalaşmasının sağlanması, ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olan jeotermal kaynakların geliştirilmesi açısından büyük yarar sağlayacaktır. Ayrıca, kaynakların bilinçsizce kullanılması engellenecek ve israfının önlenmesi mümkün olabilecektir (Şamilgil, 1993; DPT, 1996).



3. RÜZGÂR ENERJİSİ

Yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarının çoğu fosil kaynaklı olup, rezervleri gün geçtikçe azalmaktadır. Bu kaynaklar gelecek için ölü enerji kaynaklarıdır. Bu nedenle mevcut kaynakların ekonomik bir şekilde kullanılmasının yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi daha da artmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisinin pek yeni olmamakla beraber, yüzyıllardır kullanılan rüzgâr enerjisinin önemli bir yeri vardır. Rüzgâr enerjisinin üstünlüğü yaygın ve tükenmez oluşundan kaynaklanmaktadır. Rüzgâr enerjisi diğer enerji biçimlerine çevrilirken kirlenmeye yol açmaz. Ancak rüzgârın düzensiz ve yoğunluğunun küçük oluşu dezavantajlarıdır.

Rüzgâr enerjisinden istenilen düzeyde yararlanmak için; uygun dizayn, inşa usûlleri ve tesis yeri seçimi gibi içiçe olan öğelerden meydana gelen meseleye, üç ana aşamada yaklaşmak gerekmektedir.

1. Tesisin kurulacağı yörede rüzgâr ölçümleri yapılarak rüzgâr karakteristiklerinin tayini ve yer seçimi.
2. Amaçlara ve rüzgâr karakteristiklerine uygun rüzgâr tahrikli makinaların dizaynı ve geliştirilmesi.
3. Sistemin enerji depolamasına ihtiyaç göstermeden, verimli olarak çalışmasının temini.

Bu çalışmada, kaynak yayınlardan yararlanarak rüzgâr enerjisi, dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisinin önemi, rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisini depolama yöntemleri, rüzgâr enerjisindeki gelişmeler, rüzgâr enerjisi kullanım alanları ve rüzgâr enerjisinin çevreye etkisi üzerinde durulmuştur.

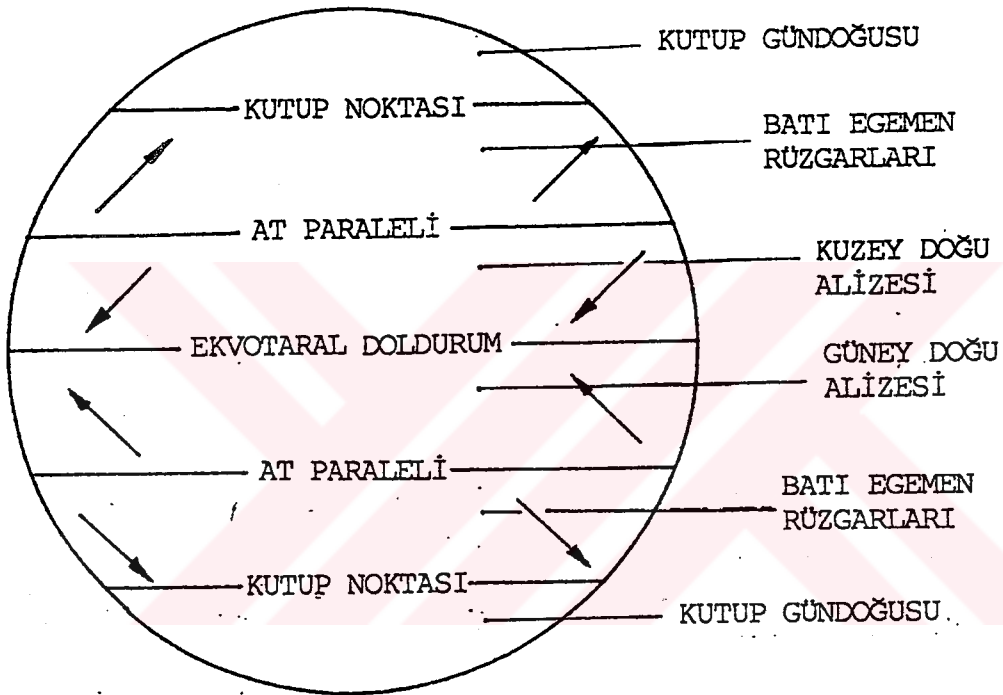
3.1 Rüzgâr Enerjisi Kaynakları

Rüzgâr enerjisi güneş enerjisinin bir şeklidir. Rüzgârlar, yeryüzündeki farklı güneş ısı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Dünyanın bir kısmında hava, kara ve deniz ısınırken, diğer yüzeyinde soğuma görülür. Dünyanın günlük dönüş hareketi nedeni ile bu ısınma ve soğuma periyodik bir şekilde devam eder. Dünyanın güneşe bağlı eksenen eğiminin mevsimlere göre değişmesi, ısı enejinin günlük dağılımının mevsimden mevsime farklılık göstermesine neden olur.

Güneş enerjisinin absorbesi, ekvator yakınlarında kutuplardakine nazaran daha farklıdır. Daha hafif ve sıcak olan hava, ekvator'dan yükselerek kutuplara doğru akar. Bu havanın yerini, kutuplardan dönen soğuk ve ağır hava alır. Dünyanın batıdan doğuya dönüşü nedeni ile, kuzeye akan hava doğuya, güneye akan hava da batıya sapar. Kuzeye akan hava 30° kuzey paraleline geldiğinde tamamen doğuya dönmüş olur. Bu hava akımlarına “ Batı Egemen Rüzgârları” adı verilir. 30° kuzey paralelindeki sıcak iklim ve yüksek basınç nedeniyle hava bu paralelde birikmek ister. Bir kısım hava, yine bu yüksek basıncın etkisiyle güneye akar. Bu da dünyanın dönüşü ile batıya saparak “Alize Rüzgârları”nı oluştururlar. 50° kuzey paralelinin üstünde “Kutup Gündoğusu Rüzgârları”nın oluşumunda da aynı etki vardır. Ekvatorun güneyinde de aynı sebeplerle çeşitli hava akımları oluşur. Yerel rüzgâr sirkülasyonunun şematik gösterilişi Şekil 3.1’de verilmiştir.

Dünyanın bütün yüzeyi güneş ısına aynı şekilde tepki göstermez. Örneğin bir okyanus, yüksek ısı kapasitesi nedeni ile bitişik bulunduğu karadan daha yavaş ısınır ve aynı şekilde karadan daha yavaş soğur. Bu farklı ısıma ve soğuma hızları, okyanus gibi veya kara parçalarının nem karakteristikleri ve sıcaklıklarıyla beslenmiş büyük hava kitleleri oluşturur. Bu hava kitleleri dünya yüzey boyunca rüzgâr sirkülasyonu modeline uyarak yayılırlar. Sıcak hava kitleleriyle soğuk hava kitlelerinin karşılaşmaları, enerji kaynağı olarak kullanılan yerel rüzgârların oluşmasına neden olur. Düşük ısı kapasitesi nedeni ile kara parçasının sıcaklığı güneşin etkisiyle artar veya azalır. Gece olduğu zaman radyasyon denizdekine nazaran daha hızlı olur. Bu yüzden sahile nazaran deniz suyu gündüz daha soğuk gece daha sıcaktır. Bu

sıcaklık farkı nedeniyle oluşan rüzgârlara “Deniz - Kara Meltemleri” adı verilir. Gündüz özellikle öğleden sonra sıcak hava kara üzerinde yükselir ve yerini deniz üzerindeki soğuk hava alır. Böylece karaya doğru “Deniz Meltemleri” adı verilen rüzgârlar eser. Gece olunca ise, karadan denize doğru, “Kara Meltemleri” adı verilen rüzgârlar oluşur. Deniz meltemleri daha güçlü olduğundan (3-8 m/s) rüzgâr enerjisi kaynağı olarak kullanılabilirler. Gece meltemleri ise daha düşük hızlıdır (2-4 m/s).



“Şekil 3.1” Yerel rüzgâr sirkülasyonu

Sahillerde oluşan rüzgârlara benzer şekilde, dağlık yörelerde de “Dağ-Vadi Meltemleri” adı verilen sıcaklık kökenli rüzgârlar oluşur. Serin hava dağ yüzeyi boyunca yükseldikçe, sabah güneşinin etkisiyle artan sıcaklık ve nemin etkisine maruz kalarak ısınır. Böylece, dağ yüzeyinin eğimine bağlı olarak yükselen bir hava kütlesi oluşur. Böylece vadideki hava

kütlesi dağa doğru yükselir. Gece bu olay tersi olarak hüküm sürer. Bu rüzgârlar enerji kaynağı olarak yetersizdirler. Ancak bazı bölgelerde faydalı olabilirler (Dirican, 1987).

3.1.1 Rüzgârın özellikleri

Rüzgâr etrafına yaptığı etki ile fark edilebilir. Rüzgâr, tesirleri bakımından üç özelliği bulunan bir iklim elemanıdır.

1. Rüzgârın hızı,
2. Rüzgârın yönü.
3. Rüzgârın frekansı.

Rüzgâr hızını etkileyen faktörler ise sırası ile şunlardır:

1. Coğrafi konum.
2. Yerel yüzey yapısı.
3. Yer yüzünde olan yükseklik.

3.1.2 Rüzgâr enerjisi ve gücü

Hareket halindeki herşey bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgâr, hareket halindeki havadır. Belirli bir yöredeki rüzgâr enerjisi de kinetik enerjisi formülü ile belirlenebilir.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ort}^2 \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır.

ρ = Birim hacim için hava kütlesi : (kg/m³)

V_{ort} = Ortalama rüzgâr hızı : (m/sn)

$$\text{Hacımsel debi} = A \cdot V_{ort} \quad (3.2)$$

A = Rüzgâr yönündeki dik alan : (m²)

Rüzgâr tarafından süpürülen birim türbin alandan elde edilen enerji;

$A = 1 \text{ m}^2$ için;

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ort}^3 \quad (3.3)$$

Yoğunluk fonksiyon katsayısı = K ;

$$K = \frac{1}{2} \cdot \rho$$

şeklindedir.

Bu katsayı, havanın yoğunluğuna, yani havanın kütlesinin sıcaklık ve basıncına bağlıdır.

K : 0,53-0,64 değerleri arasındadır.

$$P_w = K \cdot V_{ort}^3 \quad (3 . 4)$$

Buradan çıkarılacak en önemli sonuç, rüzgâr gücünün, rüzgâr hızının kübüyle orantılı ve havanın yoğunluğuna bağlı olarak olarak değişmesidir (EİE, 1994).

3. 2 Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, dünyanın en ucuz ve bol elektrik kaynağı olmaya aday olan alternatif enerjilerin başında gelmektedir. Gelecek yüzyıllarda rüzgâr gücünün, dünya elektriğinin %10'unu karşılaması beklenmektedir. Rüzgâr 1990'ların sonunda en ucuz enerji kaynağı olacaktır. Çünkü maliyetler hızla düşmektedir. Bunu rakamlarla anlatmak gerekirse, 1980'lerden günümüze kadar rüzgârdan üretilen elektriğin maliyetinde 3-4 katlık düşüş olmuştur. Şu andaki maliyeti 0,05-0,065 ECU/kWh'dır. Ticari rüzgâr türbinlerinin boyutu 22-55 kW'den yaklaşık 750 kW'a kadar artmıştır. Rüzgâr türbinlerinin emre amadeliği (availability) 1981'de %60 iken bu süre günümüzde %95-98'e varan bir gelişim göstermiştir (TÜREB, 1997).

Avrupa Birliği 2000 yılına kadar Avrupa'da enerjinin 4.000 MW'lık kısmının, 2030 yılına kadar ise 100.000 MW'lık kısmının rüzgârdan elde edilmesini planlamaktadır. Bu ise, yedi

yıllık dönem içinde rüzgâr enerjisi alanında 3,1 milyar dolarlık bir yatırım pazarı anlamına gelmektedir.

Rüzgâr enerjisi potansiyeli olan uluslarla, olmayanlar arasında yeni bir rekabet alanı doğması beklenmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri arasında en çok İngiltere'nin bu enerjiyi kullanma imkanı olmakla beraber, bu kapasiteyi kullanmakta yavaş davranmaktadır. Meksika, Çin ve Hindistan'ın da bu alanda önemli bir potansiyeli vardır. Hindistan 20.000 MW'lık potansiyelini 500 MW daha eklemeyi düşünmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin elektriğe olan gereksinimleri %7 oranında artarken, bu oran gelişmiş ülkeler için %2'dir. Meksika'da rüzgâr enerjisinin elektrik elde edilmesi ile ilgilenen NewWord Entec firması, Meksika hükümetine ücra bölgelerdeki çiftliklere küçük üretim istasyonları kurulması için yardım etmektedir. Böylece, bu ücra bölgelerin merkezi sisteme bağlanması için milyarlar harcamaya gerek kalmayacaktır. Gerçekten de Meksika'nın 5.000 MW'lık potansiyeli kırsal alana elektrik götürme planı rüzgâr enerjisine dayandırılmaktadır.

Yetkililere göre, rüzgâr enerjisinin maliyetindeki düşüş, rüzgâr türbini teknolojisinin geliştirilmesi, kurulması ve işletilmesi ile ilgili yöntemlerden kaynaklanmıştır. 1980'lerde türbin araştırması herbiri 5 MW üretebilen büyük cihazlar üzerinde yoğunlaştırılmıştı. Bu cihazlar ise ekonomik değildi. Küçük rüzgâr makinalarının da güvenilir olduğu ancak zamanla anlaşılmıştır. 100 KW'lık türbinler dünyü çapında, uzak güç sistemleri için kullanılırken, 150 - 500 KW'lık olan cihazlar rüzgâr santrallerinde kullanılmaktadır (Oralalp, 1994).

3.2.1 Türkiye'de rüzgâr enerjisi

Türkiye'de yerden 10 m yükseklikte yapılan rüzgâr ölçümlerine göre yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,54 m / s ve rüzgâr gücü yoğunluğu 24 W/m² 'dir. Rüzgâr enerjisi açısından en zengin

bölge, yıllık 3,29 m/s hız ve 51,91 W/m² güç yoğunluğu ile Marmara Bölgesi, en fakir bölge de 2,12 m/s hız ve 13,19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anadolu Bölgesidir.

Elektrik İşleri Etüt (E.İ.E.) İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından 1992 yılında yapılan araştırmaların sonucunda, bölgelere göre ortalama rüzgâr gücü yoğunlukları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

“Çizelge 3.1” Bölgelere göre ortalama rüzgâr gücü yoğunlukları (E.İ.E, 1992)

BÖLGE ADI	ORTALAMA RÜZGÂR GÜCÜ YOĞUNLUĞU (W/m ²)
AKDENİZ BÖLGESİ	21.36
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	20.14
EGE BÖLGESİ	23.47
KARADENİZ BÖLGESİ	21.31
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	13.19
GÜNEY DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	29.33
MARMARA BÖLGESİ	51.91

Alansal olarak Türkiye’nin %89,3’ünde yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğunun 40 W/m² düzeyinin altında kalırken, %10,7’sinde 40 W/m² düzeyinin üzerine çıkmakta, %0,8’inde ise 100 W/m²’yi aşmaktadır. Bu değerin 294.1 W/m²’ye ulaştığı yerler vardır. Özellikle 8 kent için rüzgâr enerjisi verilerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Türkiye’nin rüzgâr enerjisi bürüt

"Çizelge 3.2" Aylık bazda, uzun yıllar ortalama rüzgâr hızları

İSTASYON	ÖLÇÜM ARALIĞI	ALET YÜKS. m	OCAK	ŞUB.	MART	NİS.	MAY.	HAZ.	TEM.	AĞU.	EYL.	EKİM	KAS.	ARA.	YILLIK
Çiğli	1968-82	10	4,4	4,5	4,1	4,1	3,6	3,9	4,2	4,1	3,9	3,7	4,0	4,4	4,1
Çorlu	1969-82	10	4,9	5,0	4,4	3,4	3,2	3,7	4,1	4,1	4,1	4,4	3,8	4,2	4,0
Bodrum	1966-82	10	4,4	4,2	4,1	3,7	3,9	3,5	4,1	3,9	3,2	3,1	3,5	4,5	3,8
Bandırma	1966-82	10	5,6	5,6	5,4	4,3	4,3	4,5	5,7	6,1	5,7	5,5	4,5	5,1	5,2
Bozcaada	1973-82	10	7,8	7,8	6,5	5,4	5,0	4,7	5,9	6,3	5,9	6,5	6,3	7,5	6,3
Antayka	1967-82	10	3,3	3,4	3,4	4,2	4,8	6,4	7,6	7,3	5,0	3,1	2,6	2,9	4,5
Sinop	1960-82	10	4,3	5,0	5,0	4,7	3,9	3,9	4,1	4,0	3,8	3,9	4,1	4,6	4,3
Ç.Kale	1964-82	10	4,6	4,7	4,3	3,9	3,5	3,4	3,9	3,5	3,8	4,0	4,1	4,7	4,0
Ayvalık	1968-82	10	3,0	3,3	2,8	2,8	2,5	2,9	3,9	3,9	3,3	2,8	2,6	2,7	3,0
İmroz	1968-82	10	5,1	5,1	4,5	3,7	3,0	2,8	3,5	3,8	3,8	4,1	4,1	4,7	4,0
Kuşadası	1967-82	10	3,6	3,6	3,2	2,9	2,5	2,5	2,7	2,7	2,5	2,5	3,0	3,6	2,9
Uludağ (Zirve)	1973-82	10	3,2	3,0	2,9	2,8	2,5	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	3,0	3,2	2,8

potansiyeli 400 TWh/yıl (brüt hidrolik potansiyelin %92'si) ve teknik potansiyeli 120 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Kullanılabilir minimum potansiyel ise 12 TWh/yıl kadardır.

Rüzgâr enerjisi açısından zengin sayılabilecek yörelerdeki, rüzgâr hızlarının aylık ve uzun yıllar bazında ortalama değerleri gösterilmektedir (Çizelge 3.2).

Resmi istatistiklere göre, Türkiye’de rüzgâr gücünden enerji üretimi gözükmemekte ise de, 1993’te mekanik ve elektrik uygulamalar ile 0,002 TWh üretim yapılmıştır. Kalkınma planında rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri ile Türkiye’de kurulu rüzgâr gücünün 1995’de 1 MW, 2000’de 10 MW, 2005’de 20 MW, 2010’da 50 MW olması planlanmıştır. Böylece rüzgârdan elde edilecek elektrik 1995’de 3,7 GWh, 200’de 36,7 GWh, 2005’de 73,3 GWh, 2010’da 183,3 GWh’dır.

Rüzgâr enerjisi kırsal kesimde kullanıma uygun bir kaynaktır. Kırsal kesimde kullanılabilecek rüzgâr potansiyeli 10 TWh/yıl düzeyindedir. Bunun 8 TWh’ının 2050 yılında değerlendirilmesi gerektiğini enerji modeli bulguları göstermektedir. Söz konusu üretim için 3500 MW (mekanik + elektrik) kurulu güce ihtiyaç vardır (Dirican, 1987).

3.3 Rüzgâr Makinaları

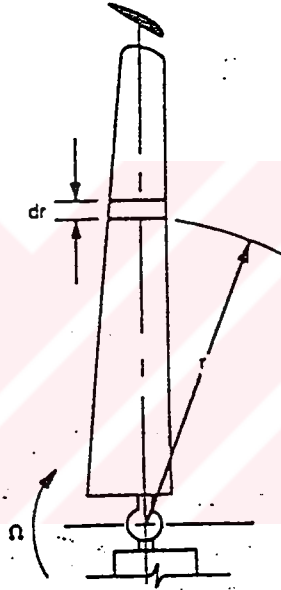
Rüzgâr makinalarını rotor ekseninin yeryüzüne göre konumunu dikkate alarak iki agrupta sınıflandırabiliriz.

1.Yatay eksenli rüzgâr makinaları (YERM)

2.Düşey eksenli rüzgâr makinaları (DERM)

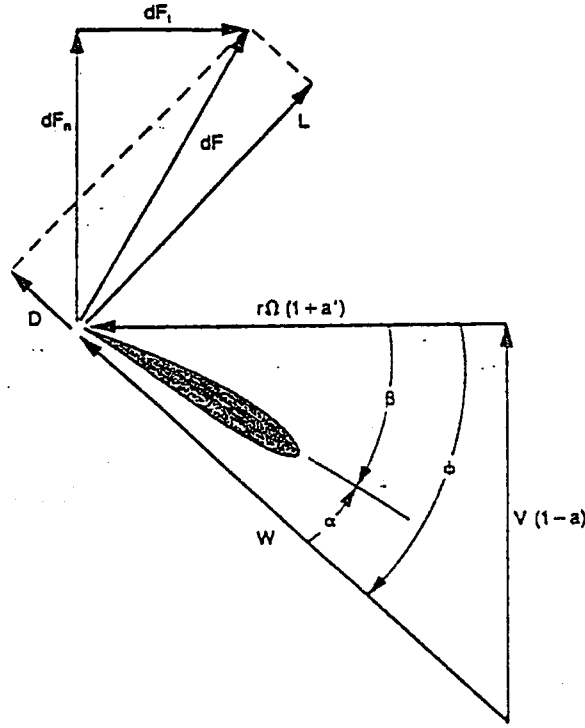
3.3.1 Yatay Eksenli Rüzgâr Makinaları

YERM türbin kanadının önden görünüşü Şekil 3.2’de, kanat profilinin kuvvet dağılımı Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



“Şekil 3.2” YERM Türbin kanadının önden görünüşü

Bu tip makinaların rotorları maksimum enerjiyi tutabilmek için rüzgâr akışına dik olarak durmalıdırlar. Rüzgârı önden alan sistemlerde kılavuz kuyruk vasıtasıyla rotor rüzgâra karşı yönlendirilir. Kanatlardaki kaldırma kuvvetleri rotorun dönmesini sağlar.



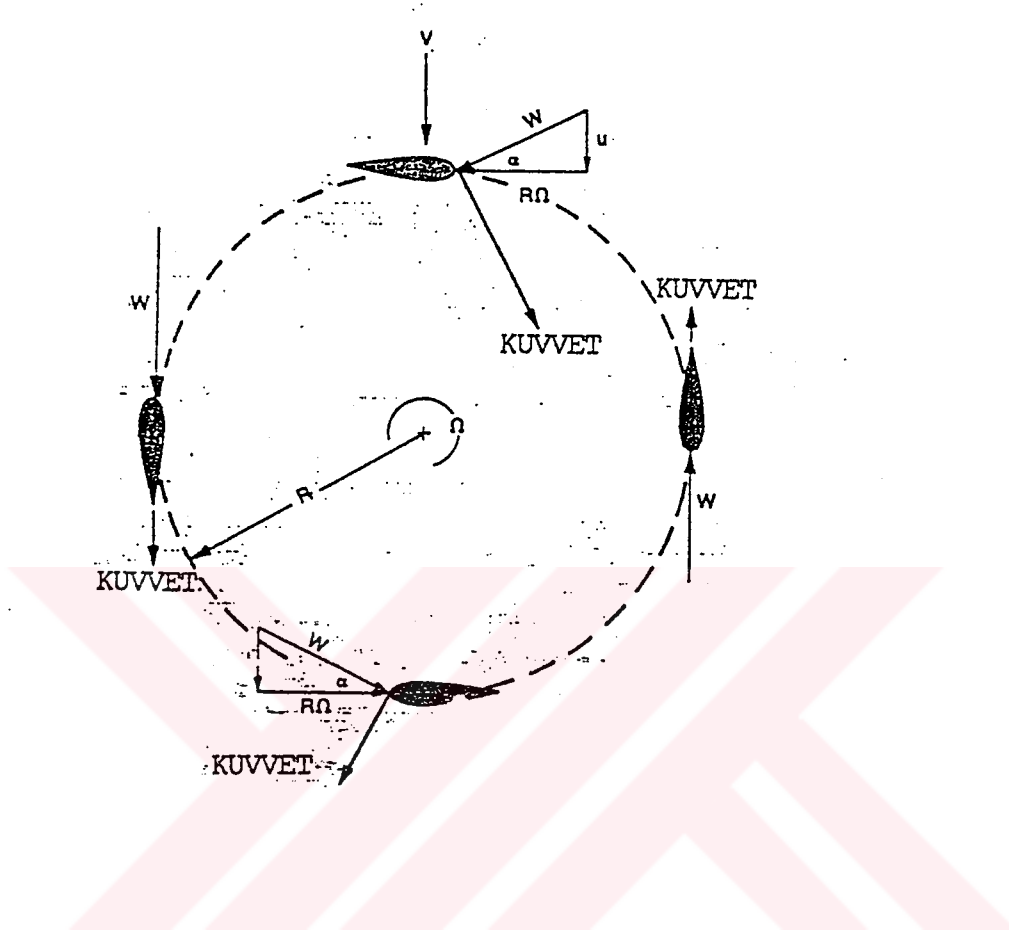
“Şekil 3.3” YERM Türbün kanat kesitine etki eden kuvvet ve hızlar

Yatay eksenli rotorların kanatlarındaki L/D oranı verim açısından büyük bir önem taşır. Bu oranan yüksek olması istenir. Bu ise, kaldırma kuvvetinin büyük, sürüklenmenin az olması ile mümkündür (Dirican, 1987).

3.3.2 Düşey Eksenli Rüzgâr Makinaları

Başlıcaları; Darrieus, Savonius ve Filipinni tipleridir. Yatay eksenli rüzgâr makinalarına nazaran daha düşük güçlü makinalardır. En büyük avantajları rüzgârı her yönden kabul edebilmeleridir. Ayrıca makina aksamı da toprak seviyesine kurulabilir.

DüŖey eksenli bir rotora etki eden hız ve kuvvetler gösterilmiŖtir (Ŗekil 3.4). Kanatlar bir devir yaptığında hem pozitif hem de negatif kuvvetler oluŖmaktadır (Wilson, 1984).



“Ŗekil 3.4” DERM Kanadındaki hız ve kuvvet diyağramı

3.4 Rüzgâr Enerjisinin Depolanması

Rüzgârdaki enerji kolayca, hava türbinleriyle mekanik dönme enerjisine ve jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine çevrilebilir.

Rüzgârın gücü, rüzgâr hızının kübüyle doğru orantılı olduğu için, rüzgâr hızındaki küçük bir değişiklik, üretilen gücün büyük oranda değişmesine neden olur. Bu sebeple, tüketiciye güvenli bir arz sağlamak için enerjinin depolanması gerekmektedir.

Enerji, mekanik, kimyasal, elektrik ve ısı yöntemleriyle depolanabilir.

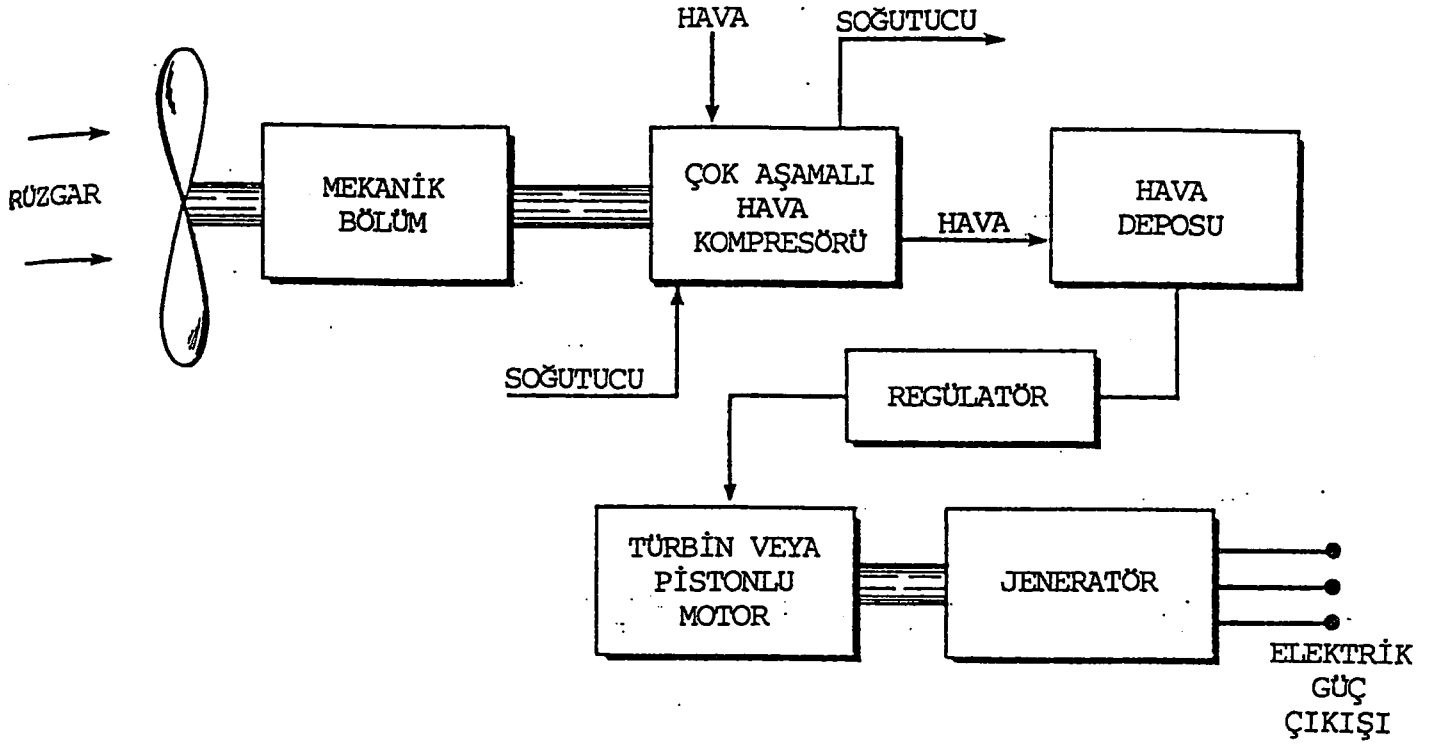
3.4.1 Mekanik Enerji Depolama

3.4.1.1. Potansiyel enerji olarak

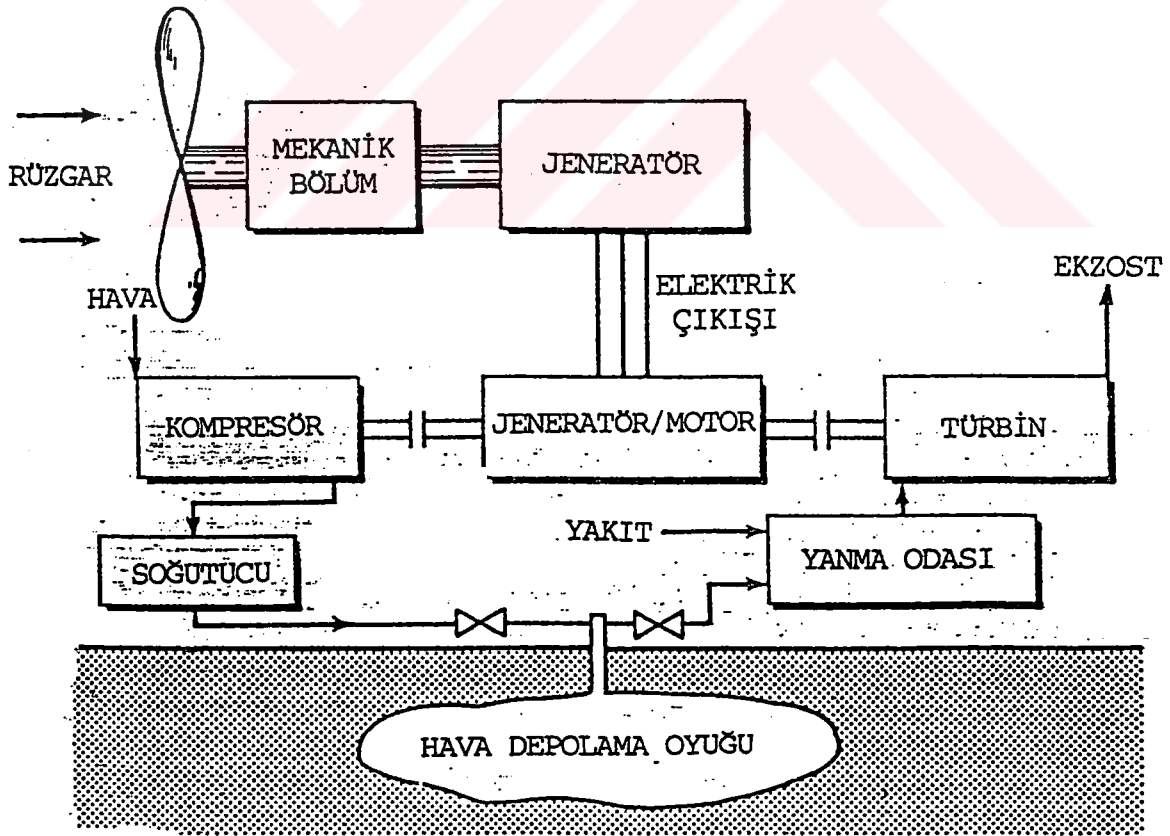
1. Hidroelektrik sistemlerle bağlantılı.
2. Pnömatik depolama (yerüstü veya yeraltı sıkıştırılmış hava depolaması - petrol yardımı olmadan).
3. Sıkıştırılmış hava depolaması (yerüstü veya yeraltı - petrol yardımı ile).

3.4.1.2. Kinetik enerji olarak

Rüzgâr enerjisinin pnömatik depolanması Şekil 3.5’de, sıkıştırılmış hava depolanmasının safhaları şematik olarak Şekil 3.6’da gösterilmiştir (Ramakumar, 1983).



“Şekil 3.5” Rüzgâr enerjisinin pnömatik depolanması



“Şekil 3.6” Rüzgâr enerjisinin sıkıştırılmış hava depolanması

3.4.2 Kimyasal Enerji Depolama

1. Hidrojen depolama (sıkıştırılmış gaz içinde, soğutulmuş sıvı veya hidrid formda)
2. Sentetik petrol ve gübre (Nitrojen tespitiyle)
3. Sekondari pillerle (Elektrokimyasal)
4. Rejeneratif sistemler.

3.4.3 Elektrik veya Manyetik Enerji Depolama

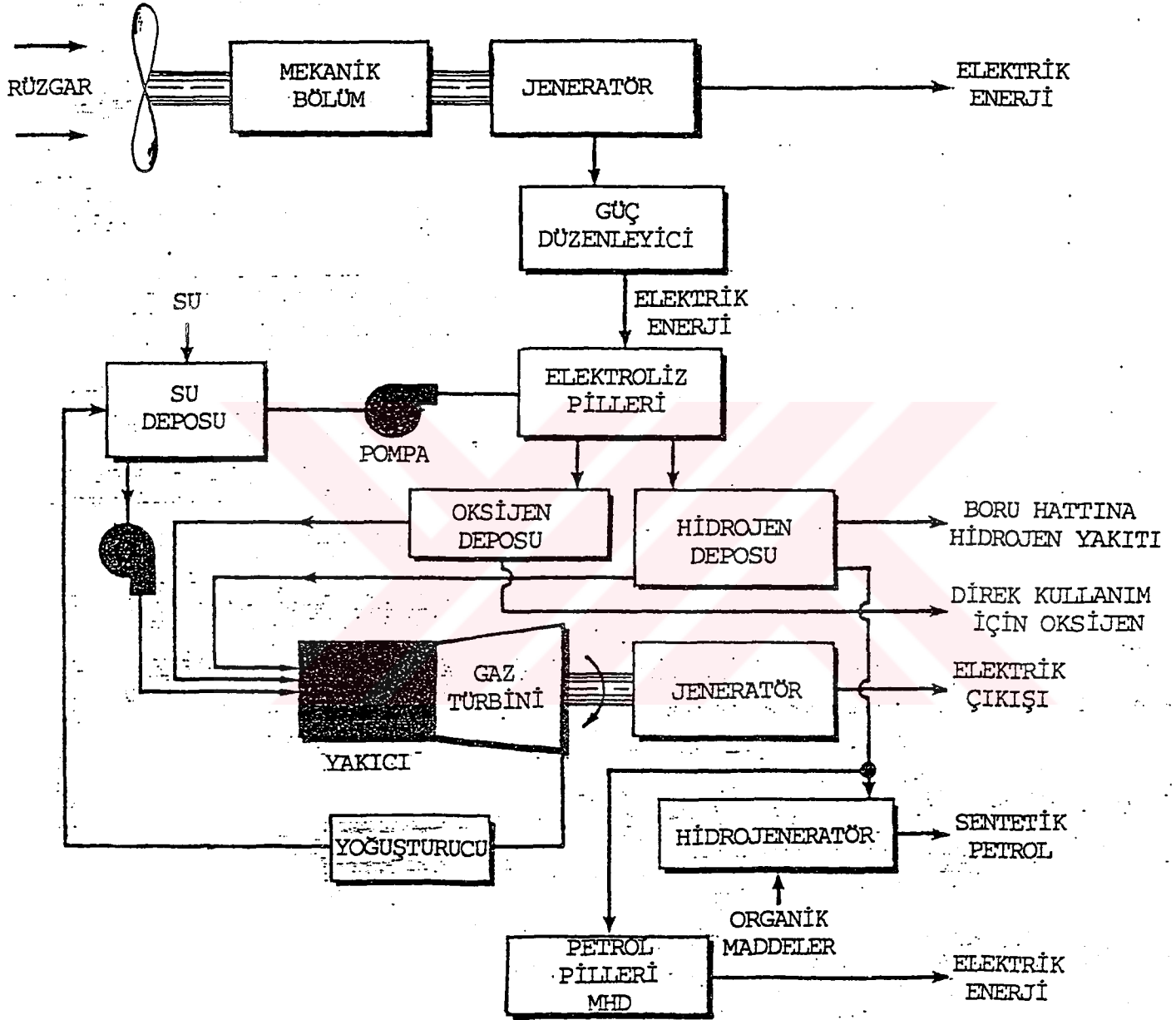
1. Yüksek-güç elektrik alan içinde
2. Yüksek güç manyetik alan içinde (Süperiletken mıknatıslarla)

3.4.4. Isıl Enerji Depolama

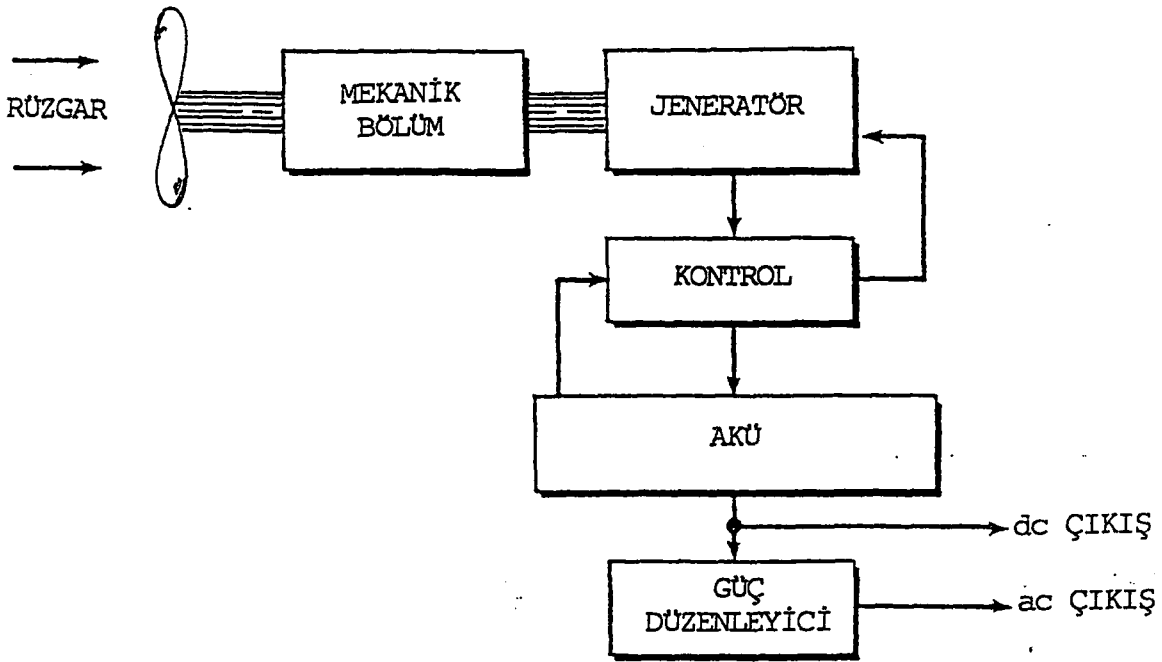
3.4.4.1. Duyulur ısı olarak

1. Katı içinde (Sıcak taşlar, kum, boşluklu çelik kütle, beton içine yerleştirilmiş borular),
2. Sıvı içinde (Tanklarda veya güneş havuzlarında depolanmış sıcak su, yağlar ve erimiş tuzlar),

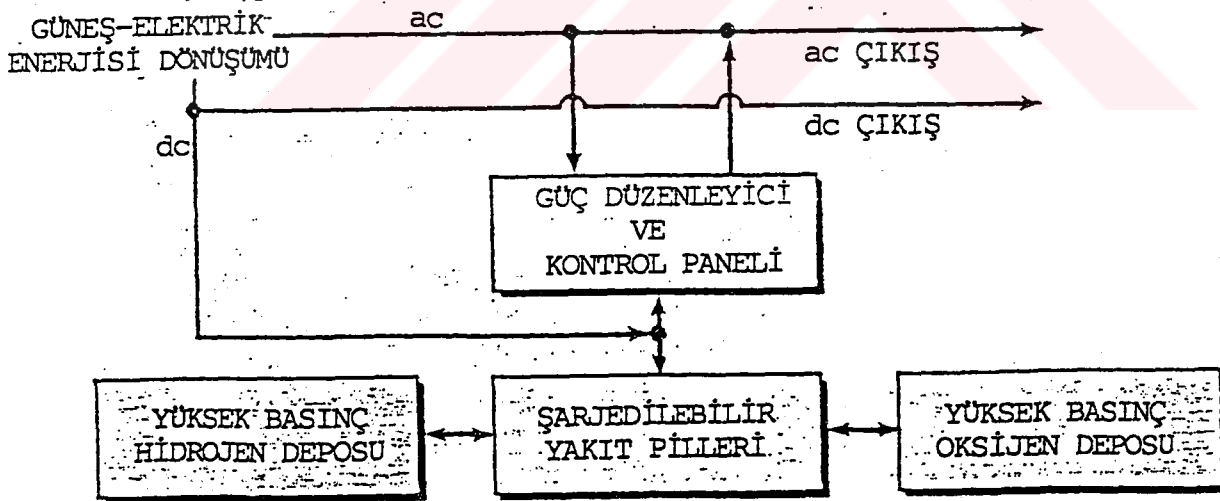
Hidrojen depolama Şekil 3.7’de, elektrokimyasal depolama Şekil 3.8’de, rejeneratif sisteme örnek olarak Şekil3.9’de, şarj edilebilir petrol pilleri ile enerji depolanmasının şematik gösterilişleri gösterilmiştir (Ramakumar, 1983).



“Şekil 3.7” Hidrojen kullanımı ile enerji depolama



“Şekil 3.8” Elektrokimyasal depolama



“Şekil 3.9” Şarjedilebilir petrol pilleri ile enerji depolama

3. Her iki ortam içinde.

3.4.4.2. Gizli ısı olarak

1. Tuzlu suyun erime ısısı,
2. Sıvıların buharlaşma ısısı,
3. Kristal yapı içinde katı - katı hal değişim ısısı .

3.4.4.3. Duyulur ve gizli ısı kombinasyonu ile depolama

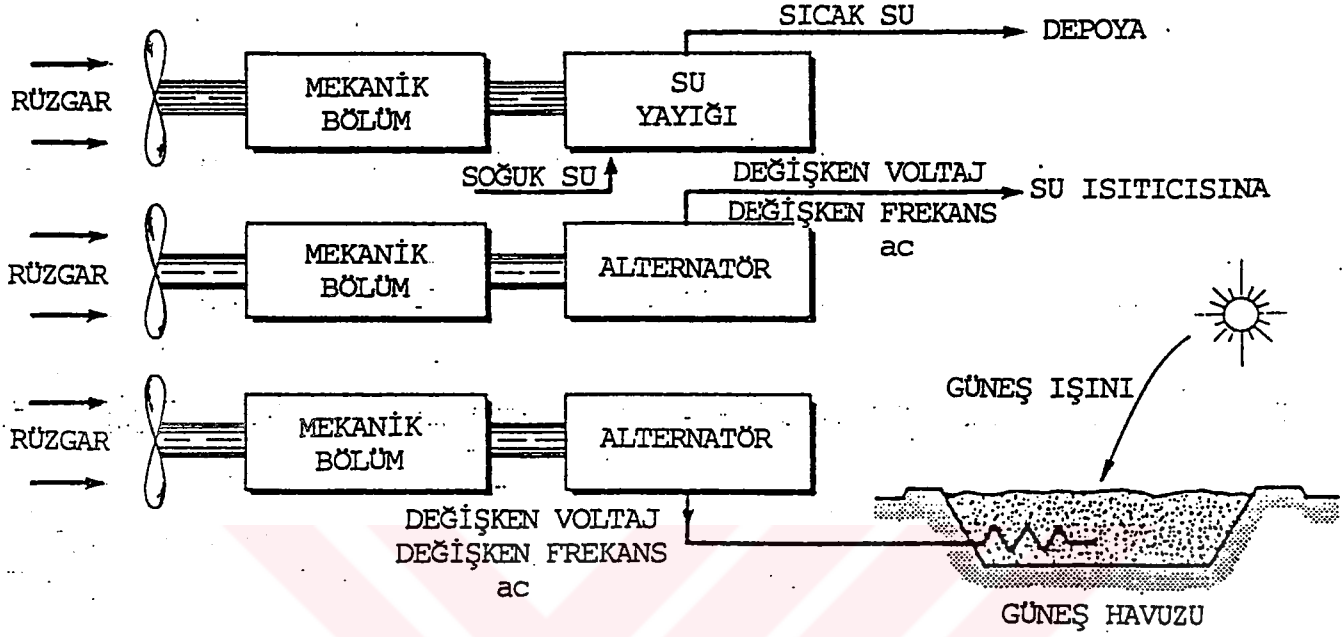
3.4.4.4. Tersinir kimyasal reaksiyonlar içinde termokimyasal depolama

Rüzgâr enerjisinin ısı enerjisiye dönüştürülmesi ve depolanmasının çeşitli yolları gösterilmiştir (Şekil 3.10).

3.4.5. Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıdaki bölümlerde rüzgâr enerjisi sistemleri kullanımı ile birçok enerji depolama yöntemi gösterilmiştir. Günümüzde hidrojen depolama, bu yöntemler arasında en çekici

olanıdır. Hidroelektrik sistemlerle depolama; özel bir bölge, kullanılabilir su, havuz ve su devir kapasitesi gerektirir.



“Şekil 3.10” Rüzgâr enerjisinin ısı formunda depolama yöntemleri

Pnömatik ve sıkıştırılmış hava depolama teknolojisi azçok iyi gelişmiştir ve birçok konvansiyonel sistemde kullanılmaktadır.

Enerji depolamak için çekici ve çok yönlü yöntemlerden biri de hidrojen ile depolamadır. Hidrojen ile depolama yöntemi pratikte kullanılmadan önce nitrojenli gübrenin sentezi, son ürünün depolanmasının kolay olmasından dolayı daha çekici görünürdü.

Sekondari akülerin geliştirilmeleri, araçlarda ve enerji depolamak için kullanılmaları açısından faydalı olmuştur. Önümüzdeki beş-on yıl içinde akülerde çekici gelişmeler olması beklenmektedir. Kurşun-asitli aküler günümüzde rüzgâr enerjisi depolama işleminde

kullanılan akülerin en ekonomik ve kullanışlı olanıdır. Rejeneratif elektrokimyasal sistemlerin pratikte kullanım imkanı bulabilmeleri için birçok araştırma ve geliştirme çalışmasının yapılması gerekmektedir.

Rüzgâr enerjisinin depolanmasında ısı depolama büyük bir yer tutar. Oda ısıtması veya zerre kurutması gibi az miktar ısı gerektiren benzer işlemlerde veya güneş enerjisi-ısı sistemlerle kombine olarak kullanılması dışında kalan durumlarda diğer depolama yöntemlerinin kullanılması, ikinci yasa limitlerinden dolayı, ısı depolamaya göre daha iyidir.

Yüksek-güç elektrik veya manyetik alan içinde depolama yöntemlerinin, günümüzde rüzgâr enerjisi sistemlerinde kullanılmaları uygulanabilir görünmemektedir (Ramakumar, 1984; Ültanır, 1994).

3.5 Rüzgâr Enerjisinin Belirlenmesi

E.İ.E. (Elektrik Etüt İşleri) İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda rüzgâr enerjisinden yararlanabilmenin temeli olan rüzgâr yapısının belirleme aşamasında, yapılacak ölçümlerin aşağıdaki şekilde olması, hem ölçümlerin standartlığı açısından hem de elde edilen verilere dayalı çalışmaların başarısı açısından yararlı görülmektedir.

- 1- Ölçümler en az 10 m yükseklikte bir kule üzerinde yapılacaktır.
- 2- Ölçümler arazi lokasyon özelliklerine göre gerektiğinde 10 m üzerindeki yüksekliklerde yapılacaktır (20-30-40-50 m'lik kuleler).
- 3- Ölçümler bir saatlik örnekleme aralığına uyarlanabilmelidir.
- 4- Elde edilen veriler, bilgisayar ortamına aktarılmaya ve değerlendirmeye uygun olmalıdır.

5- Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve türbülans zorunlu olarak belirlenecek parametrelerdir. Nem ve sıcaklık parametreleri ise ya arazi üzerinde elde edilecek, ya da en yakın meteoroloji istasyonu kayıtları temin edilecektir.

6- Elde edilen veri, yeterli ilişkiye sahip yakın kayıtlarla değerlendirilerek, arazi için elde edilecektir (3-30 yıl).

Arazi üzerinde kaç noktada ölçüm yapılacağı, arazi büyüklüğü ve arazi topoğrafyasına bağlı olarak belirlenecektir.

3.5.1 Rüzgâr enerjisinde hedefler

21. yüzyılın eşiği olan 2000 yılı için programlanan kurulu kapasite hedefi ABD’de 2800 MW, Avrupa’da 6340 MW, Asya’da 3817 MW ve tüm dünyada 13803 MW’dır. 2000 yılı Avrupa’sında en büyük kapasite 2000 MW ile Almanya’da olacak, onu 1000 MW ile Danimarka, 800’er MW ile İngiltere ve İspanya izleyecektir. Yunanistan’ın programlanan 2000 yılı kapasitesi 200 MW’dır. ABD’nin beklentisi, önümüzdeki 10-12 yılda rüzgârdan üretilen elektrik diğer tüm kaynaklardan daha ucuz olacaktır. Gelecek 10 yıl sonunda ABD elektrik üretiminin %20’sini rüzgârdan sağlamayı hedeflemiş bulunmaktadır.

Avrupa Birliği 2005 yılında birincil enerjinin %8’ini elektrik enerjisinin %20’sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedefleyerek, elektrik üretiminde rüzgâra %2’lik pay ayırmıştır. 2005 yılında Avrupa’da kurulu rüzgâr kapasitesi 12.000 MW olacaktır. Bunun için toplam 12 km² yerleşim alanı gerekmekte olup, bu yerleşim 1200 km²’lik bir alana (Avrupa yüzey alanının % 0.05’ine) yayılacaktır. Söz konusu rüzgâr santrallerinin bir bölümü deniz üstünde kurulacaktır. Örneğin Danimarka, 2010 yılında kurulu kapasitesini %10’u denizde olmak üzere 2000 MW’a çıkarmayı hedeflemiştir. Hedeflenen 12.000 WM’lık rüzgâr kurulu gücü ile yılda 30.000.000 ton CO₂, 2.000.000 ton uçucu kül, 80.000 ton SO₂ ve 40.000 ton NO_x emisyonu engellenmiş olacaktır. Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği, kurulu

kapasitenin Avrupa’da 2030 yılında 100.000 MW’a çıkacağını tahmin etmektedir. Bu değerin denizüstü payı %25’den az olmayacaktır.

3.5.2 Türkiye’de rüzgâr santrali gelişimleri

7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporunda, elektrik üretim amaçlı rüzgâr enerjisi kullanımına 1995 yılında 1 MW’lık prototip bir ünite ile başlanması, dünya teknolojik gelişiminin izlenebilmesi için rüzgâr çiftleri oluşturulması ile kurulu gücün 2000 yılında 10 MW’a 2005 yılında 20 MW’a 2010 yılında 50 MW’a yükseltilmesi planlanmıştı. Bu çok küçük hedefler bile ne yazık ki plana alınmamıştır.

25 Temmuz 1995 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan planda “yurt içi enerji kaynaklarının geliştirilmesi”, “yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması” gibi soyut cümleler yer almakta, somut hedefler bulunmamaktadır. Elektrik üretiminde jeotermal enerji için 15-60 MW’lık hedefleri yer verilmiştir, bunu onlarca katı ile aşabilecek rüzgâr enerjisi görmezlikten gelinmiştir.

Özel sektörün çabaları ile Türkiye’nin yetersiz plan hedeflerin aşacağı görülmektedir. Rüzgâr enerjisinden ticari boyutta elektrik enerjisi üretmek isteyen bir çok firma, Yap-İşlet-Devret modeli kapsamında santral kurma girişiminde bulunmuşlardır (TÜREB, 1997).

3.6 Rüzgâr Enerjisi Uygulama Alanları

1. Küçük şehir dışı evlerde aydınlatma, soğutma ve güç temininde (Çiftlikler ve balıkçı köyleri),

2. Telekomünikasyon ve telemetre tesislerinde (radyolink repetörler, TV yansıtıcıları, telsiz istasyonları, hava seyir sistemleri, kırsal telefon sistemleri vb.),
 3. Seyrüsefer işaretleri (rehis fenerleri, karayolu işaretleri, kule ışıkları, demiryolu sinyalleri vb.),
 4. Su pompalamada,
 5. Seraların ısıtılmasında,
 6. Yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde (orman evleri, orman gözetleme kulelerinde),
 7. Haberleşme cihazlarında,
 8. Deniz vasıtalarında akü şarjında,
 9. Rüzgâr değirmenlerinde (Bu tip değirmenler önemini yitirmiştir),
 10. Drenajda (arazi, bataklık kurutmada),
 11. Katotik koruma tesislerinde (perol ve gaz boru hatları, su isale hatları, arıtma sistemlerinde v.s.)
- kullanılmaktadır.

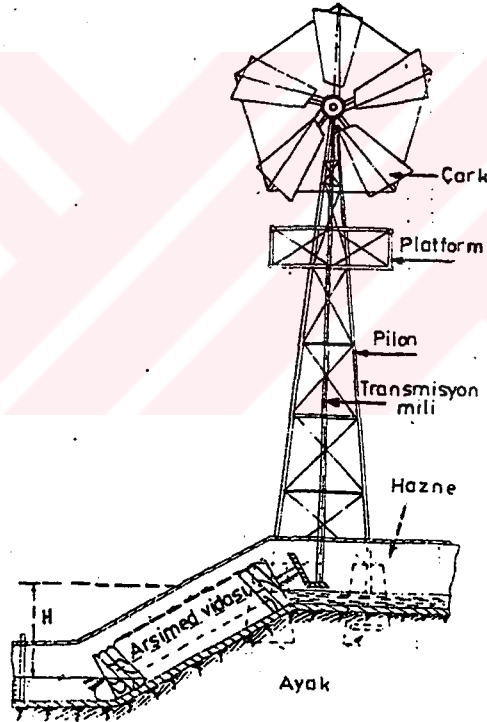
3.6.1 Su çıkarmada kullanılan yöntemler

Rüzgâr enerjisi değişken özelliktedir. Bu değişken nedeniyle, rüzgâr türbin tesisleri çalıştırılarak, rüzgâr enerjisinin yeterli olmadığı zamanlarda suyun depolanıp, diğer zamanlarda kullanılmaktadır.

3.6.1.1 Su helezonu ve zincirle su çıkaran türbinler

Su çıkarmada daha az kullanılmaktadır. Su helezonu ve zincirli su çıkarma araçlarını çalıştıran rüzgâr kuvvet makinaları devitken çarklı ve daha az kanatlı yapılmaktadır.

Arşimet vidası çalıştıran bir rüzgâr türbini Şekil 3.11’da görülmektedir (Yavuzcan, 1983).

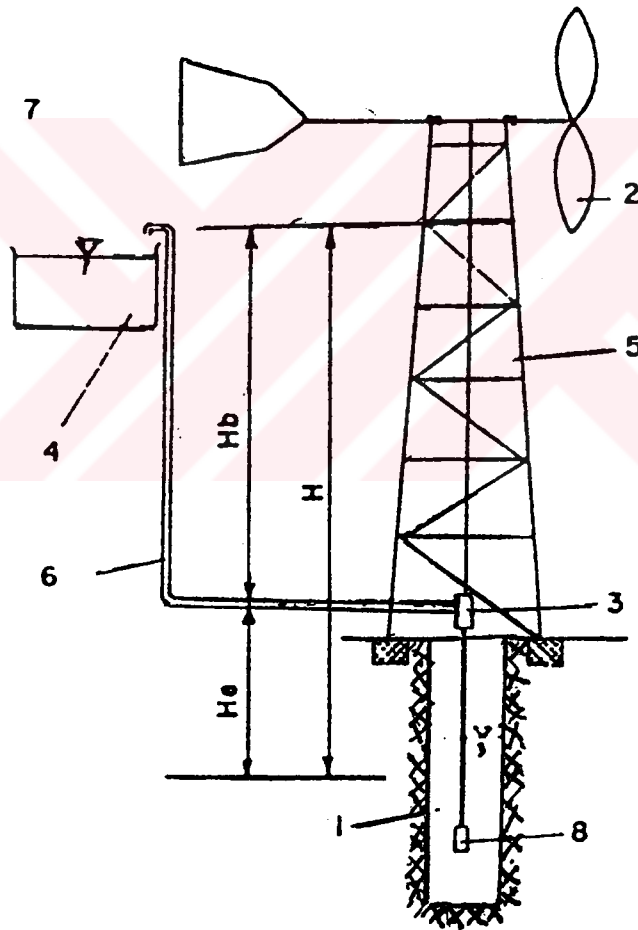


“Şekil 3.11” Arşimet vidası çalıştıran rüzgâr türbini

3.6.1.2 Suyu pompalayarak çıkarma

3.6.1.2.1 Pistonlu ve santrifüj pompa kullanarak su çıkarma

Su pompalamada, hem yatay hemde düşey eksenli sistemlerden yararlanır. Bununla birlikte, yatay eksenli sistemler daha çok tercih edilmektedir. Bu türbinlere örnek gösterilmiştir (Şekil 3.12).



“Şeki 3.12” Rüzgâr su pompaj sistemi

Şekil 3.12’de (1. Su Kaynağı (Kuyu, nehir, göl v.s.), 2. Rüzgâr türbini, 3. Pompa, 4. Su depolama tankı, 5. Güç aktarma organı, 6. Su dağıtma sistemleri, 7. Yönlendirici, 8. Filtre)

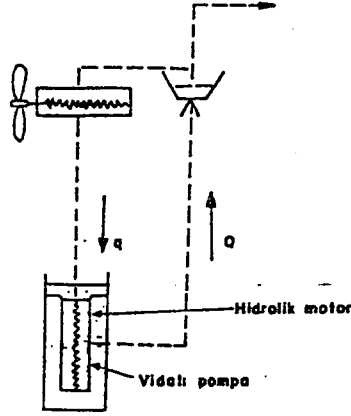
3.6.1.3 Diğer su pompalama yöntemleri

Rüzgarla su pompalama işleminde, pistonlu veya santrifüj pompalardan farklı sistemler kullanmak da mümkündür.

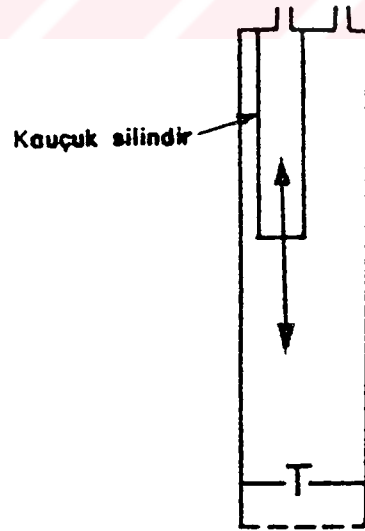
3.6.1.3.1 Hidrolik işletim

Su kaynağı çok derinse oluşacak mekanik kuvvetlerden sakınmak için, bir hidrolik motor kullanılır. Yüksek hızlı türbine bağlı olan pompa, su basma pompasına hareket veren hidrolik motoru besler (Şekil 3.13). Verim, çok silindirli aksenal pistonlu pompa ve motorlarda %50-60, vidalı pompa ve motorlarda ise %40-50 değerlerine ulaşabilmektedir.

Bu sistemlerde Vergnet pompa gibi bir hacimsel pompa da kullanılabilir. Düşük hızlı bir rüzgar türbininin çalıştırdığı hidrolik motor, giriş ve çıkış valfleri bulunan çelik silindir içindeki kauçuk bir silindire periyodik olarak akışkan gönderir. Kauçuk silindir genişlediği zaman çelik silindirdeki su basıncının artmasıyla çıkış valfi açılır ve su dışarı pompalanır. Kauçuk silindir daraldığında çıkış vanası kapanır ve giriş vanasının açılmasıyla su, çelik silindire doğru emilir (Şekil 3.14).



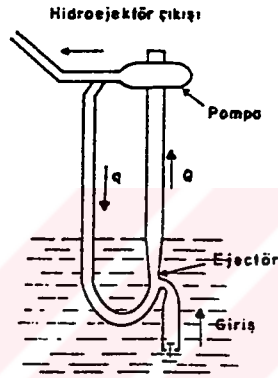
“Şekil 3.13” Hidrolik pompa



“Şekil 3.14” Vergnet pomppa

3.6.1.3.2 Hidrojektör kullanımı

Bu sistem, su kaynağının dışına yerleştirilmiş bir santrifüj pompa ile kuyu içine yerleştirilmiş bir Venturi borusundan oluşmaktadır. Suyun bir kısmı pompa aracılığıyla emme kanalından geri gönderilir. Bu nedenle, su borularının, sistemin ilk hareketinden önce doldurulması gerekmektedir (Şekil 3.15).



“Şekil 3.15” Hidrojektör sistem

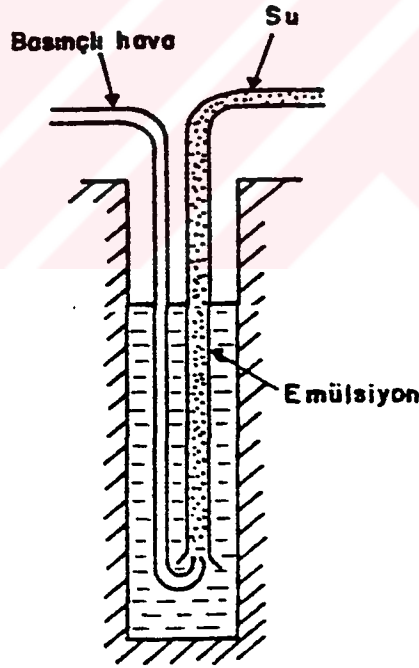
3.6.1.3.3 Pnömatik işletim

Sıkıştırılmış hava ile yapılan su pompajıdır. Bu işlemi gerçekleştirmek için çok pistonlu kompresörler (vidalı ve diyafram kompresörler) kullanılır. Rüzgâr türbinleriyle çalışan bu kompresör türlerinden, çok diyaframlı, kompresör en iyi çözümdür. Kompresör ile türbin mili arasına bir merkezkaç sürtünme gömleği yerleştirilirse türbinin ilk hareket ve hızlanma değerleri yükselir. Böylece, yükler en az değerlere indirgenmiş olur. Normal bir türbine

kıyasla, yardımcı elemanlarla donatılmış sistemlerin başlangıçtaki verimi 3-5 kat arttırılmış olur. Ayrıca, bir basınç rölesi kullanarak da bu sonuca ulaşılabilir: Kompresör silindirleri alıcıya direkt olarak bağlanmaz. Röle ile istenen değerde tutulan havanın basıncı alıcıda kullanılır. Rotorun dönme hızı azaldığında röle, kompresör silindirleri ile alıcı bağlantısını keser ve atmosfere açık duruma getirir.

3.6.1.3.3.1 Emülsiyon yöntemi

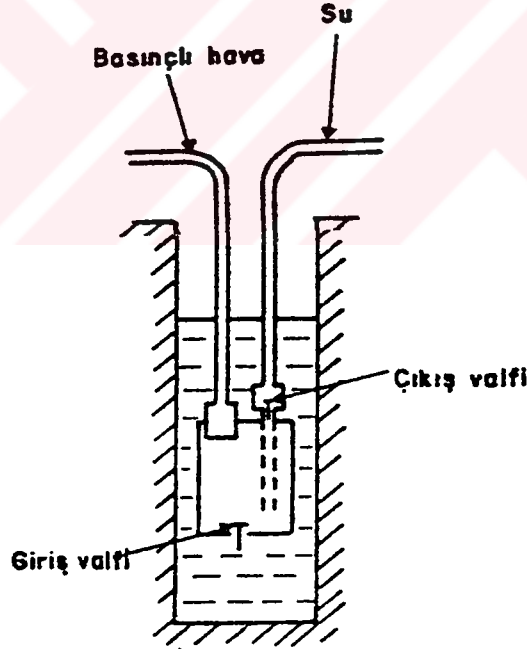
h ; pompalama yüksekliği olmak üzere, su ve hava karışımını içeren borunun uzunluğu $2.h$ olmalı ve suya h kadar daldırılmalıdır (Şekil 3.16). Verimi %30'dan daha azdır.



“Şekil 3.16” Emülsiyon sistemi

3.6.1.3.3.2 Pnömatik pompa kullanımı

Bu sistemler su içine daldırılmış bir silindirden oluşmaktadır (Şekil 3.17). Silindirin tabanında giriş valfi bulunur. Basınçlı hava gönderilmediğinde bu valf açılır ve su silindire dolar. Bir otomatik aygıtla akışına izin verilen sıkıştırılmış hava, suyu çıkış valfinden basma borusuna gönderir. Basınçlı hava ya su basma borusuna veya atmosfere ya da kompresörün giriş valfine geri döner. Sabit basınç için gerek duyulan gücün, dönme hızıyla orantılı olması, pistonlu ve diyaframlı kompresör kullanımında bir eksiklik yaratır. Bu nedenle, türbin gücünden tümüyle yararlanılamaz.



“Şekil 1.17” Pnömatik pompa sistemi

3.6.1.3.4 Elektrik enerjisi kullanımı

Yüksek hızlı rüzgar türbinleri, bir elektrik jeneratörüne hareket verir. Jeneratör, pompaya bağlı elektrik motorunu besler. Su kaynağı derin ve ortalama rüzgar hızı 5-6 m/sn'den daha büyükse bu uygulama önem kazanır.

Siztemin rüzgârın uygun olduğu yerlere kurulması ile çıkış verimi %30 veya daha yüksek değere yükselebilir. İyi bir su dağıtımı için elektriğin depolanması gerekir. Akü rüzgar hızı yüksek olduğu zamanlarda enerjiyi depolar ve rüzgârsız dönemlerde enerjiyi geri verir. Jeneratör bir alternatör ise, bu durumda akım, doğru akıma çevrilmelidir. Aslında akü kullanmaksızın direkt jeneratör-motor bağlantısı da yapılabilir. Jeneratör ve motorun zarar görmesini önlemek için türbine hız regülesi yapılmalıdır. Pompanın manometrik yüksekliği, basma yüksekliğinin 1,5-2 katı olacak şekilde seçilmelidir.

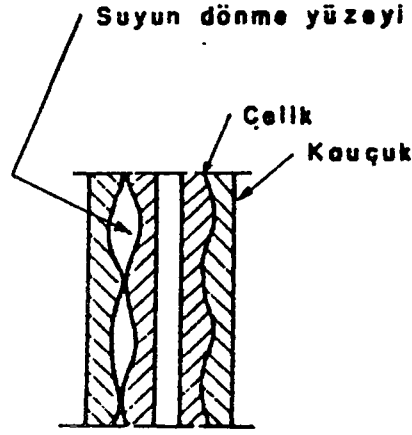
3.6.1.3.5 Vidalı pompa

Kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte son zamanlarda gücünden dolayı tercih edilmektedir. Yapışkan sıvıların pompalanması diğer bir uygulama alanıdır. Hacimsel pompa olan vidalı pompa, ya bir kauçuk stator içinde dönen bir vidadan ya da karşılıklı iki sonsuz vidadan oluşur (Şekil 3.18).

Debisi yalnızca dönme hızına bağlıdır. Verimi, 30 m'lik kaldırma yüksekliği için %75-80'e ulaşabilir. Dönme hızları, 100-1000 d/dak arasında değişmektedir.

$\lambda < 3$ (λ = Kanat sayısı rotor çevresel hızının rotora etkiyen rüzgâr hızı oranı) olan rüzgar türbinleri daha verimli ve basınç torkları daha yüksek olduğu için yaklaşık 4 m/s'lik rüzgar hızında ilk harekete başlarlar. Başlangıcı kolaylaştırmak için ya by-pass aygıtı ya da santrifüj

kavrama kullanılır (E.İ.E.,1994).

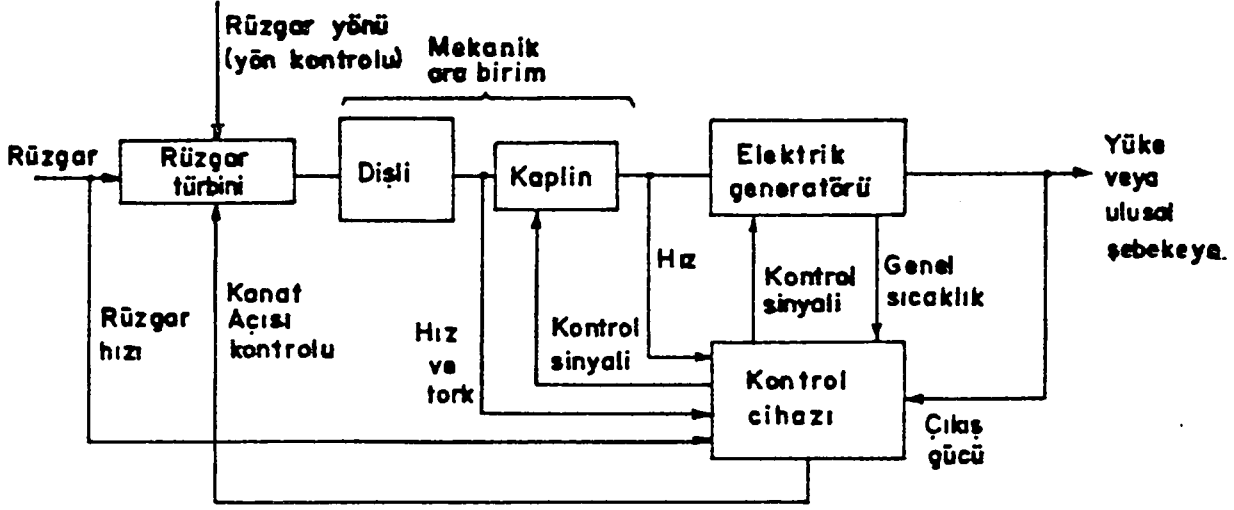


“Şekil 3.18” Vidalı pompa sistemi

3.6.2 Rüzgâr enerjisinin elektriksel uygulamaları

Rüzgâr türbinleri hareket halindeki havanın enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır. Bu nedenle rüzgârdan elektrik üretimi rüzgâr enerjisi uygulamalarının temel yöntemlerinden biridir.

Rüzgâr elektrik sistemlerinin temel bileşenleri gösterilmiştir (Şekil 3.19). Hareketli havadan mekanik enerjisi şeklinde elde edilen enerji, uygun kaplin ve dişli kutusu içeren mekanik akarıcı yoluyla elektrik jeneratörüne aktarılır. Jeneratörden elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke yada güç şebekesine bağlanır.

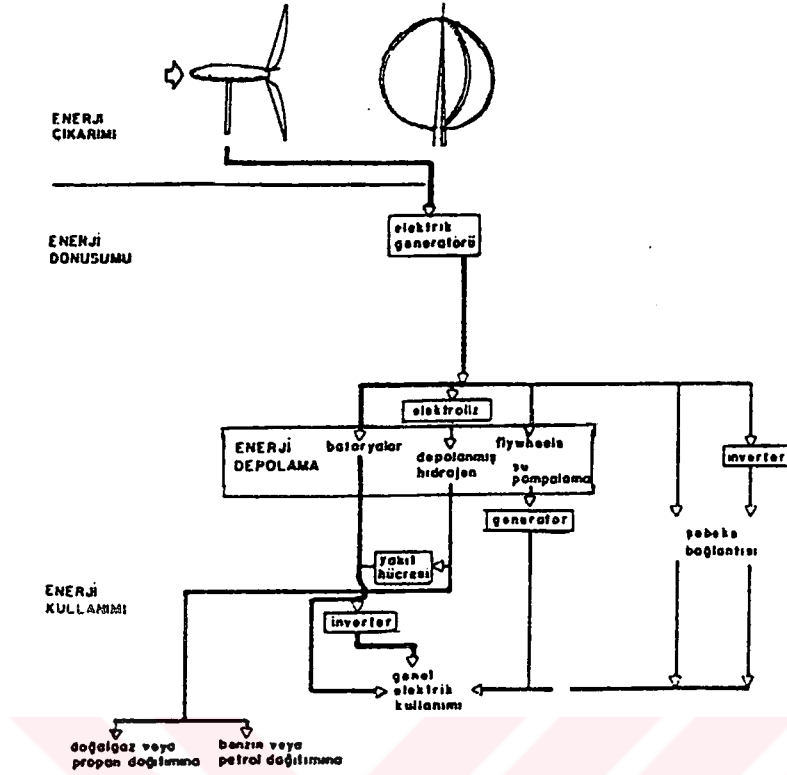


“Şekil 3.19” Rüzgâr elektrik sisteminin basit bileşenleri

Günümüzde rüzgâr enerjisi hem kırsal alanda elektrik enerjisinin yerel üretim ve tüketiminde, hem de elektrik şebekesini beslemek için kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri verilmiştir (Şekil 3.20).

Rüzgâr enerjisinin elektriksel uygulamalarını üç grupta toplamak mümkündür.

1. Şebeke bağlantılı AC(Alternatif Akım) uygulamaları
2. Şebeke bağlantısı olmayan AC(Alternatif Akım) / DC(Doğru Akım) uygulamaları
3. Uzak DC(Doğru Akım) sistem uygulamaları



“Şekil 3.20” Rüzgar enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri.

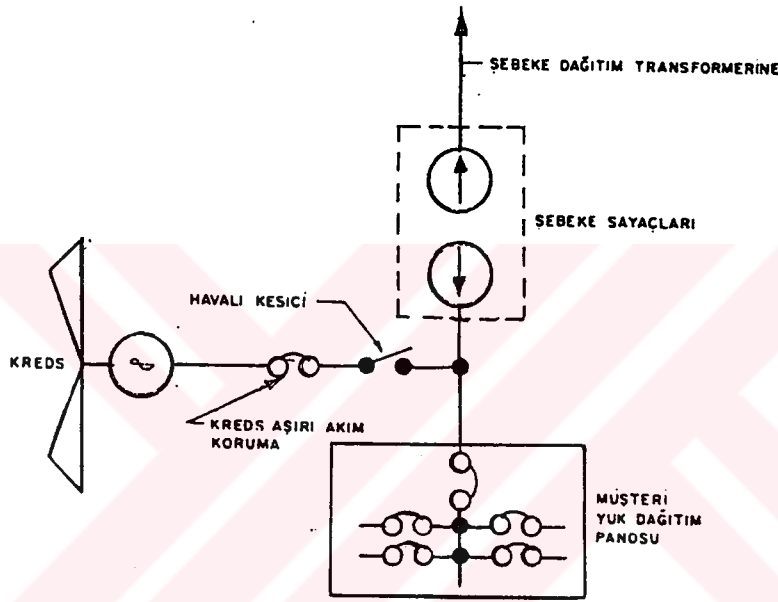
3.6.2.1 Şebeke bağlantılı AC(Alternatif Akım)uygulamaları

Bu uygulamada üretilen gücün tamamı veya artan kısmı şebekeye verilir (Şekil 3.21). Rüzgar enerjisi sisteminin ürettiği elektriğin faz ve frekansı ile şebeke değerlerinin uyum içinde olması gerekir. Bu durumu sağlamak için üç yöntem kullanılır;

1. Bir kontrol sistemi ile frekans ve hızın kontrol edildiği senkron jeneratör kullanmak: Bu yöntem, ileri bir elektronik kontrol sistemi gerektirdiği için sadece büyük rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılır.

2. Hat çevirici invertör ile senkron olmayan altermatör kullanmak: AC çıkış, invertör, şebeke güç karakteristiğini DC'ye dönüştürülür. Bu yöntem genellikle küçük sistemlerde tercih edilmektedir. Ancak rüzgâr enerjisi dönüşüm sistem çıkışının önce DC, sonra da AC akıma dönüştürülmesi ile oluşan kayıplar sistemin etkin verimini azaltabilir.

3. Şebeke gücün referans olarak kabul eden indüksiyon jeneratörünün, şebekeye uygun alternatif akım üretmek için kullanmak, şebeke bağlantısının zor olduğu durumlarda bu yöntemden yararlanılabilir. Diğer yöntemler içinde, en az karmaşık ve ucuz olanıdır.



“Şekil 3.21” Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri şebeke dağıtım bağlantı şeması

3.6. 2.2 Şebeke bağlantısı olmayan DC/AC uygulamaları

Bu uygulamada şebekeye hiç enerji vermeden bir veya bir kaç yük beslenir. Tarımsal amaçlı su pompalama, ürünlerin kurutulması veya soğutulması, ısıtıcıların işletimi, su arıtma, soğutma ve havalandırma işlemleri örnek olarak verilebilir.

DC çıkışlı rüzgâr enerji sistemleri, aydınlatma, elektrikli ısıtıcılar ve DC motorlu makinalar gibi uygulamalarda yüksek verimle kullanılabilir. DC çıkışlı sistemlerin çoğunda AC generatörler vardır. Çıkış bir doğrultucu ile doğrultulur. Bu güç üretim şekli yüksek maliyet gerektirir.

3.6.2.3 Uzak DC (Doğru Akım) uygulamaları

Röle ve meteoroloji istasyonları, demiryolu sinyalizasyonu, deniz-hava ulaşım sistemleri ve uzak pompa istasyonları bu uygulamaların en iyi örnekleridir.

Dizel veya gaz jeneratörü kullanan uzak DC çıkışlı sistemlerin yerine rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi kullanılması, yakıt giderlerinde tasarruf sağlar. Ayrıca, sürekli bakım-onarım gerektirmeden işletimi mümkündür. Bu sistemler uzak yerleşim yerlerinde ısı veya ışık kaynağı olarak da kullanılabilir (E.İ.E., 1993).

3.6.3 Rüzgâr Enerjisinden Seralarda Yararlanma

Belirli bir yörede rüzgâr enerjisinden yararlanmak için rüzgâr türbini kurulması önemli oranda sermaye yatırımı gerektirmektedir. Bu nedenle, rüzgâr türbininin sadece mümkün olabilen en yüksek miktarda enerji üretmesi fazla önem taşımaz. Üretilen enerjinin aynı zamanda mümkün olabilen en yüksek ekonomik değere sahip olması da önem taşımaktadır. Genel olarak dönüştürülen enerji çeşidi elektrik enerjisi olduğundan, rüzgâr enerjisinin en yaygın uygulama alanı elektrik enerjisi üretimine yöneliktir.

Bilindiği gibi seracılıkta en fazla enerji tüketimi ısıtma uygulamalarında gerçekleşir. Fakat, elektrik tüketimi de yıllık giderlerin önemli bir kısmını oluşturur. Bu nedenle, sera kapsamında ısıtma amacıyla enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisinden yararlanılması için

rüzgâr türbini kurulması ekonomik olması bile, serada gerekli olan elektrik enerjisinin karşılanmasında önem taşır.

Bu durum, kullanım şebekesine enerji gönderen bir rüzgâr türbininin kurulmasıyla gerçekleştirilebilir. Böyle bir düzenlemede, serada gerekli enerji miktarı ve türbinden üretilen enerji miktarı arasında bir uyumsuzluk olması durumunda, türbin ve sera arasındaki şebeke ile güç alışverişi otomatik olarak düzenlenebilir.

Bu çalışma yöntemi; bağlantının sağlanması aynı zamanda şebekeden çekilen enerjiye bir miktar ödeme yapılması için, kullanım anlaşması yapılmalıdır. Şebekeye sağlanan enerji için yapılması gereken ödeme, satın alınan enerjiye ödenen ücretten daha az olacağından, rüzgâr türbininin ekonomik olarak değerlendirilerek seçilmesi gerekir. Böylece türbinin yıllık olarak ürettiği enerjinin sadece çok az bir bölümü de satılabilir.

Belirtilen kısıtlama, ticari amaçlarla geliştirilen rüzgâr türbininin uygun kapasitede seçimi ile giderilebilir. Modern rüzgâr türbinlerinin en ekonomik büyüklükleri 50 kW ve daha yukarısına doğru değişir. Rüzgâr hızının yeterli olduğu bir bölgede, 50 kW'lık kapasiteye sahip bir rüzgâr türbininin yılda 100.000 Mj enerji üretmesi beklenir. Üretilen bu enerjinin önemli bir bölümüyle 1 ha'dan daha büyük olan oldukça geniş bir kullanım sahasının elektrik enerjisi gereksinimi karşılanabilir.

Uygulamada seralar için rüzgâr enerjisinin yararlılığı, rüzgâr hızının yeterli olduğu bölgelere kurulmuş seraların ısı gereksiniminin karşılanmasından çok, bu enerjiden sadece elektrik enerjisi kaynağı olarak yararlanılması düşünülen yörede, rüzgâr türbininin yerleştirilmesi için uygun yerin belirlenmesi ek bir gereksinimdir.

1988 yılı başlarında geçerli olan varili 18 doların altındaki petrol fiyatlarına göre, seraların ısıtma gereksinimlerinin karşılanmasında doğrudan rüzgâr enerjisinden yararlanılması için, rüzgâr türbinine yapılan yatırımın ekonomik olarak geri kazanılması olası değildir. Bu durumda seraya ısı sağlanması için elektrik enerjisi üreten rüzgâr santralından yararlanarak çalışan ısı pompası kullanmak bir alternatiftir. Böylece, uygun koşullarda, rüzgârdan üretilen

elektriğin her birimi için seraya üç veya dört birim kadar ısı sağlanabilir. Bu yaklaşım, İrlanda Kinsealy Araştırma Merkezinde incelenmiştir

Isı pompası kullanılması durumunda şüphesiz ek bir sermaye yatırımı gerekir. Bununla birlikte rüzgar türbininin diğer amaçlarla elektrik üretiminde kullanıldığı bir serada, ısı pompasının çalıştırılması için gerekli olan elektrik enerjisinin bir bölümü rüzgar türbininden karşılanabilir ve böylece rüzgar enerjisinin, seranın ısı gereksinimine de katkı yapması sağlanır (O'flaherty,1986).

3.7 Rüzgâr Enerjisinin Çevre Etkisi

Rüzgâr enerjisinin çevre için olumlu yanları vardır. Örneğin, ABD'nin en büyük tesisi olan KENETCH Windpower'in 370 MW'lık Altamount Pass Rüzgâr Tesisinin, yılda 461 400 ton CO₂ ve 423 ton NO_x emisyonunu engellediği bir gerçektir. İngiltere'de 1994 yılındaki rüzgâr enerjisi kullanımının 350.000 ton CO₂ emisyonunun azalttığı rapor edilmektedir. Fosil yakıtlardan üretilecek elektriğin yerine geçerek CO₂ emisyonunu azaltması ve dünya global ısınma sürecine fren koyması en büyük çevresel kazanımdır. Fosil yakıtların CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonu ile oluşturdukları çevre kirlenmesi ve bunun ekonomik zarar biçiminde yansıyan maliyeti vardır. Dış maliyet denilen bu maliyet bugün hiçbir biçimde 1-1.25 cent/kWh az olmayıp, enerji maliyeti üzerine eklenmesi gerekir. Rüzgâr enerjisi için ise dış maliyet yoktur.

Büyük rüzgar tarlalarının belirli etkileri olmakla birlikte, çevresel tehlikeler oluşturduğu söylenemez (TÜREB, 1997).

Bu etkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Dönen sistemlerin montaj, bakım ve işletilmesinden doğan güvenlik sorunları.
2. Görüntü ve estetik etki.

3. Gürültü.
4. Arazi kullanımı ve toprak kirliliği.
5. Biyofiziksel etki.
6. Dönen yapıların oluşturduğu elektromagnetik etki.

3.7.1 Güvenlik

Rüzgar enerjini teknolojisinin güvenliği oldukça iyidir. Bir kaç ciddi kaza olmuştur. Ancak, bunlar teknik hatalar, kötü yönetim ve yönetmeliklerdeki emniyet eksikliği sonucunda olan insan yaralanmalarıdır. Modern rüzgâr türbinleri, makina bileşenlerinin arızalarında erken uyarı veren gözlem sistemleriyle donatılmıştır.

3.7..2 Görüntü ve estetik etki

Rüzgâr türbinlerinin görsel etkisi, üzerinde en çok tartışılan bir konudur. Estetik oldukça kişisel bir kavramdır. Rüzgâr enerji dönüşüm sistem dizilerinin arazi boyunca görünüşü insanlara sevimsiz gelebilir. Bunun birlikte, rüzgâr enerji dönüşüm sisteminin tasarım ve yer seçimi sırasında estetik faktörler göz önüne alınarak, bu tür sorunlar en aza indirilebilir.

Yapılan bir çalışma, halkın temiz enerjiye karşılık estetikten bir miktar özveride bulunabileceğini göstermiştir.

3.7.3 Gürültü

Gürültü sorunu da, görsel etki gibi kişiye bağlı olan bir unsurdur. Endüstriyel bir alanda kabul edilen gürültü düzeyi, kırsal bir alanda kabul edilemeyebilir. Gürültünün kabul edilebilirliği, halkın tarlalarına olan genel tavrına bağlıdır.

Bu sorun anlaşılabilmesi için rüzgâr enerji dönüşüm sistemleri tarafından üretilen duyulabilir (frekans= 16-20 Hz) ve duyulamaz seslerin (frekans<16) incelenmesi gerekir. Şimdiye kadar yapılan testlerin sonucuna göre, hem küçük hem de büyük rüzgâr enerji dönüşüm sistemlerinin oluşturduğu işitilebilir gürültü, büyük çevresel etki göstermemektedir. Bütün testlerde kaydedilen gürültü seviyesi, rüzgâr enerji dönüşüm sisteminin çok yakınındaki yerlerde bile kabul edilebilir düzeydedir.

3.7.4 Arazi kullanımı ve toprak kirliliği

En önemli çevresel etki, büyük rüzgar tarlaları tesis edilirken oluşur. Rüzgâr enerji dönüşüm sistemlerinin tesisi, bakımı ve diğer amaçlar için arazinin kullanımı gerekir. Ayrıca bağlantı yolları, kablo çekimi ve su deposu kurma gibi nedenlerle toprağın bozulması sonucu, bölgedeki bitki ve hayvan topluluğu etkilenebilir. Bir rüzgar tarlasının montaj süresi, konvansiyonel güç santrallerine oranla çok kısadır. Tesis kurulduktan sonra, istenirse arazi yeniden tarıma elverişli duruma getirilir.

3.7.5 Biyofiziksel etki

Mikroklimatik değişiklikler, kuşların göçü ve etkileri biyofiziksel unsurlardır.

1 km'lik bir rüzgâr enerji dönüşüm sistem dizisi, aynı uzunluktaki bir yüksek gerilim hattından daha fazla zararlı değildir. Bazı durumlarda bu zarar, hattın %10'u kadardır.

3.7..6 Dönen yapıların oluşturduğu elektromagnetik girişim

Rüzgâr enerji dönüşüm sistemlerinin dönen kanatları elektromagnetik iletişim cihazlarında girişime neden olabilir. Bu girişimin etkili olduğu alanlar;

1. TV yayınları.
2. Radyo, FM radyo ve TV sesi.
3. Havacılık ve denizcilik sistemleri.
4. Mikrodalga iletişimi.

Büyük rüzgâr türbinlerinden 2-3 km uzakta bu etkiler önemsizdir (E.İ.E.,1992).

4. BİYOKÜTLE ENERJİ KAYNAKLARI

4.1 Tarımsal Biyokütleden Enerji Elde Edilmesi

Tarımsal üretim sektörü, ülkelerin kendi ihtiyaçlarını bağımsız olarak karşılayabilmeleri için yüzyıllardan beri diğer üretim sektörlerinden farklı bir durum göstermiştir. Yirminci yüzyılda gelişmişlik düzeyi, gelişmiş ülkelerin tamamında ve gelişmekte olan ülkelerin bir çoğunda değişmiş ve bunları uluslararası pazar koşullarına bağımlı kılmıştır. Özellikle son yıllarda, bu durum gelişmekte olan ülkeler için çok kararsız bir hale gelmiştir. Gıda üretimi, her koşullarda ülkelerin kendi gıda gereksinimlerini karşılayabilmeleri, hayati önem taşımaktadır.

Yetmişli yıllarda ortaya çıkan enerji krizi, ülkelerin tarımsal üretim için gerekli enerji gereksinimlerini de etkisi altına almıştır. Sürdürülen bilimsel araştırmalar, günümüzde önemli oranda yararlanılan sıvı yakıtların yerine kullanılabilir, yerel olarak mevcut enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece, enerji içeren hammaddelerin üretilmesi konusunda tarım ve hayvancılık sektörlerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Gelişmiş ülkelerin bir çoğunda biyokütle kaynaklarından ekonomik olarak enerji elde edilmesi konusunda bir çok sorun bulunmaktadır. Bununla birlikte, dünyada gelişmekte olan ülkelerin çoğunda bu kaynaklardan enerji elde edilmesi için teknik, ekonomik ve sosyal koşullar daha uygundur. Basit plastik filmle kaplı seralar, saman, biyokütle birikimleri, pamuk artıkları, odun, kömür vb. yakıtların yakıldığı ucuz sobalar kullanılarak kolay bir şekilde kısmen ısıtılabilir.

Endüstrileri gelişmiş olan ülkelere, sebze kalıntılarının veya hayvansal atıkların sıvı veya gaz haline getirilmesi ekonomik koşullar da uygun olmayabilir. Bununla birlikte, işgücünün çok ucuz olduğu ve gereksinimlerini karşılamak için yetersiz sıvı ve gaz yakıt dış alımı yapan ülkeler için bu biyokütle kaynakları alternatif olabilir. Bu nedenle, enerji değeri olan tarımsal ve hayvansal ürünlerin enerji özelliğine sahip yan çıktıları potansiyel enerji kaynağı olarak sera ısıtılmasında kullanılabilir. Biyokütle enerji kaynakları arasında özellikle:

1. Gevşek saman, saman biriketleri, pamuk kalıntıları, mısır koçanları, odun, talaş, odun kalıntıları vb. doğrudan yakma için uygundur.
2. Saman, çeltik kabuğu, ağaç artıkları, üzüm asması çubuğu ve meyve dalları bazı tohumları artıkları vb. sıkıştırılarak biriket haline getirilebilir ve böylece iyi kaliteli ticari yakıt olarak kullanılabilir.
3. Birçok üçüncü dünya ülkesinde enerji kaynağı olarak hala önemini koruyan, meyve çekirdekleri, tropik kökenli hafif ve sert odunlar, odun kömürü üretimine eleverişlidir.
4. Sebze, kolza yağları veya benzer ürünler, koşulları bu ürünlerin üretimine ve enerji dönüşümüne uygun olan ülkelerde gelecekte fosil yakıtların yerine geçen enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

Biyokütle enerji kaynaklarından bazılarının asıl değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.2 Kuru Biyokütle Doğrudan Yakılması

Biyokütleden ısı kazanmak için en basit ısıl dönüştürme işlemi bu biyokütlenin yakılmasıdır. Farklı biyokütle enerji kaynakları için buharlaşabilen gazlar ve oksijen içeriğine bağlı olarak farklı yanma odası tasarımlarına gereksinim duyulur. Biyokütle kaynakların yanması iki fazda gerçekleşir. Birinci fazda buharlaşabilen gazlar açığa çıkar, ikinci fazda arta kalan sert karbon yavaşça yanar. Basit yakma cihazların farklı biyokütle kaynakları birarada kullanılabilir. Fakat büyük kazan tesislerinde; özel biyokütle malzemeleri için geliştirilmiş bacaların kullanılması ile yüksek yanma etkinliği sağlanır.

Günümüzde basit plastik film seraların dona karşı korunması amacı ile yapılan ısıtmada, tarımsal ürünlerin yan çıktıları doğrudan yakılmaktadır (Türkiye, Yunanistan, Yugoslavya vb.). Büyük cam işletmelerindeki ekonomik olarak düzenlenen kazan tesislerinde, bağlardan

veya meyve bahçelerinden elde edilen artıkları ile hububat saplarının yakılması, ancak bunların kaynaklar yakınına kurulması durumunda uygun olur.

“Çizelge 4.1” Bazı biyokütle enerji kaynaklarının ısı değeri (Apfelböck,1985)

Biyokütle Enerji Kaynakları	Isıl Değeri (MJ/Kg)	Petrol Eşdeğeri (kgPE/kg)
Hububat samanı	14.7	0.35
Pamuk Sapı	16.4	0.39
Orman	16.3	0.39
Yumuşak Odun	16.3	0.39
Sert Odun	14.9	0.35
Asma Dalları	18.8	0.45
Bahçe artıkları	16.6	0.40
Meyve bahçesi budama artıkları	16.3	0.39
Dizel Yakıtı	41.6	1.00

4.3 Tarımsal Atıkların Sıkıştırılması

Tarımsal atıklar toplandıktan sonra hemen yakılmaz ve bu atıkların yakılmasında kullanılabilecek tesis atıkların toplandıkları yerde kurulmazsa, bu atıkların kullanılacakları yere ulaştırılması pahalı taşıma giderine ve uzun süre depolama sorunlarına neden olur. Bu tür sorunları ortadan kaldırmak için ham durumdaki biyokütlenin sıkıştırılması gerekir.

Biyokütlenin sıkıştırılmasında yaygın olarak; piston, konik vida, ısıtılmış vida ve döner diskli kalıpla biriket haline getirilen sistemler kullanılmaktadır. Uygulanan sıkıştırma yöntemine bağlı olarak ürün boyutları da 6 mm'den 100 mm'ye kadar değişir, böylece bunlar farklı yakma ünetelerinde kullanılabilir.

“Çizelge 4.2” Sıkıştırılmış bazı tarımsal atıkların ısı değerleri (Stürmer, 1985)

Biyokütle Enerji Kaynakları	Isıl Değeri (MJ/Kg)	Petrol Eşdeğeri (kgPE/kg)
Meşe biriketi	16.6	0.40
Ağaç kabuğu biriketi	16.2	0.39
Kavrulmuş: Pin des Caribes	23.6	0.56
Okalıptus	23.8	0.57
Dabema	22.6	0.54
Padouk	23.0	0.55
Dizel ykıtı	41.6	1.00

Tarımsal artıkların sıkıştırılmasında kullanılan fiziksel yöntemlerden ayrı piroliz ara ürünü olarak elde edilen, yanmış odun olarak bilinen madde de sıkıştırılmış biyokütle gibi aynı özellikleri taşır. Bu şekilde elde edilen odunun kimyasal özellikleri, odun kömürünün özelliklerinden daha kötüdür, fakat az kül bırakması nedeni ile fiziksel özellikleri daha iyidir. Enerji değeri olan bu tür ham malzemelerin seraların ısıtılması için kullanılmasını

sınırlandıran en önemli etmen; fosil yakıtların fiyatlarıyla karşılaştırıldığında; toplama, taşıma, işleme depolama ve bakım işlemleri için gerekli giderlerin yüksek oluşudur. Bu tür malzemeler genellikle küçük plastik film seralarda (İtalya), fakat çok az oranda kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış bazı tarımsal atıkların ısı değeri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

4.4 Enerji Değerlikli Ham Madde Olan Bitkisel Yağlar

İnsanların er veya geç bir gün fosil yakıt kaynaklarının sınırlılığı sorunu ile karşılaşacağı ortadadır. Belirli ekonomik ve fizyolojik sınırlamalar içinde enerji değeri olan ürünler, özellikle yağ bitkileri, gelecekte bu sorunun giderilmesine potansiyel bir çözüm sağlayabilir.

“Çizelge 4.3” Seçilmiş bazı bitkisel yağların ısı değerleri (Apfelback, 1985)

Biyokütle Enerji Kaynakları	Isıl Değeri (MJ/Kg)	Petrol Eşdeğeri (kgPE/kg)
Kolya yağı	35.8	0.85
Soya Yağı	36.1	0.86
Ayçiçeği yağı	36.2	0.86

Burada bitkisel yağ terimi hiç bir özel bitki belirtilmeksizin genel olarak kullanılmıştır. Bu genelleştirme, farklı bitkilerden elde edilen yağların kimyasal bileşimlerinin ve ısıl değerlerinin birbirine çok benzer oluşu gerçeğine dayanarak yapılmıştır. Dünya koşullarında,

bio-sıvı yakıt üretimine elverişli bir çok ürün ve doğrudan yakma veya hayvan yemi olarak kullanılabilen bir çok atık maddeler bulunmaktadır. Günümüzde bitkisel yağlarla seraların ekonomik olarak ısıtılabilceğine ilişkin bir bulgu yoktur. Bazı bitkisel yağların ısıl değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

4.5 Biyokütleden Odun Kömürü ve Sıvı Yakıt Üretimi

Günümüzde gelişmekte olan bir çok ülkede odun ve odun kömürü asıl enerji kaynağı olarak geçerliliğini korumaktadır. Odun kömürü üretimi için daha iyi tekniklerin geliştirilmesine yönelik olarak atılacak her adım, dünya çapında bu üretimin optimizasyonunu sağlayacaktır.

“Çizelge 4.4” Odun kömürü ve bio-sıvı yakıtların ısıl değerleri

Biyokütle Enerji Kaynakları	Isıl Değeri (MJ/Kg)	Petrol Eşdeğeri (kgPE/kg)
Odun Kömürü	30.1	0.71
Metanol	19.4	0.46
Etanol	26.9	0.64
Benzin	42.5	1.01
Dizel yakıtı	41.6	1.00

Odun kömürü üretiminde yaygın olarak kullanılan üç teknolojik yöntem vardır. Klasik, yavaş, ani ve yüksek basınçlı piroliz (sıvılaştırma). Bu teknolojilerden son olarak bildirilen yüksek basınçlı piroliz, henüz ticari olarak kullanılmamakta ve elde edilecek sonuçlar ham malzemenin kimyasal yapısına bağlı olarak önemli ölçüde de değişmektedir. Odun kömürü ve diğer bazı sıvı yakıtların ısıl değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Uygulamada, basit plastik kaplı film seraların (Türkiye) dona karşı korunması amacı ile ısıtılması için odun kömürü kullanılır. Ancak gelecekte seraların odun kömürü ile ekonomik olarak ısıtılabilceğini bildirmek mümkün değildir.

4.6 Bitkisel Biyokütleden Gaz Yakıt Üretimi

Bitkisel biyokütleden gaz yakıt üretimi için, termokimyasal veya biyokimyasal dönüşümden oluşan çeşitli teknik ve teknolojiler kullanılmaktadır.

Geçtiğimiz yüzyılın ortasından bu yana odun ve diğer biyokütle atıklarından gaz yakıt üretimi yapılmaktadır. Geçmişte sıvı yakıt kaynakları yok edildiğinde, çoğu zaman özellikle gaz yakıt üretimine başvurulmuştur. Bazı dünya ülkeleri için gelecekte gaz yakıt üretiminin önem kazanacağı ümit edilmektedir. Fakat bu durum seraların ısıtılması için söz konusu değildir.

“Çizelge 4.5” Biyogaz ve bazı biyo-sıvı yakıtların ısı değerleri (Nyns, 1985)

Biyokütle Enerji Kaynakları	Isıl Değeri (MJ/Kg)	Petrol Eşdeğeri (kgPE/kg)
Biyogaz (50/50)	13.4	0.32
Biyogaz (65/35)	20.3	0.49
Biyogaz (80/20)	29.9	0.71
Metan	50.0	1.19
Etanol	29.9	0.64
Gasoil	42.1	1.00

Biyokimyasal dönüşüm diğer bir deyimle aneorabik bozulma yeşil ve silaj haline getirilmiş bitkiler ve atıklar için geliştirilmiş olan ileri bir teknolojidir. Hammadde bileşimindeki farklılıktan kaynaklanan biyokimyasal dönüşüm, teknolojilerindeki farklılık nedeniyle, iyi tasarlanmış tesislerde yöntemin etkinliği ve biyogaz verimi 300-800 litre/kg arasında değişir. Bu tesislerde üretilen gazın %50-65 metan (CH_4) içermektedir. Biyogaz ve bazı biyo-sıvı yakıtların ısı değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir (Nyns, 1985).

1.7 Hayvasal Atıklardan Gaz Yakıt Üretimi

Ahır gübresi hiçbir işleme tabi tutulmadan ve hiç zaman yitirmeden derhal tarlaya verilirse, taze gübrede C/N ilişkisinin olumsuz olmasından dolayı, toprağın azot blançosu ürün üzerinde, geçicide olsa, olumsuz etki yapar ve aynı zamanda yabancı tohumların ve patojen bakterilerin tarlaya iletilmesine neden olur. Bundan başka, tarlaya taşınmasında olanaksızdır. bu nedenle, ahır gübresinin tarlaya verilinceye kadar korunması gerekir. Normal olarak, gübre, ilkbahar ve sonbaharda tarlaya verileceğinden, ortalama altı aylık normal bir muhafazada, ahır gübresi, organik maddesinin % 33’ünü yitirmektedir. Burada, organik maddelerden başka, N, P_2O_5 ve K_2O gibi değerli bitki besinleri de kaybolur. Ahır gübresinin gübre değeri , bu yönden de azalır. Gübredeki bu büyük kaybı önlemek için değerlendirme yolları bulunmuştu.

Hava ile ilişkisi kesilmiş olan özel kaplar içindeki organik artıkların ve ahır gübresinin fermentasyon sonucunda, bileşimi yaklaşık olarak %60-62 metan ve %30-40 karbondioksitten oluşan bir gaz elde edilmektedir.

Tarımda özellikle hayvancılık sektöründe gaz yakıt üretimine uygun olan üç tip atık bulunmaktadır.

1. Hayvanların sıvı dışkıları, hayvanlardan kaba katı dışkılarının (kıllar, sert kıllar, tüyler vb.) su ile karışmış hali;

2. Sıvı hayvan gübresi, bir önceki gruptan daha az su içeriğine ve daha yüksek oranda kaba parçalara (saman, ürün artıkları vb) sahip olması ile farklılık gösterir;

3. Katı gübre ve bitki artıkları, sıvı değildir, bunların aneorobik çürümeye uygun hale getirmek için özel yöntemlere gereksinim vardır.

Değişik tür hayvan atıklarından elde edilebilecek enerji miktarları aşağıda verilmiştir.

1. Genç sığırlar	: 9,11 MJ/gün
	: 0,42 m ³ biyogaz/gün
2. İnekler	: 12,96 MJ/gün
	: 0.60 m ³ biyogaz/gün
3. Besi domuzları	: 2,60 MJ/gün
	: 0,12 m ³ biyogaz/gün
4 .Kümes Hayvanları	: 0,22 MJ/gün
	: 0,01 m ³ biyogaz/gün

Hayvansal atıkların aneorobik olarak çürümesi için bakteri tipine bağlı olarak çok ilkel olabileceği gibi oldukça karmaşık birçok sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemler arasındaki farklılıklar; tekdüze yapı, katı parçacıkların durumu, sürekli akış özellikleri, uygun sıcaklık gibi aneorobik çürümeye deha uygun koşulların sağlanmasında temel olan besleme deposu ön-işleminden kaynaklanır. Farklı biyogaz teknolojilerinin karşılaştırılmasında en iyi yöntem, biyogaz verimlerinin ve metan içeriklerinin değerlendirilmesidir.

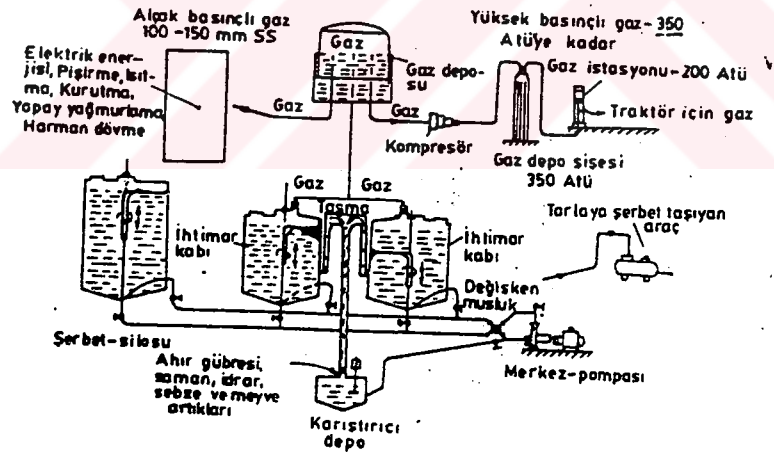
Çiftliklerde kullanılan basit bozunma tankları için basit ocaklar ile endüstriyel biyogaz yakma kazanları için özel yakma düzenekleri geliştirilmiştir. Bunlar günümüzde ticari olarak kullanılmaktadır. Seracılıkta bu teknolojinin kullanımını sınırlandıran asıl sorun, ısı

tüketimindeki değişme ile ortaya çıkan biyogaz depolama işleminin günümüzde pahalı olmasıdır (Popovski, 1984).

4.8 Biyogaz Tesisleri

4.8.1 Büyük kapasiteli biyogaz tesisleri

Büyük kapasiteli bir biyogaz tesisinin şematik resmi görülmektedir (Şekil 4.1). Böyle bir tesise sahip olan bir tarım işletmesinde taladan harman makinesine ve ambara gelen hubat saplarının yaklaşık % 25'i ahırlara ve % 75'i de doğrudan doğruya karıştırma deposuna



“Şekil 4.1” Büyük kapasiteli biyogaz tesisi

taşınmaktadır. Samanın 3cm uzunluğunda kıyılmış olması, amacı sağlamaktır. Saman, bahçe artıkları (sebze ve meyve artıkları vb.) organik maddeler ile ahırdan gelen dışkı, sıvı ile karıştırma yerinde lapa haline getirilmektedir. Mekanik olarak gübrenin ahırdan alınması için, gübre iletim yolu üzerinde yaklaşık 3 m³'lük bir toplama çukurunun yapılması uygundur. İdrar da bir kanalla bu çukura gelir. Buradan, lapa haline getirilmiş maddeler, pompa yardımıyla, karıştırma haznesine, oradan da fermantasyon kaplarına gönderilir. Böylece, fermantasyon kaplarının sürekli dolu bulunması ve karıştırma kabına atılan organik maddeler ile sulu maddelerin dolanımı sağlanmış olur. Fermitasyon kaplarında gaz kabarcıkları çıkarken, katı parçacıkların yüzeye sürüklenmesinden ileri gelen yüzücü örtü, zaman zaman yıkama hüzmesi düzeniyle giderilmelidir.

Fermantasyon kaplarındaki reaksiyon iki kademelidir.

1. Organik uçucu asitlerin oluşması,
2. Oluşan asitlerden metan ve karbondioksitin meydana gelmesi.

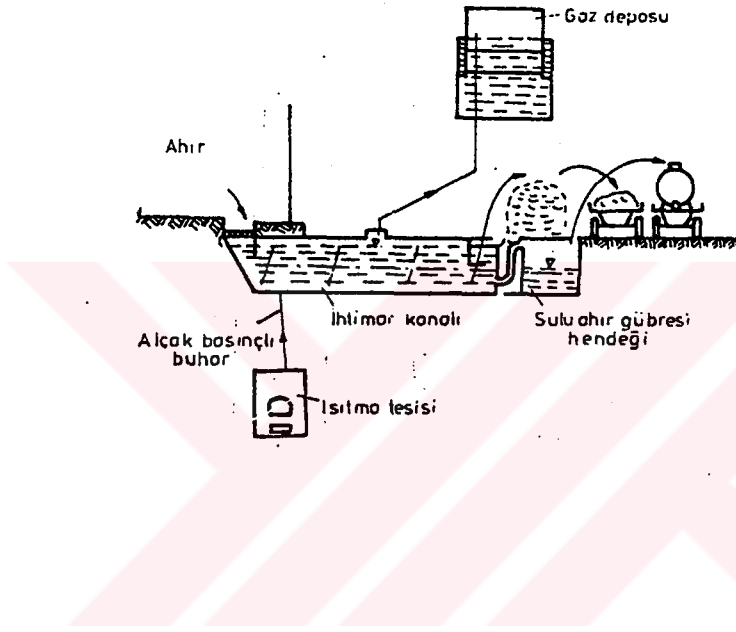
Biyogaz tesislerinde uygulanan işletme sistemlerinin, üç ana grup altında toplanabilir. Bunlar:

1. Sürekli akış sitemi ,
2. Değişken tank sistemi,
3. Biriktirmeli tank sistemidir.

Sürekli akış sisteminde, doldurma ve boşaltma sürekli olmaktadır. İkinci sistemde, en az iki tank yada bölme vardır. Dolum, sıra ile yapılmaktadır. Fermantasyon sonucunda maya bırakılarak tüm metaryal boşaltılır. Üçüncü sistemde, metaryal, boşaltılıncaya kadar tank içinde kalır. Fermantasyon ortamındaki metan bakterilerini çoğaltmak , fermantasyonu fazla metan oluşacak şekilde düzenlemek ve bir yandanda tarıma yararlı durumdaki organik gübreyi elde etmek, her biyogaz işletmesinin amacı olmaktadır.

4.8.2 Küçük kapasiteli biyogaz tesisi

Bu tesisler, az hayvanlı küçük çiftçi işletmeleri için düşünülmüş uygulamaya konulmuştur. Fermantasyon kanalı yöntemine göre çalışan küçük bir gaz sistemi şematik resmi görülmektedir (Şekil 4.2).



“Şekil 4.2” Küçük kapasiteli biyogaz tesisi (Yavuzcan, 1983)

Bütün tesislerden üretilen biyogaz, hemen yalnızca işletme içinde yemek pişirme ve ısıtma alanlarında kullanılmaktadır. Böyle bir tesiste fermantasyon kanalının uzunluğu 3-4 m, genişliği 2 m ve yüksekliği de 2.2 m kadar olmaktadır.

Büyük ve küçük kapasiteli biyogaz tesisleri arasında bulunan orta kapasiteli biyogaz tesisleride vardır

4.9 Organik Çöpler

Dünya’da son yıllarda çöpten enerji elde etmek üzere çöp alanlarının rehabilite edilmesi çok yaygınlaşmıştır. Çöpün kapalı bir hacimde deplanmasından 6-12 ay sonra organik atıkların fermantasyon sonucunda gaz üretimi başlamaktadır. 2-2.5 yıl sonra maksimum gaz çıkışı sağlanmaktadır. Yurtdışında “Lanfill Gaz “ olarak adlandırılan ve %60’a kadar metan bulunduran bu gaz çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Ülkemizde de çöp alanlarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara özellikle büyük şehirlerimizde son yıllarda hız verilmiştir (Akbaş, 1994).

4.10 Sera Isıtmasında Biyokütle Kullanım Ekonomisi

Seraların ısıtılması için biyokütle kaynaklarının kullanım ekonomisi, fosil yakıtların kullanılmasına benzer bir şekilde tahmin edilmeyebilir. Bu, serada uygulanan üretim tekniğine ve üretim hedeflerine, hammaddenin sağlanması için yerel koşullara, fosil yakıtların sağlanması durumuna ve fiyatlarına, sera ürünlerinin yerel pazar koşullarına ve üreticinin yatırım gücüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir.

Yüksek kaliteli üretim nedeniyle düzenli olarak ısı sağlanması gerekliliğinin önemli bir önceliğe sahip olduğu ve seçici sıcaklık kontrolünün temel gereksinim olduğu Orta ve Kuzey Avrupa koşullarında sera ısıtması için ekonomik bir biyokütle yakma teknolojisini bulmak oldukça güçtür.

Güney Avrupa’da ve dünyüda gelişmekte olan ülkelerin bir çoğunda durum farklıdır. Biyokütle daha fazla işçilik yatırımı gerektirmesine karşın, sera üretiminin yaygınlaşması için çok iyi bir olanak olup, küçük plastik film seraların ücretsiz olarak ısıtılması da mümkündür. Bazı durumlarda ek bir yatırım bile gerekmemektedir. Saman, meyve bahçesi, bağlardaki çırpılar ve benzer maddelerin doğrudan yakılması için çok basit sobalar kullanılabilir. Korumalı tarımda biyokütle enerji kaynaklarından daha geniş oranda yararlanmak için, yerel

olarak mevcut ham maddelerin durumu, işçilik ve yatırım giderleri ile ürün bedellerinin düşük olduğu koşullarda, pahalı ve dışalım yapılan fosil yakıtların rekabet edebilirliği çok zayıftır.

4.11 Gelişim ve Beklentiler

Günümüzde biyokütle enerji kaynaklarının sera üretimi için çok büyük önem taşıdığını belirtmek mümkün olmamakla birlikte, bu kaynakların yerel olarak mevcut ve basit el yapımı ekipmanlarla kullanılabilir olma üstünlükleri, dünyanın birçok ülkesinde ilgi odağı haline gelmiştir. Bu nedenle, konuya ilişkin geliştirme çalışmaları önemli ölçüde desteklenmektedir. Günümüzde bilinenlerden daha yüksek verimlilikteki basit tekniklerin geliştirilmesi araştırılmalıdır. Tarımsal atıklardan, hayvan yemi ve yakıt üretimini birlikte sağlayacak işletmelerin kurulması haline, bu kaynakların yakın gelecekte gelişmiş ülkelerde bile rekabet edebilir duruma geleceği söylenebilir. Bu durumdan doğal olarak sera üretim sektörü de yararlanacaktır (Popovski, 1984).

5. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyada nüfusun sürekli artışına bağlı olarak enerji gereksinimlerinde hızla artmaktadır. Günümüzde mevcut fosil enerji kaynaklarının tükenmesi, 1973 'te olduğu gibi bir enerji krizinin yaşanması olasılığı, ülkeleri ve sektörleri yeni enerji kaynakları aramaya yöneltmektedir.

Enerji sorununun çözümü için tüm dünya devletleri, özellikle tükettikleri enerjiyi denetim altına alarak, tasarrufa yönelmektedirler. Yeni enerji kaynakları araştırılmakta ve doğanın en büyük enerji kaynağı güneşten yararlanmak amacıyla yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisinin bedava olması, sürekli olması, dünyaya direk geliyor olması, kalitesinde hile olmaması, çevre kirliliği yaratmaması, ulaşım sorunu ve dışa bağımlılığı olmaması nedenleriyle güneş enerjisine olan ilginin dahada artmasına sebep olmuştur.

Güneşin enerjisi hidrojenin helyuma dönüşmesinden kaynaklanır. Yüzeyin sıcaklığı 5762 °C 'dir. Atmosfer dışı radyasyon şiddeti 1353 W/m² olmasına karşın, atmosferdeki kayıplarla yeryüzüne ulaşan miktar 100-1000 W/m² arasında değişmektedir.

Her yıl dünya üzerine gelen güneş enerjisi, fosil ve uranyum yakıt kaynaklarının 10 katına ve yıllık enerji tüketiminin 15000 katından fazladır. Bu sebeple güneş enerjisi ile ısıtma, soğutma, elektrik enerjisi üretimi, tarım ve orman ürünlerinin kurutulması gibi farklı alanlarda güneş enerji uygulamalarında başarıya ulaşılmıştır. Ancak güneş enerjisini yararlı enerjiye dönüştüren sistemlerin ilk yatırım masrafları çok yüksektir. Yapılan araştırmalar, tarıma dayalı sanayi sektörünün güneş enerjisi kullanımı için daha uygun olduğunu göstermiştir.

Güneş radyasyonu spektral olarak incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ortalama değerlerle ifade edilirse radyasyonun %7,5'lik kısım ultraviyole olup, bu kısmın dalga boyu 0,2 ile 0,4 µm aralıktadır. Dalga boyu 0,4 ile 0,7 µm sınırları arasındaki görünür ışık ise, güneş radyasyonunun %41,5'lik kısmını oluşturur. %51'ine karşılık gelen infraruj

radasyonda 0,7 ile 3 μm sınırları arasındaki dalga boyuna sahiptir. Güneş radyasyonunun ısıtıcı etkisi bünyesindeki infraruj radyasyondan gelmektedir. Yeryüzündeki güneş radyasyonu direkt, diffüz ve çevreden yansıyan olmak üzere üç kısımda incelenir. Toplam miktar ise bu üç farklı bileşenin aritmetik toplamından oluşur. Atmosferde herhangi bir şekilde dağılmaya maruz kalmadan yeryüzüne ulaşan radyasyona direkt radyasyon denmektedir. Bu radyasyon yalnızca atmosferin filtrasyon etkisinde kalarak şiddetinden kaybeder.

Diffüz radyasyon ise atmosfere girmiş olan güneş radyasyonunun bir kısmının bulutlar, kuru hava ve aerosol moleküllerinden çeşitli yönlerde yansıtılması ile dağıtıldıktan sonra yinelenen yansımalar sonucu yeryüzüne ulaşmasıyla oluşur. Bu yansımada yerin albedosunun bile etkisi vardır. Fakat asıl önemli yansıma bulutlarda gerçekleşir. Yapılan ölçmeler, bulutsuz zamanlarda da ihmal edilemeyecek oranlarda diffüz radyasyon olduğunu göstermiştir.

Bulunulan herhangi bir yerdeki güneşlenme süresi ve radyasyon intensivitesi teorik olarak hesaplanabilir (Arınç, 1990; Sönmez, 1995).

5.1 Türkiye Açısından Güneş Enerjisinin Önemi

Ekvatorun 30° kuzey ve 30° güney enlemleri arasında kalan bölgeye “Güneş Kemerı” adı verilir. Türkiye coğrafi konumuyla (36°-42° kuzey paralelleri arasında) bu kemere çok yakın olduğundan güneş enerjisi alma yönünden şanslı bir ülkedir. Güneşlenme süresi yıllık ortalama 2640 saat, güneş enerji şiddeti 290 W/m²’dir. Türkiye’nin tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi yaklaşık olarak 120 milyar (Ton Eşdeğer Taşkömürü) veya 77 milyar (Ton Eşdeğer Petrol) kadardır. Güneş enerjisi potansiyelinin Türkiye’de değerlendirilmeye başlanması henüz çok yeni olmakla beraber, konutlarda, fabrikalarda, turistik tesislerde sıcak su ihtiyacını karşılayan sistemler halinde kullanılması, giderek yaygınlaşmaktadır (Arınç, 1990; Yazıcı, 1992).

5.2 Güneş Enerjisinin Toplanması

5.2.1 Güneş enerjisinin ısısal yolla toplanması

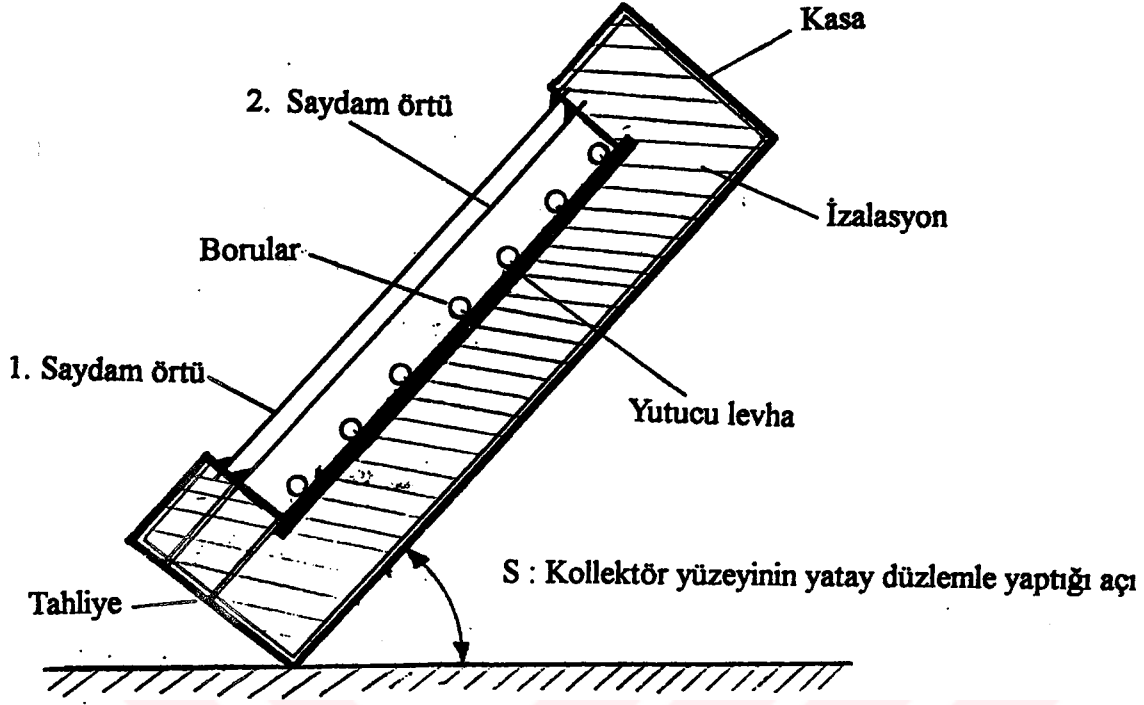
Güneş enerjisinin ısısal yolla toplanması için kolektör kullanılmaktadır. Kolektörlerde, odaklı ve düz yüzeyli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Düz yüzeyli kolektörlerin konumları çalışma süresince sabittir. Ancak mevsimlik ayarlama gereksinim gösterirler. Bu ayarlamalar periyodik devrelere rastlar. Buna karşılık, küre parçası şeklinde yapılan odaklı kolektörlerin, gün boyunca güneşi takip edebilecek şekilde hareket etmeleri gerekir. Ayrıca düz yüzeyli kolektörler direkt ve diffüz radyasyonu faydalı hale getirebildikleri halde, odaklı kolektörler yalnızca direkt radyasyondan faydalanabilir. Maliyet yönünden yapılan araştırmada da düz yüzeyli kolektörlerin daha ucuz olduğu görülmektedir.

Türkiye açısından düz yüzeyli kolektörlerin üzerinde durulması gerekmektedir. Ülkemizin güneş kuşağında bulunması, pekçok bölgemizde yaz ayları dışında diffüz radyasyon miktarının fazlalığı düz yüzeyli kolektörlerin seçilmesinin bir nedenidir. Ancak yüksek sıcaklıkların elde edilmesinde odaklı kolektör kullanmak gerekmektedir.

5.2.1.1 Düz yüzeyli kolektörler

5.2.1.1.1 Konstrüksiyonları ve özellikleri

Güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren en basit araçlardan biridir. Genel olarak sıvılı kolektörler; bir cam örtü, yutucu plaka, plakaya entegre edilmiş borular, yalıtım malzemesi ve kasadan ibarettir. Kısa dalga boylu ($0.3 \mu m - 3 \mu m$) güneş ışınımının cam örtü tarafından yaklaşık %85-90'ı geçirilir ve yutucu levha tarafından absorblanır.



“Şekil 5.1” Düz bir kollektörün şematik şekli

Yutucu levha tarafından yayılan uzun dalga boylu ısı ışınlarının ise, cam örtü tarafından yaklaşık %90’ı absorblanır. Böylece güneş ışınlarının taşıdığı enerjinin büyük bir kısmı yutucu levha tarafından yutulur. Yutucu plakalar, aldıkları enerjiyi içlerindeki borulardan geçen bir akışkana aktararak, akışkanın sıcaklığını artırır. Sıcaklığı artan akışkan ise kullanım amacına uygun olarak ya depolanıp kullanılır yada çevrime geri gönderilir. Yutucu plakalar genellikle bakır, paslanmaz çelik ve alüminyumdan yapılmaktadır. Düz bir kollektörün şematik şekli gösterilmiştir (Şekil 5.1).

Bir kollektörün verimi, kollektörün topladığı gerçek faydalı enerjinin kollektör üzerine düşen güneş enerjisine oranı şeklinde tanımlanır. Verimli bir kollektör aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

1. Üzerine düşen güneş enerjisi miktarının çoğunu absorbe edebilmelidir,

2. Kollektörden çevreye olan ısı kayıpları en az düzeyde olmalıdır,
3. Absorbe ettiği içindeki ısı taşıyıcı akışkana yüksek bir verimlilikle geçirmelidir,
4. Uzun ömürlü ve montajı kolay olmalıdır.

Verimli bir güneş kollektörü; üzerine düşen güneş enerjisi miktarının çoğunu yutmalı, ısı kayıpları en az düzeyde olmalı ve güneş ışıınımını ısı taşıyıcı akışkana yüksek oranda iletebilmelidir.

Sıvılı düzlemsel güneş kollektörünü dış ortamda güneş ışıınımının etkisine bıraktığımızda aşağıdaki olaylar meydana gelir:

1. Kollektörün yutucu yüzeyi tarafından yutulan enerji, yüzey sıcaklığını artırır.
2. Yüzeyin sıcaklığı, dış ortam sıcaklığından yüksel olduğu için, yüzeyden taşınım yoluyla ısı kaybı meydana gelir.
3. Yüzeyin sıcaklığı yükseldiği için, yüzey tarafından yayınımla kaybedilen enerji artar.
4. Yüzeyin sıcaklığının artması sonucunda, malzeme bünyesinde kondüksiyonla ısı iletimi meydana gelir.
5. Yüzeyin sıcaklığının artması sebebiyle, bünyesinde ısı depolanır.
6. Yutucu yüzeye ulaşan ısı enerjisi, taşınım ve yayınımla ısı taşıyıcı akışkana ulaşır.

Sıvılı düzlemsel güneş kollektörleri, konutların sıcak su ihtiyacının karşılanmasında, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, sanayii için gerekli sıcak su ihtiyacından kullanılabilir.

5.2.1.1.1.1 Kollektör kasası ve yalıtımı

Kasa alüminyum, paslanmaz çelik, galvanizli çelik, ağaç, plastik gibi malzemelerden yapılmaktadır. Kasa yapımında aynı cins malzeme kullanılmalıdır. Kasa yalıtkanın ıslanmasını önleyebilecek sızdırmazlıkta olmalı ve özellikle kollektör giriş ve çıkışlarında kasanın

sızdırmazlığı tam olarak sağlanmalıdır. Yapımında kullanılan malzemelerin ısı genleşmeleri dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Kasa, kollektörü sağlam bir şekilde taşınmalı, yutucu plaka ile kasa arasında yalıtım uygulanmalıdır. Kasanın yan yüzeylerinde 20-50 mm, arkasında ise 50-100 mm kalınlığında cam yünü veya buna eşdeğer yalıtım sağlayacak kalınlıkta yalıtkan kullanılmalıdır.

5.2.1.1.1.2 Kollektör örtüsü

Kollektör örtüsü, taşınım ile çevreye olan ısı kaybını önlediği gibi yutucu yüzeyi yağmur, dolu ve toz dış etkilerden de korur. Kullanılan saydam örtü, kısa dalga boylu güneş ısınımını geçirme oranı büyük, yutucu levha tarafından yayılan uzun dalga boylu ısınımların dışarı çıkmaması için uzun dalga boylu ısınımları geçirme oranı küçük olmalıdır. Kullanılan örtü malzemesi yüksek geçirgenlik oranına sahip olmalı ve yutma ve yansıma oranları minimum tutulmalıdır.

Güneş kollektörlerinin çeşitli parçalarında güneş ısınımının yansıması, geçirgenliği ve yutulmasının kollektör verimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Gelen ısınımın bir fonksiyonu olan yansıma, geçirgenlik ve yutma örtü malzemesinin kalınlığına, kırılma indisine ve azaltma katsayısına bağlıdır (Coşkun, 1996).

Kollektörün üst örtüsü , 3-4 mm'lik camdan veya eşdeğeri saydamlık ve mor ötesi (ultraviyole) ışınlar karşı yeterli saydamlıkta malzemedan yapılmış olmalıdır. Üst örtünün geçirgenliği zamanla önemli ölçüde azalmamalıdır. Örtü malzemesinin en önemli avantajı kollektörün ısı kayıplarını azaltmasıdır. Cam üzerine gelen güneş ışınlarının görülebilir olanları yutucu plakaya geçerler, yutucu plakadan olan radyasyonu dışarıya bırakmayarak bir kısmını tekrar yutucu plaka üzerine yasırlar. Örtü malzemesi, rüzgar ve tabii konveksiyonla, yutucu plakamın soğumasını önleyerek ısı kayıplarını önemli ölçüde düşürürler. Cam, üzerine düşen güneş ışığının görülebilir kısmının %85-90'ını geçirir. Geriye kalan kısım, ışığın camdan geçişi sırasında cam tarafından absorbe edilir. Absorbe edilen ışık miktarı camın ihtiva ettiği demir oksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Demir oranının artmasıyla

absorbe edilen ışık miktarı da artar. Saydam plastikler cama göre dayanıklı ve elastiktirler. Ancak çizilmeye ve aşınmaya karşı relatif olarak daha düşük dirençlidirler ve hava koşullarına karşı dayanıksızdırlar. Çeşitli örtü malzemelerinin özellikleri verilmektedir (Çizelge 3.1).

“Çizelge 5.1” Kollektörler için çeşitli örtü malzemelerinin özellikleri

Malzeme	Standart kalınlık (mm)	Güneş ışını geçirgenliği (%)	(Fe ₂ O ₃)(%)
Pencere camı	4	85	0.081
Düşük demirli cam	3	87	0.080
Su beyazı camı	3	90	0.016
Polyester katkılı fiberglas	1	87	---
Fleksiglas (akrilik)	3	89	---

5.2.1.1.3 Yutucu plaka ve yüzey kaplamaları

Yutucu plaka, güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı sıvıya aktaran önemli bir kısımdır. Bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, plastik gibi ısı iletkenliği uygun bir malzemeden imal edilir. Taşınma kanalları roll-bond, ekstrüzyon, presleme, kaynak, lehim gibi benzer işlemlerle plakanın içinde, üstünde veya altında olacak şekilde şekillendirilebilir. Güneş ışınlarını yutarak ısınan plakanın temas halinde olduğu suyu iyi bir şekilde ısıtabilmesi için ısı iletim katsayılarının yüksek, ısı geçişinin çabuk olması için de ince olmaları istenir. Kollektörlerde kullanılan absorblayıcı plaka malzemelerinin yutma oranı düşüktür. Üst

yüzeyi, güneş ışınlamını yutuculuğu yüksek olan bir malzeme ile kaplanır. İki esas kaplama tipi mevcuttur. Bunlar; siyah boyalı kaplama ve seçici yüzeyli kaplamadır.

5.2.1.1.3.1 Siyah boyalı yüzey kaplama

Siyah boyalı yüzeylerin güneş ışınlamını absorblama oranları yüksek olduğu gibi ışınlamı yayma oranları da yüksektir. Mat siyah yüzeylerin ışınlam absorblama oranları %90-98, uzun dalga boylu ışınlamı yayma oranları %85-92 mertebesinde. Siyah boya olarak polyester, akrilik ve epoksi reçine esaslı mat siyah boyalar kullanılır.

5.2.1.1.3.2 Seçici yüzeyli kaplama

Seçici yüzey çalışmalarındaki amaç; kısa dalga boylu ışınlamın tamamına yakınının yutulması ve uzun dalga boylu ışınlam yayıcılığının en aza indirilmesidir. Böylece plakanın sıcaklığını daha fazla artırarak akışkana daha fazla ısı iletimi sağlamaktır.

Isı ihtiyacı belirlendiği zaman uygun ısıtma sistemi dizayn edilebilir. Isı ihtiyacı bilinen bir sistem için gerekli güneş kolektörü alanı aşağıdaki ifadede hesaplanır (Czarnecki, 1978).

$$A_c = Q_r / \eta Q_i \quad (5.1)$$

Bu arada;

A_c : Güneş kolektörü alanı (m^2)

η : Güneş kolektörü verimi

Q_i : Kollektöre gelen ısıtım şiddeti ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$)

Q_r : Gerekli ısı ihtiyacı ($\text{MJ}/\text{gün}$)

5.2.1.2 Odaklı Kollektörler

Odaklı kollektörlerin teorik olarak üç sebepten kullanılması düşünülebilir:

1. Yüksek sıcaklık düzeyine ulaşmak,
2. Isı kayıpları olan yüzeyi küçülterek, kollektör verimini yükseltmek,
3. Daha kullanışlı ve ucuz kollektör meydana getirmek.

Bir kollektörde, güneş ışınlarının düştüğü net alana “açıklık alanı” ve güneş ısıtımının yutulması diğer bir enerji şekline dönüştürüldüğü yüzeye “alıcı yüzey” denilmektedir. Bir düz kollektörlerde açıklık alanı ile alıcı yüzey birbirine eşittir. Bir düz kollektörde açıklık alanı ile alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak odaklanır ve böylece alıcı yüzey küçültülür.

Güneş ısıtımını, yansıtıcı yüzey veya ışın kırıcı yüzey ile bir noktaya odaklanabildiği gibi, bir çizgi üzerine de odaklanabilir. Noktaya odaklamada çevresel (küresel) simetri vardır. Güneş fırınları, merkezi açılı güç sistemler vb. yüksek sıcaklık isteyen durumlarda kullanılır. Güneş ısıtımının gün boyunca takip edilmesi için iki serbestlik dereceli takip sistemi gerekir. Doğruya odaklama ise silindirik simetriye sahiptir. Orta derece sıcaklık isteyen durumlarda kullanılır. Işınlardan bir doğru üzerinde odaklandırılacağından, bir boyutlu hareketle güneşi takip etmek gerekir.

Aynı açıklık alanına gelen güneş ısıtımından düz kollektörlerde, odaklı kollektörlerden daha fazla yararlanır. Fakat odaklı kollektörlerle, tipine bağlı olarak (doğruya odaklamada $60 \dots 300^\circ\text{C}$, noktaya odaklamada ise $1100 \dots 1400^\circ\text{C}$) yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir.

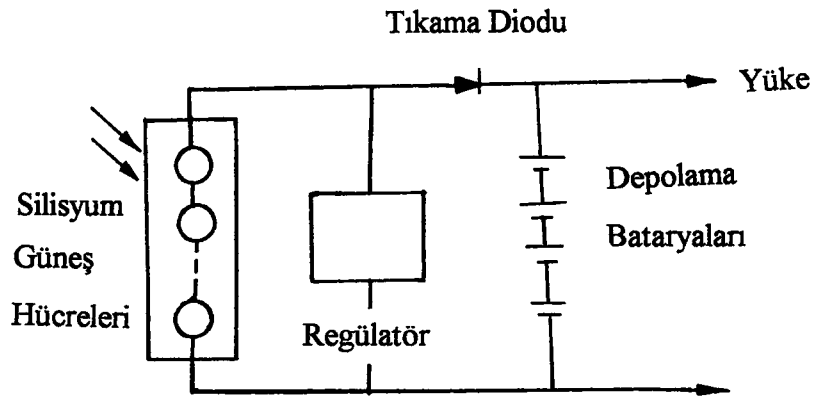
5.2.2 Güneş Enerjisinin Elektriksel Yolla Toplanması

5.2.2.1 Güneş enerjisinin direk elektriksel yolla toplanması

Güneş enerjisinin direk elektriksel yolla toplanmasında güneş pilleri kullanılır. Güneş pilleri, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren yarı iletken elementlerdir. Güneş pillerinin gelecekte yaygın olarak kullanılmasını cazip kılan belli başlı avantajları şunlardır:

1. Sistemin hareketli parçalarının bulunmayışı,
2. Ömürlerinin çok uzun olması,
3. Bakım masraflarının çok az olması,
4. Çevre kirliliğine neden olmamaları,
5. Bir Watt'tan birkaç bin Watt'a kadar geniş güç aralığında uygulanabilmeleri.

Güneş pilleri için kullanılan materyalleri, kristal ve amorf olarak ayırmak mümkündür.

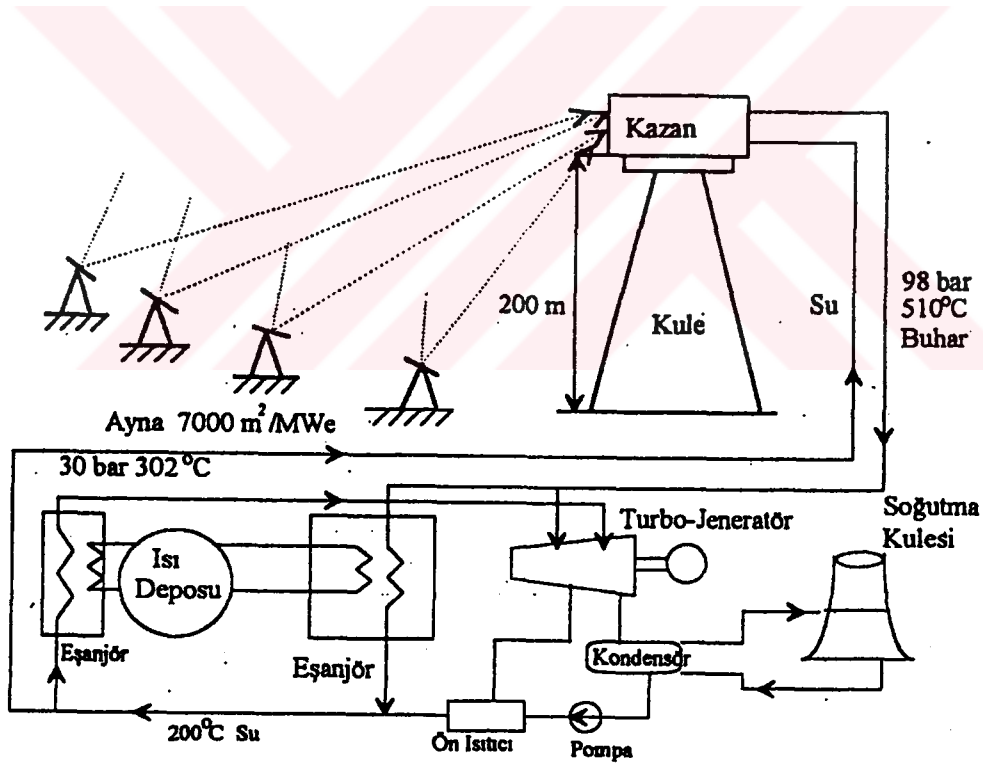


“Şekil 5.2a” Basitleştirilmiş güneş pili sistemi (Demirer,1986)

Kristal olanlar tek ve poli kristal şeklinde türlere ayrılır. Son yıllarda kristal güneş pillerine alternatif olan, daha ucuz ve kolay teknoloji gerektiren amorf yapılı güneş pilleri yayılmaya başlamıştır.

5.2.2.2 Güneş enerjisinin termodinamik dönüşüm tekniği yoluyla toplanması

Termodinamik dönüşümle elektrik enerjisi üretiminde, Heliostat adı verilen iki eksen etrafında hareketli parabolik aynalar güneş ışınlarını yaklaşık 200 m yüksekliğindeki bir kule üzerinde bulunan bir kazana yönlterek buhar üretir. Kule tip termodinamik dönüşüm jeneratörü adı verilen bu sistemde elde edilen buhar, Rankine Çevrimi kullanılarak, klasik bir Turbo-Jeneratör sistemi çalıştırılır (Şekil 5.2b).



“Şekil 5.2b” Termodinamik dönüşümlü , kule tipi güneş güç santrali

Şekil 5.2’de 10 ile 200 MW_e güç aralığında kullanılabilen termodinamik dönüşümlü ve kule tipinde güneş santralinin çalışma şeması görülmektedir. Kule tipi güneş santralinde, kazanda üretilen 98 bar, 510°C şartlarındaki buhar, türbini yüksek basınç kademesine gelerek enerji üretir. İş gören çürük buhar kondenserde yoğunlaştırılır, ön ısıtıcıda ısıtılarak 200°C’de kazana geri gönderilir. Az güneşli zamanlarda istenilen gücü sağlamak amacıyla heliostat ve kazan grubunun enerji depolama gücü biraz fazla tutulur. Güneşli günlerde elde edilen fazla ısı enerjisi bir eşanjör yardımıyla depo edilir ve bu enerjiyle ikinci eşanjörde 30 bar, 302°C şartlarında buhar üretilerek türbinin orta basınç kademesine gönderilir. Bu sistemin sakıncası büyük alan işgal etmesidir. 7000 m²/MW_e ayna yüzeyine ve 50000 m²/MW_e heliostat park alanına ihtiyaç vardır.

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan tekniklerden fotoelektrik ve termoelektrik jeneratörlü dönüşümlerin verimleri düşüktür. Fotoelektrik dönüşümde, radyasyon enerjisi iletken metallerin elektronlarını harekete geçirmek suretiyle elektrik üretir. Termokupl uçlarının ısıtılması yoluyla elektrik elde edilen termoelektrik jeneratörlü sistemin verimi %1 ‘dir (Aybers ve Şahin, 1995).

5.3 Güneş Enerjisinin Depolanması

Güneş ışıını bir gün boyunca sürekli gelmez. Geceleri hiç gelmediği gibi, gündüzleri de saatlere göre farklılıklar gösterir. Havanın kapalı olduğu zamanlarda ise çoğu kez yeterli değildir. Oysa enerji tüketimi sürekli, günün saatlerine ve aylara göre değişimi azdır. Depolama yapılmadığı takdirde, güneş enerjisinden sadece güneş ışıınının olduğu saatlerde faydalanılır. Güneş ışıınının yeterli olmadığı zamanlarda yardımcı enerji kaynağı kullanılır. Genel olarak enerji depolama şekilleri:

- a) Kimyasal enerji depolaması (termokimyasal, elektro-kimyasal),
- b) Mekanik enerji depolaması (hidroelektrik, volan v.b.),
- c) Elektrik enerjisi depolaması (magnetik alan),

d) Isıl enerji depolaması (duyulur ısı, gizli ısı),

5.3.1 Isıl enerji depolaması

Faz değıştiren bir sistemde kimyasal değışme yoksa, termodinamiğin birinci kanuna göre sabit basınçta ısı enerji depolaması:

$$Q_d = \int C_k .dT + h_{kz} + \int C_z .dT \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada C_k ve C_z ; sıra ile katının ve sıvının ısı kapasiteleri, T ; erime sıcaklığı, h_{kz} ; erime gizli ısıdır.

Yukarıdaki denkleme göre ısı enerji;

a) Maddenin ısı kapasitesi ile sıcaklığı artarak,

b) Maddenin erime ısısıyla sabit sıcaklıkta, depolanmaktadır. Isının maddenin ısı kapasitesi ısı kapasitesi dolayısıyla depolanmasına “duyulur ısı depolanması”, erime ısısıyla depolanmasına da “gizli ısı depolanması”denilmektedir. Gizli ısı depolanması faz değışimiyle olmaktadır. Bu arada, buharlaşma ısısı ve gazlarda duyulur ısı depolaması da düşünülebilir. Fakat sabit basınçta hacim çok arttığından tercih edilmez (Bekman, 1977; Sönmez,1995).

5.4 Güneş Enerjisinden Faydalanma İmkanları

Güneş enerjisinden değışik amaçlarla faydalanılması mümkündür. Fakat en önemli unsurun verimlilik olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Verimlilikle beraber yararlanılması düşünülen

ülkenin sanayii ile teknik personel durumu yanında ekonomisi de küçümsenmeyecek faktörlerdir.

Güneş ışınımının teknolojik toplama ile faydalı enerjiye dönüştürülmesinde ısı ve fotovoltaik esastan yararlanılır. Isıl esasa dayalı sistemlerin kullanımı daha geniştir.

5.4.1 Isıl uygulamalar

Isıl çevrimden faydalanan sistemler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a) Düşük sıcaklık uygulamaları (20-100° C),
- b) Orta sıcaklık uygulamaları (100-300° C)
- c) Yüksek sıcaklık uygulamaları (>300° C),

Düşük sıcaklık uygulamalarında genellikle düz toplayıcılar kullanılır. Bu uygulamalar:

1. Konutlarda sıcak su temini,
2. Konut ısıtması,
3. Sera ısıtması,
4. Tarımda ve ürünlerinin kurutulması,
5. Konut soğutması,
6. Yüzme havuzu ısıtması,
7. Güneş ocakları ve güneş fırınları,
8. Arı su elde edilmesi,
9. Tuz elde edilmesi,
10. Güneş pompalarıdır.

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Sanayii için gerekli sıcak su veya

buharın temini, büyük soğutma ve ısıtma sistemleri, odaklı toplayıcıların uygulama alanlarından bazılarıdır. Genellikle güneşi takibeden mekanizmalara ihtiyaç vardır.

Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise “heliostat” denilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımını, güneşi izleyerek bir noktaya odaklayan sistemlerden yararlanır. Güneş fırınları ve güneşsel güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalardan yararlanılmakta ve 3500°C sıcaklığa kadar çıkabilmektedir. Güneş fırınlarında, metallerin eritilmesi, kesilmesi ve kalıplanması yapılabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta buhar elde edilerek bir türbin aracılığı ile elektrik üretilen güneşsel güç sistemlerinin uygulamaları da mevcuttur.

5.4.2 Fotovoltaik uygulamalar

Güneş pilleri elektrik ihtiyacı olan her yerde kullanılmakla beraber özellikle tercih edildiği alanlar şunlardır:

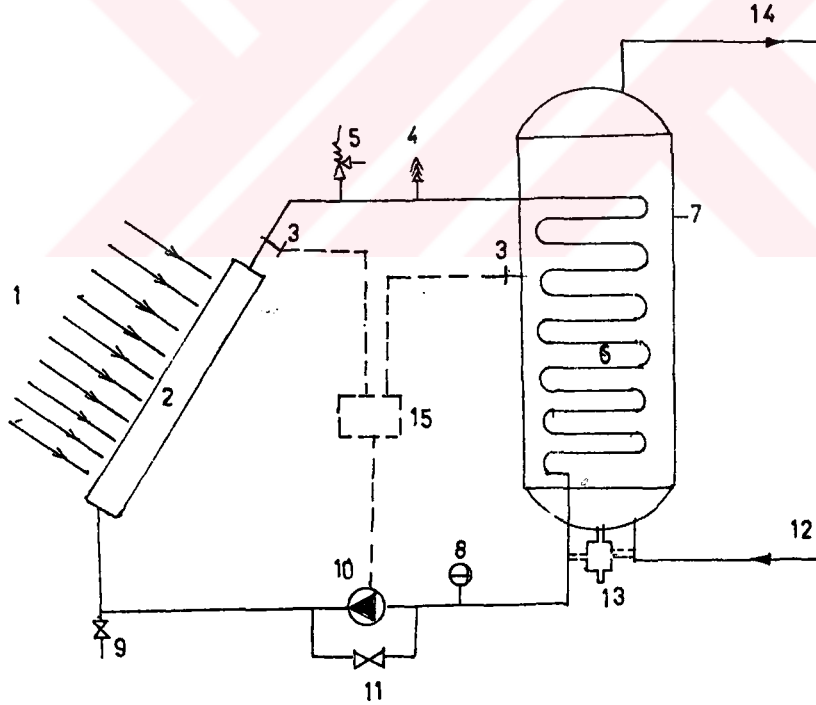
- 1) Uzay araçlarında,
- 2) Küçük güç ünitelerinde (saat, hesap makinesi gibi) ,
- 3) Trafik sistemi için güç temininde,
- 4) Uyarı ve alarm sistemlerinde,
- 5) Yerleşim bölgelerine uzak yerlerde (deniz fenerleri, orman gözetleme evleri v.s.) ,
- 6) Askeri amaçlarda,
- 7) Su pompalarında,
- 8) Binalarda aydınlatma, soğutma ve güç temininde (özellikle Batı Afrika, Amerika ve Norveç’te dağ evlerinde) ,
- 9) Telekomünikasyon ve telemetre tesislerinde (radyolink repetörleri, TV yansıtıcıları, telsiz istasyonları, hava seyir sistemleri, kırsal telefon sistemleri v.s)
- 10) Seyrüsefer işaretleri (rehis fenerleri, duba ve şamandıra ışıkları, karayolu işaretleri, kule ışıkları, demiryolu sinyalleri v.s)

11) Katodik koruma tesisleri (petrol ve gaz boru hatları, su isale hatları ve arıtma sistemleri v.s)

5.5 Güneş Enerjisinin Kullanıldığı Yerler

5.5.1 Güneşli su ısıtıcıları

Düz yüzeyli kollektörlerden faydalanılır. Bu sistemlerde bir de deponun kullanılması, sistemin kullanılma periyodunu artırır. Ülkemizde depolu olmak üzere 5 kişilik bir ailenin sıcak su istemini karşılayacak su ısıtıcı kollektörünün ortalama $1,5 \text{ m}^2$ olması gerektiği saptanmıştır. Su deposu hacmi ise 100 lt'dir. Sistemin ortalama verdiği su sıcaklığı ise $45-70^\circ\text{C}$ arasında değişir (Şekil 5.3).

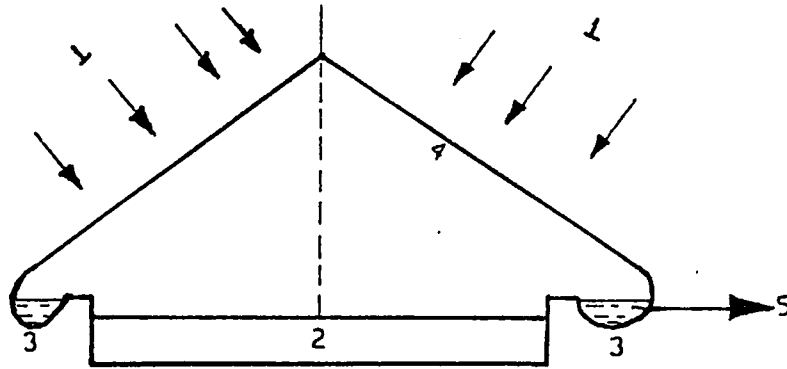


“Şekil 5.3” Pompalı sıcak su hazırlama devresi

Şekil 5.3’de 1.Güneş ışınları, 2.Güneş kollektörü, 3. Termostat, 4. Hava alma ventili, 5. Emniyet ventili, 6. Isı değıştirici, 7 Sıcak su deposu, 8. Genişleme kabı, 9. Boşaltma vanası, 10. Pompa, 11. By-pass, 12. Soğuk su girişı , 13. Emniyet grubu, 14. Sıcak su çıkışı, 15. Kontrol-kumanda.

5.5.2 Güneş enerjisinden yararlanarak tuz ve tatlı su elde etme yöntemi

Güneş’in ısı enerjisinden yararlanarak yemek tuzu elde etme yöntemi, çok eski zamandan beri bilinmektedir. Örneğin, San Fransisko’da Leslie Salt Company’nin geniş tuz havuzlarında, her yıl olan buharlaşmayla deniz suyundan 120 cm kalınlığında tuz billur tabakası elde edilmektedir. Başka bir örnek de, Konya’daki Tuz Gölü’nden çıkartılan tuzlardır. Güneş enerjisinden yararlanarak yemek tuzu elde etme yöntemi çok eski olmasına karşın, aynı enerji yardımıyla tatlı su elde etme yöntemi kısmen yenidir. Özellikle, İsrail, Amerika Birleşit Devletleri ile ortaklaşa çalışarak, bu alanda bilimsel ve teknik araştırmaya girmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, uygulamaya aktarılmaya çalışılmaktadır. Tatlı su elde etmede kullanılan aygıtlar, çok büyük kapasitelidirler. Bunlar, düz yüzeyli kollektörlere sahiptirler. Bu tesisler yardımıyla buharlaştırılan su, yoğunlaştırılarak dışarıya alınmaktadır (Şekil 5.4).



“Şekil 5.4” Tatlı su elde edilmesi

Şekil 5.4’de 1. Güneş enerjisi, 2.Tuzlu su, 3. Tatlı su kanalları, 4. Cam kapaklar, 5. Tatlı su çıkışı.

Güneş enerjisinden yararlanarak çalışan bu tesisler, deniz ve göl suyundan içme ve sulama suyu elde etme alanında insanlığa ümitler vermektedir.

5.5.3 Çeşitli pişirme işlemlerinde

Konservecilik, süt ürünleri gibi gıda endüstrisinin ısı uygulamalarında kullanılır. Odaklı tip kollektörler kullanılır. İstenilen sıcaklık 100°C civarında olmaktadır. Kollektör büyüklüğü istenilen güce göre değişmektedir.

5.5.4 Binaların güneş enerjisi ile ısıtılması ve iklimlendirilmesi

Bu amaçla özel güneş evleri ve güneş toplu konutları yapılabileceği gibi bazı binalardaki ısıtma sistemlerinin güneş tesisleriyle pekiştirilmesi sonucu yakıt tasarrufu sağlanabilir. Bugün için 36-42° kuzey enlemleri arasında deneme amacıyla 50 kadar “solar house” yapılmıştır. Güneş evleri, kayıpları az, güneşten ısı kazancı çok şekilde yapılmaktadır. Güneşten ısı kazancı, özel kollektörler vasıtası ile sağlanır. Bu kollektörlerin ısıttığı sıcak hava veya sıcak su, evin ısıtılmasında kullanılır. Ayrıca donanımın bir kısmından faydalanılarak iklimlendirme de yapılabilmektedir.

5.5.5 Özel güneş kurutucular

Tarımsal ve endüstriyel kurutma için ekonomik olarak kullanılabilir. Basit kullanılma yerleri olarak, meyve, sebze kurutma ve kil tuğla işleri gösterilebilir. Bu sistemlerde düz yüzeyli kollektörler ve sıcak hava akımları kullanılır.

İhracatımızda önemli bir yer tutan kuru üzümde ve kuru incirde yetiştiriciliği yapılan bölgelerimizde kurutmada güneş enerjisinden yararlanma tekniği önem kazanıyor. Kuru üzüm kalitesini belirleyen ve başta gelen özellikler, temizlik ve renktir. Bu iki özelliğin istenilen biçimde sağlanması üzümü dış etkilere koruyan özel kurutucularla mümkündür.

Güneş enerjisinin kontrollü kullanımını sağlayacak, incir ve üzüm kurutmada kullanılacak güneşli kurutucular, daha çok sıcak hava akımlı dolap tipi kurutuculardır. Küçük kapasiteli dolap ambar tipi kurutucuların kullanımları tavsiye edilmelidir.

Güneş kurutucularda kurutma için gerekli ısı enerjisi, düz yüzeyli güneş kolektörleri aracılığıyla güneşten alınır ve kontrollü biçimde havaya yada ürüne aktarılır. Ancak, hangi olursa olsun, kurutulacak ürün bütünüyle dış etkilere arındırılmış bulunmakta ve kuruma kapalı yerde sağlanmaktadır (Yavuzcan, 1983).

5.5.6 Güneş enerjisinin soğutmada kullanılması

Genel olarak güneş enerjisi ile çalışan soğutma sistemleri, ısıtma sistemlerine göre daha karmaşık olduğundan daha yavaş gelişmektedir. Buna karşılık soğutma gereksinimi, güneş ışınımının bol olduğu zamanlarda daha fazla olmaktadır.

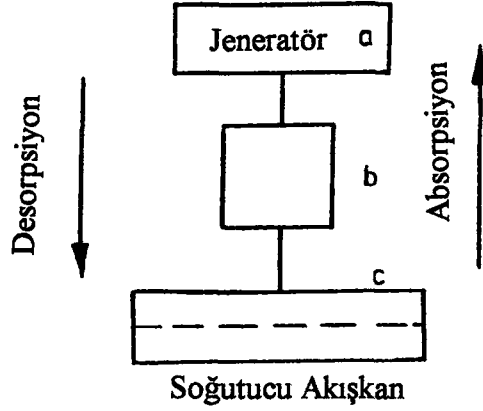
Güneş enerjisi ile soğutmada kullanılan sistemler:

- a) Güneş enerjisinin mekanik işe dönüştürülerek kompresyonlu soğutma yapılması,
- b) Fotovoltaik piller ile elektrik enerjisi üreterek kompresyonlu soğutma yapılması,
- c) Güneş kolektöründen elde edilen sıcak su ile jeneratörün çalıştırılması ve adsorpsiyonlu sistemle soğutma yapılması,
- d) Jeneratörde katı adsorbent kullanarak, adsorpsiyonlu sistemle soğutma yapılması.

Günümüzde güneş enerjisi ile çalışan adsorpsiyonlu soğutma sistemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde düz kolektör kullanılması halinde kolektör verimi %50 civarında olduğundan, soğutma etki katsayısı %15 civarında kalır. Adsorpsiyonlu soğutma

sisteminde güneş kollektörü buhar jeneratörü olarak kullanıldığında toplam soğutma etki katsayısı %15'in üzerine çıkabilmektedir.

Periyodik adsorpsiyonlu soğutma makinasının prensip şeması görülmektedir (Şekil 5.5).



“Şekil 5.5” Periyodik adsorpsiyonlu soğutma makinasının prensip şeması

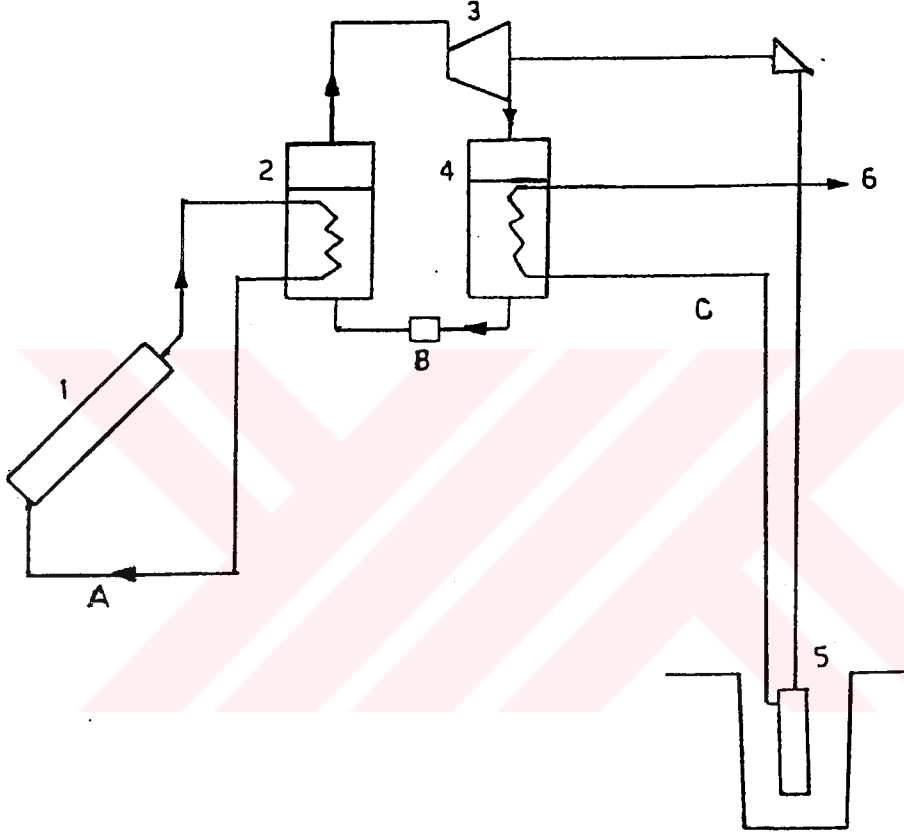
Şekil 5.5’de (a; içerisinde soğutucu akışkanla doymuş adsorbentin bulunduğu jeneratör, b; yoğuşurucu, c; buharlaştırıcı)

5.5.7 Güneş enerjisiyle çalışan su pompaları

5.5.7.1 Güneş enerjisi termal değişimle su pompası çalıştırılması

Güneş enerjisinden yararlanılarak su pompalarını çalıştırmak mümkündür (Şekil 5.6). Şematik olarak verilen güneş enerjisi su pompası, -A- güneş kollektörü kapalı devresi, -B- soğutucu akışkanın devrettiği ve türbinin bulunduğu kapalı devre ile -C- suyun emiliş basıldığı devre olmak üzere 3 kısımdan meydana gelmiştir. 1 nolu düzlemsel güneş kollektöründe ısınan su doğal dolaşım ile 2 nolu buharlaştırıcıdan geçerken ısısını -B- devresindeki freon 12 gibi soğutucu akışkana vererek buharlaşır. Bu buharlaşarak sıcaklığı

ve basıncı yükselen soğutucu akışkana vererek buharlaşır. Bu buharlaşarak sıcaklığı ve basıncı yükselen soğutucu akışkan 3 nolu türbinden geçerken ısı enerjisi mekanik enerjiye çevrilir ve dişli mekanizma üzerinden 5 nolu su pompası tahrik edilir. 5 nolu su pompasının emdiği su basılarak 4 nolu yoğuşturucudan geçerken 3 nolu türbinden gelen buhar halindeki soğutucu akışkanı yoğuşturur.



“Şekil 5.6” Güneş enerjisi termal değişimli su pompası (Temir, 1989)

Şekil 5.6’da 1.Güneş kolektörü, 2. Buharlaştırıcı, 3. Türbin , 4. Yoğuşturucu - kondenser, 5. Pompa, 6. Su çıkışı.

Güneş pompası anlaşılacağı üzere dışardan hiç bir tahrike ihtiyacı görmeden sadece güneş enerjisinden yararlanılarak çalışmaktadır.

Bu tür pompalar derin kuyu pompaları olarak çalışmaktadır. Özel bir termodinamik devreye göre çalışan bu pompalarda ekspansiyon motoru tipindeki bir güneş motorundan hareket alınmaktadır. Fransa’da yapılan Mengin pompalarının kollektörleri düz yüzeylidir. 1 m³/h’lik debiyi 20 m. manometrik yüksekliği basan pompa, 15 m²’lik kollektör yüzeyi gerektirmektedir. Tarımsal sulama için gerekli tiplerin ise 1770 m³/h’lik debiyi, 9 m’lik manometrik yüksekliğe basacağı kabul edilerek 3000 m²’lik kollektöre gerek duyacağı hesaplanmıştır (Temir, 1989).

5.5.7.2 Güneş enerjisi, fotovoltaiik pillerle su pompa çalıştırma

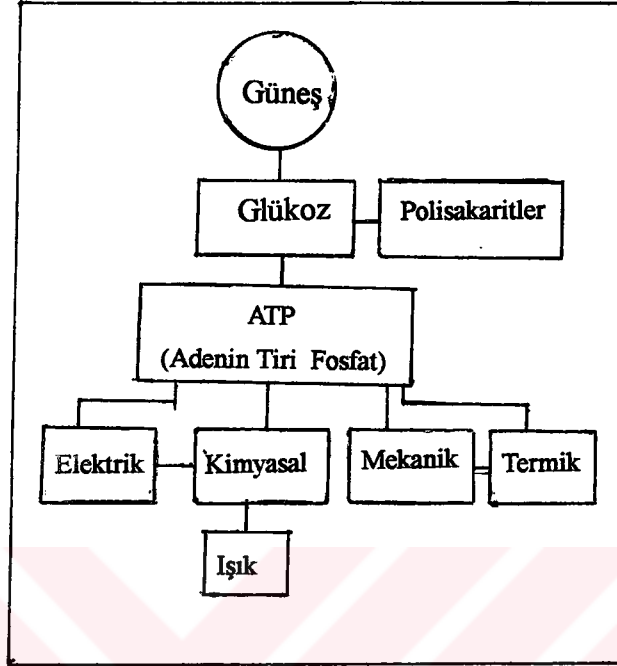
Ayrıntılı bilgi Bölüm 6’da Güneş Pilleri ve Güneş Pilleriyle Su Pompası Çalıştırılması’nda verilmiştir.

5.5.8 Güneş enerjisinden yararlanarak bitki büyümesini hızlandıran yöntem

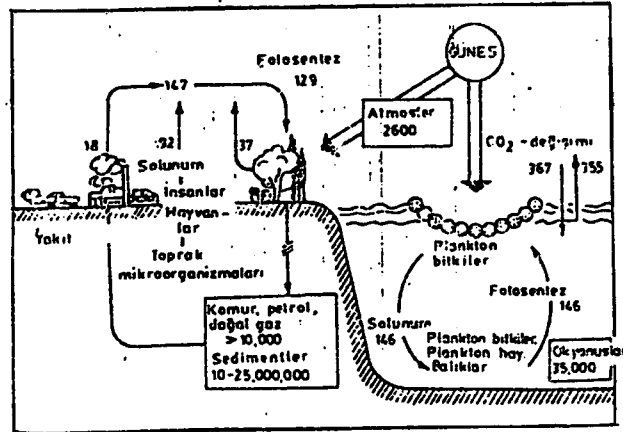
Bitkisel üretim, dolaylı ve dolaysız girdi enerjilerinin transformasyonundan elde edilmektedir (Şekil 5.7). Bitkisel üretimde kullanılan CO₂ doğadaki O₂, CO₂ dengesinin kurulmasına olanak vermektedir (Şekil 5.8).

Bazı bitkilerin, örneğin deniz yosunlarının, fotosentez intensiteleri artırılarak, güneş enerjisinden daha çok yararlanmaları sağlanmıştır. Özellikle, deniz yosunlarının bir cinsi olan Chlorella’da bu artış fazla olmaktadır. Bu artıştan yararlanarak, uzayda yapılacak yolculuklarda, astronotların yiyecek gereksinmelerinin sağlanabileceği sanılmaktadır. Besin maddesi içeren suyu CO₂ ve güneş enerjisini alan bitkiler, astronotlara gerekli olan O₂,

klorofil, karbonhidrat ve protein sağlayabilecektir. Böylece uzaydaki yiyecek sorunu da çözümlenmiş olacaktır.



“Şekil 5.7” ATP’nin oluşumu (Yavuzcan,1983).



“Şekil 5.8” Doğadaki O_2 , CO_2 döngüsü

Güneş enerjisinden yararlanarak bitki büyümesini hızlandırma yöntemi, güneş enerjisinden yeteri kadar yararlanamamaları nedeniyle optimum gelişmelerini sağlayamayan ve bunun sonucu verimi yetersiz olan bitkilerin normal ve azami büyümelerini sağlamada da uygulama alanı bulmaktadır. Bu alanda, özellikle, güneş enerjisine ve dolayısıyla güneş ışını intensitesine karşı duyarlı olan bitkileri bulmak ve bu bitkiler üzerinde önemle durmak gerekmektedir. İlerde geliştirilmesi beklenen, güneş enerjisi tohum şoklama tesisleriyle de, verim artışına katkıda bulunulabilecektir (Yavuzcan, 1983).

5.5.9 Güneş enerjisi ile sera ısıtılması

Avrupa'nın kuzey kesimindeki seraların ısıtılması için yaz ve kış dönemlerinde enerjiye gereksinim vardır. Enerji korunumu için uygulanan yöntemlerle birlikte, alternatif enerji kaynaklarından da yararlanarak seralarda ısıtma amacı ile kullanılan fosil enerji kaynaklarının tüketimi, mümkün olabilen en düşük orana indirilmelidir.

Akdeniz bölgesindeki bir çok ülkede üreticiler, seralarını soğuk gecelerde dahi ısıtmamaktadır. Bu durum, serada yetiştirilen ürünlerin kalitesi, verimi ve yetiştirme zamanı üzerinde birtakım olumsuzluklara neden olmaktadır. Örneğin, domates yetiştirilen serada çiçeklenme süresince sıcaklığın belirli bir seviyenin altına düşmesi durumunda, domates verimi önemli oranda azalır. Böyle bir durumda, seranın ısıtılması için düşük oranda ısı enerjisi kullanmak yararlı bir iyileştirme sağlayacaktır. Özellikle güneydeki ülkelerde güneş enerjisinden yararlanma, sera üretiminde önemli ilerlemeler sağlar. Ayrıca, kuzey ülkelerinde de benzer uygulamalar yapılabilir.

Bununla birlikte, ücretsiz olması ve her an yararlanabilme olanağının bulunmasına karşın, güneş enerjisinin sera ısıtılmasında kullanılmasında hala teknik ve ekonomik sorunlar bulunmaktadır. Değişik ülkelerde uygulanan birçok projede önemli teknik sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, alışlagelen ısıtma sistemleri ile karşılaştırılması halinde, oldukça yüksek yatırım gerektirmesi, bu enerjinin yaygın olarak kullanılmasına sınırlandırmaktadır.

Örneğin, güneyde bulunan bir bölgede 1 m² sera alanının ısıtılması için yılda 5-6 litre yakıt gerekmektedir. Bu bölgede serada kullanılan ısı enerjisinin tamamı güneş enerjisinden karşılanabilirse, ısıtma için gerekli olan 5-6 litre/m²'lik yıllık yakıt gideri ve ısıtma sisteminin yatırım bedeli, güneş enerjisi ısıtma sisteminin yatırım bedeli ile karşılaştırılmalıdır. Kuzeyde bulunan bir bölgede 1 m² sera alanının ısıtılması için yılda 80 litre yakıt gereklidir. Kuzeydeki bir bölgede ısıtma enerjisinin %25'i güneş enerjisi tarafından karşılanabilirse, bu durumda elde edilen 20 litre/m², yıllık yakıt tasarrufu güneş enerjisi ısıtma sisteminin yatırım bedeli ile karşılaştırılabilir. Belirtilen bu nedenlerden dolayı uygulamada güneş enerjisiyle ısıtma sistemlerinin yaygın olarak kullanılması için araştırma ve geliştirme çalışmalarının sürdürülmesi gerekmektedir. Dış ortam sıcaklığı iç ortam sıcaklığından daha düşük olduğundan, gündüz süresince serada soğurulan güneş enerjisi, gündüz gerekli olan ısıнын önemli bir kısmını karşılamaktadır. Gece süresince, serayı ısıtmak için gerekli olan ısıнын güneş enerjisinden karşılanması iki sorunun çözümüne bağlıdır:

1. Toplam ışıının ısı enerjisiye dönüştürülmesi ,
2. Gece süresince seranın ısıtılmasının sağlamak için ısı enerjisinin depolanmasıdır.

Toplam ışıının ısı enerjisine dönüştürülmesi için aşağıda belirtilen yöntemlerden yararlanılır:

- 1- Güneş toplaçları (hava veya su) sera dışına yerleştirilerek ısıнын depolanacağı ortalama ısı gönderilir.
- 2- Sıvı veya katı/hava depolama şeklinde çalışan güneş toplaçları, seranın bütünleyici bir parçasıdır. Bu tip sistemlerde, seranın çift katlı çatısı veya duvarları arasında akan, akışkandan yararlanılır. Burada akışkan madde, kızılaltı ışıının enerjisini soğurmaktadır.
- 3- Seranın kendisinden bir güneş toplacı gibi yararlanmaktadır. Böylece sera içerisine ulaşan toplam ışıının büyük bir kısmı ısı enerjisiye dönüşür.

Isı enerjisini depolamak için aşağıdaki malzeme ve yöntemler kullanılmaktadır:

1. Su,

2. Güneş havuzu,
3. Kaya ve çakıl,
4. Toprak ve
5. Faz değişim malzemeleridir.

Çakıl veya kaya aynı anda hem ısı deposu hem de ısı dönüştürücüsü olarak kullanılabilir. Diğer ısı depolama malzemelerinin kullanılması durumunda ek olarak ısı dönüştürücülere gereksinim vardır. Isı depolarının tasarımında aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gereklidir:

1. Isı depolama ortamı;
2. Depolama kapasitesi (MJ/m^3 veya MJ/kg olarak depolanacak en fazla enerji miktarı);
3. Depolanan ve boşalan enerji (depoya birim zamanda giren ve çıkan enerji miktarı);
4. Isı deposunun beklenen etkinliği, deponun doldurulması ve boşaltılması için kullanılan elektrik enerjisini de kapsayan toplam enerji girdisi ve depolanan yararlı enerji arasındaki ilişki;
5. Depo konumu, deponun nasıl ve nerede yerleştirildiği;
6. Depolama özelliği.

Isıtma amacıyla güneş enerjisi sistemlerinin tasarım ve yapımı için aşağıdaki soruların yanıtlanması gerekmektedir.

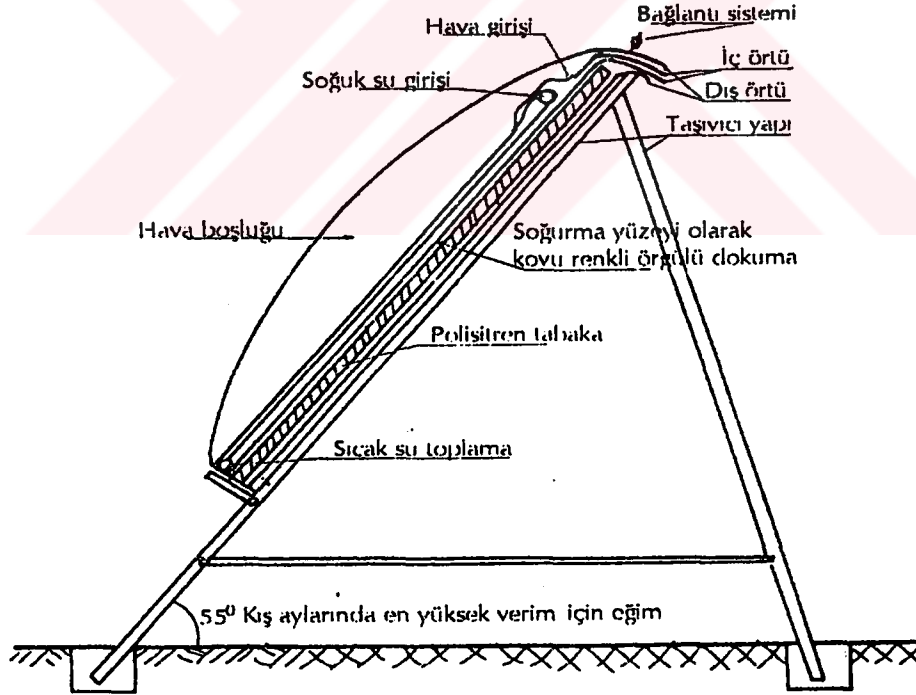
1. Hangi tip ısıtma sistemi uygulanacaktır?
2. Güneş enerjisinden, ısı enerjiye dönüştürülecek olan enerji miktarı ne kadardır?
3. Isıtma dönemi süresince güneş enerjisinin saatlik olarak dağılımını içeren güneş enerjisi miktarı ne kadardır?
4. Serayı ısıtmak için ne kadar enerji gerekmektedir?
5. Isıtma için gerekli olan enerjinin ne kadarı güneş enerjisi tarafından karşılanabilir?
6. Güneş enerjisi ısıtma sistemi, iç ve dış ortam hava sıcaklığı arasında ne kadar sıcaklık farkı oluşturmaktadır? Ek ısıtma sistemine gerek var mıdır?

7. Güneş enerjisi ile ısıtma ekonomik olabilir mi?

Dış ortam sıcaklığı sera içerisindeki bitkiler için gerekli olan değerlerin altına düştüğünde, serada ek ısıtma yapılması gerekir. Sistemin en yüksek ısıtma kapasitesinin belirlenmesi için öncelikle özgül ısı gereksinimi, daha sonra da yakıt tüketimi hesaplanmalıdır.

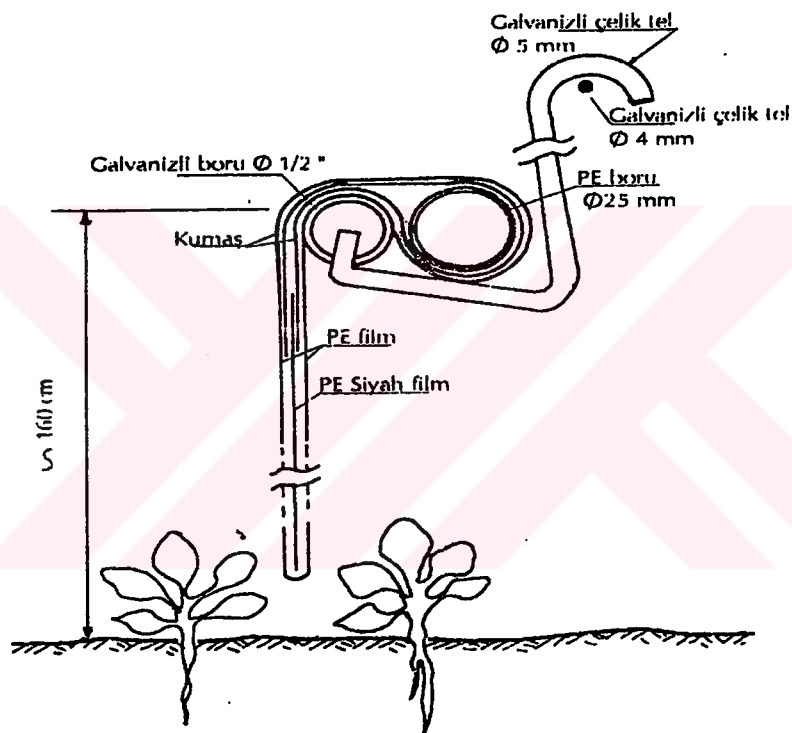
Isı tüketiminin doğru olarak belirlenmesi için dış ortam sıcaklığı ve toplam ışıınının gerçek değeri dikkate alınmalıdır. Serayı gün boyunca ısıtmak için gerekli olan enerji, güneş ışıını ve ek ısıtma sistemi tarafından sağlanır

Akdeniz ülkelerinde depolanabilir güneş enerjisi miktarı oldukça fazladır. Bununla birlikte, sera ısıtması için kullanılabilir enerji miktarı diğer ülkelerle yaklaşık olarak aynıdır. Kıbrıs'ta sera ısıtması için geliştirilmiş oldukça ucuz plastik-film toplaç gösterilmiştir (Şekil 5.9).



“Şekil 5.9” Plastik-film güneş toplacı (Von Zabeltitz, 1988)

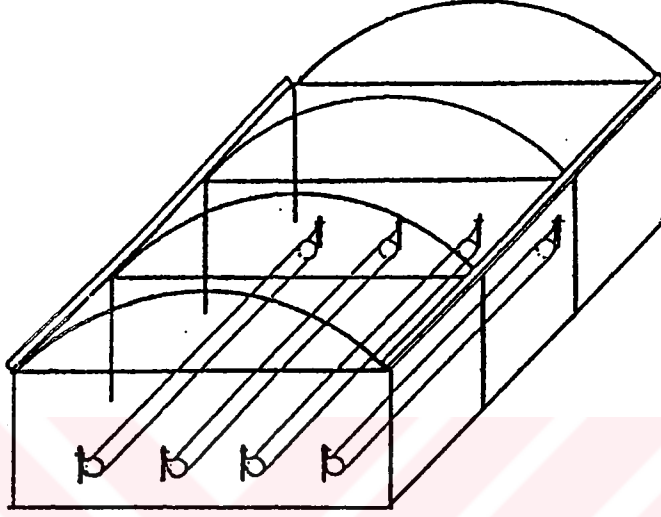
Şekil 5.10'da yine Kıbrıs'ta geliştirilmiş olan ve seralarda kullanılan plastik film toplaç ve ısı dönüştürücü sisteminin kesiti görülmektedir. Arasında siyah polietilen (PE) bulunan geçirimli çift kat PE film tüpler, seradaki bitki sıraları arasına asılır. Sistemde su, filmin iç yüzeyi boyunca PE tüp içerisinden akar. PE tüpün etrafına bez yerleştirilerek oldukça tekdüze su dağılımı sağlanabilir. Siyah PE film gündüz süresince, toplaç gibi görev yapar, sistem gece boyunca ısı dönüştürücü işlevine sahiptir. Sistem içerisindeki suyun, ayrı bir ısı deposundan dolaşımı sağlanır.



“Şekil 5.10” Sera içerisinde bitki sıraları arasına yerleştirilmiş ısı dönüştürücü

Günümüzde, içerisi su dolu PE tüplerden oluşan güneş enerjisi ile pasif ısıtma sistemlerinin, seraların ısıtılması için etkin sistemler olduğu ve yatırım giderlerinin de çok ucuz olduğu belirtilmiştir. İçerisi su dolu geçirimli PE film tüpler serada bitki sıraları arasındaki toprak üzerine yerleştirilir (Şekil5.11). Güneş ışımasının soğurması ve toprağa doğru olan ısı

kayıplarının azaltılması için su tüpleri ve toprak arasında yalıtım malzemesi olarak siyah PE film kullanılır. Bu sistemlerde, su kapasitesi 1000 m² sera alanı için 60-100 m³'dür. Su tüpleri ilk kez Yunanistan'da Grafiadellis tarafından geliştirilmiş olup günümüzde bütün Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



“Şekil 5.11” Pasif güneş enerjisi toplacı olarak, içi su dolu geçirimli PE tüpler

5.5.10 Toprak sterilizasyonu

Serada güneş enerjisinden yararlanılan diğer uygulama alanlarından biri de toprak sterilizasyonudur. Akdeniz bölgesinde yazın seralarda bitki yetiştirilmediği dönemlerde sera toprağı geçirimli PE filmle örtülür, toprak güneş ışımasını soğurduğundan ısı artar. Toprak içerisindeki sıcaklık artışı bazı haftalarda yaklaşık 40-60°C'ye ulaşır. Toprağın tamamen kuru olmadığı durumlarda, toprağın ısınması 20-25 cm derinliğine kadar inebilir. Kuru topraklarda sıcaklık 15 cm derinliğine kadar ulaşır. Güneş ışımasını doğrudan toprak tarafından soğrulduğundan toprak üzerine yerleştirilen geçirimli filmin, toprak sıcaklığına

etiksi siyah filmde iyidir. Sterilizasyon uygulamasından önce toprak yüzeyi işlenmeli ve herhangi bir bitki bırakılmamalıdır (Zabeltitz, 1988).

5.6 Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı

Ülkemizde güneş enerjisi kullanılarak şu faydalar sağlanabilir:

- a) Isıtma ve bazı yerlerde de güç üretimi amacıyla kullanılan fuel oil ve kömür harcamında önemli düşüşler görülebilir.
- b) Odun ve tezek gibi önemli yakıtların kullanılması büyük ölçüde önlenerek ekonomik kazançlar elde edilebilir.
- c) Bugün için kentsel yörelere kıyasla, kırsal yörelere önemli enerji açığı vardır. Güneş enerjisinin buralarda kullanılması, bu açığın kapatılması için yeni bir olanak sağlamış olacaktır.
- d) Bir kısım endüstriyel enerji sisteminin, güneşten karşılanması söz konusudur. Böyle bir tutum, petrol ürünlerinden ve ülkemiz için çok önemli olan elektrik enerjisinden tasarruf sağlamaya yararlı olur.
- e) Güneş enerjisinin kullanılması, yeni bir enerji kaynağının kullanımını devreye sokacağından, toplam enerji talebi daha rahat bir şekilde karşılanabilecektir. Böylelikle kişi başına enerji tüketim değerinde bir artış da görülebilir.

5.7 Güneş Enerjisi Kullanımının Teknik Sorunları

Güneş enerjisinden faydanılarak kullanılan yöntemler:

- 1) Isısal termik,

2) Elektriksel,

3) Bioçevrim'dir.

Bu yöntemlerden en fazla uygulama alanı bulanlar 1. ve 2. yöntemlerdir. Bioçevrim yönteminde ise kontrollü fotosentezden, sentetik yakıt üretimine kadar değişen çeşitli uygulamalar yapılmaktadır.

Isısal termik uygulamalarda, kollektörlerin geliştirilmesi sorunu vardır. Bu toplayıcıların verimleri %40 ile %80 arasında değişmektedir. Bazıları çok yer kaplamakta ve büyük donanım gerektirmektedir. Büyük santraller için "Güneş çiftliği" denilen, kilometrekarelerce yer kaplayan toplayıcılar planlanmaktadır. Ev tipi uygulamalarında bile çatının bu toplayıcılara uynıldığı görülmektedir. Olabildiğince az yer kaplayan, verimi çok yüksek, küçük donanımı olan toplayıcıların geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Teknik sorunları ise; malzeme, ısı iletim ve yalıtımı sorunlarından absorbtivitenin arttırılmasıyla ilgili katı hal fiziki sorunlarına kadar çeşitlidir.

Güneş enerjisinden yararlanılarak, büyük ölçüde elektrik üretimi için Isısal Termik yöntemeye dayanan santrallardan çok, güneş pilleri santralleri üzerinde durulmaktadır. Ancak yapılan araştırmalara rağmen, kullanılan sistemlerin verimleri %25'ye çıkarılamamıştır.

Güneş enerjisinin değişken karakteri, depolama sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu enerji ancak başka enerji şekillerine dönüştürülerek depolanabilmektedir. Isısal uygulamalardaki depolama sorununun büyük ölçüde çözülebileceği söylenmektedir. Örneğin güneş evlerinde, evin 7 veya 10 günlük ısı enerjisi gereksinimini karşılayabilen depo üniteleri bulunmaktadır. Büyük elektrik üretimlerine gelince, günde 24 saat elektrik üretimi söz konusu değildir. Ancak altı veya sekiz saatlik üretim bile, diğer kaynaklarla çalışan santrallerin yükünü azaltacağından, enerji ekonomisi açısından yararlı olacaktır.

Geleceğe yönelik bazı çalışmalarda ise, hidroelektrik sistemlerde güneş ve su gücü ikilisinden faydalanıp elektrik enerjisi üretecek santraller ve uzay santralleri projelendirilmektedir.

5.8 Güneş Enerjisinin Ekonomik Sorunları

Güneş enerjisi konusunda karşılaşılan dar boğazların çoğu ekonomiktir. Teknik gelişmeler sağlanmakta ve çeşitli sorunlara çözümler bulunmaktadır. Ancak bütün bunların her zaman için ekonomik uygulama sınırları içinde olduğu söylenemez. Güneşli tip su ısıtıcıları gibi bazı uygulamaların ekonomik sınırları içine girmesine rağmen büyük çapta elektrik üretimi gibi uygulamalar henüz ekonomik değildir.

Güneş enerjisi, çoğu kez söylendiği gibi bedava bir enerji kaynağı değildir. Kömür, petrol gibi ikincil enerjilerin birim fiyatları olduğu halde güneş enerjisi için böyle bir birim fiyat yoktur.

Güneş enerjisi kullanımının ekonomik yönü, çeşitli bakış açılarından ele alınmalıdır. Ulusal kazanç ve makro ekonomi açısından ele alınınca, enerji istemindeki açığın bir kısmının kapatılarak, ulusal gelire yapacağı katkı tartışılmalıdır. Güneş enerjisi kullanımının, enerji ithalini azaltacağı ve konvansiyonel yakıt rezervlerinin tükenmesini geciktireceği ortadadır.

Güneş enerjisi uygulamaları, mikro ekonomi ve birim fiyatlar açısından ele alınınca, bazı uygulamaların ekonomiklik sınırları içerisinde bulunduğu görülmektedir. Konut ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan sistemlerin satınalma ve ilk yapım giderleri ise genellikle yüksek olmaktadır. Belirli bir amortisman süresi veya ömrü içerisinde işletmecilik yönünden uygulamanın ekonomik olduğu görülmektedir.

Isısal uygulamaların fiyatlara bağlı olarak incelenmesinde milyon kilokalorilik yararlı ısı enerjisinin elde edilmesi için maliyet bedellerine bakılmaktadır. Güneşli su ısıtıcıların ticari enerji kullanan ve alışagelen ısıtıcılarla, bu açıdan yapılan kıyaslaması, kendilerine üstünlük sağlamaktadır. Ülkemizde iklim koşulları nedeniyle Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi'nin bir bölümü dışında kalan bölgelerimizde bu tür ısıtıcıların ekonomik olarak kullanılabileceğini yapılan inceleme ve araştırmalar kanıtlamıştır.

Güneşten elektrik elde etmeye yarayan büyük santrallerin ise henüz ekonomik olmadığı görülmektedir. Termik nitelikteki büyük güneş santrallerinde beher kilowatt kurulu güç, konvansiyonel termik santrallara kıyasla on kat daha pahalı olmaktadır. Işıl elektrik yöntemine dayalı olanlar ise, onbeş kat daha pahalıdır.

On yıl öncesinde ısı elektrik santrallerinin yüz kat pahalı olacağı söyleniyordu. Bunun onbeş kata düşürülmesi, bir teknolojik gelişim simgesidir. Bu maliyetlerin uygulamayı sınırlayacağı bir gerçektir. Güneşten elektrik üretimi ekonomik uygulamasının, küçük güçlü otoprodüktörlerden başlayacağı görüşü ve vardır. Ancak on-onbeş yıl sonra, büyük güçlü güneş santrallerinin uygulamada görüleceği beklenmelidir (Yazıcı, 1992).

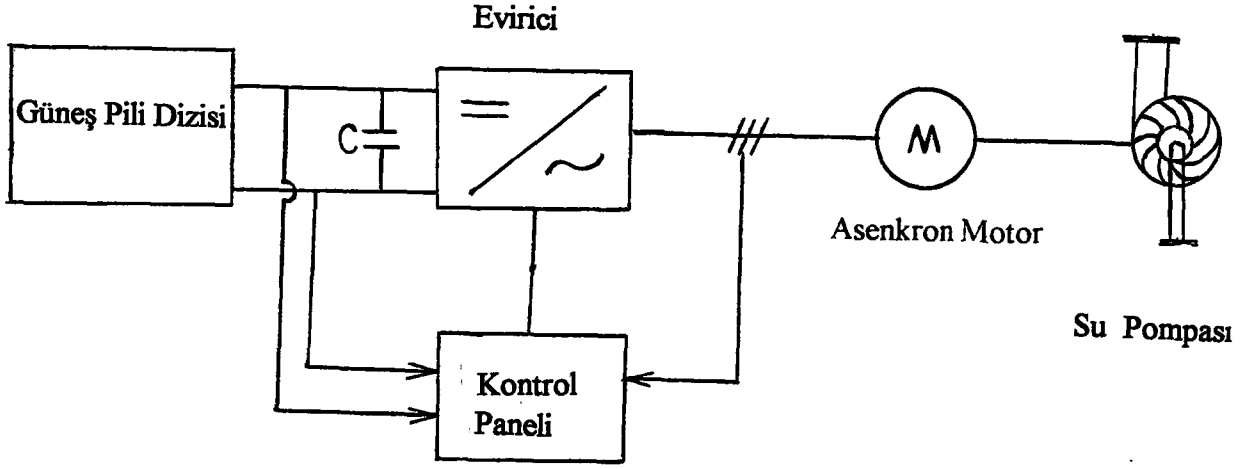


6. GÜNEŞ PİLLERİ ve GÜNEŞ PİLLERİ İLE SU POMPASI ÇALIŞTIRILMASI

Alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisinden faydalanma düşüncesi son yıllarda çok cazip hale gelmiştir. Bunların başlıca nedenleri güneş enerjisinin sonsuz olması (yenilenebilir enerji kaynağı olması), üstelik tehlikesiz ve temiz bir şekilde elektrik enerjisinin elde edilebilmesi, enerji dönüşümünü sağlayan elemanların yarı iletken elemanlar olması ki yarı iletken teknolojisindeki baş döndürücü gelişmeler ve bunlar arasında özellikle güneş ışığını dönüştürmekte kullanılan yarı iletken malzemelerden verim bakımından en iyi en ucuz, üstün bir yarı iletken eleman olan silisyum, teknolojisinde en gelişmiş olması gibi nedenler sayılabilir. Yarı iletken teknolojisindeki hızlı gelişmelerden dolayı aynı güçteki güneş pillerinin verimleri ve ömürleri yükselirken boyutları da aynı ölçüde küçülecektir. Bu da dar bir alanda güneş pili dizilerinden çok büyük güçlerde elektrik enerjisinin elde edilmesine imkan verecektir.

Fotovoltaik - su pompası sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir (Şekil 6.1). Güneş pili uçlarından elde edilen DC (Doğru Akım) gerilim değeri elemanın yüzeyindeki aydınlık düzeyi ve sıcaklıkla ilişkilidir. Elde edilen DC gerilim üç faz sinüsoidal gerilime evirici ile dönüştürülür ve evirici üzerinden motor beslenir. Santrifüj su pompası, emme borusu üzerinde bir haznedeki suyu, belirli bir yükseklikteki hazneye basar.

Maksimum güç aktarılmasında aydınlık düzeyi ve sıcaklığa etki etme olanağı bulunmadığından eviriciden görünen yük uygun bir şekilde ayarlanır. Sistemde kontrol girişlerinin bulunduğu eleman eviricidir. Eviricideki girişler ile çıkışındaki gerilimin frekansı ve etkin değeri kontrol edilebilmektedir. Frekans ve gerilimin değiştirilmesi ile motorun eviriciye gösterdiği yük değişir ve dolayısıyla güneş pili uçlarından görünen yük değişmektedir (Aydın, 1991).



“Şekil 6.1” Fotovoltaik pilli su pompası sisteminin blok diyagramı

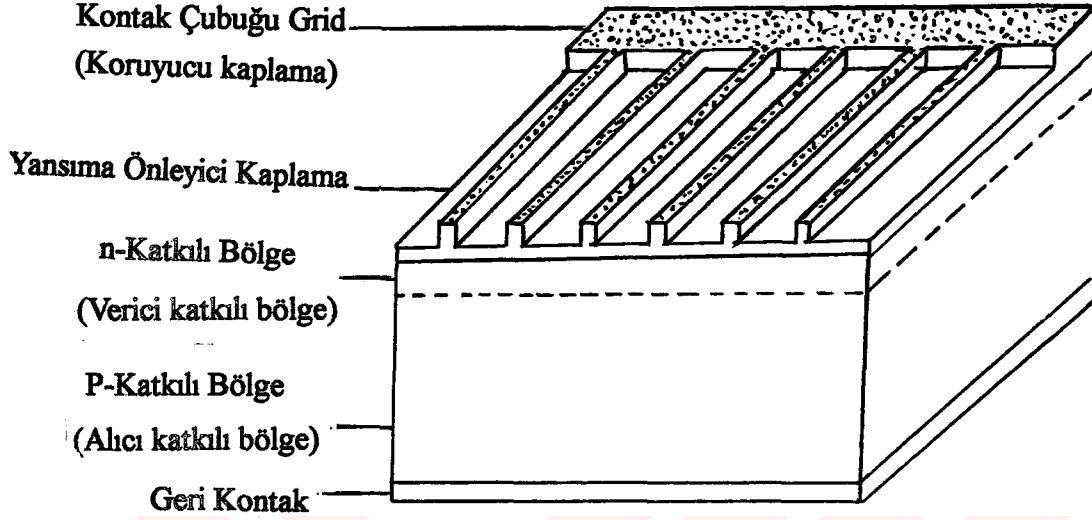
6.1 Güneş Pili

Temel olarak fotovoltaik dönüşüm üç mekanizma sonucu meydana gelir:

- 1) Işığın bir yarı iletken malzeme içerisinde soğurtularak malzemede elektron-hol (boşluk) çiftlerinin oluşması,
- 2) Oluşan bu yüklerin, yarıiletken içerisindeki bir iç elektrik alanı yardımıyla ayrılması ve toplanması,
- 3) Sonuçta, bu toplanan yüklerin kullanılmak üzere bir dış yüke aktarılması.

Bu mekanizmalar sayesinde yarı iletken malzeme ve üzerine düşen ışığı kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürmüş olur. Işığın bu şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesini

gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş aygıtlara ise “ güneş pili “ adı verilir. Bir güneş pili yapısının şematik gösterimi verilmiştir (Şekil 6.2).



“Şekil 6.2” Bir güneş pili hücresinin genelleştirilmiş şematik gösterimi

Güneş pilleri metal - yarı iletken veya PN yarı - iletken kavşağından oluşturulur. Güneş pili aslında diottur ve akım uygulanan gerilimin üstel bir fonksiyonudur.

Güneş pili malzemesi olarak kullanılacak malzeme iki özelliğe sahip olmalıdır.

- 1) Malzeme üzerine düşen ışığın absorblayabilmeli,
- 2) Bu ışığın absorblanması sonucu oluşan yük taşıyıcılarını birbirinden ayıracak elektriksel bir simetrisizlik göstermelidir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş pillerinin üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- 1) Güneş pilleri güneş enerjisini direk olarak elektrik enerjisine çeviren pillerdir.
- 2) Yapıldıkları maddeler basit yarı - iletkenler olduğundan bu piller kolaylıkla imal edilir.

- 3) Güneş pillerinin ömürleri pratikte sonsuz kabul edilir.
- 4) Bazı özel uygulamalar için yüksek derecede ağırlık - güç oranına sahiptirler.
- 5) Güneş pilleri büyük verim elde etmek için, yüksek sıcaklık gerektirmeyen yüzey elemanlarıdır. Bu nedenle ışığı konsantre edici düzeneklere ihtiyaç göstermezler.
- 6) Uygulamaların çoğunda, piller fotovoltaik enerjisinin gerekli olduğu yerlere yerleştirildiklerinden, enerji iletimi ve dağıtımı söz konusu değildir.
- 7) Bu pillerin kullanılmasını sınırlayan iki husustan biri, maliyetin yüksek oluşu, diğeri de enerjinin depolanması için bir düzeneğin gerekliliğidir.

6.1.1 Güneş pili avantajları ve dezavantajları

6.1.1.1 Avantajları

- 1) Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çeviren tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri için en yüksek verime sahip olmalıdır.
- 2) İletim hattına gerek yoktur. İhtiyaç nerdeyse oraya kurulabilir.
- 3) Kurulması kolay ve çabuktur. İhtiyaca göre kapasitesi kolaylıkla artırılabilir.
- 4) Güvenilirdir. Modüler yapısı nedeniyle bir modül devre dışı kalsa bile diğerleri elektrik üretmeye devam eder.
- 5) Uzun ömürlüdür. Teorik olarak sonsuz olmasına karşılık ortalama olarak 20-25 yıl rahatlıkla kullanılabilir.
- 6) Sessiz çalışır, hiçbir hareketli parçaya sahip değildir. Dolayısıyla arızalanma olayı yok gibidir.

7) Artıkların olmaması nedeniyle temiz bir enerji kaynağıdır. Çevreyi kirletmez, silisyum - kum yeryüzünde en bol bulunan maddelerdendir.

6.1.1.2 Dezavantajları

- 1) Teknolojisi zordur. İlk yatırım maliyeti giderek düşmesine rağmen, hala yüksektir (13 cent/kWh).
- 2) Büyük güç üretimi için büyük yüzey alanlarına ihtiyaç vardır.
- 3) Üretilen akım doğru akım (DC) olduğundan ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da eviriciler (inverter) kullanmak gerekir.
- 4) Geceleri ve hava koşullarının elverişli olmadığı zamanlarda üretim yapamadığı için bir enerji depolama ünitesine ve aynı zamanda doğru gerilim (DC) çıkışı yüzünden çeşitli güç elektroniği devrelerine ihtiyaç vardır.

6.1.2 Güneş pili uygulama alanları

Güneş pilleri ile üretilen güç miliwatt (mW) düzeyinde megawatt (MW) mertebelerine kadar uzanmaktadır. mW - W mertebesinde yani çok düşük güçlerdeki uygulamalara örnek olarak saatlerde ve cep makinelerinde kullanılan güneş pilleri gösterilebilir. W.....kW mertebesindeki düşük ve orta güçteki PV (potovoltaik) sistemlere örnek olarak ise elektrik şebekesine uzak tesisler (TRT, PTT yansıtıcıları ve haberleşme sistemleri v.b.) ile küçük yerleşim merkezleri gösterilebilir. Megawatt (MW) mertebesinde, büyük güçler üreten PV sistemlerinin yani fotovoltaik santralleri 2000’li yıllarda günümüzün fosil ve nükleer yakıtlı santrallerinin yerini alacağı tahmin edilmektedir. Güneş pilleri elektrik ihtiyacı olan her yerde kullanılmakla beraber özellikle tercih edildiği alanlar şunlardır:

- 1) Uzay araçlarında,
- 2) Küçük güç ünitelerinde (saat, hesap makinesi v.b.) ,
- 3) Trafik sistemi için güç temininde,
- 4) Uyarı ve alarm sistemlerinde,
- 5) Yerleşim bölgelerine uzak yerlerde (deniz fenerleri, orman gözetleme evleri v.s.) ,
- 6) Askeri amaçlarda,
- 7) Su pompalarında,
- 8) Binalarda aydınlatma, soğutma ve güç temininde (özellikle Batı Afrika, Amerika ve Norveç'te dağ evlerinde) ,
- 9) Telekomünikasyon ve telemetre tesislerinde (radyolink repetörleri, TV yansıtıcıları, telsiz istasyonları, hava seyir sistemleri, kırsal telefon sistemleri v.s.),
- 10) Seyrüsefer işaretleri (rehis fenerleri, duba ve şamandıra ışıkları, karayolu işaretleri, kule ışıkları, demiryolu sinyalleri v.s.),
- 11) Katodik koruma tesisleri (petrol ve gaz boru hatları, su isale hatları ve arıtma sistemleri v.s.).

6.1.3 Güneş pillerinde verime değerini etki eden parametreler

Güneş pillerinde verimin değerini şu temel etkenler sınırlamaktadır:

a) Bir güneş pilinin güneş ışınının tümünü elektrik enerjisine çevirmeye elverişli olmamasıdır. Pile giren ışık fotonlarının sadece malzeme tarafından emilen kısmı fotovoltaiik yöntem kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Saf silisyum güneş pilleri için bu kayıplar, pile giren güneş enerjisinin %50'sine ulaşmaktadır. Daha geniş bant aralığına sahip malzemeler kullanılarak, bu spectrum kayıpları bir dereceye kadar azaltılabilir.

- b) Tedbir alınmadıkça söz konusu yarı iletken malzemeler için yansıtma (roptigle) katsayısı büyük olabilmektedir. Örneğin, temiz bir silisyum yüzeye gelen ışığın yaklaşık %30'u yansır. Bu oranı küçük tutabilmek için pil yüzeyi, yapım sırasında düşük yansıtıcılığı olan bir malzeme ile kaplanır.
- c) Pillerin arzu edilen teorik verime ulaşamamalarının en büyük sebeplerinden birisi, elektronların ve deliklerin birleşerek yok olmasını tam anlamıyla önlemenin imkansızlığıdır. Silisyum dışında kullanılan diğer güneş pili malzemelerinde, yeniden birleşme kayıpları daha ciddi boyutlara ulaşmaktadır.
- d) Delik elektron çiftleri tarafından depo edilen enerjinin sadece bir kısım faydalı enerjiye dönüşebilmektedir.
- e) Kayıpların sonucu ise, akımın elektronlara ulaşmak için alacağı yol üzerinde bulunan, jonksiyonun ardındaki çok ince yüzeyin direncinden meydana gelmektedir. Uygulamada bir silisyum pilde bu iç direnç, birkaç ohm'dur. Bu kayıp tamamen yok edilmiş olsaydı bile pilde verimi yüzde bir kaç artabilirdi (Özçelebi, 1995).

6.1.4 Güneş pili sisteminin elemanları

Güneş pili sisteminde paneller, DC-DC (Doğru Akım- Doğru Akım) konvertörler, DC-DC (Doğru akım - Alternatif Akım) eviriciler (inverterler), diodlar, batarya gurubu ve bu gurupla ilgili şarj regülatörleri, kontrol ve güvenlik üniteleri ile bağlantıları sağlayan kablolar bulunur.

DC-DC değıştirici konvertörler, istenilen de gerilimini elde etmek üzere kullanılırlar. Örneğin panel çıkış gerilimi 17.....33 V de, istenen ise 12 V DC de olabilir. DC - DC konverterleri çok yüksek teknoloji ürünüdür ve çok pahalıdır fakat yüksek güç verimi avantaj vardır (%85). Aynı işi yapan adaptörlerin verimleri %50'den daha fazla değildir.

DC-AC eviriciler, düşük gerilimli DC voltajını AC voltajına dönüştürmek amacıyla

kullanılırlar. Ev cihazları bir çoğunun AC (Alternatif Akım) gerilimle çalıştığı düşünülürse eviriciler sistem için kullanılması zorunlu bir elemandır.

Diodlar akımın tek yönlü aksamını kontrol eden elemanlardır. Yapısı, güneş pili modüllerinde de kullanılan küçük silikon parçalarıdır.

Elektrik enerjisini depolayıcı batarya gurubu güneş pili sisteminin kalbidir. Bataryaların başarısızlığı bütün sistemin başarısızlığı demektir.

6.1.4.1 Akümülatör

Elektrik enerjisini akümülatörlerde depolamak günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Güneş pillerinde kullanılan akülerin bazı özellikleri taşıması gerekmektedir.

- 1- Bulundukları çalışma ortamında ömürleri en az 5 yıl olmalı ve 5 yıl sonunda kapasitelerinin en fazla %15'ini kaybetmelidirler.
- 2- Akü verimi en az %95 olmalıdır.
- 3- Aylık kendi kendine boşalma 25 °C sıcaklıkta toplam yükün %3'ü ile %4'ünden fazla olmamalıdır.
- 4- Akü, hızlı boşalmalara dayanıklı olmalıdır.
- 5- Çalışma sırasında bir miktar elektrolit kaybını karşılayabilecek yapıda olmalıdır.
- 6- Aküler paralel bağlamaya uyum göstermelidir.
- 7- Taşınabilecek ağırlıkta olmalı ve taşıma sırasında hasar görmeyecek şekilde yapılmalıdır.

Güneş pillerinin ürettiği enerjiyi depolama genelde dört tip akü ile yapılır. Bunlar; akışkan elektrolitli, kurşun-asit aküler, jelatinimsi elektrolitli kurşun-oksit aküler (kuru akü), nikel-kadmiyum (Ni -Cd) ve sodyum-kükürt (Na-S) akülerdir.

6.1.4.2 Elektrik enerjisini depolayan sistemler

PV enerji üreticileri sadece güneş ışığını aldıkları sürece elektrik enerjisi üretirler. Bulutlu günlerde ürettikleri enerji oldukça düşmekte, geceleri ise üretim tamamen durmaktadır. Buna karşılık elektrik tüketimi ise bir süreklilik göstermektedir. Bu yüzden gündüz üretilen fazla enerjinin depolanması ve üretimini az olduğu veya hiç olmadığı saatlerde kullanılması gerekmektedir. Ne yazık ki elektrik enerjisinin doğrudan elektrik enerjisi olarak depo edilmemesi büyük bir problemdir. Bu enerji ancak başka enerji şekillerine dönüştürülerek depolanabilir. Bu depolama sistemleri ise;

- a) Suyun yüksek bir bölgeye pompalanması ile enerjinin “potansiyel enerji” olarak saklanması,
- b) Kompresör ve motordan oluşan bir makinede sıkıştırılmış hava enerjisi olarak biriktirme,
- c) Süper iletkenler ile manyetik enerji olarak saklanması,
- d) Kimyasal enerjiye dönüştürerek depolamak,

Bu yöntem iki şekilde uygulanabilir. Birincisi, güneş pili ile elde edilen elektrik enerjisini suyun hidrolizinde kullanılarak hidrojen gazı (H_2) üretimi ve bunun depolanmasıdır. H_2 gazı yakılarak hareket enerjisine çevrilebildiğinden bu şekilde taşıma araçları için son derece elverişli bir enerji kaynağıdır. İkincisi ise, kimyasal depolama yöntemlerinin en yaygın olan şarj edilebilen kimyasal pillerde (Akümülatörler) elektrik enerjisinin depolamasıdır.

6.1.4.3 Dünya PV üretimi

ABD dünya PV üretiminin en büyük dilimine sahip ülkesidir. Japonya, Almanya, İtalya ve Fransa dünyanın diğer üretici ve kullanıcılarıdır. Japonya PV ödeneğinin %17'sini amorf silikon araştırmalarına ayırmıştır. Saat, hesap makinesi gibi güneş pillerinin en sık

kullanıldığı alanlarda Japonya %97 gibi çok yüksek bir üretim yüzdesine sahiptir.

6.2 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

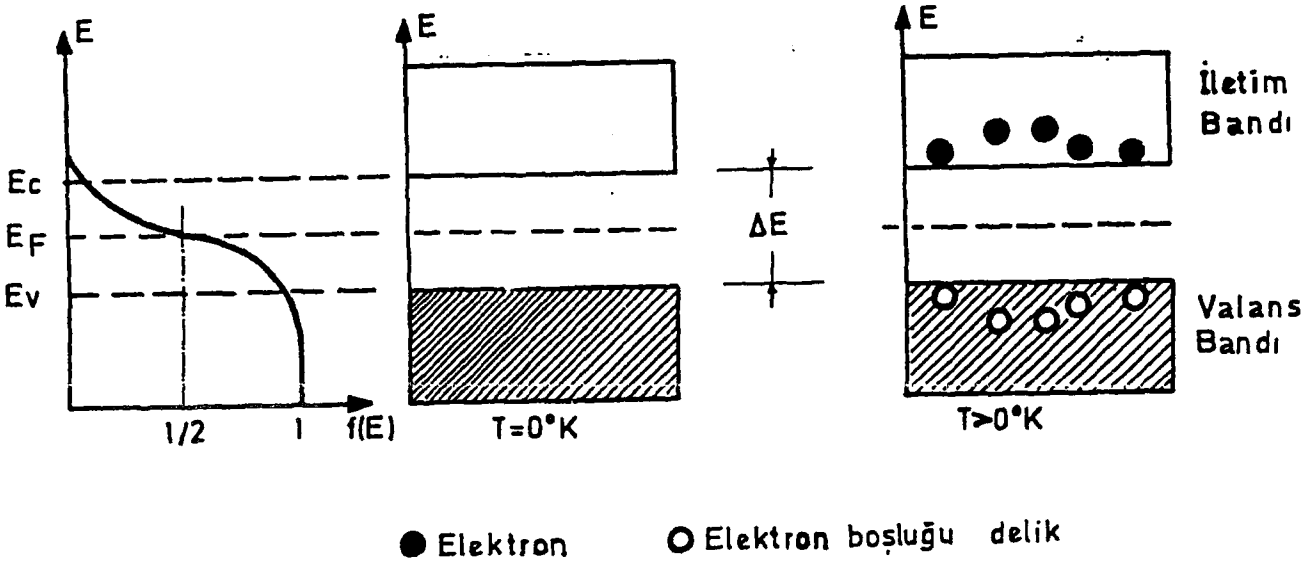
Bu bölümde PV jeneratörün en önemli parçasını oluşturan güneş pillerinin yapıları hakkında bilgileri verilecektir. Bilindiği gibi güneş pilleri yarıiletken yapılardan oluşmuşlardır. Bunun için önce yarıiletken fiziği hakkında bazı açıklamalar yapılacaktır.

6.2.1 Yarı iletken fiziği

Katılar elektrik iletkenlikleri bakımından üç grupta toplanırlar, iletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler. Yarı iletkenlerin en büyük özellikleri dirençlerinin iletkenler ile yalıtkanlar arasında olması ve sıcaklık arttıkça azalmasıdır. Tabiatta bulunan yarıiletkenleri arasında germanyum (Ge), Silisyum (Si), Selenyum (Se) gibi elementler ile, Galyum Arsenid (GaAs), İndium Arsenid (InAs), İndium Antimonid (InSb), Silikon Karbit (SiC) gibi bileşiklerde yer alırlar. Sözü edilen elementler periyodik cetvelde aşağıda görüldüğü gibi bir grup oluştururlar (Çizelge 6.1).

“Çizelge 6.1” III., IV., V. Grup elementleri

III GRUP	IV GRUP	V GRUP
B	C	N
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In	Sn	Sb



“Şekil 6.3” Saf yarıiletkenlerin enerji bandı yapıları.

Saf yarıiletkenlerin enerji bandı yapıları basitleştirilmiş olarak gösterilmiştir (Şekil 6.3). $T=0^\circ\text{K}$ de “valans bandı” tamamen dolu, bundan ΔE kadar uzaktaki “iletim bandı” ise tamamen boştur. $T=0^\circ\text{K}$ olması halinde enerji kazanan valans elektronlarının bir kısmı yasak enerji bandını geçerek iletkenlik bandına çıkarlar. Yarı iletkenlerin ortak özellikleri yasak enerji bandı genişliğinin dar olmasıdır. Bazı yarıiletkenlerin yasak bant genişlikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

En çok kullanılan güneş pili malzemesi olan Silisyumun 14 elektronu vardır. Atomun en dıştaki katmanında bulunan dört elektrondan ikisi $I=0$ (3p), ikisinde $I=1$ (3p) alt gruplarındadır. Bu elektronların komşu atomlarla kullanılması atomlar arası kovalent bağının oluşmasına sebep olur. Kovalent bağ yapısı sıcaklığa ve ışığı karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle belirli bir sıcaklığın üzerinde bağ yapısı kolaylıkla bozulabilir, bu durumda madde iletken hale geçer. Yapılan deneyler saf yarıiletkenlerin öz dirençlerinin sıcaklıkla azaldığının göstermiştir. İletkenlik bandına geçen elektronlar, geldikleri yerde elektron boşlukları bırakmaktadırlar. Bu boşluklar birer (+) yüklü iyon gibi görünürler. Sonuç olarak yapı içerisinde elektronların oluşturduğu akımın yanında bir de sözde delik akımı oluşmaktadır. Deliklerin hareketi, bu deliklerin başka elektronlarla doldurulurken,

“ Çizelge 6.2” Bazı yarıiletkenlerin yasak band genişlikleri.

Yarı İletken Türü	E (eV), T=300 °K
Silisyum	1.12
Germanyum	0.66
Galyum Arsenit	1.34
Kadmiyum Sülfid	2.45
Çinko Oksit	3.30

gelen elektronun arkasında yine bir boşluk bırakması şeklinde olur. Yapı içerisindeki bu iki hareket birbirine ters yönlüdür. Ancak, elektrik akımı bu iki akımın toplamına eşittir ve elektron hareketine ters yöndedir.

Saf yarı iletkenlerde;

$$n.p=n_i^2 \quad (6.1)$$

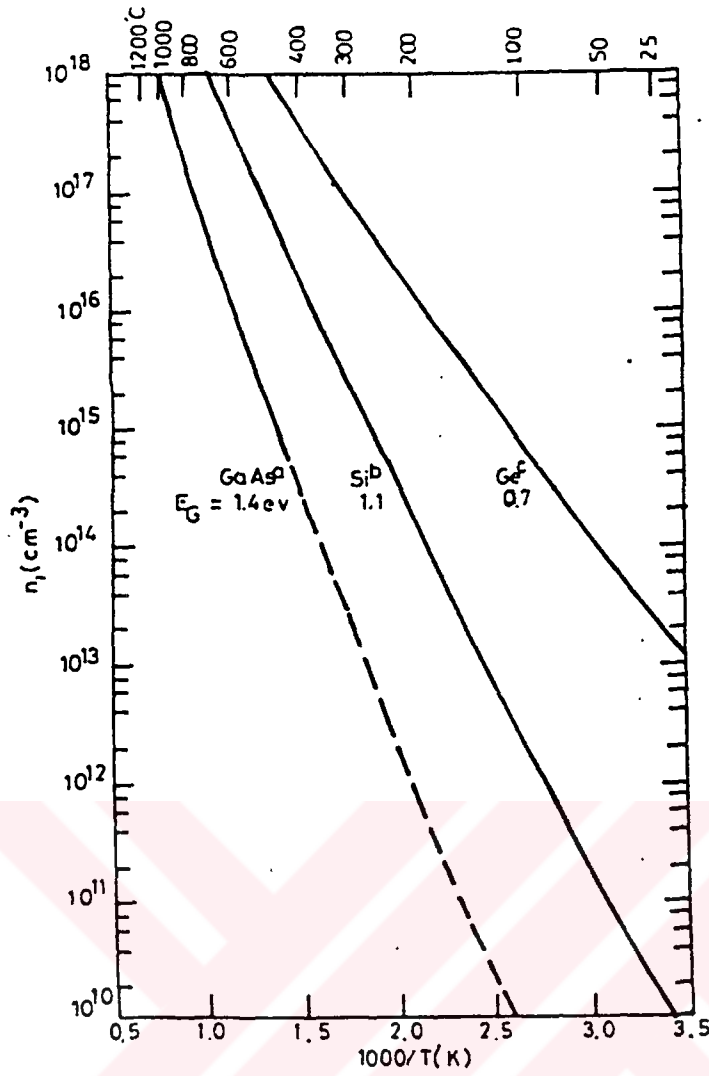
eşitliği geçerlidir.

n=Birim hacimdeki elektron,

p=Boşluk sayısı,

n_i =Yük taşıyıcı yoğunluğudur.

Saf yarı iletkende n.p çarpımı herhangi bir an için sabittir. Si, Ge, GaAs için saf haldeki taşıyıcı yoğunluklarının sıcaklığa göre değişimleri Şekil 6.4’de verilmiştir (Atagündüz, 1989).



“Şekil 6.4” Si, Ge, GaAs için saf haldeki taşıyıcı yoğunluklarının sıcaklığa göre değişimleri

6.2.2 Katkılandırılmış yarı iletkenler

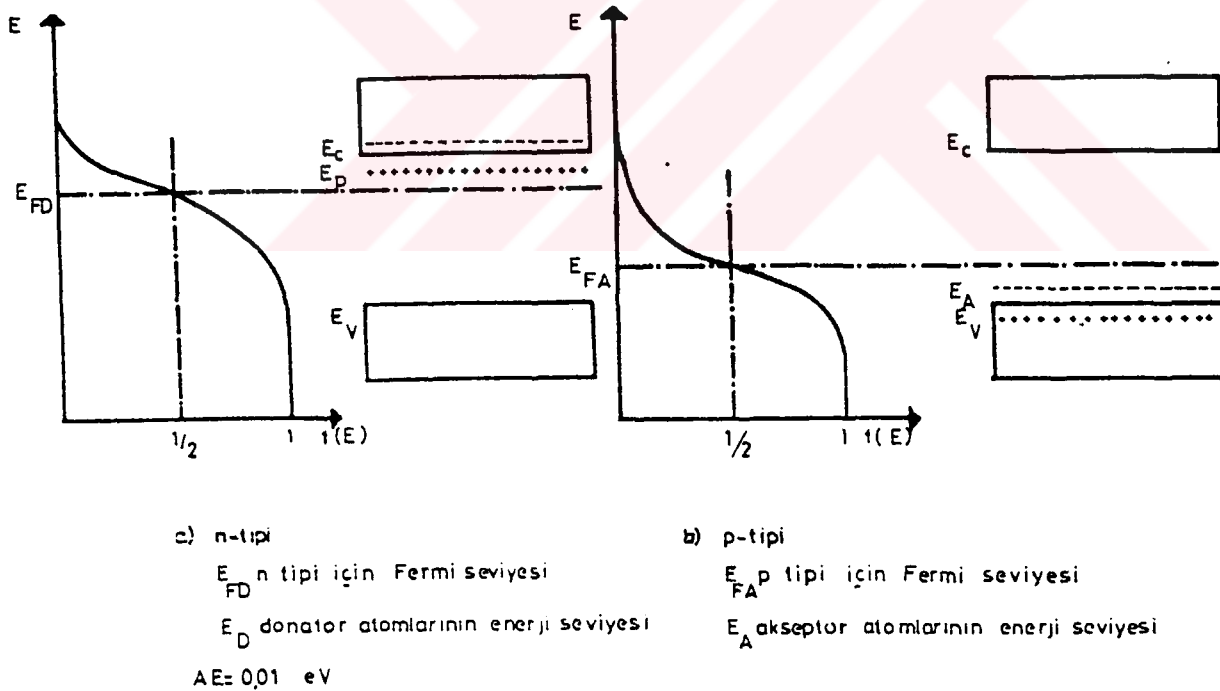
6.2.2.1 -N-Tipi yarı iletkenler

Saf yarıiletkenler içlerine katkılandırılacak ve yapının saflığını bozacak olan malzemeler enerji bandı yapısından “safsızlık enerji düzeyleri” denilebilecek enerji seviyeleri

oluştururlar. Bunun doğal sonucu olarak elektrik yük taşıyıcılarının hareketleri farklı biçimde ve önemli ölçüde etkilenirler.

Saf yarıiletken kristal ölçüsünün içine 5. grup elemanlarına ait atomlar ki bunlar Fosfor (P), Arsenik (As), Antimuan (Sb) gibi 5 değerlikli elementler katıldığında bu atomun beş elektronundan dördü yapıdaki diğer atomlarla bağ oluştururken, bir elektron atoma çok zayıf bir bağla bağlı olması nedeniyle kolaylıkla iletkenlik bandına çıkabilecek durumdadır. Sonuç olarak, yabancı atomlar o maddeye özgü iletkenlik bandının hemen altında yeni enerji seviyeleri oluştururlar (Şekil 6.5).

Bu tür atomlara verici veya donör, bu tür atomlarla katkılandırılmış yarı iletkene de n-tipi yarıiletken denir. N tipi yarıiletken içindeki elektronlar çoğunluk taşıyıcıları olarak adlandırılırlar. Yani akımın büyük bir bölümü elektronlar tarafından oluşturulur. Elektron boşlukları, delikler ise azınlık taşıyıcıları olarak nitelendirilirler.



“Şekil 6.5” Katkılandırılmış yarı iletkenin fermi fonksiyonu dağılımı ve katkılandırma enerji seviyeleri.

6.2.2.2 -P- Tipi yarı iletkenler

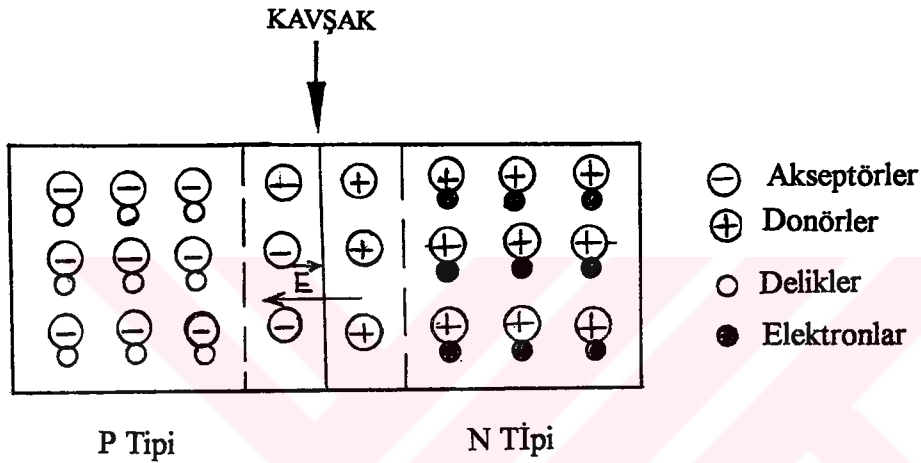
Saf yarıiletken yapıya bu kezde 3.grup atomları, Bor (B), İndium (In) gibi elementlerin katkılandırıldığını kabul edelim. Üç değerlikli olan bu atomlar kararlı hale geçebilmek için komşu yapı atomlarından bir elektronu kendilerine çekerler. Bu sayede bir elektron boşluğu oluşur. Bu boşluklar kristal yapı içerisinde tesadüfi olarak sürekli yer değiştirirler. Ancak, bir elektrik olan uygulanmasıyla elektron hareketine zıt yönde pozitif yüklü boşlukların hareketi meydana gelir. Yapı içerisinde boşluk meydana getiren bu atomlara alıcı veya akseptör denir. Akseptör atomlarına ait enerji seviyesi valans bandın az üstündedir (Şekil 6.5). Bu tür yarıiletkenlere de p-tipi yarıiletken denir. P-tipi yarı iletken, n-tipindeki tersi olarak çoğunluk taşıyıcıları boşluklar, azınlık taşıyıcıları elektronlardır.

6.2.3 -PN- Kavşağı

Bütün yarı iletken tertipler (diod, foto-diod, transistör, güneş pili ...) PN kavşağı ihtiva ederler. Bu nedenle, güneş pilinin çalışma prensibini teşkil eden, fotovoltaiik olayı anlayabilmek için, PN kavşağının özelliklerini iyice bilmek gerekmektedir.

PN kavşağı, bir P tipi yarı iletken ile bir N tipi yarı iletkenin teknolojik olarak birbiriyle temas edecek şekilde biraraya getirilmesiyle meydana gelir. PN kavşağında temas bölgesinin yakınındaki hareketli yükler, örneğin N tipi bölgesinin çoğunluk yük taşıyıcıları serbest elektronlar P tipi bölgeye hareket ederler. Aynı zamanda P tipi bölgenin çoğunluk yük taşıyıcıları N tipi bölgeye geçmeye başlar. Kavşağın N tipi bölgesinde atomlar pozitif olarak, P tipi bölgesindeki atomlar negatif olarak iyonize olurlar. İyonize olmuş atomlar kristal yapı içinde sabit yük merkezleri oluştururlar. Kavşağın hemen yanında ve her iki tarafında iyonize olmuş atomlar, kristal yönü N tipi bölgeden, P tipi bölgeye doğru olan bir elektrik alan meydana getirirler. İyonize atomları içeren bu bölge serbest yüklerden

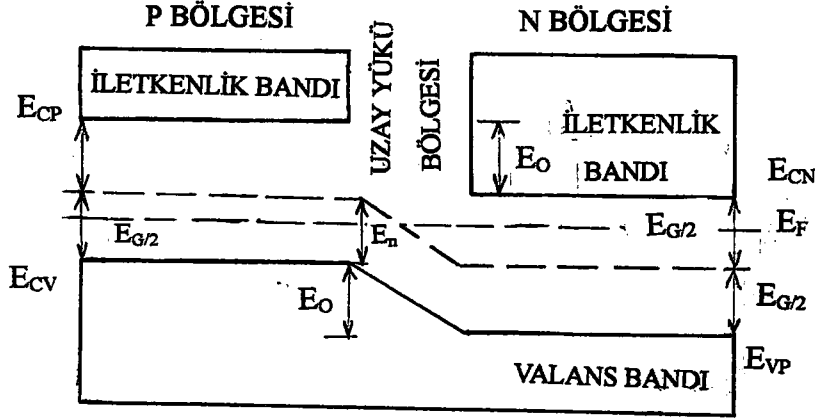
yoksundur. Kavşak yakınındaki, hareketli yüklerin olmadığı bu bölgeye geçiş bölgesi denir. Bu geçiş bölgesinin uçları arasında bir potansiyel farkı vardır. Buna kontak potansiyeli denir. Geçiş bölgesinde elektronlar ve boşluklar, kavşağın bir bölgesinden diğerine geçebilirler. Bazı elektronlar N tarafından P tarafına difüzyonla geçerken, bazıları da elektrik alanla P tarafından N tarafına sürüklenirler. Boşluklar için bunun tersi geçerlidir. Bununla birlikte çok az taşıyıcı geçiş bölgesinde bulunur. Çünkü kavşak bölgesindeki elektrik alan, bu bölgede dolaşan taşıyıcıları sürükler (Şekil 6.6).



“Şekil 6.6” Bir PN kavşağında elektrik alan oluşumu.

P tipi yarı iletkenine ait E_{cp} iletkenlik bantı ile, N tipi yarı iletkenine ait E_{cn} iletkenlik bantları ve P tipi yarı iletkenine ait E_{vp} valans bantı ile N tipi yarı iletkenine ait E_{vn} valans bantlarının aynı seviyede olmayacağı açıktır. Bu nedenle bir PN kavşağının enerji bant diyagramı gösterilmiştir (Şekil 6.7).

Bir PN kavşağında N tipi bölgedeki elektronların yoğunluğu, P tipi bölgedekilerden daha fazla olduğundan N tipi bölgeden, P tipi bölgeye doğru elektron geçişi olur. Bu esnada pozitif yüklü boşluklarda valans bandında N tipi bölgeye akarlar. Çok kısa bir zamanda P tipi bölge negatif yük fazlalığı, N tipi bölgede pozitif yük fazlalığı kazanmış olurlar.



“Şekil 6.7” PN Kavşağının enerji bant diyagramı

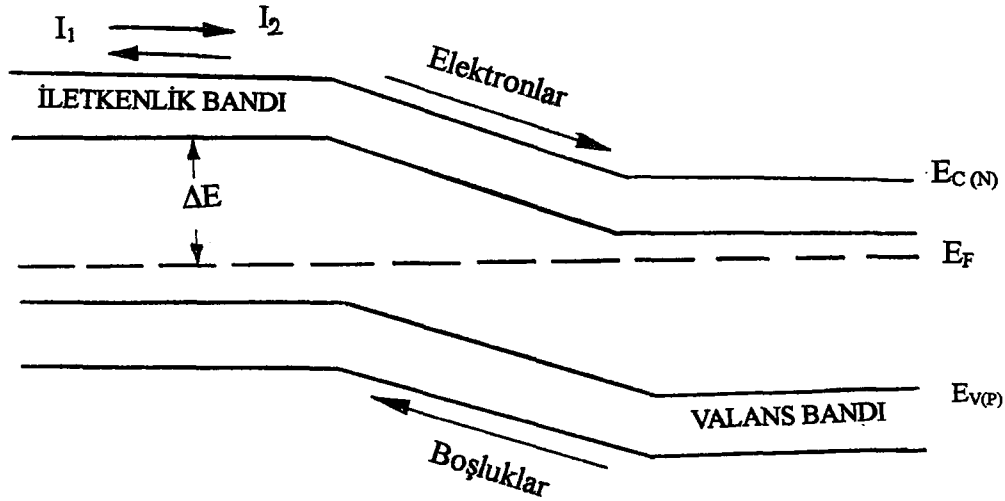
E_o : Enerji seviyeleri arasındaki kayma $E_o = E_{cp} = E_{cn} = E_{vp} = E_{vn}$

E_G : Yasak bant genişliği

Böylece bu yük geçişi tamamlanır. Kavşakta yük taşıyıcı yoğunluk gradyanından dolayı, daha fazla yük taşıyıcısı geçişine engel olacak büyüklükte, ΔE enerjisine sahip bir temas potansiyel farkı meydana gelir. Bu son haline karşılık olan enerji seviye diyagramı Şekil 6.8’deki gibidir.

Bu temas potansiyel farkı, enerji seviyelerinin, N tipi bölgeden aşağıya doğru, P tipi bölgede de yukarı doğru yer değiştirmelerine ve bunun sonucu olarak da her iki bölgenin fermi enerji seviyelerinin kavşak boyunca yatay ve sürekli olmalarına sebep olur. Bu hal şöyle genelleştirilebilir:

Termik denge halindeki bir sistemde fermi enerji seviyeleri bütün sistem boyunca sabittir. Termik olarak uyarılmaları sonucu P tipi bölgede iletkenlik bandında çıkmış olan az sayıda elektron, aşağı doğru N tipi bölgeye akarlar. Böylece P tipi bölgede uyarılmış elektronların;



“Şekil 6.8” PN kavşağında denge halinde enerji bant diyagramı

$$n_p \cong A_1 \exp (E_{cp} - E_f) / kT \quad (6.2)$$

sayısıyla orantılı bir I_2 akımı meydana gelir.

$A_1 = \left[2m_e kT/h^2 \right]^{3/2}$ dir. N tipi bölgede termik olarak uyarılmış olan elektronların sayısı;

$$n_n = A_1 \left[\exp - (E_{cn} - E_f) / kT \right] \quad (6.3)$$

Bu elektronlar $\Delta E = E_{cp} - E_{cn}$ potansiyel duvarının geçebilirse P tipi bölgeye giderek orada boşluklarla birleşirler. PN kavşağı dengede iken N tarafından sızan elektronların oluşturduğu I_1 akımı, P tarafından ayrılan elektronların oluşturduğu I_2 akımına eşittir.

Kavşağa bir dış gerilim uygulandığında engel yükselir. N bölgesinden gelerek eklemenden sızan atomların sayısı daha büyük gerilim engelini aşmaya yetecek kadar enerjiye sahip çok az elektron olduğundan azalır. Diğer yandan P tarafından N tarafına hareket edenlerin sayısı değişmez. Çünkü elektronlar engelle karşılaşmaz. Böylece belli bir akım oluşur. Fakat bu akım P bölgesinde az sayıda elektron olduğundan sınırlıdır. Dış gerilimin kutupları ters çevrilirse iç engel küçülür ve N bölgesindeki elektronların sayısının çok büyük oluşu nedeni ile I_1 akımı büyür. P tipinden N tipine akan I_2 elektron akımında bir değişiklik olmaz. Bu durumda net akım büyüktür ve doğru yöne karşılık gelir.

PN kavşağının akım-gerilim karakteristiklerini hesaplarken taşıyıcıların elektron olması durumunda olduğu gibi, elektron boşluklarının akım taşınması durumuna da aynı düşünce uygulanır. Toplam akım bu iki akımın toplamı olur.

Önce elektronları incelersek;

N bölgesinden P bölgesine geçen elektron akımı Boltzman yasasına göre kavşakta doğan gerilimle denetlenir.

$$I_1 = C_n \cdot \exp \left[-e (V_o - V) / kT \right] \quad (6.4)$$

k : Boltzman sabiti

C_n : Yarı iletkenin özelliklerine ve kavşak yüzeyine göre belirlenen bir sabittir.

Denge durumunda uygulanan gerilim sıfırdır. O halde;

$I_1 = I_2$ olur. Net elektron akımı;

$$I = I_1 - I_2 = C_n \cdot \exp (-eV_o / kT) \cdot \left[\exp (eV / kT) - 1 \right] \quad (6.5)$$

Aynı açıklama boşluk akımlarına da uygulanır ve böylece toplam kavşak akımı:

$$I = I_0 \left[\exp (eV / kT) - 1 \right] \quad (6.6)$$

Doğrulama eşitliği yazılabilir. Burada I_0 doyma akımıdır ve aşağıdaki formülle verilir.

$$I_0 = C_n \left[\exp (-eV_0 / kT) \right] \quad (6.7)$$

Uygulanan gerilimin kutuplanma durumu ileri biasta P bölgesi pozitif olacak biçimdedir. Doğrultma eşitliğine göre doğru yöndeki akım üstel artar, bunun tersine ters yön akımı I_0 'a eşit olur.

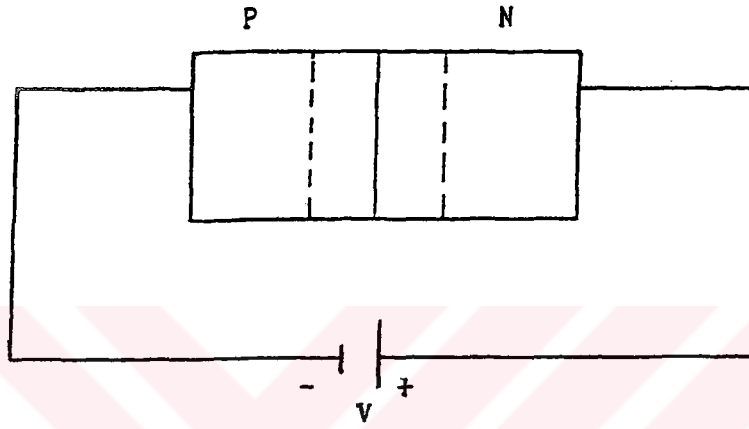
6.2.4 PN Kavşağında uygulamalar

Bir PN kavşağının temel elektriksel özelliği akımı bir yönde geçiren fakat ters yönde geçirmeyen bir diyot olmasıdır.

6.2.4.1 Tıkama yönünde kutuplama (Ters Bias)

Kaynağın (-) ucu kavşağın P tarafına, kaynağın (+) ucu kavşağın N tarafına bağlanmıştır. Kavşağa bu tip bir gerilim uygulanması, P tipindeki boşlukların ve N tipindeki elektronların kavşaktan uzaklaşmasına sebep olur. Bunun sonucu olarak negatif yük yoğunluklarının bulunduğu bölge kavşağın soluna doğru ve pozitif yoğunluğunun bulunduğu bölgede kavşağın sağına doğru yayılır. Bu olay sürekli devam edemez. Çünkü

sola doğru sürekli delik hareketinin meydana gelebilmesi için bu deliklerin kavşağın öteki tarafındaki N tipi elemandan sağlanmaları gerekir. Halbuki kavşağın N tarafında çok az delik bulunmaktadır. O halde akım pratik olarak sıfırdır. Aslında kristalin her yerinde ısı enerjisi sonucu ortaya çıkan delikler, kavşağı geçerek P tarafına giderler. Benzer şekilde P tipinde ısı enerjisi sonucu ortaya çıkan elektronlarda kavşağı geçerek N tarafından giderler. Bu küçük akım diyodun tıkama yönü doyma akımıdır.



“Şekil 6.9” Ters bias

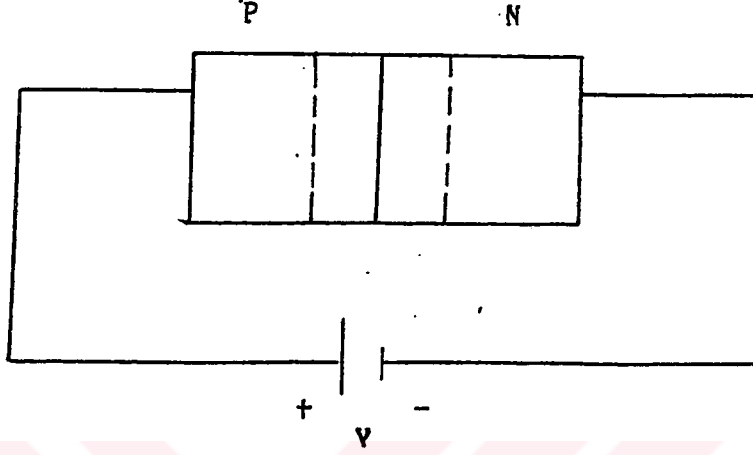
I_0 ile gösterilir. Bu tıkama yönü doyma akımı sıcaklık arttıkça artar, dolayısıyla bir kristal diyodun tıkama durumundaki direnci, sıcaklık arttıkça azalır.

6.2.4.2 Geçirme yönünde kutuplama (İleri Bias)

İdeal bir PN diyodunda kristal içindeki gerilim düşümü sıfırdır. Böyle bir diyotta kavşaktaki potansiyel duvarı yüksekliği uygulanan V gerilimi kadar azalır.

Başlangıçta, çoğunluk taşıyıcılarının difüzyonunu sağlayan ve kavşaktaki potansiyel enerji duvarının etkisini azaltan kuvvetler arasında kurulan denge değişir. Dolayısıyla iletim

yönünde kutuplama halinde boşluklar kavşak üzerinde P'den N'ye doğru, elektronlarda ters yönde geçerler. Bu çoğunluk taşıyıcıları kapalı devre üzerinde dolaşabilirler ve oldukça büyük bir akım akar (Kurt, 1997).



"Şekil 6.10" İleri bias

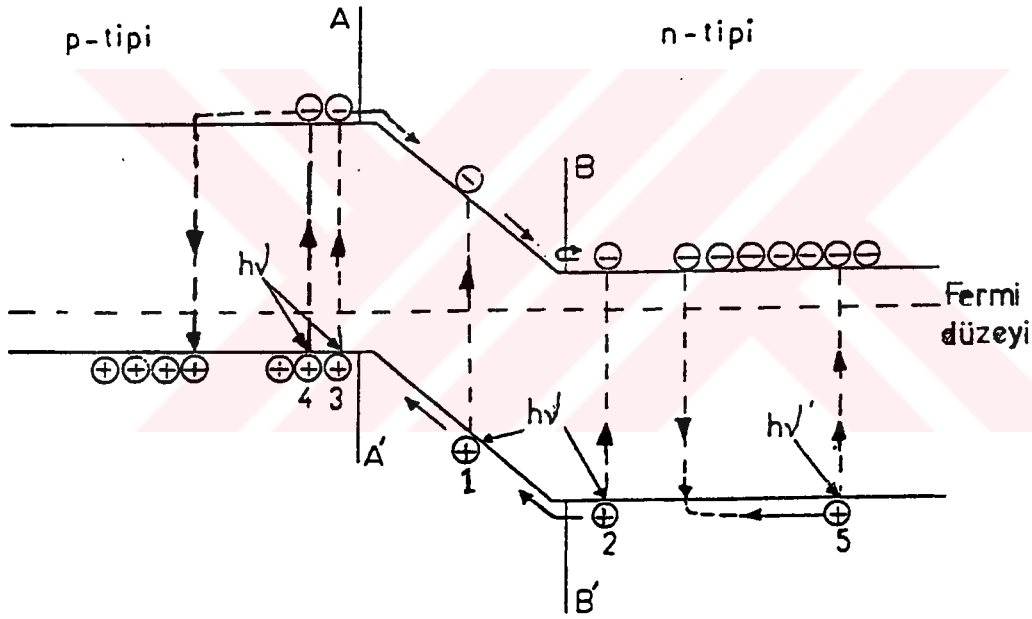
6.3 Fotovoltaik Olay

Bir PN kavşağı üzerine $h\nu$ enerjili bir ışık demeti düşerse, fotonlar serbest elektronlarla, boşluklarla ya da valans elektronlarıyla karşılaşabilirler. Fotonun bir serbest elektronla karşılaşma olasılığı çok düşüktür. Çünkü katkılanmış bir yarı iletken de dahi serbest elektronların sayısı, valans elektronlarının 1/10000 kadardır.

Bir foton bir valans elektronuyla karşılaşır ve ona yasak band enerjisi aralığı olan E_G 'den daha büyük bir enerji verirse valans bandından sökülen elektronlar arkasında bir boşluk bırakarak iletkenlik bandına geçerler. Bu olayın kavşağın çeşitli bölgelerinde meydana gelme durumları farklıdır (Şekil 6.11).

Elektronun valans bandında bıraktığı boşluk ise pozitif yüklü bir parçacık gibi hareket

eder. Böylece yarı iletken de fotonların soğurulmasıyla pozitif - negatif yük çiftleri meydana gelir ve bu da güneş pillerinin temelini oluşturur. Eğer elektron - boşluk çifti AB aralığında meydana gelirse (1 ile gösterilmiştir) burada yüksek bir potansiyel gradyanı olduğu için elektrik alan, elektronu N tipi bölgeye, boşluğu da P tipi bölgeye yani yük taşıyıcılarının çoğunlukta oldukları bölgeye doğru hızlandırır. Bu yük hareketleri N tipi bölgeden, P tipi bölgeye pozitif geçişine denktir. Bu geçişte N tipi bölge negatif, P tipi bölge pozitif olarak yüklenmektedir. Elektron boşluk çifti N tipi bölgede meydana gelirse (2 ile gösterilmiştir) azınlıkta olan yük taşıyıcı yani boşluk, kavşağa doğru gider ve onu aşarak P tipi bölgeye geçer. Bu durumda yine N tipi bölgeden, P tipi bölgeye bir pozitif yük geçişi vardır.

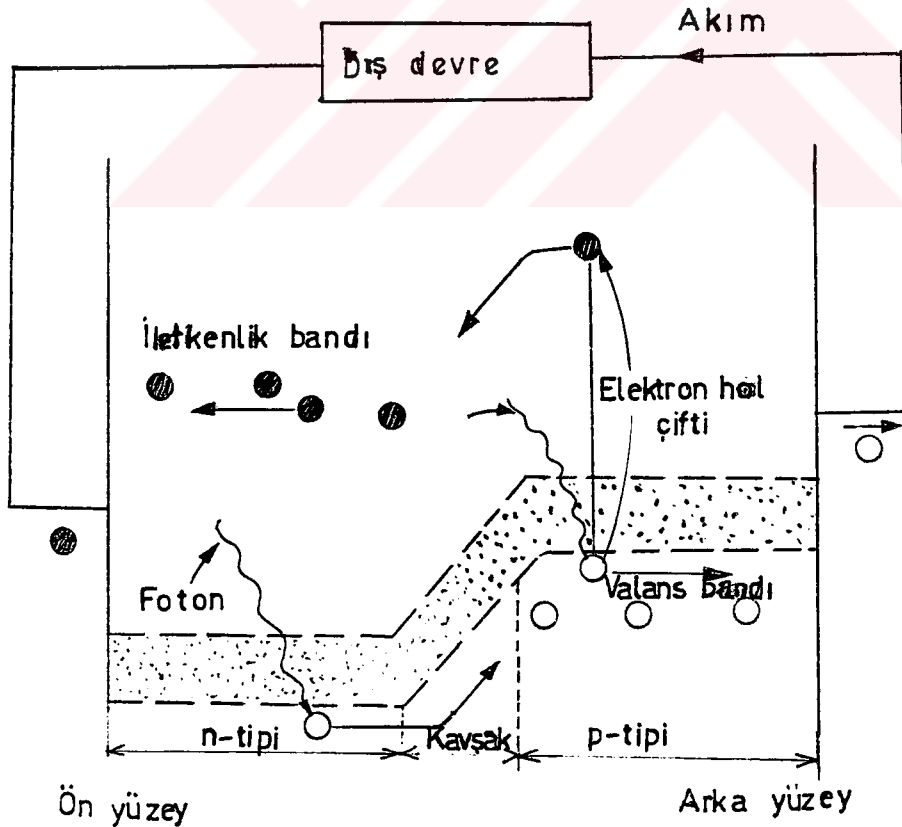


“Şekil 6.11” PN Kavşağında fotovoltajik olay

Çoğunlukta olan yük taşıyıcılarının hareket yönünün pek önemi yoktur. Çünkü genellikle bunların enerjileri potansiyel duvarını aşmak için yeterli değildir.

Elektron-boşluk çifti P tipi bölgede (3 ile gösterilmiştir) meydana gelirse, elektron kavşağa doğru hareket eder ve onu aşarak N tipi bölgeye ulaşır. Bu durumda da yine N tipi bölgeden P tipi bölgeye pozitif yük geçişi var demektir. Kavşaktan uzakta meydana gelen elektronlar ve boşluklar tekrar birleşirler ve böylece bir elektron boşluk çifti kaybolur. Bunlarda 4 ve 5 ile gösterilmiştir.

Bir azınlık taşıyıcısı birçok çarpışmaya maruz kalır ve gelişigüzel doğrultularda hareket eder ve bu hal yakalanıncaya kadar devam eder. Eğer yük taşıyıcısı bu hareketi sırasında kavşağa doğru yönelmiş olursa kavşaktaki elektrik alan nedeniyle kavşağı aşabilir. Azınlık yük taşıyıcı kavşak civarında bulundukça onun kavşağı geçmesi olasılığı yükstektir. Azınlık yük taşıyıcısının kavşağa olan uzaklığı, bir azınlık yük taşıyıcısının bir çoğunluk yük taşıyıcısıyla birleşmeden önceki ortalama yolunu gösteren L difüzyon uzaklığı ile ölçülür. N bölgesinden P bölgesine bir pozitif yük geçişine olanak veren elektron-boşluk çiftinin kavşaktan d uzaklığında meydana gelme olasılığı $\exp(-d/L)$ 'ye eşittir.



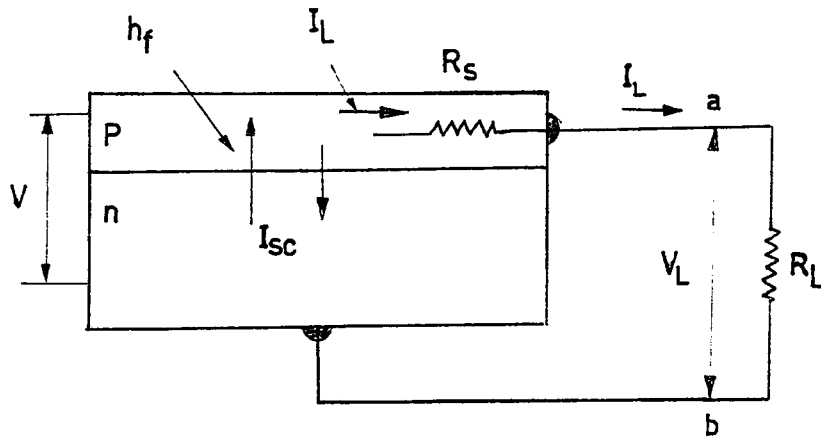
“Şekil 6.12” Fotovoltaik olayın dış devreye aktarılması (Cantürk, 1989)

O halde difüzyon uzaklığı absorblanan bir fotonun, fotovoltaik olaya neden olma şansının büyük olduğu uzaklıktır. L difüzyon uzaklığı, yük taşıyıcılarının yoğunluğuna ve kristalin oluşum şekline bağlı olarak 10^{-4} m ile 10^{-6} m arasında değişir,

Fotovoltaik olayın gerçekleşmesi için önce PN kavşağının ışık alması sağlanmalı ve sonra elde edilen akım bir dış devreye yönlendirilmelidir. Bir yarı iletken kavşağında ışığın absorplanmasıyla meydana gelen yük çiftlerinin kavşaktaki potansiyel gradyanti yardımıyla birbirinden ayrılmaları görülmektedir (Şekil 6.12) .

6.4 Güneş Pili Karakteristikleri

Fotovoltaik olayın gerçekleştiği güneş pilleri, ışık enerjisini elektrik enerjisine çeviren N tipi ve P tipi yarı iletken materyallerin oluşturduğu bir PN kavşağıdır. PN kavşağı, bir monokristal yarı iletkenin iletkenliğinin bir tipten bir başka tipe değiştiği bölgedir. Güneş pilinde önemli parametreler verim ve çıkış gücüdür. Bir güneş pili ve eşdeğer devresi görülmektedir (Şekil 6.13).



“Şekil 6.13” Güneş pili ve eşdeğer devresi

Buna göre ışınlar maruz kalacak olan tabaka (Şekil P tipi) ışınların kavşağa ulaşabilmesi için ince olmalıdır. Üst tabakaya gelen fotonların enerjisi, yarı iletkenin yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük olmalıdır ki yarı iletken içinde soğurularak elektron-boşluk çifti oluşturup bunların bir elektrik alanla birbirinden ayrılmasının sağlanmasına dayanır. Oluşturulan bu çiftlerden azınlık taşıyıcılarının bir kısmı difüzyonla kavşak bölgesine gelirler ve diğer tarafa geçerler. Bu durum yük dengesini bozduğu için kontak potansiyelinin azalmasına neden olur.

Kavşaktan geçen akım için (enjeksiyon akımı), (6.6)'dan $I = I_0 \left[\exp(eV/kT-1) \right]$ eşitliği yazılabilir.

Burada I saturasyon akımıdır ve termal etki altındaki kavşak engelini aşp kavşağa akan serbest taşıyıcıları temsil eder.

Üzerine ışık düşürüldüğünde güneş pilinin kavşak bölgesini geçen azınlık taşıyıcılarının a-b uçlarında oluşturduğu akıma kısa devre akımı denir. Eğer diyot kısa devrede yapılmışsa, devreden geçen akım, kavşağın difüzyon uzunluğu içinde üretilen tüm azınlık taşıyıcıların etkisiyle kavşağa doğru akar. Burada L_e ve L_b difüzyon uzunluklarının yerdeğiştirme bölgesinden daha geniş olduğu varsayılmıştır.

Diğer deyişle elektron-boşluk çifti sadece kavşak içinde elektrik alanın ayırmasıyla meydana gelmez, çiftler elektrik alanlı bölgeden difüzyon uzaklığı içinde difüze edilebilir ve ayrılabilirler.

Kısa devre akımı:

$$I_{sc} = A.Q(L_e+L_b)G \quad (6.8)$$

eşitliği ile verilebilir.

Burada;

I_{sc} : Kısa devre akımı (10^{-3} A)

A : PN kavşağının alanı (cm^2)

G : Kavşağa düşen fotonların ürettiği birim hacimde birim zamanda elektron-boşluk çifti verimi ($1/\text{cm}^3 \cdot \text{sn}$)

L_e : Elektronların difüzyon uzaklığı (cm)

L_b : Boşlukların difüzyon uzaklığı (cm)

Q : Elektrik yükü (10^{-3} A.sn)

Bu kısa devre akımı, ileri biasta elde edilen yönün tersi yönde akar. Devreye bir yük direnci bağlanırsa V fotovoltaj artar. Yük direncine doğru net akım, enjeksiyon akımına ters yönde olması nedeniyle, kısa devredeki değerinden daha az olur.

O halde akım voltaj eşitliği :

$$I_L = I_{sc} - I_0 \left[\exp (e.V / kT) - 1 \right] \quad (6.9)$$

$I = 0$ olduğunda ab uçlarında ölçülen voltaja açık devre voltajı denir.

Açık devre voltajı:

$I = 0$ ise $V = V_{oc}$ özelliği kullanılırsa (6.9)'den .

$$I_{sc}/ I_0 + 1 = \exp (e.V_{oc} / kT) \quad (6.10)$$

Her iki tarafın $\ln$ 'ı değeri alınırsa açık devre voltajı;

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln (I_{sc} / I_0 + 1) \quad (6.11)$$

olur.

Oluşacak akımın şiddeti jonksiyona birim zamanda gelen foton sayısı (dolayısıyla ışık şiddeti) ile orantılıdır. Gelen ışığın foton enerjisi frekansa ve dalga boyuna;

$$E = h.f = h. \frac{c}{\lambda} \quad (6.12)$$

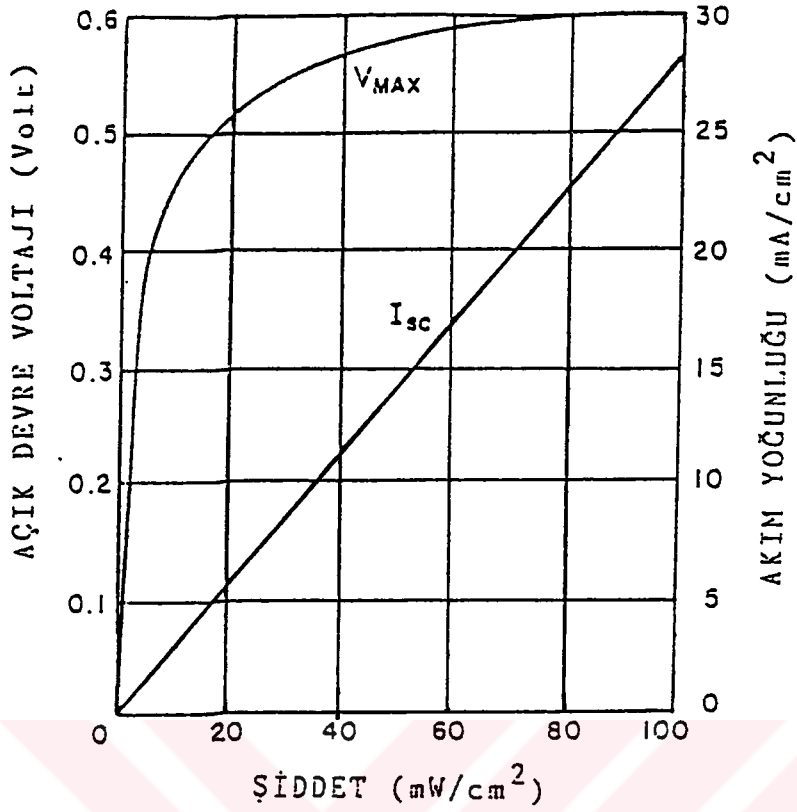
bağıntıları ile bağlı olduğuna göre, elektron delik çiftleri doğabilmesi için bu enerjinin yarı iletkenin E_g enerjisinden daha büyük olması gerektiği vurgulanabilir. Örneğin silisyumda, oda sıcaklığında $E_g = 1,1$ eV olduğuna göre $E \geq E_g$ şartını sağlayan λ değerleri hesaplanırsa;

$$\lambda \leq \frac{h.c}{E_g} \quad (6.13)$$

$\lambda \leq 1.128 \mu m = 11280 \text{ Å}$ bulunur.

Görünen ışığın sınırları λ (kırmızı) = 8000 Å ve λ (mor) = 4000 Å olduğuna göre görünen ışık spektrumunun tamamı ile mor ötesi ışınlar ve kızıl ötesi ışınların bir bölümü, fotovoltaik olaya katkıda bulunabilir.

Işık şiddeti artınca; kısa devre akımı ve açık devre voltajı artmaktadır. I_{sc} akımı ışık şiddeti ile lineer artar, fakat açık devre voltajı logaritmik artar (Şekil 6.14). Yasak bandı geniş materyaller yüksek açık devre voltajı üretir. Yasak bandı dar materyaller ise büyük kısa devre akımı verirler.



“Şekil 6.14” Işık şiddetinin fonksiyonu olarak kavşak akımı ve voltajı

Şekil 6.14’deki devrede R yük direnci, R_s ’de diyodun iç seri direncidir. Kavşağın bir difüzyon uzunluğu dahilinde absorbe edilen radyasyon I_{sc} akımını oluşturur.

Bu akım yükten geçen I_L ve kavşaktan atlayan I_0 olmak üzerer iki kola ayrılır. İç seri direnç R_s ’den dolayı yükte oluşan V_L voltaj, kavşakta oluşan fotovoltajdan daha düşüktür.

$$V_L = V - I_L \cdot R_s \quad (6.14)$$

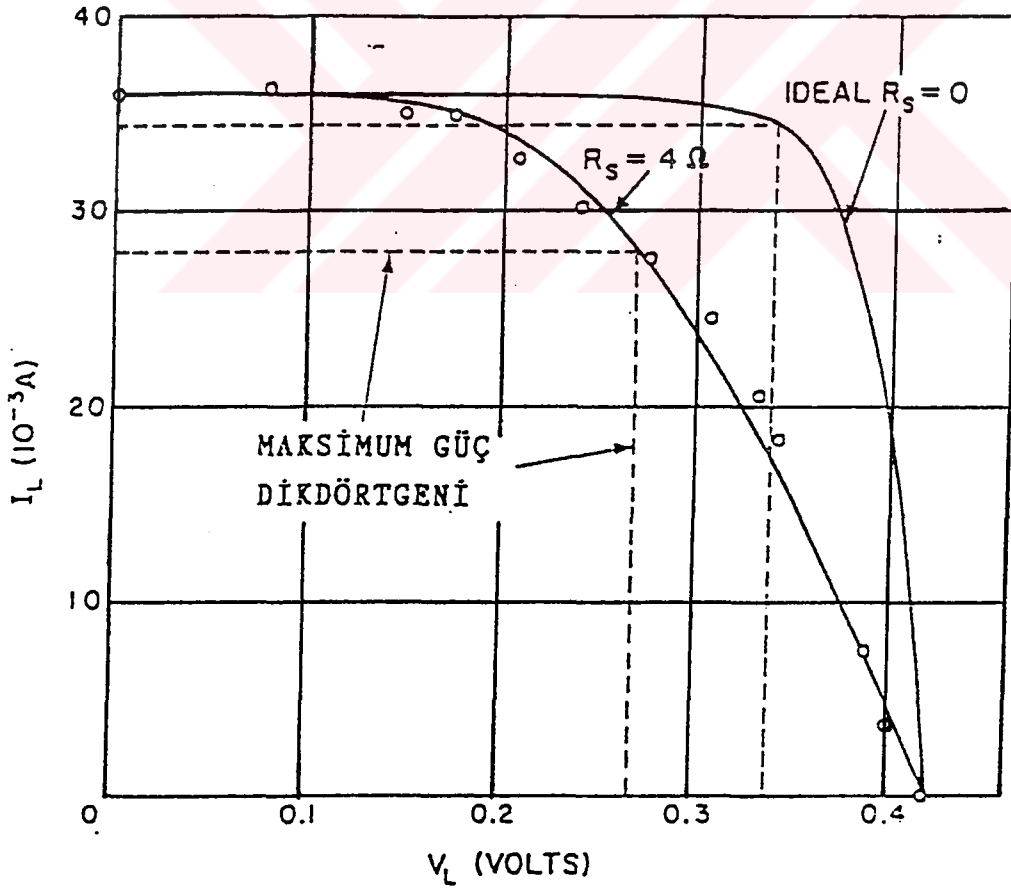
$I \equiv I_L$ ise (6.9) ‘dan

$$V = \frac{kT}{e} \ln \left[(I_{sc} - I_L) / I_0 + 1 \right] \quad (6.15)$$

yerine yazılırsa;

$$V_L = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{I_{sc} - I_L}{I_0} + 1 \right] - I_L R_s \quad (6.16)$$

bulunur.



“Şekil 6.15” Güneş pilinin akım gerilim karakteristiği

Şekil 6.15 'de iç seri direncin güneş pilinin performansına olan etkisini göstermektedir. R_s direncinde meydana gelen kayıplar, maksimum güç çıkışını ve dolayısıyla toplam verimliliği azaltır.

Maksimum gücün ve maksimum verimin elde edildiği nokta eğrinin büküm noktası olarak kabul edilir. Verilen V_{oc} ve I_{sc} değerleri için eğri ne kadar dikdörtgene yakın olursa, verim o kadar büyük olur.

6.4.1 Güneş pilinin verimi

Genelde güneş pillerinin maksimum gücü veren çalışma noktası, aynı zamanda maksimum verime karşı gelen noktayla aynıdır. Verilen bir V gerilimi için yükten gelen akım

$$(6.9)'dan \quad I_L = I_{sc} - I_o \left[\exp \left(\frac{e.V}{kT} \right) - 1 \right] \quad \text{ise;}$$

Çıkış Gücü:

$$P = I_L \cdot V_L \quad (6.17)$$

olur ve yerine yazılırsa;

$$P = \left[I_{sc} - I_o \left\{ \exp \left(\frac{e.V}{kT} \right) - 1 \right\} \right] \cdot V_L \quad (6.18)$$

Gücün maksimum olduğu gerilimi bulmak için eşitliğin V_L 'ye göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse gücü maksimum yapan gerilim bulunur ve bu ifadeyi açık devre durumu için (6.10) numaralı ifadeye eşitleyelim;

$$\frac{dV_P}{dV_L} = 0 \text{ ve } \frac{I_{sc}}{I_o} + 1 = \exp\left\{ \frac{e.V_{oc}}{kT} \right\}, \text{den;}$$

$$\exp\left\{ \frac{e.V_{oc}}{kT} \right\} \cdot \left[1 + \left(\frac{e.V_m}{kT} \right) \right] = \frac{I_{sc}}{I_o} + 1 = \exp\left\{ \frac{e.V_{oc}}{kT} \right\} \quad (6.19)$$

(Voc=Açık Devre Gerilimi)

Maksimum güce karşılık gelen akım:

$$I_m = I_{sc} - I_o \left[\exp\left(\frac{e.V_m}{kT}\right) - 1 \right] \quad (6.20)$$

dir ve (6.19) numaralı eşitlik dikkate alınarak aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$I_m = I_{sc} - I_o \left[\left\{ \left(1 + \frac{I_{sc}}{I_o}\right) / \left(1 + \frac{e.V_m}{kT}\right) \right\} - 1 \right] \text{ ve } I_m = I_{sc} - \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_o}\right) / \left(1 + \frac{e.V_m}{kT}\right) \right] + I_o, \text{den;}$$

$$I_m = \left[\left(\frac{e.V_m}{kT}\right) / \left(1 + \frac{e.V_m}{kT}\right) \right] \cdot I_{sc} \cdot \left(1 + \frac{I_{sc}}{I_o}\right) \quad (6.21)$$

I_o , I_{sc} 'den çok küçük olduğundan, maksimum akım;

$$I_m = \left[\left(\frac{e.V_m}{kT}\right) / \left(1 + \frac{e.V_m}{kT}\right) \right] \cdot I_{sc} \quad (6.22)$$

elde edilir.

Maksimum çıkış gücü:

$$P_m = I_m \cdot V_m = \left\{ \left[\left(\frac{e \cdot V_m}{kT} \right) / \left(1 + \frac{e \cdot V_m}{kT} \right) \right] \cdot I_{sc} \right\} \cdot V_m \quad (6.23)$$

olarak verilir.

Güneş pillerini karakterize eden bir büyüklükte Fill (dolgu) faktörüdür. Pilden elde edilen güç akım-gerilim çarpımına eşit olduğuna göre alınabilecek maksimum güç iki eğri arasına sığdırılabilecek en büyük dikdörtgenin alanı ile temsil edilir. Bu alan her zaman kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımından küçüktür.

Güneş pilinin I-V eğrisinin şekli dikdörtgensel değildir ve maksimum verimlilik bu eğrinin dönüm noktasında oluşur.

Fill Faktörü I-V eğrisinin içine çizilebilecek maksimum büyüklükteki dikdörtgenin alanını bütün alana oranı olarak tanımlanır. Bu oran genellikle 0.7 ile 0.8 arasında olmaktadır.

Dönüm noktasındaki voltaj (V_{max}) ve akım (I_{max}) değerleri kullanılarak aşağıdaki ifade ile açıklanır.

Fill Faktörü:

$$FF = \left[\frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \right] \quad (6.24)$$

Güneş Pilinin maksimum güç çıkışı:

$$P_m = I_m \cdot V_m = I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF \quad (6.25)$$

O halde verim ifadesi:

$$\eta = \frac{P_{\text{Çıks}}}{P_{\text{Giris}}} = \frac{V_m \cdot I_m}{P_{\text{Giris}}} \quad (6.26)$$

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{\text{Giris}}} \quad (6.27)$$

olur. Gelen fotonların getirdiği güç fotonların sayısı (N_{ph}) ile fotonlama enerjisi (E_{ph})'ın çarpımına eşittir.

$$P_{\text{giriş}} = N_{ph} \cdot E_{ph} \quad (6.28)$$

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{N_{ph} \cdot E_{ph}} \quad (6.29)$$

ifadesinden güneş pilinin verimi elde edilir (İlter, 1994; Kurt, 1997).

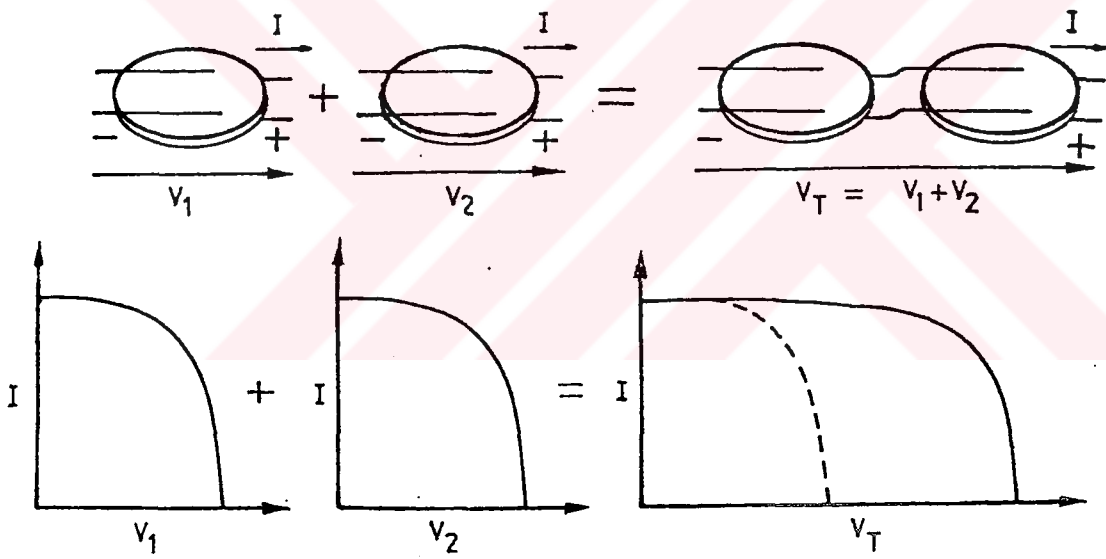
6.5 Güneş Modülleri

Faydalı yükleri çalıştırma, batarya şarj etme, yeterince nihayi gerilim üretme gibi amaçlar için bir grup pil, paralel seri olarak biraraya getirilirse modül elde edilmiş olur. Eğer bir modülün üretebildiğinden daha fazla gerilim ve akıma ihtiyaç duyarsa modüllerde kendi aralarında seri veya paralel pozisyonlarda irtibatlandırılır.

6.5.1 Pillerin seri ve paralel bağlanması

6.5.1.1 Seri bağlama

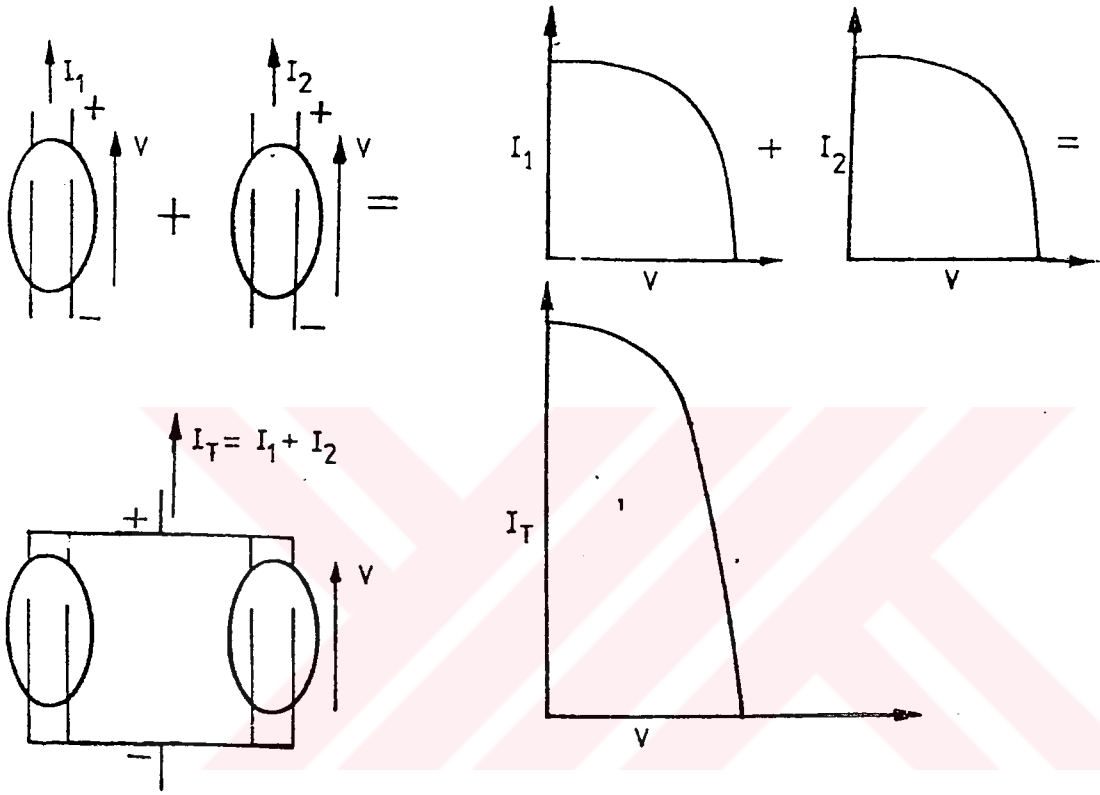
Eğer piller seri bağlanırsa, birini pozitif kenarı diğerinin negatif ile birleştirilir, son durumda bütün elektriki bağlantılarda olduğu gibi seri pillerden geçen akım aynıdır ve toplam gerilim her bir pil geriliminin toplamına eşittir.



“Şekil 6.16” Güneş pillerinin seri bağlanması

6.5.1.2 Paralel bağlama

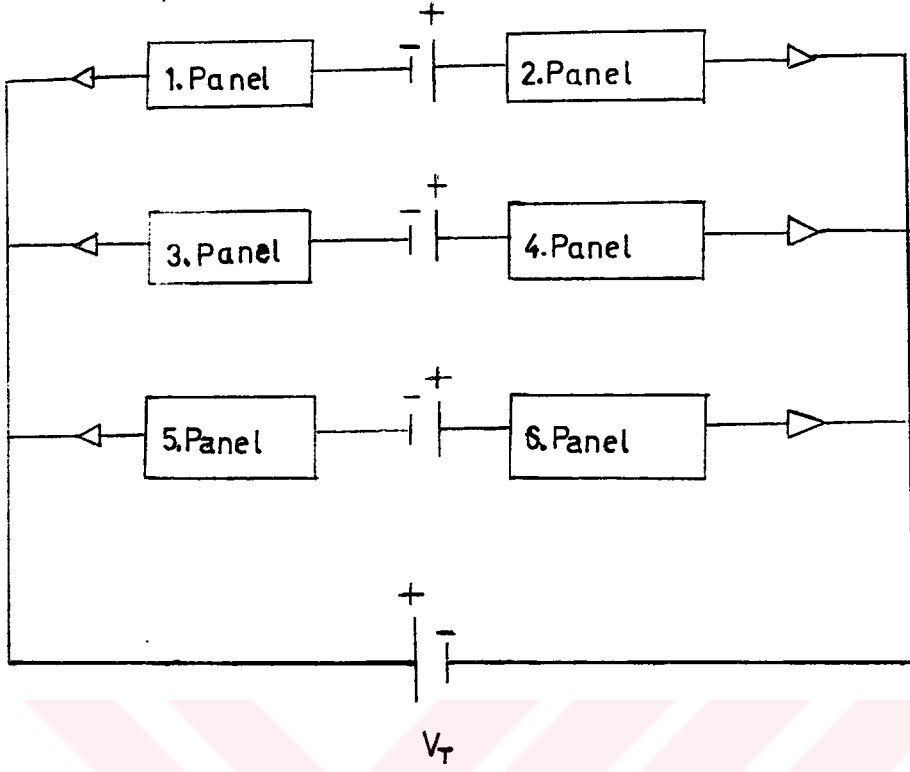
Eğer piller paralel bağlanırsa, pozitif kenarlar kendi aralarında ve negatif kenarlar kendi aralarında irtibatlandırılır. Bu durumda her pil üzerindeki gerilim birbirine eşit ve nihai akım da her bir pil tarafından üretilen akımların toplamına eşittir.



“Şekil 6.17” Güneş pillerinin paralel bağlanması

6.5.2.3 Seri + Paralel Bağlanma

Burada dikkat edilecek nokta, eğer paneller seri bağlanırsa sistemin voltajı artar, amper sabit kalır, eğer paneller paralel bağlanırsa sistemin amperi artar, voltaj sabit kalır.



“Şekil 6.18” Güneş pillerinin seri ve paralel bağlanması

6.5.2 Modül çıkışına, ışık şiddeti ve sıcaklığın etkisi

Bir güneş pilinin dolayısıyla bir modülün çıkışı; pilin sıcaklığı üzerine düşen ışığın şiddeti ve ışığın spectral dağılımı ile değişir.

6.5.2.1 Spectral dağılım

Spectral dağılım; farklı dalga boylarına ve dolayısıyla farklı renklere sahip ışıkların enerji dağılımlarını ifade eder. Işık atmosferimizin içinden geçerken muayyen dalga boyları diğerlerinden daha fazla absorplanır.

Dağılım ışığın içinden geçtiği atmosfere bağlıdır. Sabah ve akşam güneş ufka yakın olduğundan, öğlenkinden daha fazla mesafeyi yeryüzüne ulaşana kadar kat edecektir. Bu durum yaz ve kış mevsimlerinde de söz konusudur.

Dünya üzerinde farklı enlem dereceleri, güneş ışığının içine nüfuz ettiği farklı ortalama kalınlıklı atmosfere sahip olacaktır.

Üzerinde parlayan renge bağlı olarak farklı miktarda akım üretecek güneş pili için ışık içindeki renklerin dağılımını idrak etmek önemlidir. Mesela, mavi ve kırmızı ışığın aynı miktarı, pil içinde aynı sayıda elektron ve diliği serbest bırakmayacaktır. Bunun nedeni enerji miktarının farklı olması ve ışığın farklı dalga boylarının pillere farklı derinliklerde nüfuz etmesidir.

Kırmızı ve kırmızı altı bölgede (0,8-1,0 μm) hemen hemen her foton elektron-boşluk çifti üreten mavi bölgede (0,3-0,4 μm) pil üzerine gelen fotonların yarısından daha azı elektron - boşluk çifti üretir.

6.5.2.2 Işığın etkisi

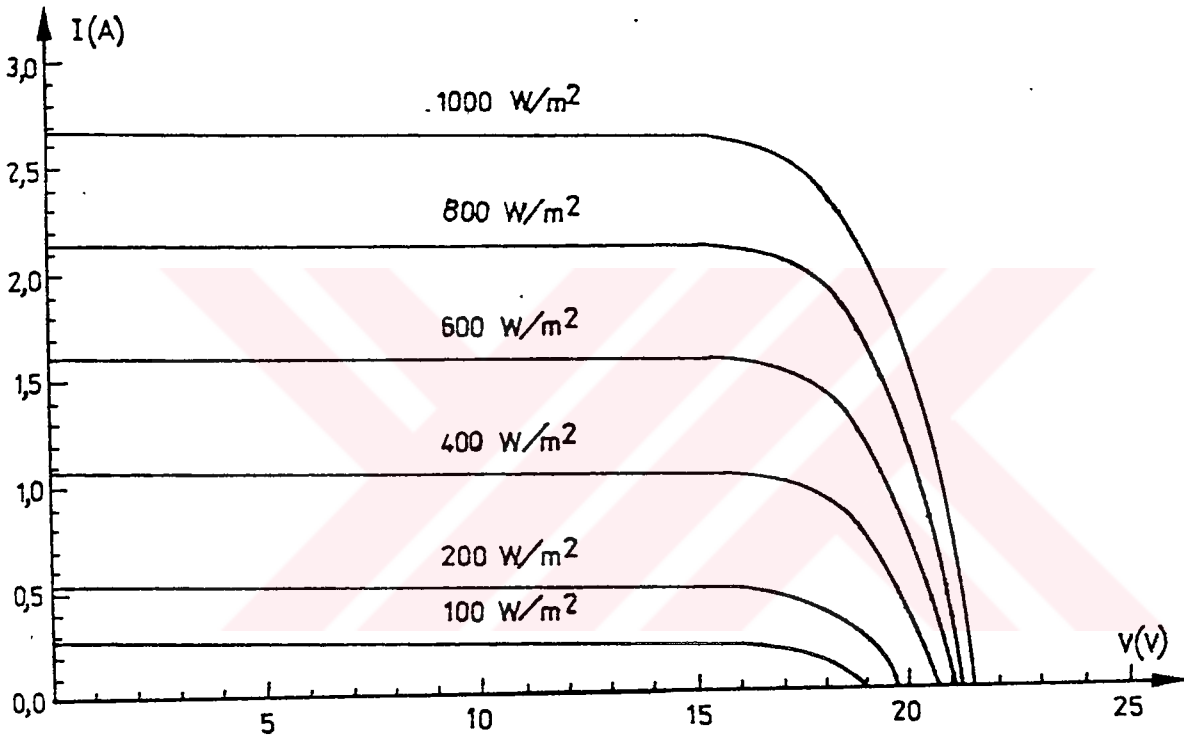
Ulaşması muhtemel ışığın şiddeti azaldığı zaman, her saniye de pilin içine nüfuz eden fotonların sayısı azalır. Bundan dolayı rastgele çarpıştırılan elektron ve boşlukların sayısı azalır.

Modül çıkışı yakinen ışık şiddetine bağlı olduğundan modül çıkışının herhangi bir ölçümü, faydalanılan ışığın şiddetini tesbit etmelidir. Işık şiddetine bağlı olarak pilin I-V karakteristiği gösterilmiştir (Şekil 6.19).

Ekvatorda deniz seviyesinde standart atmosferik şartlar altında ölçülen 1000 W/m²'lik bir değer, modül çıkışı belirtmede kullanılan “tepe” veya öğle vakti, güneş ışıklarının tesir seviyesi olarak tanımlanmıştır.

Bir modül çalışma alanı içinde, günden güne ve mevsimden mevsime sürekli değişen ışık şiddetlerine maruz kalacak ve belki onun üzerine asla 1000 W/m^2 'lik düşme olmayabilecektir.

Fakat bununla birlikte “tepe” güneş ışınlarının tesiri için bu değer, dünya üzerinde çeşitli bölgelerde modül çıkışlarında bir standart olarak kullanılır.



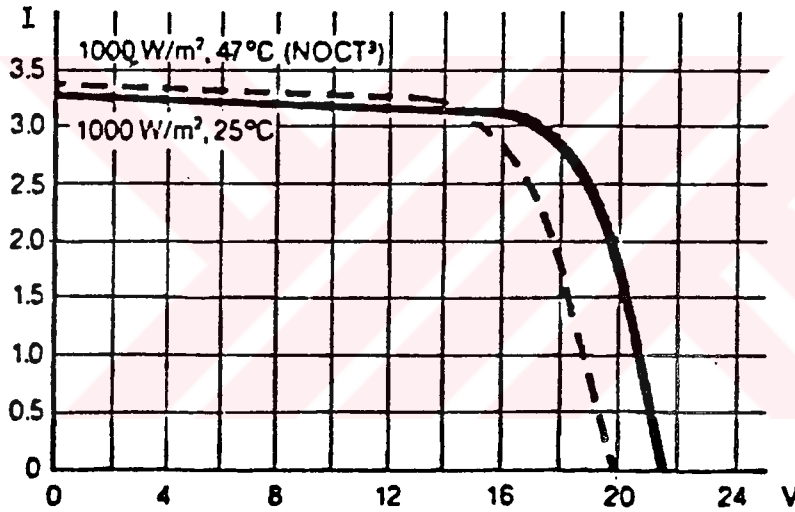
“Şekil 6.19” Işık şiddetine bağlı olarak pilin I-V karakteristiği

6.5.2.3 Sıcaklığın etkisi

Pillerin ısınma ile, çıkış veriminde düşme olur. Pilin sıcaklığı yükseldiğinde çıkışı etkileyen iki eylem söz konusudur.

Birincisi, kristal kafes daha fazla ısındığından atomlar daha şiddetli titreşir ve o, tepki (çarpışma) elektronlarını serbest bırakmak için fotonlardan daha az enerji alır. Bu ifade eder ki düşük enerjili ışık, pil soğuk iken elektronları tamamen serbest bırakmak için yeterince enerjiye sahip olacaktır.

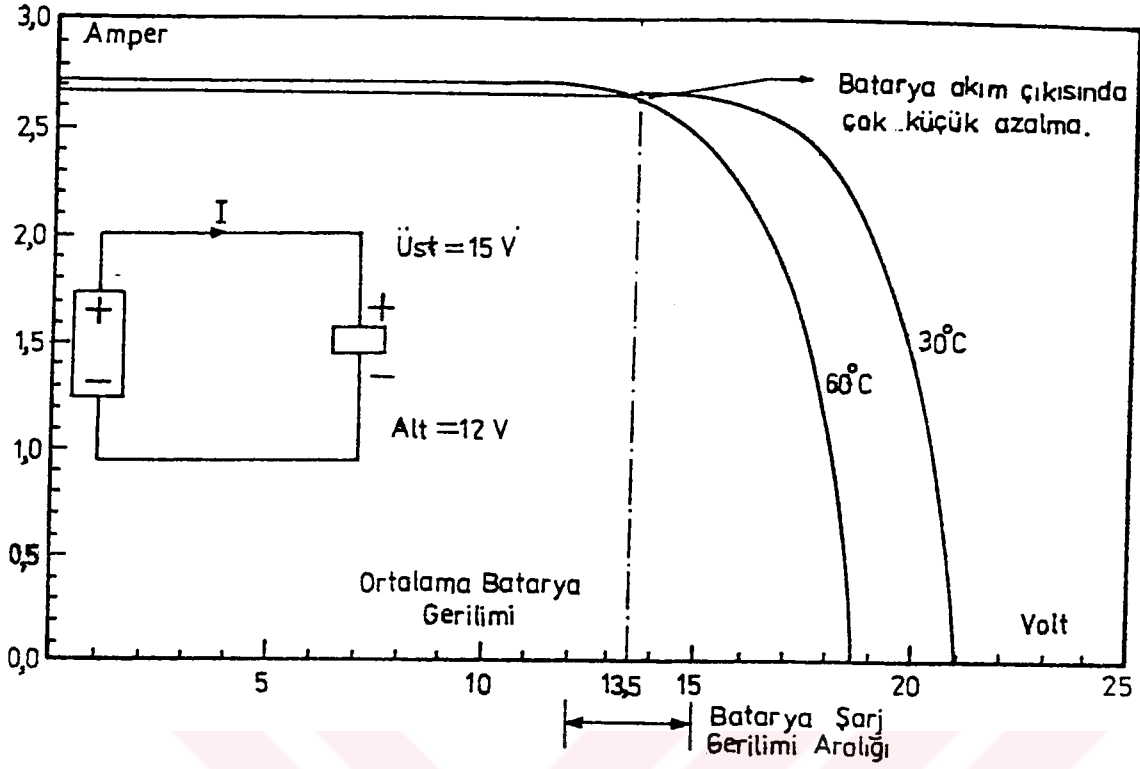
İkincisi, pil daha fazla ısındığında daha çok serbest elektron ve çukurlar, jonksiyonun bir tarafından diğer tarafına süpürülen ışık oluşumlu akıma zıt yönde jonksiyona nüfuz etme ve bariyer kuvvetine karşı gelmek için yeterince enerjiye sahip olacaktır. Bu sonuç, pilden dışarı akan akımı azaltıcı yönde etki eder. Sıcaklığın pilin I -V karakteristiğine etkisi gösterilmiştir (Şekil 6.20).



“Şekil 6.20” Sıcaklığa bağlı olarak pilin I -V karakteristiği

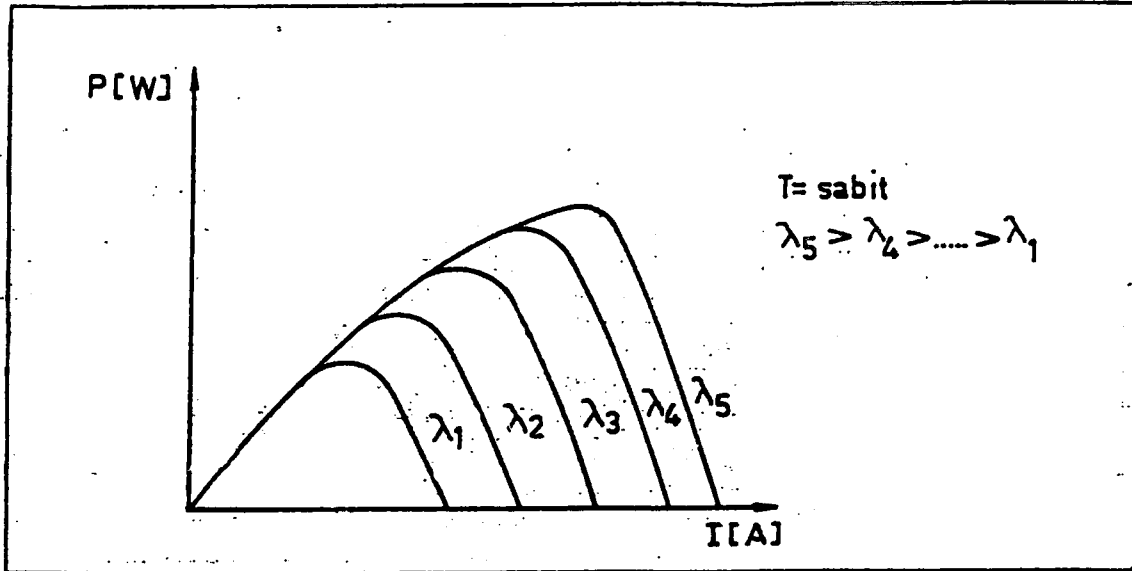
Sıcaklık batarya şarjında tesir etmektedir. Batarya iç voltajı, modül çıkış akımını saptayan, modülün çalışma voltajının tesbit eder. Bir 12 voltluk batarya şarjına yüksek sıcaklığın etkisi gösterilmiştir (Şekil 6.21).

Batarya şarj durumuna ve yükleme talebine bağlı olarak 12 V’tan, 15 V’a kadar bir voltaj alanında değişim gösterecektir.

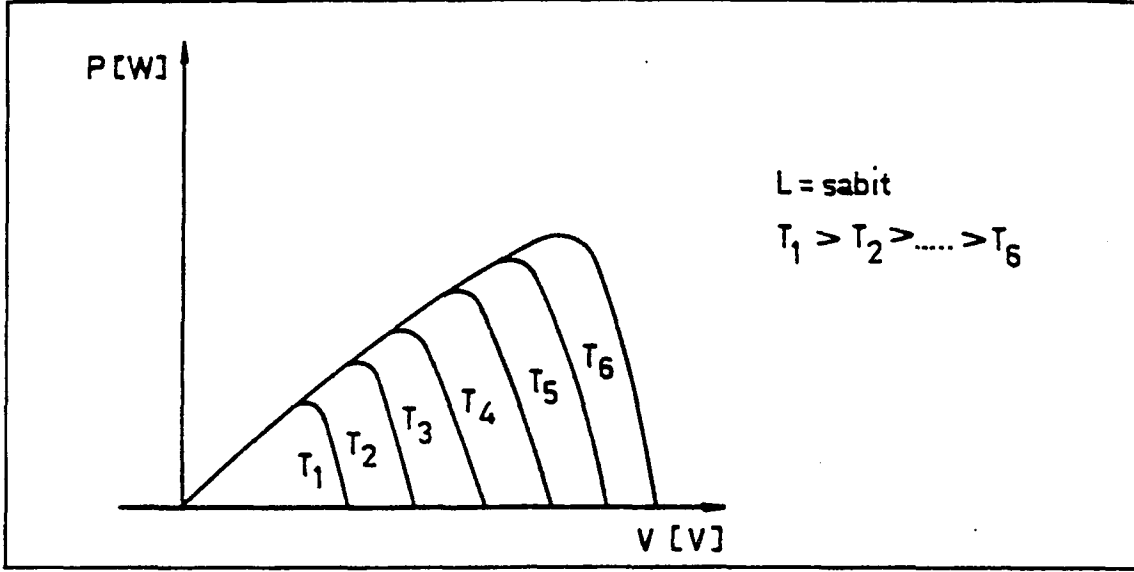


“Şekil 6.21” Batarya şarjında yüksek sıcaklığın etkisi

Güneş pilinden çekebilecek güç ışık şiddeti ve ortam sıcaklığı ile orantılı olarak değişmektedir. Bu durum Şekil 6.22 ve Şekil 6.23’de gösterilmiştir (Simon, 1991).



“Şekil 6.22” Işık şiddetine bağlı olarak pilin P-I karakteristikleri



“Şekil 6.23” Sıcaklığa bağlı olarak pilin P-V karakteristikleri

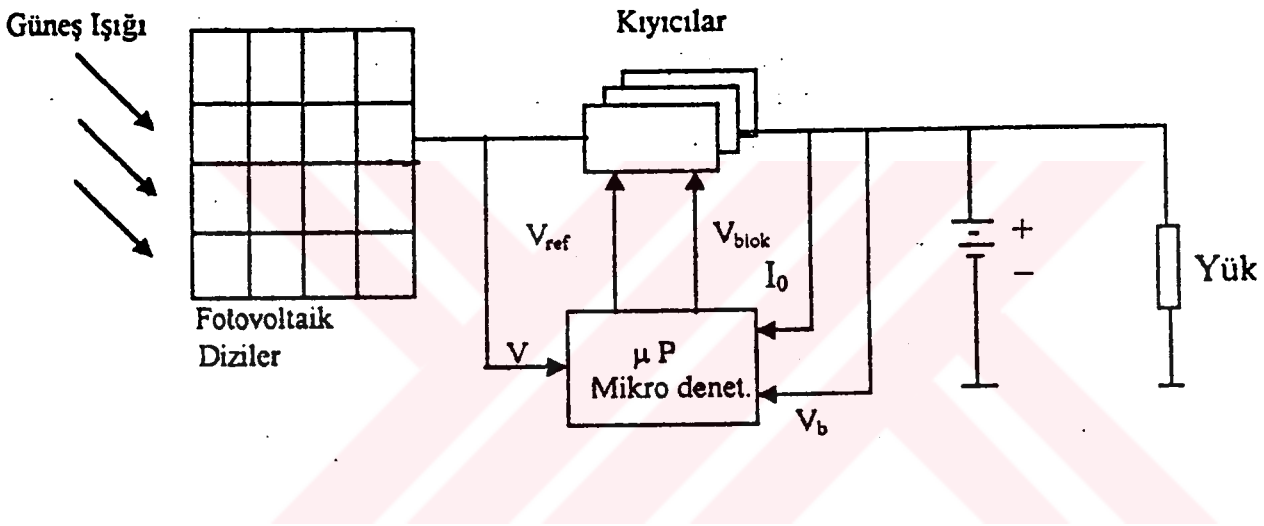
6.6 I-V Eğrisinde Çalışma Noktasının Bulunması

Bir çok uygulamalarda, güç düzeltme devresinin (PCC = Power Conditioning Circuit), doldurma gereksinimi olan batarya grupları ile solar dizileri arasında olması istenmektedir. Şekil 6.24’de görülen devre, solar dizisinin maksimumu güç noktasının izlenmesi için kullanılabilmektedir. Güneş ışığı yoğunluğu, sıcaklık ve yük değişimlerine rağmen depolama bataryaları ve solar dizisinin kullanımı daha verimli olması beklenmektedir.

Fotovoltaik sistemleri içinde maksimum güç nokta (MPP = Maksimum Power Point) izlenmesi için DC/DC konverter sisteminin tasarımını, verimlilik performansını, paralel bağlı kırıyıcı işletimini sunmakta ve sonuçta elektromekanik bir tasarım düşünülerek sistem daha verimli hale getirilmeğe çalışılmaktadır.

6.6.1 Fotovoltaik sistemin işletimi

Fotovoltaik sistemin blok diyagramı görülmektedir (Şekil 6.24). Blok diyagramı, fotovoltaik dizi (PV), DC/DC (doğru akım / doğru akım) konverterler, batarya grubu, mikroişlemci tabanlı maksimum güç izleyici ve yükten oluşmaktadır. Batarya gerilimi, enerji talebi ve bataryaların durumu, fotovoltaik beslemeye uygun olarak tespit edilmektedir.

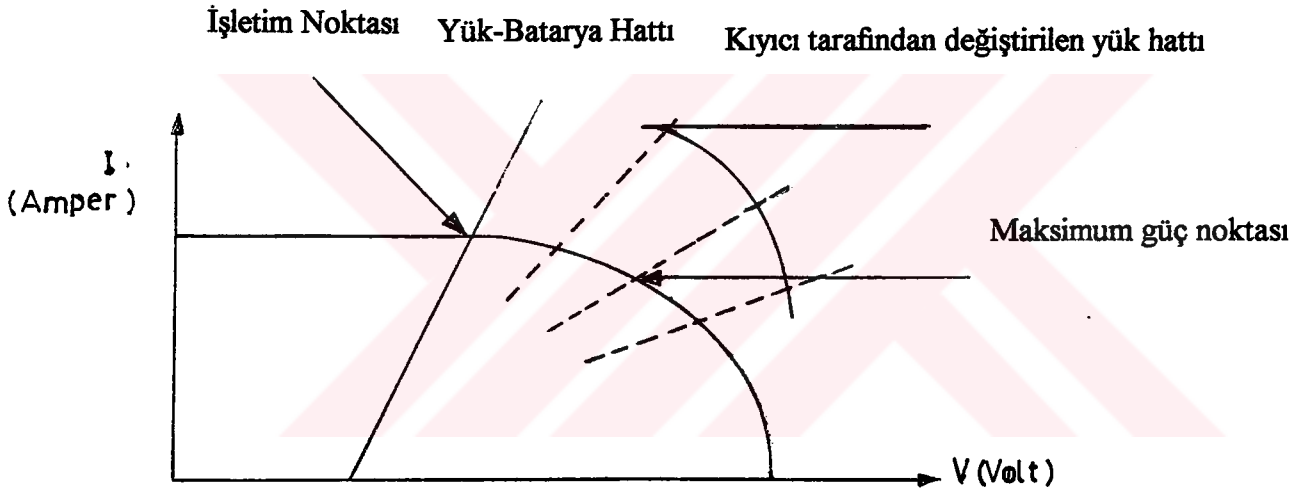


“Şekil 6.24” Fotovoltaik sistemin blok diyagramı

Eğer solar modüllerinden herhangi bir zamanda, kullanıma başlandıktan sonra ihtiyaca dayalı olarak enerji fazlalığı söz konusu olursa, fazla enerji bataryalara aktarılmaktadır. Talep artışından dolayı, bataryalar boşalmaya yönelik çalışma durumunda ise, elektronik düzenek tarafından DC gerilimi devreye girmektedir. Her bir pilden 15 V’luk bir gerilim elde edilebiliyorsa, kıyıcı tarafından çıkış gerilimi sabit tutulur. Bataryanın dolum durumunun bir fonksiyonu olarak batarya dolum akımı tespit edilir. Yani bataryanın sitem tarafından şarj edilmesi batarya akımını göre yapılmaktadır ve bu değerin üstündeki

değerlerde batarya devre dışı kalmaktadır. Bu akım değerinde bataryanın maksimum servis süresine ulaşılmaktadır.

Işık yoğunluğunun düşük olduğu zamanlarda batarya devreye girmektedir ve yükü beslemektedir. Bu bataryanın değişik zamanlarda, değişik güçlerde deşarj olmasını sağlamaktadır. Sistemin maksimum transfer modunda kıyıcının çalışma çevrimi, PV dizisinin maksimum güç noktasının izlenmesini kontrol etmektedir (Şekil 6.25). Yükün $I - V$ (akım - gerilim) karakteristikleri arasındaki kesişim noktası, aynı zamanda batarya + yük birleşimi olarak görünmektedir ve işletim noktası olarak tespit edilmiştir. Mikrodenetleyici ve kıyıcılar yardımı ile sistem bu işletim noktasında çalıştırılmaktadır.



“Şekil 6.25” Solar sistemin maksimum noktası ve işletim eğrisi

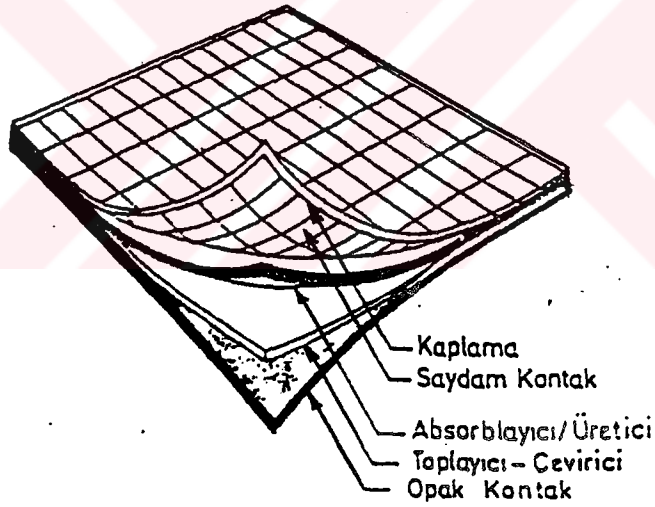
Şekil 6.25’deki eğrinin benzer şekilde açıklaması da şöyledir. Güneş ışınları PV dizilerine geldiği zaman belirli bir gerilim elde edilecektir. Bu dizilerin sisteme sağlayacağı güç ışık yoğunluğuna bağlı olarak artacaktır. Dizi sayısı ya da ışık yoğunluğunun artması gerilimi arttırmaktadır bu da akım oranının artmasını sağlamaktadır. Dizilerden elde edilen gerilim, paralel bağlı kıyıcılar yardımıyla PWM (Pulse-Width Modulation = Darbe Genişlik Modülasyonu) metodu ile sabit bir DC gerileme dönüştürülür. Akünün boş olma durumunda, yükten fazla akım çekilmesi veya yükün düşük değerinde olması durumunda

μP (Mikrodenetleyici), dizi çıkışlarından alınan V gerilimi ile, çıkış gerilimi V_b gerilimini karşılaştırarak kıyıcıyı kontrol etmektedir. Kıyıcı V_{ref} referans gerilimini ve V_{blok} gerilimini kontrol ederek dizilerden çekilen gücü belirli bir değerde tutacaktır. Bu güç değeri, maksimum güç noktasıdır (Vasynczuk, 1983; Ermiş, 1995).

6.7 Güneş Pillerinin Kısımları

Güneş pillerinin en önemli iki kısmı :

- 1- Fotonları absorblayıp elektron-delik çiftlerini üreten yarı iletken tabaka,
- 2- Üretilen taşıyıcıları toplayıp elektronların hareketini yönlendiren bir gerilim bölgesi oluşturur.



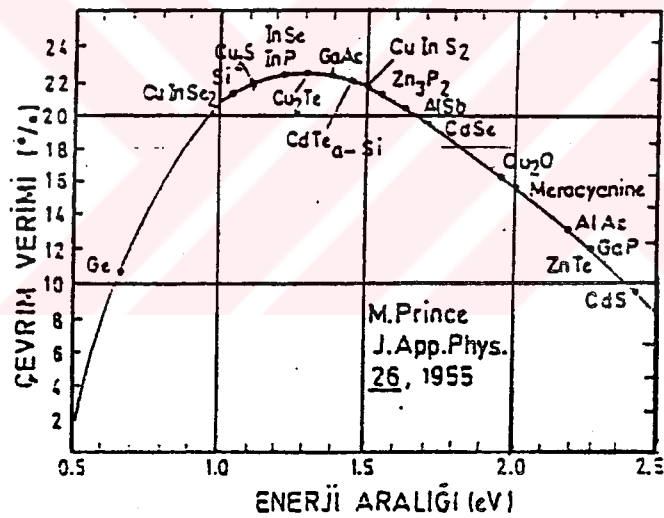
“Şekil 6.26” Bir güneş pilinin beş tabakası

Absorlayıcı-üretici tabaka en önemli kısım olduğu için toplayıcı-çevirici ve diğer sistemler bu tabakanın metalurjik ve elektronik özelliklerine uyacak şekilde seçilir. Bu özellikleri

örgü sahibi, ısı genleşme katsayısı ve elektron anfinetisidir. Bu özelliklere uyma gereksinimi öncelikle toplayıcı-çevirici tabaya etkilemektedir. Bir güneş pilinin beş tabakasını gösteren verilmiştir (Şekil 6.26).

6.7.1 Absorblayıcı üretici tabaka

Foton absorblayan ve azınlık taşıyıcısı üreten bu tabakanın önemli özellikleri; Enerji aralığı, absorblama katsayısı ve azınlık taşıyıcı yayının ömrüdür. Absorblama katsayısı gerekli olan malzeme kalınlığını belirler.



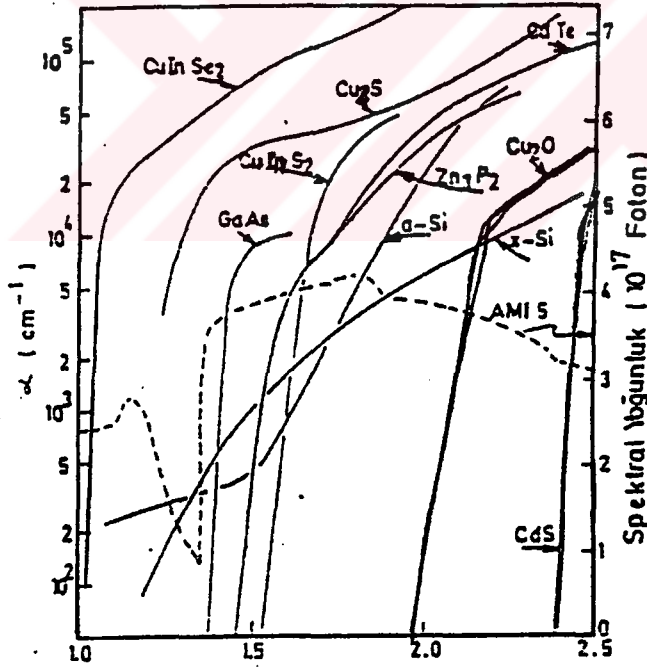
“Şekil 6.27” Doğrudan güneş ısıtımında, yeryüzü fotovoltaik güneş pilleri için en yüksek çevrim veriminin enerji aralığına göre değişimi

Enerji aralığı, tek bir absorlayıcı-üretici tabaka kullanılarak elde edilecek en yüksek verimi belirler. Enerjileri, enerji aralığına eşit veya daha yüksek olan güneş fotonları,

serbest taşıyıcıları uyarırlar ve üretebilecek en yüksek akımı belirlerler. En yüksek gerilim absorblayıcı-üreticinin enerji aralığı ve toplayıcı çevirici ile oluşturulan diyodun karakteristikleri tarafından belirlenir. Diyodun mümkün olan en yüksek güç çıkışının %90'ını elde edebilmek için, enerji aralığı 1.0 ve 1.7 eV arasında olmalıdır. Enerji aralığının fonksiyonu olarak en yüksek çevirim verimi ve yoğun olarak incelenen absorblayıcı-üretici malzemeler gösterilmiştir (Şekil 6.27).

Güneş pilinin “ince-yaygı” olarak nitelendirilen kalınlık sınırlarının tanımlamak gerekmektedir. Eğer ışığın absorblayıcı-üretici yoluyla pile girdiği uç güneş pilinin arka yüzünden yansıtılabileceği öngörülürse, 5 μm 'luk bir absorblayıcı-üretici kalınlığı için, etkin ışık yol boyu en az 10 μm olacaktır.

Günümüzde deneylerde kullanılan malzemeler için güneş spektrumunun foton akısı üzerine çizilmiş absorblama katsayıları gösterilmiştir (Şekil 6.28).



“Şekil 6.28” İnce-yaygı güneş pili malzemeleri absorblama katsayılarının, foton enerjisine göre değişimi.

Spektrumun yoğunluğu absorblama katsayısı ile birlikte değerlendirildiğinde 1,0 ve 1,7 eV enerji aralığında bulunan ve 5 μm kalınlığındaki yaygı içinde fotonların %90'ını ise 100 μm kalınlıkta (200 μm ışıksal yol boyunca) absorblayabilmektedir. Bu kalınlıkta gereksinimi, kristalize silisyum ince yaygın tanımının dışına çıkmasına yol açmakta ancak ekonomik analizde bazı düzenlemeler getirmektedir.

Silisyumdan farklı olarak çoğu malzeme gelen güneş ışığının %90'ını 1 μm 'dan az kalınlıklarda absorblarlar.

Örneğin; Cu_2S güneş ışığının %90'ını 0,4 μm kalınlıkta soğuruyor.

6.7.2 Toplayıcı - çevrici tabaka

Toplayıcı-çeviricinin temel görevi azınlık taşıyıcılarını toplamak ve onları üretilen azınlık taşıyıcılarını uyarım enerjisinin sınırladığı en yüksek gerilimde çoğunluk taşıyıcılarının uyarım enerjilerinin sınırladığı en yüksek gerilimde çoğunluk taşıyıcılarına çevirmektir. Bu gerilim, genellikle, absorblayıcı-üreticinin enerji aralığının yarısı ve dörtte üçü arasında sınırlanmıştır.

Azınlık-taşıyıcı toplayıcısının çoğunluk-taşıyıcı çevirisine göre önemli özellikleri, onun karşıt iletkenlik tipinde olması ve absorblayıcı-üretici ile uyumlu bir elektron afinitesine sahip olmasıdır. Örgü uyum da istenen bir özelliktir. Karşıt iletkenlik tipi, toplanan azınlık taşıyıcılarının çoğunluk taşıyıcısı olabilmesi için gereklidir. Böylece, elektronik devre tamamlanana kadar yeniden birleşmeleri önlenmektedir.

Elektron afinitesi; bir elektronu iletim bandından boş bir konuma yükseltmek için gereken enerji olarak tanımlanır. Bir metal için iş yapma işlevinin karşılığıdır. P-tipi bir absorblayıcı-üreticinin en alışımlı olanında azınlık taşıyıcıları, elektronlardır ve toplayıcı-çevirici N-tipindedir. Bu durumda, eğer toplayıcı-çeviricinin elektron afinitesi, absorblayıcı-üreticinininkinden daha yüksek ise, ulaşılabilir açık-devre gerilimde ve bağlı

absorlayıcı-üreticinininkinden daha yüksek ise, ulaşılabilir açık-devre gerilimde ve bağlı olarak ulaşılabilir en yüksek cihaz veriminde bir azalma kaçınılmaz olacaktır. Tersine, eğer elektron anfinitesi, toplayıcı-çeviricide absorlayıcı-üreticide olduğundan daha düşük ise, iletim bandında ortaya çıkan etki akımı azaltarak verimde genel bir azalmaya yol açacaktır.

Toplayıcı-çevirici ve absorlayıcı-üretici arasındaki metalurjik ekleme bulunan düzensizlikler (ara yüzey konumları) üretebilmiş taşıyıcıların yeniden birleşmelerine yol açabilir. Bunu önlemek için iyi bir örgü uyumu gerekir. %0, %0,1 mertebesindeki örgü uyumsuzlukları ise 10^{11}cm^2 , %1 mertebesindeki örgü uyumsuzlukları ise 10^{13}cm^2 mertebesinde ara yüzey konum yoğunluklarına neden olurlar. Ara yüzey yeniden birleşme hızı örgü uyumsuzluğu ile orantılı gelişirken, diğer etkenler devreye girer. $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ cihazı %4'lük bir örgü uyumsuzluğuna ve 3.10^{13}cm^2 'lik bir ara yüzey konum yoğunluğuna sahiptir. Ancak bu ara yüzeyde, foton üretimi azınlık taşıyıcısının sadece %5'i yeniden birleşmektedir. Üretilmiş azınlık taşıyıcılarının sahalarındaki azalmanın bu düzeyde kalışı, ara yüzeyi geçmekte olan taşıyıcıları süpüren elektrik sahasının varlığından kaynaklanmaktadır.

Bu değerlendirmeler ışığında, ideal toplayıcı-çeviricinin, absorlayıcı üretici ile aynı malzemeden fakat farklı iletkenlik tipinde üretebileceği anlaşılmıştır. Bu düzenleme ile homojen bir eklem ise, ikinci derece ümit veren bir düzenlemedir. SCHOTTKY engelli cihazların açık devre gerilimi daha düşük olduğundan heterojen veya homojen bir yarı-iletken eklemeden daha az güç üretmektedir. Açık devre geriliminin yükseltmek amacıyla MIS (metal - yalıtkan - yarı iletken) güneş pillerine yönelinmiştir.

MIS cihazlarının $30 \text{ \AA}$ ($\text{Angstrom} = 10^{-8} \text{ m}$) kalınlığındaki yalıtkan kısmın uzun dönem dayanıklılığı incelenmekte olan bir konudur.

Tercih edilen absorlayıcı - üretici malzemelerin çoğunun her iki iletkenlik tipinde imal edilebilmesi, homojen etkenlerin gelişimine yol açmaktadır. Her iki iletkenlik tipinde imal edilemeyen yarı iletkenlere örnek olarak bakır sülfid ve çinko fosfat verilmektedir.

6.7.3 Güneş pillerinin elektriksel bağlantıları ve çevre ile etkileşim içinde olan yüzeyleri

Güneş pillerinde, elektrik kontakları ve çevre ile etkileşimini düzenleyen bir örtü vardır. Genelde biri saydam diğeri opak olan elektrik kontakları kaplama ya da alt tabaka işlevinde görülebilir. Saydam kontak alt tabakayı oluşturacak ise ince bir metal tabaka kullanımı önerilmektedir. Aşağıdaki bu tabakaların temel özellikleri tanımlanmıştır.

6.7.3.1 Saydam kontak

Yarı iletkenlerin güneşe dönük yüzüne bir saydam kontak yerleştirilmiştir. Ohmik bir kontak oluşturulması, ışıksal olarak, güneş ışığının en az %90'ını geçirecek saydamlıkta ve toplam yapının seri direncini en aza indirecek bir akım taşıma kapasitesini sahip olması temel özellikleridir.

Saydam kontakların iki temel tipi vardır. Kalay oksit ve indrum kalay oksit gibi iletici oksitler ve ohmik kontak işlevini de gören %95 geçirgenliğe sahip açık metal ızgaralar. Saydam kontaklar oluşturulurken yarı iletkenin özelliklerinin değiştirilmesi için çaba harcanır. Başarı ile kullanılan kontak metalleri olarak gümüş, gümüş-titanyum-paladyum karışımları, altın, grafit, bakır, nikel ve krom sayılabilir.

6.7.3.2 Opak elektrik kontakları

Opak elektrik kontağının temel özelliği, saydam kontağın karşılığı olarak güneş pilinin diğer özelliğinde bir elektrik bağlantısı sağlanmasıdır. Bu elektrik bağlantısı ohmik ve az dirençli olmalıdır. Opak kontak, yarı iletken tabakaları genişleten bir alt tabaka işlevinde görülebilir. Çoğu kez bakır veya çelik gibi ince metal kontak cihazının bir yüzeyinde

kapalan işlevini de görür. Alt tabaka olarak da görev yapan bu kaplama, yarı iletken tabakalar ile uyumlu bir genleşme katsayısına sahip olmalıdır. Bir diğer önemli özellik ise ışığın absorblayıcı-üretici tabaka içinden geçişini etkileyen ışıksal yansıtma oranıdır.

6.7.3.3 Kaplama

Kaplamanın temel özelliği güneş pilinin çevre etkilerden korunmasıdır. Güneş pilinin bir yüzeyde yansıma kayıplarını en aza indirecek, ışıksal saydam bir kaplama bulunmasıdır. Saydam kontak üzerine uygulanan kaplamalarda cam malzeme başarılı sonuçlar vermiştir. Bu malzeme silisyum oksijen ve diğer elemanların çok sayıda birleşiklerinden oluşturulabilmektedir. Bugün yaygın kullanımda olan sistemlerde bu camlar güneş pillerine imalat sonunda eklenmektedir. Güneş pillerine doğrudan uygulanabilecek yaklaşık 5 mm kalınlığındaki entegre kaplamalar üzerinde çalışılmaktadır. Saydam kontak işleminde gören bir alt tabaka kullanılırsa kaplama çevresel verim düşümüne önleme temel açacıyla bakır ve kurşun gibi opak bir tabaka veya metal tabakalardan oluşabilir.

6.7.3.4 Yansıma koruyucu

Güneş pilleri için üzerinde çalışılan yarı iletken malzeme sistemlerinin türü $\frac{3}{4}$ mertebesinde yüksek kırılma göstergelerine sahiptir. Bu ise yüzeyden %25-35 mertebesinde bir yansımaya yol açar. Bu yüksek yansıma kayıplarını önlemek için yansıma koruyucu tabakalar gereklidir. Yansıma kayıplarını azaltmak için iki temel yaklaşım vardır.

1- Yarı iletken yüzeyinin işlenmesi, gelen fotonların çoklu yansımalarına ve net foton kaybının azalmasına neden olur.

2- Çok tabakaları yansıma koruyucu örtüler, yansımaya hem endeks uyumu ve hemde karışım etkileriyle azaltır.

İlk yaklaşım, kaplama içinde işlenmiş bir tabaka oluşturma biçiminde de uygulanabilir. Yarı iletkenin işlenmesi ve bu malzemenin üzerine yansıma koruyucu bir tabaka toplanmasını içeren değişik düzenlemeler başarıyla kullanılmıştır.

Uygun kırılma ve kalınlık özelliklerine sahip birden fazla tabakanın uygulanması yansıma oranını %5'in altına düşürebilir. İdeal koşullarda, yansıma koruyucu örtü olarak kullanılan bir tabaka aynı zamanda kaplama işleviden de görev alır. Yansıma önleyici malzemenin, kaplamadan ayrı tutulması ve ek bir proses adımı ile üretilmesi üzerine çalışılmaktadır.

Güneş pilinin yukarıda tanımlanan beş temel tabakası, fotovoltaiik etkeyi kullanarak, gün ışığının doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesi için gerekli bütün işlevleri yerine getirir. Güneş pillerinin teorik verimi %26'ya ulaştı. Bu bölümde tanımladığımız yapıdaki güneş pillerinin gerçek enerji verimi %15-18 arasındadır (Roberts, 1991; Uyar, 1997).

6.8 Pil Çeşitleri

6.8.1 Bakır - bakır oksit pili

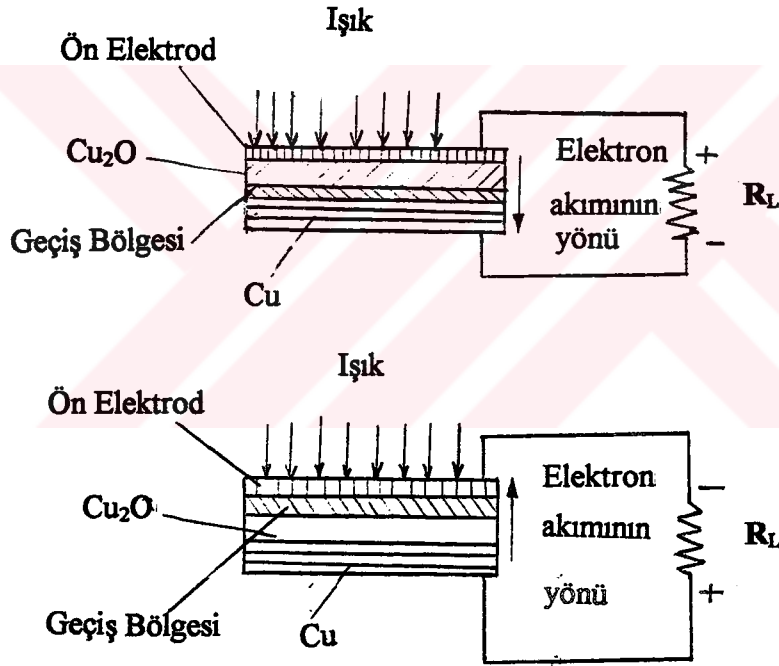
Bakır-bakır oksit pillerin bir tipinde (arka plakalı) fotoelektronların kaynağı olan tabaka (geçiş bölgesi) tabanı teşkil eden bakır plaka ile bakır oksit tabakası arasındadır. Bu tabaka akımı oksitten bakıra doğru kolayca geçirir. Ters yön için ise akımın geçişine büyük bir direnç (ileri yöndekinin binlerce katı) gösterir.

Bakır oksit tabakasının üstünde yarı geçirgen ince metal (gümüş) tabaka bulunur. Bir metal yarı-iletken kontakta yük taşıyıcıların difüzyonu ile bir potansiyel duvarı teşekkül eder. Bakır oksit P-tipi yarı iletkenlerdir. Pozitif yük taşıyıcılar bakıra geçerler,

arkalarında negatif yüklü bir bölge bırakırlarken, bakırında pozitif yüklenmesine sebep olurlar. Yük taşıyıcılarının bakıra geçişi bir denge potansiyeli kuruluncaya kadar devam eder ve böylece iki bölge arasında bir temas potansiyel farkı ortaya çıkar.

Bu pilde, taban bakır plaka bir elektrodu, yarı geçirgen bir tabaka üzerinde bulunan ince bakır halka diğer elektrodu teşkil eder.

Bakır oksit pilinin aydınlanması halinde, fotoelektronlar bakır oksitten bakıra doğru hareket ederler, bu hal gösterilmiştir (Şekil 6.29). Elektronların geçişi ile bakır (metal) negatif potansiyelde olur. Bu esnada yarı-iletken elektron kayıp eder. Böylece iki elektrod bir potansiyel farkı meydana gelir.



“Şekil 6.29” Bakır - Bakır oksit pili

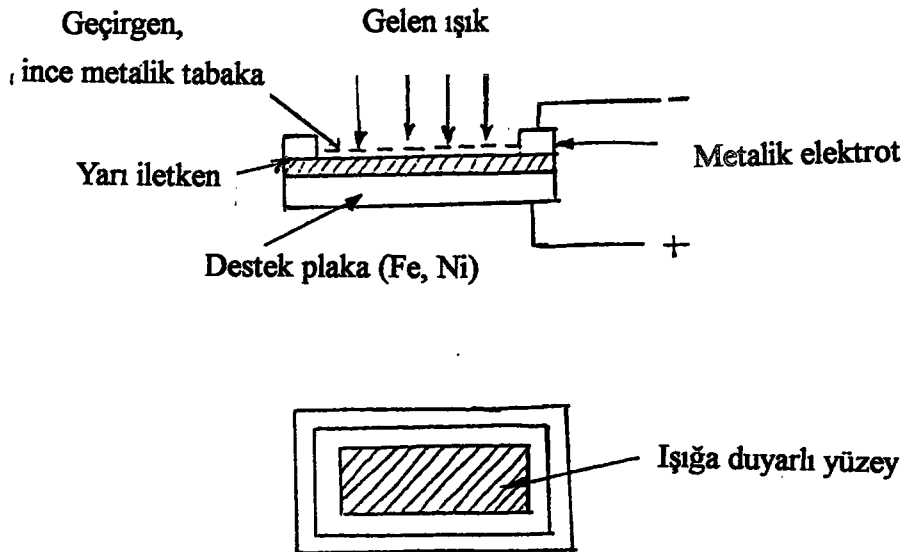
Işığın düştüğü yüzey çoğunluk yük taşıyıcılarının geçişine engel teşkil eden tabakadan uzaktır (Şekil 6.29). Bu hal pilin veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Işığın bakır oksit içinde absorblanmasının etkisini ortadan kaldırmak için, çoğunluk yük taşıyıcılarının

geçişine engel eden tabakanın bakır oksit tabakasının üzerinde bulunduğu, bir başka tip, bakır oksit pil geliştirilmiştir.

Ön elektrodlu olarak adlandırılan bu pilde akım yine yarı iletken bir bakır oksitten metale doğrudur (ön elektrota doğru). Bunun sonucu olarak dış çevrede akımın yönü arka elektrodlu pile nazaran terstir. Bu ikinci tip pilin duyarlılığı daha fazladır. Çünkü ışık bakır oksit tabakasında soğurulmak durumuna düşmeden bölgesine ulaşmaktadır, bazı fotonların gerideki kavşağa ulaşarak burada bir emk meydana getirmeleri ihtimal dahilinde olmakla beraber, bunun değeri nispeten küçüktür.

6.8.2 Selenyum pili

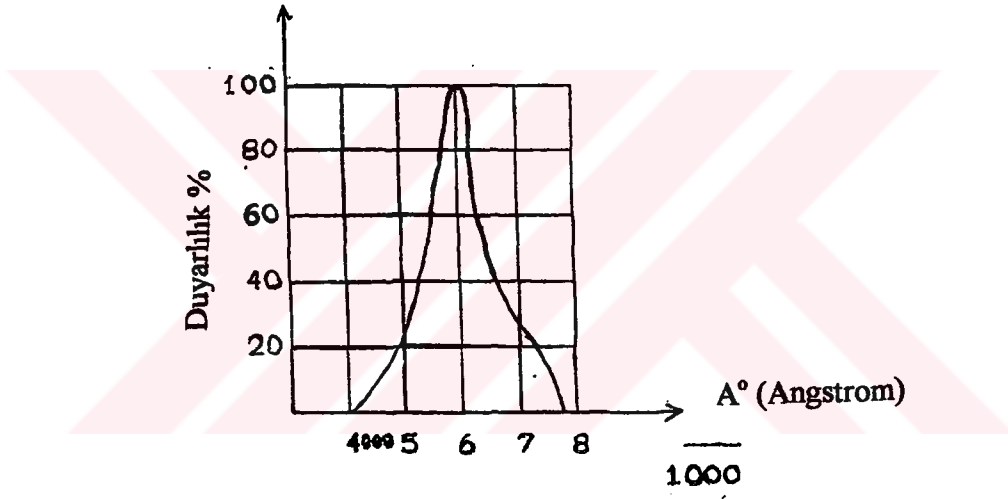
Selenyum fotovolttaik pil, demir veya nikel destek üzerine yerleştirilmiş selenyum ve bunu örten gümüş tabakadan meydana gelmiştir. Genellikle çok saf selenyum, alkali metallere veya klor, iyod gibi halojenlerle karıştırılır, böylece selenyum P-tipi yarı iletken haline gelir. Bir P - N kavşağı meydana getirmek için selenyum üzerimde iyi iletken ve yarı



“Şekil 6.30” Selenyum pili

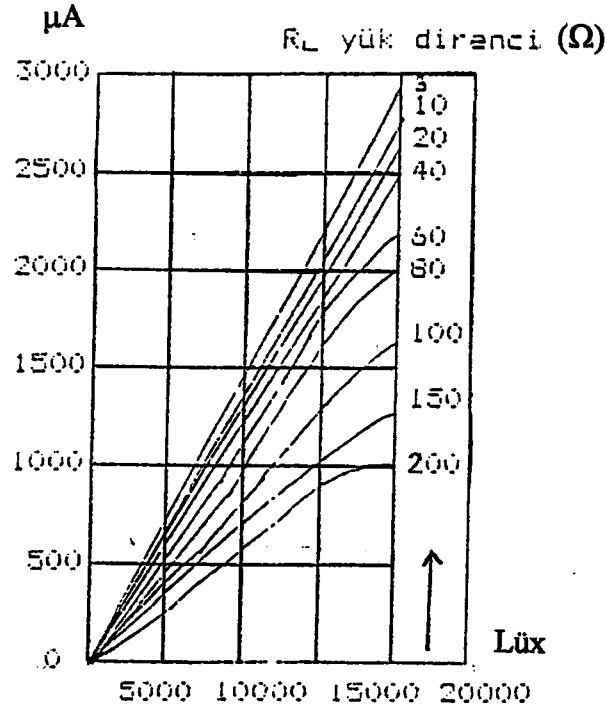
geçirgen bir metal film (bir kaç mikron) teşekkül ettirilir. Bu pilde taban plakası ile kontak halinde olan bakır halka bir elektrodu ve gümüş tabak üzerindeki bakır halkada diğer elektrodu teşkil eder.

Selenyum pillerin renk duyarlılığı görünür bölgede insan gözünün duyarlılığına yakındır ve 6000 Å° civarında bir maksimumdan geçer (Şekil 6.31). Bu pilin karakteristikleri sıcaklıklarda kullanılmaları uygun olur.



“Şekil 6.31” Selenyum pilin renk-duyarlılığı eğrisi

Selenyum piller, bakır oksitli pillere nazaran sıcaklık değişikliklerinden daha az etkilenirler, selenyum pilde mikro amper mertebesinde olan akım yük direncinin küçük değeri için pratik olarak lineerdir (Şekil 6.32).



“ Şekil 6.32” Selenyum pilin akım-yük direnci eğrisi

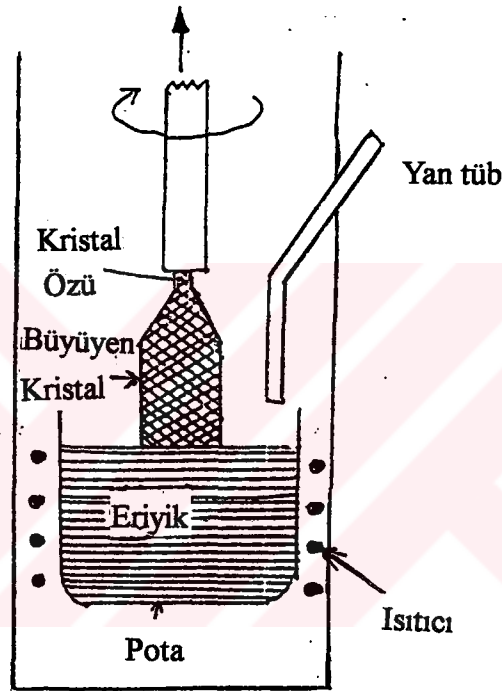
6.8.3 Silisyum pili

Uzay araştırmalarında güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede kullanılan güneş pillerinin çoğu silisyumdur. Pilin yapımında kullanılan silisyum, genellikle silisyum dioksit (SiO_2) halinde kumda elde edilir. Pilin esasını teşkil eden PN kavşağı kristalin büyütülmesi esasında teşekkül ettirilir. Kristalin büyütülmesinde kullanılan düzeneğin şeması Şekil 6.33’de görüldüğü gibidir.

Bir elektrik ısıtıcısı vasıtasıyla yarı iletken ergime sıcaklığının hemen üstünde tutulur. Ayarlanabilen bir hızla yukarıya doğru hareket edebilen madeni bir çubuk üzerine tespit edilmiş olan küçük bir silisyum kristal önce yarı iletken bir sıvıya batırılır. Çubuğun hareketi ile yukarı doğru çekilirken sıvı daha soğuk olan kristal üzerinde donar. Kristalin

düzgün olarak büyümesini sağlamak için hareketli çubuk döndürülerek yukarı çekilir. Ekseriyetle yarı iletkenin atmaosferden kirlenmemesi için düzenek asal gaz içinde veya vakumda bulundurulur.

Eğrinin tertibine göre N - tip veya P - tip kristaller hazırlanabilir. Uygun zamanda cam tüpte gerekli maddeyi sıvıya ilave ederek yarı iletkenin tipi değiştirilir ve böylece PN kavşağı teşekkül ettirilir.

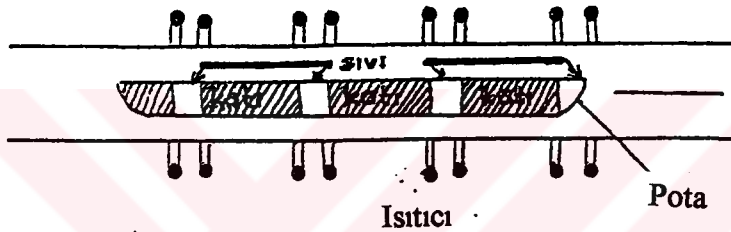


“Şekil 6.33” Kristalin büyütülmesinde kullanılan düzenek

Saflaştırmak için faydalanılan bölge temizleme tekniğinde şeması Şekil 6.34’de verilen düzenek kullanılır. Bu düzenekte çubuk şeklindeki numunenin küçük bölgeler halinde ısıtılması ile erimiş bölgeler elde etmek mümkündür. Numunenin içinde bulunduğu potanın ısıtıcı içinde hareketi ile bu bölgeler bir uca hareket eder. Bir çok yabancı maddenin sıvı haldeki bölgede toplanma yatkınlığı vardır.

Erimiş bölgeler uç kısımlara doğru kaydıkça yabancı maddeler bu kısımlarda toplanmış olur. Uç kısımların kesilip alınması sonucu, numune yabancı maddelerden arınmış olur. Potanın bir çok defa hareket ettirilmesiyle pek saf yarı iletkenler elde edilebilir.

Silisyum güneş pilinin hazırlanmasında da bu yol izlenir. Saf silisyum Şekil 6.34’de görülen düzenekte pota içinde konularak eritilir ve eriğiye bor ilave edilir. Küçük bir silisyum kristali sıvıya batırılmış olduğu halde üzerinde bulunduğu hareketli parçanın yukarıya doğru hareketi esnasında kristal büyütülmüş olur. Böylece elde edilmiş olan monokristal P - tip yarı iletkenidir.



“Şekil 6.34” Silisyumu saflaştırmak için kullanılan düzenek

Büyütülmüş olan kristal elmas daire testere ile çok ince dilimlere ayrılır. Daha sonra dilimler testere izlerini giderken için cilalanır. Bu incelikle cilalamadan sonra hidroflorik asit (HF) veya nitrik asit (HNO_3) ile temizlenir. Böylece pillerin hazırlanması için gerekli işlemin birinci safhası bitmiş olur.

P - tipi ince dilimler için fosforpendoksit (P_2O_5) bulunan kuartz tüpü içine konur ve tüp sıcaklığı dikkatle kontrol edilebilen diffizyon fırını içine yerleştirilir. Böylece fosforun P - tip silisyuma, takriben 10^{-4} - 10^{-5} kadar diffizyonu sağlanmış olur.

İstenmeyen yabancı maddelerden arınmak için piller yeniden asitle muamele edilir. Bu esnada pilin yüzünü korumak için balmumu veya teflon maske kullanılır. Genellikle pilin

ışık alan yüzünde yansımayı önlemek için, buharlaştırma yoluyla yaklaşık 800 Å kalınlığında silisyum monoksit tabakası teşekkül ettirilir.

Güneş pillerinin yapılışında germanyuma nazaran silisyum tercih edilişi, silisyum PN kavşağının açık devre geriliminin germanyumdakinden daha büyük olmasıdır. Silisyum spektral cevabı germanyumda olduğu gibi kızıl ötesi ışınlara uzanmaz. Fakat bu sınırlara ışık kaynağı olarak güneş kullanıldığı zaman ciddi bir sorun teşkil etmez. Çünkü güneş ışığında en yüksek enerjili ışınım görünür bölgede yeşil ışınımdır ve bu her iki madde için uygundur. Akkor ışık kaynağı kullanılması halinde germanyum pil uçları arasındaki gerilim küçük olmasına rağmen daha fazla güç temin eder.

6.8.4 İnce film güneş pilleri

Güneş pilleri ile elektrik enerjisi üretiminde gerçekleştirilmesinden sonra ince filmler ile pil yapımına yönelindi. Bu pillerin tercih edilen nedenleri şunlardır;

- a) Az madde kullanılması
- b) Monokristal büyütülmesi gerekmediğinden maliyetin düşük oluşu
- c) Ağırlık birimi başına yüksek güç temin edilişi,

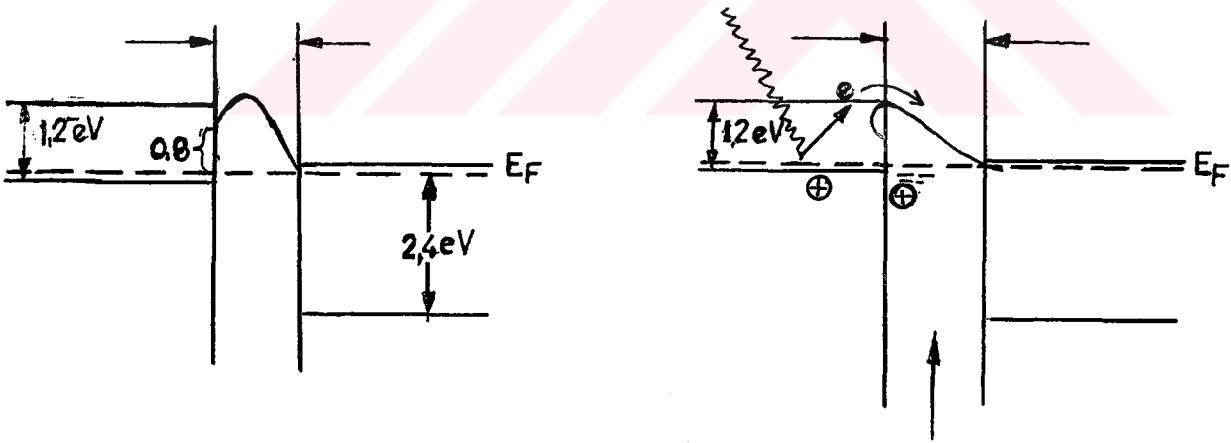
Bununla beraber bu pillerin hazırlanması pek kolay değildir. Başaralı bir sonuç alınmış olan kadmium sülfür (CdS), bakır sülfür (Cu₂S) pillerinin yapıları aşağıda belirtildiği gibidir.

6.8.5 CdS - Cu₂S pilleri

Kadmium sülfür genellikle, InCl₃, GaCl₃ gibi maddelerde bulaştırılmış olmak üzere N - tipi iletken olarak kullanılır. Kadmium sülfür için bir bakır eriyiği ile muamele edilerek

üzerinden bakır sülfür tabakasının teşekkülü ile PN kavşağının meydana gelmesi sağlanmış olur. Elektriksel bağlantı taban elemanı olan kadmium sülfür için ise, bakır ya da altın kullanılarak sağlanır. Bakır sülfür ve kavşak maddesinin foton absorblanması ile yük taşıyıcılarının meydana gelmesinde büyük etkilerinin olduğu bilinmektedir. Işığın soğrulması bir ara madde bileşimine sahip olan kavşak bölgesinde de meydana gelebilir. Işığın absorblanması ile meydana gelen fotoelektronlar P - tipi Cu_2S 'den N - tipi CdS 'ye geçerler.

CdS ve Cu_2S silisyuma nazaran daha kuvvetli absorblayıcı maddeler olduklarından, ışık kısa mesafede absorblanabilir (Şekil 6.35). Bu özellik CdS 'li pillerin silisyumda yapılmış olmalarına nazaran daha ince olmalarını gerektirir. Silisyum pillerde olduğu gibi CdS 'de eriyikten büyütme tekniği ile elde edilebilir ve daha sonra P - tipi bakır iyonu ile muamele edilerek güneş pili olarak kullanılabilir.

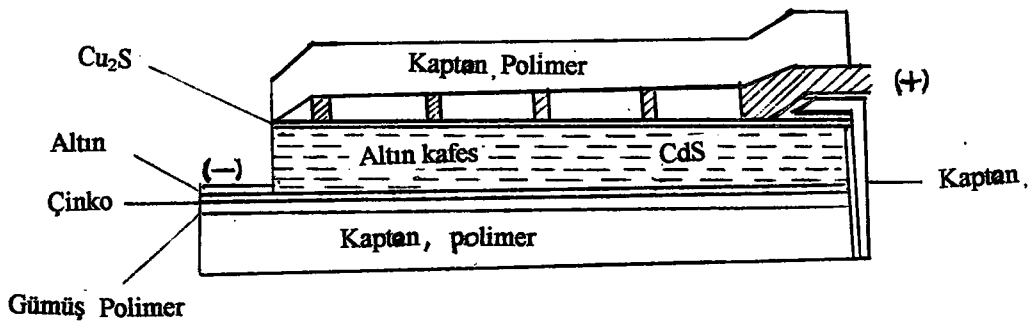


“Şekil 6.35” Cu_2S 'den CdS 'e geçerken absorblanması şematik şekli

Bundan başka, toz halindeki CdS elektriksel bağlantıyı da sağlayacak olan çinko gibi bir metal destek üzerine serpilir veya bunun üzerine basınçla yapıştırılır ve yüksek sıcaklıkta asal gaz atmosferi içinde tutulur. Daha sonra bir bakır eriyiği ile muamele edilir. Yüzeyde elektriksel bağlantıyı sağladıktan sonra, bu pek gelişmemiş olan pil %3 verimle kullanılabilir. CdS pillerinin yapımında en fazla kullanılan teknik, pili teşkil eden tabakaların vakumda buharlaşma yoluyla meydana getirilmesidir.

Tipik bir CdS pilde Şekil 6.36’de destek madde olarak kullanılan kapton üzerinde gümüş vernikten meydana gelen yaklaşık 0,3mm kullanıldığında esnek bir film teşekkül ettirebilir ve bu film çinko ile kaplanır. Çinko kaplama üzerinde yaklaşık 1 mm kalınlığında CdS film yapılır. Kadmium sülfür tabakası bakır klorür eriyiği içine batırılır veya buharlaştırma yoluyla 1000 Å kalınlığında bakır sülfür filmin meydana gelmesi sağlanır.

Elektriksel bağlantı için bakır sülfür tabakası üzerinde alışım buharlaştırılır. Bu tabakanın, geçirgenliği sağlamak için yeteri kadar ince olması gerekir. Daha sonra sellürün yüzeyi geçirgen bir yapıştırıcı (yaklaşık 0,5 mm) madde kullanılarak koruyucu plastik kapak ile (kapton) kaplanır (Gillett, 1991; Uyar,1997).



“Şekil 6.36” Tipik bir CdS pili.

6.9 Güneş Pilleri ile Su Pompası Çalıştırılması

Elektrik enerjisinin pahalı ve ulaşımı zor olduğu bölgelerdeki zirai sulama amaçları için güneş pilleri ile beslenen su pompalama sistemlerinin kullanılması çoğu kez avantajlı olmaktadır.

Pratikte, sulama yapılan periyodun yılın maksimum güneşleme süresine ile uyumlu olmasına yani fotovoltaiik (PV) panelleri en uygun şartlara dikkat edilmelidir. Bu durum gözönüne alınarak, bu uygulama sisteminin üretimi bahar ve yaz ayları olan Nisan - Ekim arasında değerlendirilmelidir.

Enterkonnekte sistemden uzak kırsal bölgelerde, küçük güçteki enerji üretiminde dizel motorlu üreteçler kullanılmaktadır. Bu üreteçlerin yapımı ucuz fakat işletilmesi pahalıdır.

Yakıt taşıma zorlukları, sık sık bakım ve onarım gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bakım ve onarım masrafları gerektirmeyen PV su pompaj sisteminin, dizel motorlu sistemlerin yerine alabilmesi için kullanım yerinin; elektriksiz ve enterkonnekteden çok uzak, günlük güneşleme süresi uzun, ulaşımı ve yakıt taşıması zor, küçük işletmelerdeki enerji gereksinimi gibi özellikler olmalıdır.

6.9.1 Güneş pili modül seçimi tasarım parametreleri

6.9.1.1 Yerel güneşlenme miktarı

Bu faktör, sistemin kurulacağı yerin iklimsel parametrelerine bağlıdır. Doğrudan güneş ışınlam şiddeti miktarına ve güneşlenme süresine bağlı olan bu değer, meteorolojik gözlemler ve ölçümler sonucu bulunan değerlere bağlıdır.

6.9.1.2 Yerel sıcaklık

Silisyum güneş pillerinin verimleri sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Güneş ışıınının güçlü olduğu zamanlarda bu etki kendini göstermektedir. Pilin uç gerilimi sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Sistem tasarlanırken bu gerilim değişimi gözönüne alınarak uygun bir akü seçilmelidir.

6.9.1.3 Sistem kayıpları

Bu faktör, PV güneş pillerinin kirlenmeleri sonucu oluşan kayıpları, hat ve iletim kayıplarını, akümülatör veya depolama ünitesi kayıpları ile kontrol sistemi ve korozyon kayıplarını kapsamaktadır.

6.9.1.4 Diğer güç sistem kayıpları

Yukarıdaki kayıplara ek olarak, sistemde, çevirici ve kıyıcıdan meydana gelen kayıplar da mevcuttur. DC / AC çevirici ve DC / DC kıyıcı kayıpları sözkonusudur.

6.9.1.5 Enerji depolama ünitesinin kapasitesi

Depolanan enerji miktarı temelde yüke bağlı olmakla birlikte, gelen enerji miktarının sürekliliğine de bağlıdır. Bu yüzden, kapasitenin belirlenmesinde, güvenilirliği yüksek tutmak için (yükün kesintisiz beslenmesi) güneşlenme yönünden en kötü dönem esas alınır. Ayrıca, istatistiki verilere dayanılarak, güneşin yükü besleyemeyeceği en uzun periyot hesaplanır ve tüm bu verilerin ışığında kapasite belirlenir (Barutcu, 1997).

6.9.2 Uygulama

Kabuller:

- 1- Günlük ihtiyaç duyulan su miktarı (W) = 5 m³/Gün
- 2- Günlük çalışma süresi (t) = 8 saat
- 3- Pompa verimi (η_p) = %80
- 4- Enerji kayıpları (Lokal-Yerel)(H_m) = 40 mSS
- 5- Pompanın devri (dev/dak) = 1450 d/d

Verilen bu değerlere göre gerekli olan güç değerinin bulunması, motoru tahrik eden elektrik motorunun gücü:

$$P = \frac{\delta \cdot Q \cdot H_m}{102 \cdot \eta_p} \quad (6.30)$$

P = Elektrik motorunun gücü (kW)

δ = Suyun özgül ağırlığı = 10³ (kp/m³)

$$Q = \text{Debi miktarı (m}^3/\text{s)} = \frac{W}{t} \quad (6.31)$$

$$Q = \frac{5}{8.3600} = 1,74 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$P = \frac{10^3 \cdot 1,74 \cdot 10^{-4} \cdot 40}{102,0,80} \cong 0,086 \text{ (kW) olur.}$$

Bulunan bu değer elektrik motoru emniyet faktörü olan 1,3 değeriyle çarpılır.

$$P = 0,086 \cdot 1,3 \cong 0,1118 \text{ (kW)}$$

$$P = 111,8 \text{ (Watt)}$$

Bulunan bu değer 220 volt ve 50 Hz olan alternatif akıma karşılık gelen güçtür.

Günlük güç ihtiyacı :

$$P_{\text{Gün}} = P \cdot t \quad (6.32)$$

$$P_{\text{Gün}} = 111,8 \cdot 8 = 894,4 \text{ (Watt.saat/Gün)}$$

Alternatif akımla (AC) çalışan su pompasının motorunu beslemek için, güneş pillelerinin ürettiği doğru akımı (DC) alternatif akıma çeviren invertör vardır. Alternatif akım doğru akıma çevrilirken güç kaybı olur. Bu güç kaybı invertör verimine bağlıdır.

$$\text{Doğru Akım (DC)} = \frac{\text{Alternatif akım (DC)}}{\text{Invertör verimi } (\eta_i)} \quad (6.33)$$

$$\text{İnvertör Verimi } (\eta_i) = \%85$$

$$\text{DC} = \frac{DC}{\eta_i} = \frac{894,4}{0,85} \cong 1053 \text{ (Watt.h/Gün)}$$

Solar sistemin Hesabı :

$$\text{Toplam DC (W.h/Gün)} \cong 1053 \text{ (W.h/Gün)}$$

Sistemin Voltajı = 12 Wolt (12 veya 24 Wolt seçilir)

$$\text{Toplam Akımı (I)} = \frac{\text{Toplam DC}}{\text{Sistem voltajı}} \quad (6.34)$$

$$I = \frac{1053}{12} \cong 87,75 \text{ (Amper.h/Gün)}$$

Bir güneş pili sistemi, panel , DC-DC, konverterler, diotlar ve akümülatörlerden oluştuğu için sistemde kayıplar söz konusudur. Bu durumda bir düzeltme faktörü (k) hesaplara ilave edilmelidir. k = 1,2 alındı (Akü ve sistem düzeltme faktörü).

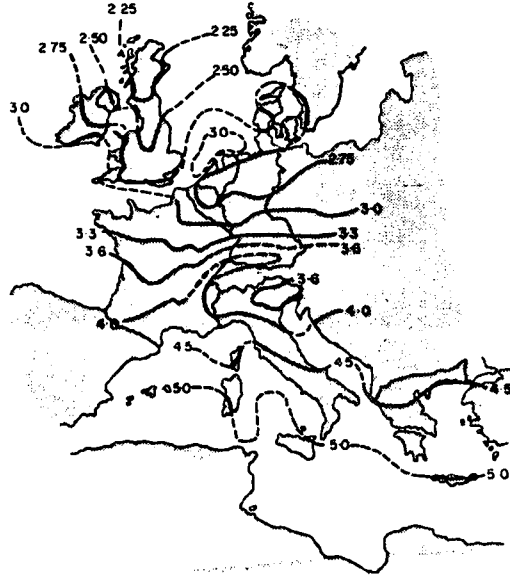
$$\text{Toplam günlük Akım gereksinimi (I}_{\text{gün}}) = k.I \text{ (Amper.h/Gün)} \quad (6.35)$$

$$(I_{\text{gün}}) = 1,2.87.75 = 105,3 \text{ (Amper.h/Gün)}$$

Türkiye için ortalama iklim faktörü f = 4.5 olarak tesbit edilmiştir (Şekil 6.37).

$$\text{Toplam PV Akımı (I}_{\text{Gün-Toplam}}) = \frac{\text{Toplam. günlük akım gereksinimi (I}_{\text{Gün}})}{f} \quad (6.36)$$

$$\text{Toplam PV Akımı (I}_{\text{Gün-Toplam}}) = \frac{105,3}{4,5} = 23.4 \text{ (Amper.h/Gün)}$$



“Şekil 6.37” Türkiye için ortalama iklim faktörü

6.9.2.1 Modül seçimi

Güneş pillerinden tam gün yararlanmak mümkün değildir. Bazı günler hava tamamen kapalı olabilir ve geceleri güneş pilinden enerji alabilmek olanaksızdır. Bu nedenle bulduğumuz akım değerine göre güneş pili modülünü seçmek yanlışır.

Su pompasını güç kaynağı olarak güneş pili sisteminin kullanılmasında çalışma prensibi şöyle olacaktır. Güneş ışınlamalarından tam olarak yararlanıldığı durumda güneş modülü hem elektrik motoruna akım vercek hem de bir taraftan aküyü şarj edecektir. Aküler

tamamen dolduğu zaman şarjı kesmemiz lazım gelir. Bu da sisteme regülatör ilavesi ile sağlanır. Geceleri ve bulutlu havalarda günüş ışınlarının elektirik motorunu yeterince besleyemediği durumda otomatik olarak akünün devreye girmesini sağlayan elektronik bir kart kullanılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında akım ve voltaj değerine cevap verebilecek güneş pili olarak BP SOLAR firmasının BP-275 modülünü seçelim. Bu pilin teknik verileri aşağıdaki gibidir.

Tek panel için:

Maksimum güç (P) = 75 W

Maksimum voltaj (V) = 17 V

Maksimum Akım (I) = 4,45 A

Uzunluk = 1188 mm

Derinlik = 38,5 mm

Ağırlık = 7,5 kg

Gerekli paralel panel adedinin hesaplanması;

Tek bir panelin verdiği akım $I = 4,45$ amper

$$\text{Gerekli paralel panel adedi} = \frac{\text{Toplam PV akımı}}{\text{Tek bir panelin verdiği akım}} \quad (6.37)$$

$$\text{Gerekli panel adedi} = \frac{23,4}{4,45} = 5,25 \text{ adet}$$

Panel adedi tam sayıya tamamlanır. O halde 5,25 adet yerine 6 adet panel paralel bağlanacaktır.

Gerekli seri bağlanacak panel adedinin belirlenmesi ;

Sistemin voltajı = 12 Volt

Panel voltajı = 12 Volt

$$\text{Gerekli seri bağlı panel adedi} = \frac{\text{Sistem voltajı}}{\text{Panel voltajı}} \quad (6.38)$$

$$\text{Gerekli seri bağlı panel adedi} = \frac{12}{12} = 1 \text{ adet panel seri bağlanacaktır.}$$

Toplam panel adedi = 6 adet panel paralel bağlanacaktır.

6.9.2.2 Akü seçimi

Pompanın güç ihtiyacını havanın açık olduğu günlerde güneş enerjisiyle geri kalan zamanlarda ise aküden çekilen akım ile temin edilecektir.

Bu durumda akü için gerekli akım;

$$\text{Toplam günlük akım gereksinimi} = 105.3 \text{ (Amper. h / gün)}$$

Bu aşamada emniyet faktörü için kötü gün rezervesi olarak $t_k = 3$ gün alalım. Yani 3 gün üst üste hiç güneş enerjisinden faydalanmadığımızı düşünelim ve akü verimi % 80 alınırsa;

$$\text{Akü için akım ihtiyacı} = \frac{\text{Toplam günlük gerek sinimi.} t_k}{0.80} \quad (6.39)$$

$$I_{Akü} = \frac{105,3,3}{0,80} = 394,875 \text{ (A.h) değeri bulunur.}$$

$$\text{Akü adeti} = \frac{I_{Akü}}{\text{Bir akünün kapasitesi}} \quad (6.40)$$

$$\text{Akü adeti} = \frac{394,875}{180} = 2.19 \text{ adet}$$

Bu akımı karşılayabilmek her biri 180(A.h)'lik jelatinimsi elektrolikli kurşun-oksit akü (kuru akü)'den 2.19 adet yerine tamsayıya tamamlanır ve 3 adet akü seçilmiştir.

6.9.3 Maiyet analizi

Ülkemizde su gereksinimi karşılamaya yönelik ön etüt ve çalışmalar çeşitli kuruluşlarca yürütülmektedir. Bunlardan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, büyük yerleşim bölgelerindeki su gereksinimi karşılamak üzere çeşitli projeler yapmaktadır. Küçük ölçekteki su gereksinimlerde ise Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü karşılamaktadır. Ülkemizde küçük yerleşim bölgelerinde, zirai sulamada veya evlerde kullanılacak su gereksinimi karşılayabilmek için elektrik motor pompaları, elektrik hatlarının çekilmesinin zor ve pahalı olduğu yörelerde ise dizel veya benzinli motor pompaları kullanılmaktadır. Eğer bu yörelerde, su gereksinimi 5 litre/sn'nin altında ise şahıs kredileri vererek yardım etmektedir. Son yıllarda kredi faizlerinin artması nedeniyle, tüketiciden bu tür işlemler azalmıştır. Su gereksinimi ise mekanik pompalarla veya taşıyarak sağlanmaktadır.

Günümüzde birçok yörede kullanılan dizel ve benzinli motor pompalarının yerini elektrikle çalışan pompalar almaktadır. Nedeni; birçok yörede elektrik şebekesi ulaşmış durumdadır. Ekonomik analizlerinde elektrikle çalışan pompalar dizel ve benzinli motor

pompalarından daha ucuzdur. Ancak elektrik şebekesinin ulaşmasının zor ve pahalı olduğu bölgeler veya zirai alanlar bulunabilir. Bu bölgelerde dizel ve benzinli motorlar yerine güneş pili su pompaj sistemleri avantajlı olabilir (E.İ.E., 1994).

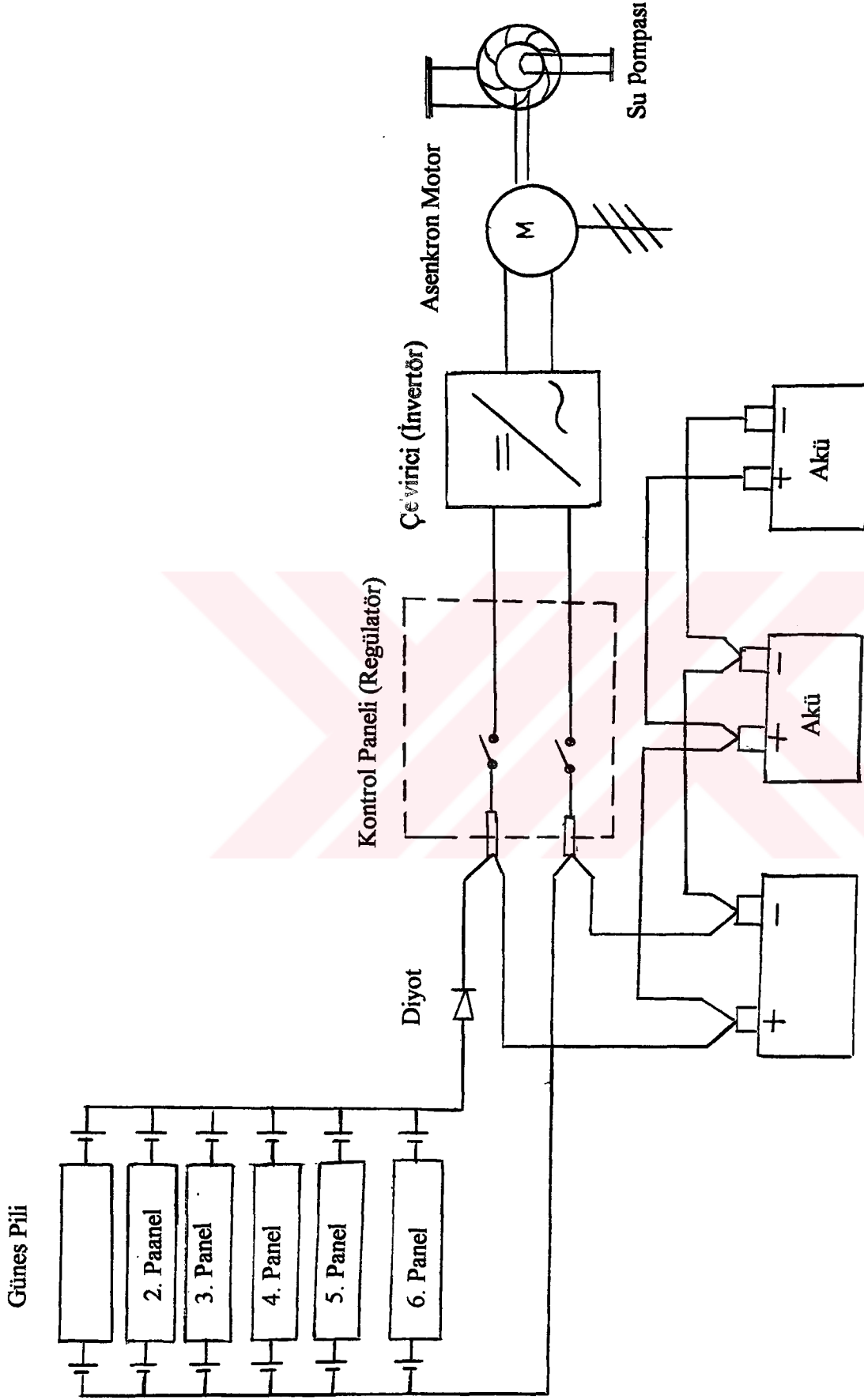
Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş pili sistemleri gerekli enerjiyi güneşten aldıkları için işletim dönemleri boyunca yakıt gerektirmezler. Bu sistemler için gerekli harcama başlangıçta yapıldığından, işletme dönemi boyunca konvansiyel yakıtlardan bakım onarım gibi işletme giderlerinden sağlayacağı tasarrufun gözönüne alınması gerekmektedir.

<u>Malzeme</u>	<u>Birim Fiyatı</u>
BP 275 BP Solar Güneş Pili	1200 DM/adet
Elektronik Kart ve DC-DC Konverter	380 DM/adet
Akü	250 DM/adet
Akü odası	625 DM/adet
Şarj Regulatorü	400 DM/adet
DC-AC (invertör)	1500 DM/adet

Uygulamada;

1- 6 adet BP 275 BP Solar Güneş Paneli	6X1200 DM
2- 1 adet Elektronik kart ve DC-DC konverter	380 DM
3- 3 adet akü	3X250 DM
4- 1 adet akü odası	625 DM
5- Şarj Regulatorü	400 DM
6- DC - AC (invertör)	1500 DM

Uygulamada kullanılan ekipmanların maliyetidir.



“Şekil 6.38” Güneş pilleri ile su pompası çalıştırılması şematik diyagramı

6.10 Deneysel Çalışmalar

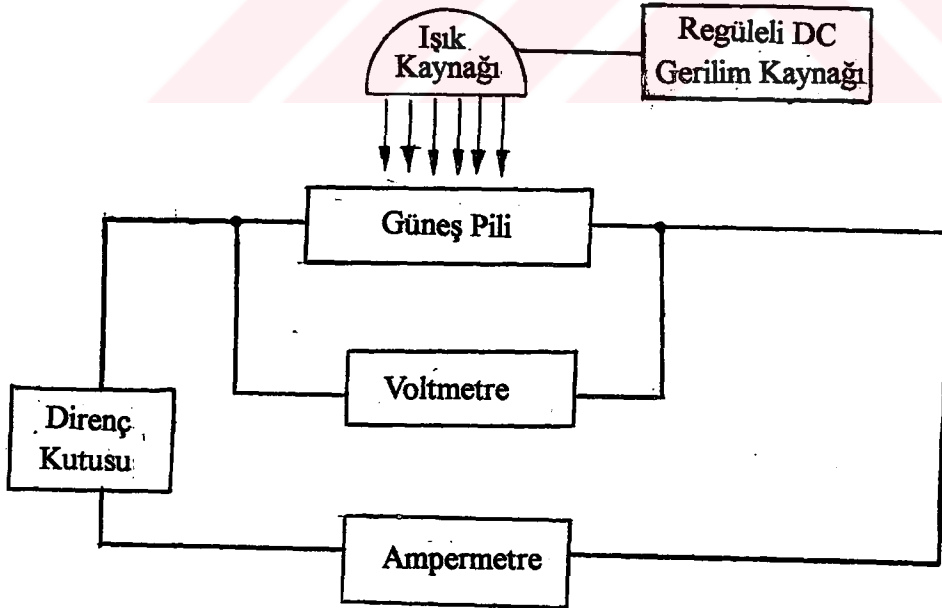
Yapılan deneylerde Germany Solar M5/300 pili kullanıldı. Deney düzeneği kuruldu (Şekil 6.38). Pili I - V karakteristikleri çizildi. Böylece güneş pillerinin fonksiyonel yapısı ve karakteristiği ve ışığa karşı göstermiş olduğu değişimler grafiklerde gösterilmiştir.

Deney 1 - Güneş pili 12 volt 50 watt'lık halojen lamba ile 10 cm uzaktaki solar modül M5/300 pili üzerine ışıma yapılarak yaklaşık 60.000 lüks ışık şiddeti (Bulutlu hava için) pili üzerine tutulmuştur.

Deney 2- Güneş pili 12 volt 50 watt'lık halojen lamba ile 13 cm uzaklıktaki solar modülü M5/300 pili üzerine ışıma yapılarak yaklaşık 80.000 lüks ışık şiddeti uygulanmıştır.

Deney 3- Güneş pili solar modül M5/300 pili 02.06.1998 tarihinde saat 11⁰⁰'de çok hafif bulutlu havada deney yapılmıştır.

Deney 4- Güneş pili solar modül M5/300 pili 02.06.1998 tarihinde saat 13⁰⁰'de açık havada yapılan deneydir.



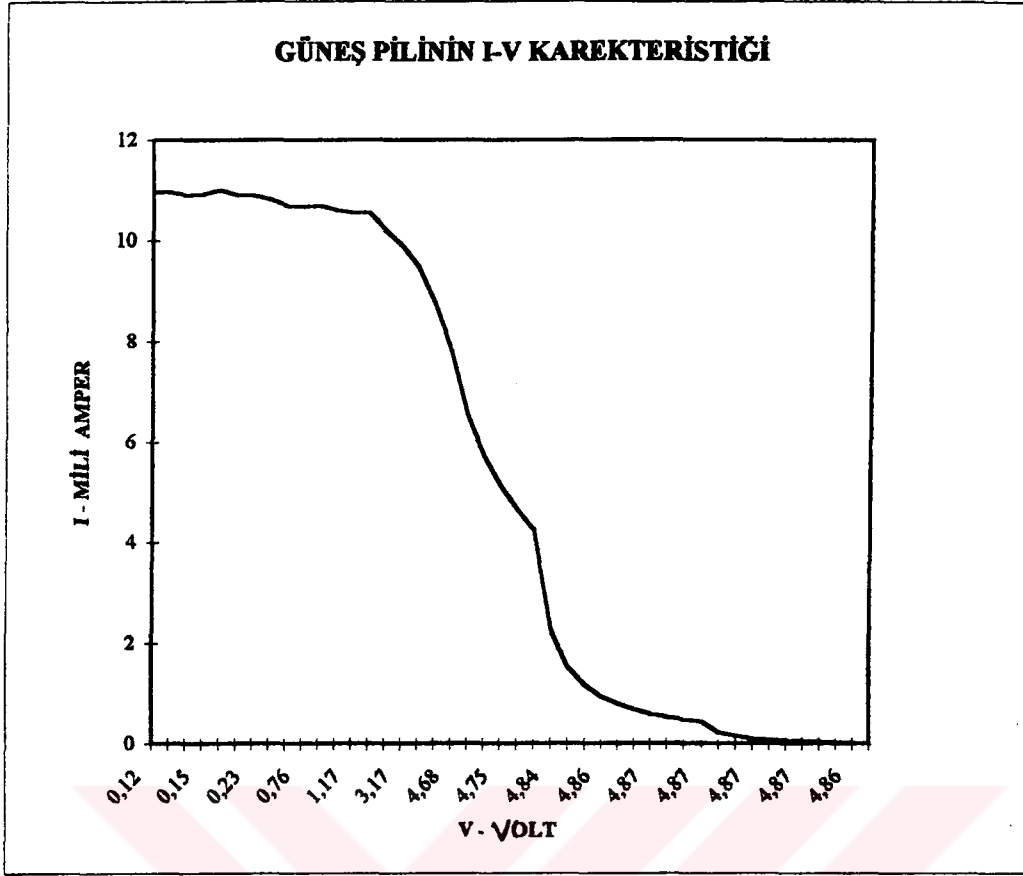
“Şekil 6.39” Güneş pilinin I-V karekteristiklerini incelemeye kullanılan deney düzeneği

DENEY -1

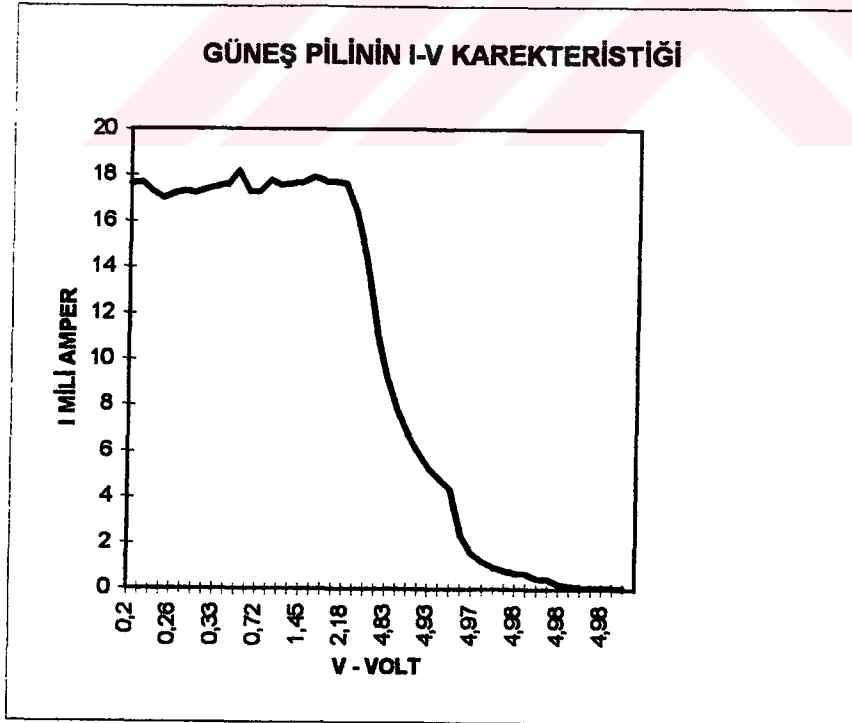
<u>V (VOLT)</u>	<u>I (MİLİ AMPER)</u>
0,12	10,97
0,13	10,97
0,14	10,9
0,15	10,92
0,16	11
0,2	10,9
0,23	10,9
0,34	10,82
0,55	10,69
0,76	10,67
0,87	10,7
0,97	10,6
1,17	10,56
1,27	10,56
2,23	10,2
3,17	9,9
4,05	9,48
4,57	8,76
4,68	7,8
4,72	6,52
4,75	5,75
4,75	5,14
4,77	4,66
4,79	4,25
4,84	2,27
4,85	1,54
4,86	1,17
4,86	0,94
4,89	0,79
4,87	0,68
4,87	0,59
4,87	0,53
4,86	0,47
4,87	0,43
4,87	0,22
4,87	0,15
4,87	0,09
4,86	0,07
4,86	0,06
4,87	0,05

DENEY - 2

<u>V (VOLT)</u>	<u>I (MİLİ AMPER)</u>
0,2	17,66
0,21	17,69
0,23	17,29
0,24	17
0,26	17,2
0,28	17,3
0,29	17,22
0,31	17,4
0,33	17,52
0,36	17,62
0,38	18,21
0,55	17,28
0,72	17,3
0,91	17,79
1,1	17,55
1,24	17,65
1,45	17,7
1,65	17,92
1,81	17,75
1,98	17,72
2,18	17,65
3,63	16,42
4,65	14,38
4,79	11,36
4,83	9,26
4,88	7,81
4,9	6,77
4,92	5,96
4,93	5,32
4,93	4,81
4,94	4,38
4,96	2,33
4,97	1,58
4,98	1,2
4,97	0,96
4,98	0,81
4,98	0,69
4,98	0,68
4,99	0,48
4,99	0,44
4,98	0,23
4,99	0,15
4,98	0,09
4,98	0,07
4,98	0,06
4,98	0,05
4,98	0,04



“Deney 1” Güneş pilinin I-V karakteristiği



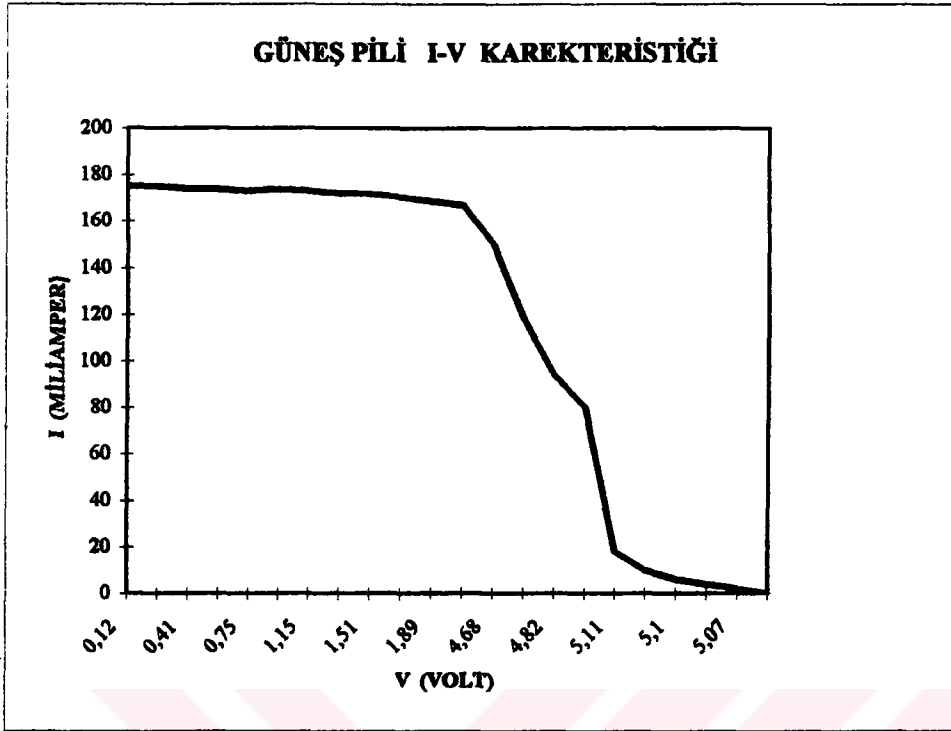
“Deney 2” Güneş pilinin I-V karakteristiği

DENEY 3V (Volt) I (Mili Amper)

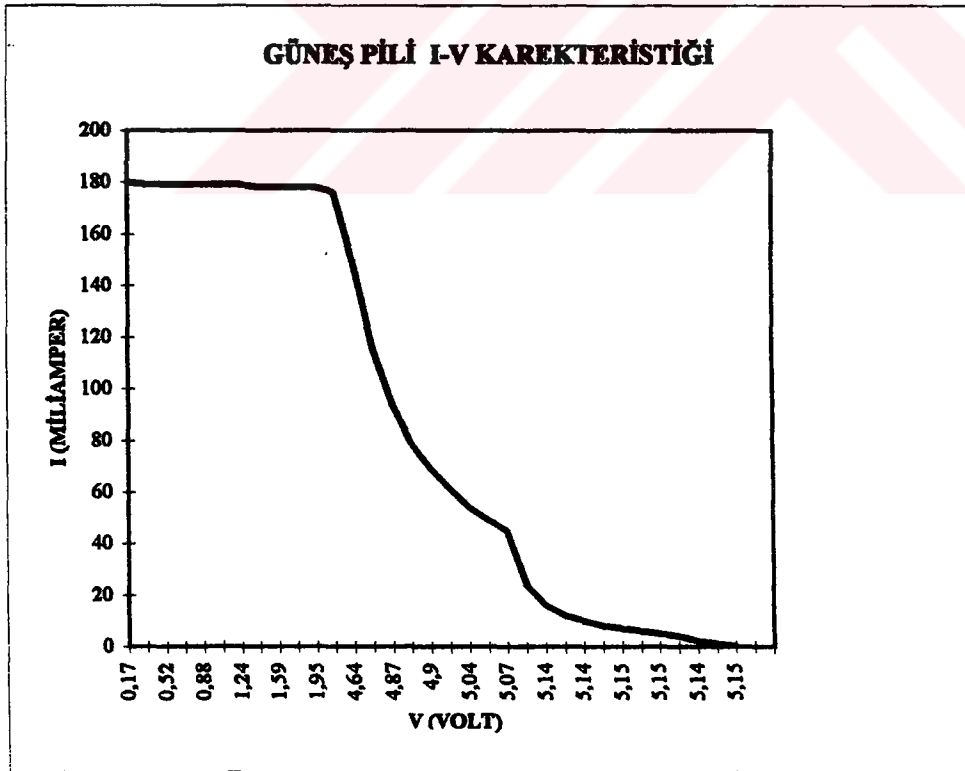
0,12	175
0,26	175
0,41	174
0,58	174
0,75	173
0,94	174
1,15	173
1,34	172
1,51	172
1,71	171
1,89	169
3,61	167
4,68	150
4,84	118
4,82	94
4,93	80
5,11	18
5,11	10
5,1	6
5,09	4
5,07	2
5,06	0

DENEY 4V (Volt) I (Mili Amper)

0,17	180
0,34	179
0,52	179
0,7	179
0,88	179
1,06	179
1,24	179
1,42	178
1,59	178
1,77	178
1,95	178
3,71	176
4,64	149
4,79	116
4,87	94
4,92	79
4,9	69
5	61
5,04	54
4,96	49
5,07	45
5,13	24
5,14	16
5,14	12
5,14	10
5,15	8
5,15	7
5,15	6
5,15	5
5,15	4
5,14	2
5,14	1
5,15	0



“Deney 3” Güneş pilinin I-V karakteristiği



“Deney 4” Güneş pilinin I-V karakteristiği

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Enerji kaynaklarını yenilenebilir olmaları nedeniyle gelecek için özel ve tüzel yatırımlara yönelinmelidir.

Jeotermal uygulamalarda gerekli olan kimyasal madde inhibitörü, plate tip eşanjörler ve epoxy cam elyaf boruların Türkiye’de imalatıyla, jeotermal yatırımlarda enerji maliyetinin düşürülmesi mümkün olur. Bu nedenle, söz konusu ürünlerin üretilmesi için teknolojik bilgilerin edinilmesi gerekir. Türkiye’de yeni tip santrallere önem verilmeli, ilgili uzman kişilerin bilgi birikimlerinin geliştirilmesine özen göstermeli, uluslararası ortak projeler üretilmeli, Yap-İşlet-Devret modeli devreye sokulmalıdır. Atık su sorununa çözüm seçenekleri (reenjeksiyon gibi) son yıllarda geliştiğinden, jeotermal enerjinin geliştirilmesine, enerji politikasının yanısıra, çevre politikası açısından da önem verilmelidir.

Rüzgâr enerjisini kullanılır hale getirmek için türbinlerin geliştirilmeli ve ülkemiz açısından rüzgâr bölgeleri oluşturularak yatırımlara gidilmelidir.

Biyokütle enerji kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirmek için küçük çapta entegre tesislerin kurulmasına özen gösterilmelidir.

Güneş enerjisi açısından ülkemiz çok şanslıdır. Fakat varolan bu enerji kaynağından yeterince bilinçlenmediğimiz için yararlanamıyoruz. Bunun nedeni uzun vadede enerji yatırımlarına önem vermememizdir. Güneş enerjisi ile ilgili teknolojinin ülkemizde yaygınlaşmasıyla, enerji gereksinimizin büyük bir kısmını karşılayacaktır.

Güneş pilleri gelecek açısından büyük ümitler içermektedir. Şu anda bile uygulama alanlarına bakıldığında ilk yatırım masraflarından başka yatırım gerektirmeyen bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Güneş pili teknolojisinin geliştirilmesi ve ülkemizde bu konuda araştırma geliştirme merkezlerinin kurulması gelecek için büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbaş, M., (1994), Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, İzmir.
- Aksin, V., (1985), Neki Vidovi Koriscenja Geotermalne Enegije SAP Vojvodini, Novi Sad.
- Apfelback, P., (1985), Production and Processing of Plant Oil and Product to Fuels, First Consultation of CNRE of Biomass Conversion for Energy, October 1985, Germany.
- Arınç, Ü. D., (1990) Güneş Enerjisinden Isıtmada Yararlanma Tekniği Ders Notları, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.
- Atagündüz, G., (1989) Güneş Enerjisinin Temelleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi Yayını, İzmir.
- Aybers, N., Şahin, B., (1995) Enerji Maliyeti, YTÜ Yayını, No:299, İstanbul.
- Aydın, Y., (1991), Güneş Pili Dizisinin maksimum Gücünün Mikrokontrolör Kontrollü İzlenmesi ve Fotovoltaik Pompa Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barutcu, Z. M., (1997), Doğalgaz Borularının Katodik Korumasında Dış Akım Kaynağı Olarak Şebeke Elektrikliği ile güneş Pillerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beckman, W. A., (1977) Solar Heating Desing. Wiley Interscience, New York.
- Cantürk, M., (1989), Güneş Pillerinde Verimin Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkun, U., (1996), Güneş Enerjisi ile Yüzme Havuzları Isıtılması, Yüksek Lisans Tezi YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Czarnecki, J. T., (1978), Swimming Pool Heating by Solar Energy, CSIRO Tecnical Report No:TR 19, Heggett, Victorio, Australia.
- Demirer, M., (1986) Türkiye 4. Enerji Kongresi Özel Oturum Tebliğleri, İzmir.
- Dickson, H. M., (1993), Application of Geothermal Energy. Geothermal Energy Tecnology, Ecolgy Course Text-book and Guideline, 1993, International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, Makedonia.
- Dirican, B., (1987), Rüzgâr Enerjisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

DPT, (1996), Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu "Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu" Yayın No: DPT 2441-ÖİK-497, Mayıs 1996, Ankara

Ermiş, K., (1995), "Güneş Enerjisi ve Diğer Yenilenebilir Enerji Uygulamalarındaki Gelişmeler", Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir.

EİE, (1992), Güneş Piller, Elektrik İşleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

EİE, (1992), Rüzgâr Enerjisi, Elektrik İşleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

EİE, (1993), Rüzgâr Enerjisi, Rüzgâr Elektrik Dönüşüm Sistemleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

EİE, (1994), Güneş Piller, Elektrik İşleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

EİE, (1994), Rüzgâr Enerjisi, Su pompalama İşlerinde Rüzgâr Enerjisi Mekanik Dönüşüm Sistemleri, Elektrik İşleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Gillett, B. W., Hacker, J. R. and Kaut, W., (1991), Commission of The European Communities Photovoltaic Demonstration Project.

İlter, E. I., (1994), Fotovoltaik Hücrelerin I-V Karakteristiği ve Uygulamaları, Bitirme Tezi, YTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, İstanbul.

Kurt, A., (1997), Güneş Pilleri ve BPW-21 Güneş Pili Lüksmetre Olarak Kullanılması, Bitirme Tezi, YTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, İstanbul.

Mertoğlu, O., (1993), Jeotermal Isıtma Sistemleri Dizayn Kriterleri ve Uygulamalar. TMMOB 1. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Nisan 1993, İzmir.

Nyns, E. J., (1985), Energy Bioconversion, Which Biomass for Which Fuel Molecules by technologies, A tentative Logical Approach, First Technical Consultation of CNRE for Biomass Conversion for Energy, October 1985, Germany.

O'flaherty, T., Grant, J., (1986), A Hybrid Wind Turbine/Heat Pump System for Greenhouse Heating, Paper No:E29.Vol.2, EWE'86 :281-286, Rome.

Oralalp, F., (1994), "Rüzgâr Gücü", Bilim ve Teknik Dergisi, İstanbul.

Özçelebi, S., (1995) "Küçük Güçlü Bir Güneş Pili Sisteminin Tasarımı" Birinci Uluslararası Havacılık ve İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mart 1995, İstanbul.

Popovski, K., (1984), Possibilities and Justifiableness of The Introduction of Alternative Energies in Agriculture and Food Processing Industry of SR Macedonia, UNIDO: Alternative Energies in Agriculture of The Countries of The Third World, Novi Sad - Yugoslavia.

Popovski, K., (1987), Draft State-of-the-art on Geothermal Energy Use in Agriculture of European Countries. FAO/CNRE Workshop on Geothermal Energy Use in Agriculture, Skopje.

Popovski, K., (1987), Economy of Geothermal Energy Use in Agriculture. FAO/CNRE Workshop on Geothermal Energy Use in Agriculture, Skopje.

Ramakumar, R., (1983) Storage Option For Harnessing Wind Energy, Mechanical Engineering, 74-83, November 1983.

Simon, R., (1991), Solar Electricity A Practical Guide to Designing and Installing Small Photovoltaic System USA.

Sönmez, H., (1995) Güneş Enerjisinin Gıda Sektöründe Aktif ve Pasif Sistemlerde Kullanım Alanları, Bitirme Tezi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.

Stümer, H., (1985), Briquetting Straw and Wastes for Energy, An Economic Change for Rural Areas, First Technical Consultation of CNRE for Biomass Conversion Energy Freising, October 1985, Germany.

Şamilgil, E., (1992), Jeotermal Enerji, Yıldız Teknik Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi yayınları, İstanbul.

Temir, G., (1989), Güneş Enerjisinden Direk Mekanik Enerji Elde Edilmesi İçin Bir Sistem Geliştirilmesi ve Termodinamik Bağlantıların Çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.

TÜREB, (1997), Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin 3. Bülteni, Şubat 1997.

Uyar, T.s., (1997), Güneş Pilleri Notları, Kocaeli Üniversitesi yayınları, Kocaeli.

Ültanır, M. Ö., (1994), "Türkiye Kırsal Kesminin Alternatif Enerji Potansiyeli ve Uzun Dönemli Kırsal Enerji Planlaması", Termodinamik Dergisi, 22:50-53, Haziran 1994, İstanbul.

Von Zabeltitz, C. (1988), Greenhouse Heating With Solar Energy. REUR Technical Series No:1 Published by FAO, Rome.

Wasynczuk, O., (1983), "Dynamic Behavior of a Class of Photovoltaic power Systems", IEEE. Trans on Power App. and Syst., Vol Pas-102 No:9, USA.

Wilson, R. E., (1984) Elektrical Energy from The Wind, Mechanical Engineering, 60-69, January 1984, New York.

Yavuzcan, G., (1983), Tarımda Doğal Enerji Kaynakları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.

HIGH EFFICIENCY BP275 MODULES

POWER SPECIFICATIONS

All performance specifications given are as measured at the standard test conditions.

Standard Test Conditions

Description	Parameter	Value
Intensity of Illumination	Insolation (W/m^2)	1000
Spectral Density	Air Mass (AM)	1.5
Operating Temperature	Cell Temperature ($^{\circ}C$)	25

Description of performance parameters

P max	Maximum power of a module. The point on the curve where the IV is at a maximum
V mp	Voltage at the maximum power point
I mp	Current at the maximum power point
I sc	The short circuit current of a PV module
V oc	The open circuit voltage of a PV module
P min	Minimum guaranteed power of a module

Tolerance - Minimum power, the peak power of all high power modules is normally supplied within minus 5watts actual of the nominal value, for further details contact BP Solar.

CEC APPROVAL SPECIFICATION NO.503

BP Solar modules have been tested and qualified to the Commission of European Communities specification number 503 at the CEC Joint Research Centre in Ispra, Italy. The qualification tests are designed to demonstrate the module's suitability for use in field conditions. Modules are designed to last at least 20 years, with a 10 year warranty.

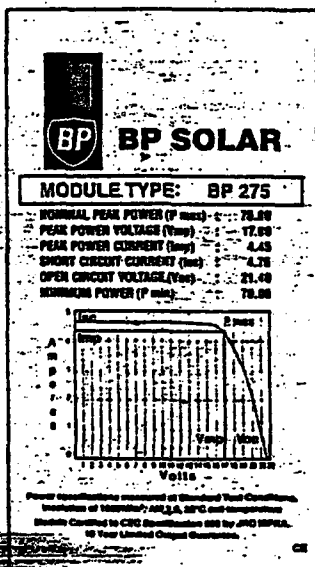
- 200 thermal cycles from $-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$.
- 10 humidity/freeze cycles from $85^{\circ}C$ at 85% relative humidity to $-40^{\circ}C$.
- Ice ball impact test.
- Ultra violet exposure.
- Outdoor exposure.
- Damp heat.
- Hot spot endurance (to simulate partial shading).
- Mechanical endurance, to simulate wind loads of up to 225 km/h.

Power specifications are measured at Standard BP Solar Test Conditions. For further information on module performance contact BP Solar.

Approved by TÜV Rheinland

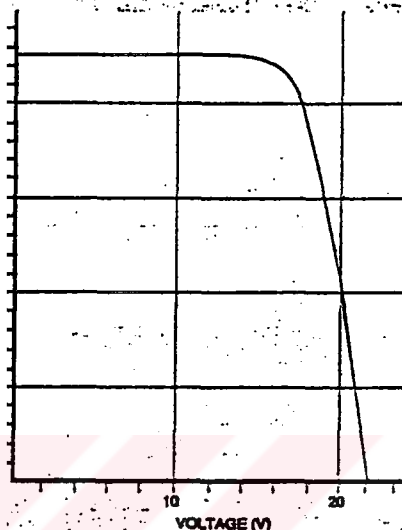
Group for use as Class II equipment, Schutzklasse II

Rear Module Label



VOLTAGE/CURRENT CURVE (Typical)

The graph below details module performance at an insolation of $1000 W/m^2$, air mass 1.5 D



Coefficient of Voltage
Coefficient of Current

-0.0022 V/cell/ $^{\circ}C$
8.9 $\mu A/cm^2/^{\circ}C$

CONSTRUCTION

BP275 modules are manufactured using industry-standard materials and lamination techniques. Stainless steel fasteners are used throughout. The junction box is fastened to the module frame to avoid stressing the electrical connections between the laminate and the junction box.

Materials are as follows:

Front Cover:	Toughened glass, 3mm, high light transmission ($\approx 92\%$)
Encapsulant:	Ethylene-vinyl-acetate (EVA)
Rear Cover:	Tri-laminate of PVF/Polycarbonate/PVF
Frame:	Extruded Aluminium, Anodised
Frame Sealant:	Silicone gasket formed in-situ
Junction Box:	HPDE

Electrical connections to the module are made via screw terminals within the junction box. One cable gland is fitted and 3 further knockouts (suitable for glands or conduit) are provided to facilitate series and/or parallel connection.

GENERAL WARRANTY TERMS

Equipment supplied by BP Solar will be warranted for a period of one (1) year from the date of sale to the original consumer purchaser against defects resulting from faulty workmanship and/or materials, when such equipment is installed and used under normal conditions.

BP Solar's solar modules are warranted for a period of ten (10) years from the date of sale to the original consumer purchaser against degradation in excess of ten (10) per cent of the minimum power output measured at an optimum voltage under the standard conditions of $100W/cm^2$ at a cell temperature of $25^{\circ}C$. BP Solar warrant to replace this lost power provided such degradation is determined to be due to faulty workmanship of materials.

Faulty material is to be returned, freight prepaid and accompanied by a copy of the original invoice, to the point of sale or a nominated company location for either repair or replacement as warranted.

As part of our policy of continuous improvement BP Solar reserves the right to change products specifications at any time without prior notice. The above warranty applies to modules in terrestrial land based applications.

DISTRIBUTOR

BP Solar



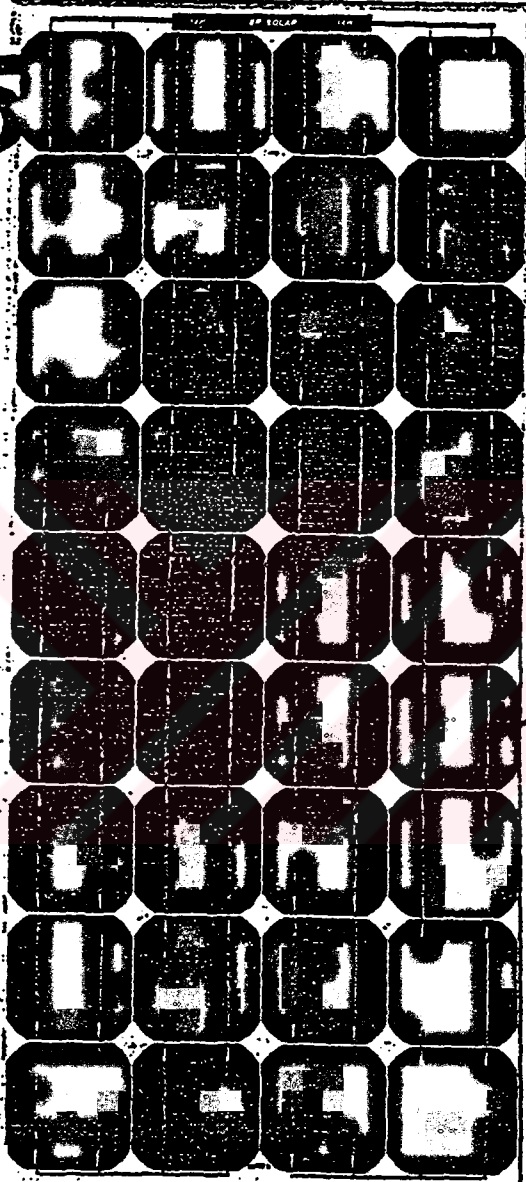
BP SOLAR

BP275

SOLAR MODULES

PRODUCT FEATURES

- High efficiency monocrystalline silicon cells.
- Designed for maximum reliability and minimum maintenance.
- Produced using in-house technology in cell manufacturing and encapsulation.
- Highly resistant to water, abrasion, hail impact and other environmental factors.
- Lightweight anodised aluminium frame with silicone edge sealant around the laminate.
- All proven products. Only materials with extensive field experience used.
- Designed and manufactured to comply with European and International standards.
- European specification EST1503.
- 10 year product warranty.



APPLICATIONS

GRID-CONNECT

- Rain-screen Facades
- Sun-shade & Balcony Products
- Roof and Atria Products
- Domestic/Residential Roof Products
- Multi-Kilowatt and Megawatt Power Stations
- Generator-type Power for centralised locations.

TELECOMS

- Microwave Repeaters and Terminals.
- VHF/UHF Radio Systems and Repeaters.
- Mobile Radio Systems.
- HF/SSB Radio Transceivers
- TV Translators
- Radio Telephones & Telemetry.
- Radio Navigational Aids
- Fibre Optic Repeaters
- Miscellaneous Packages DC Loads

RURAL INFRASTRUCTURE

- Community/Village Water Pumping
- Community/Village Water Purification
- Community/Village Refrigeration, Medical and Domestic
- Community/Village Lighting
- Community/Village Television & Video
- Individual House Power
- Community/Village Power

SPECIALIST

- Cathodic Protection
- Aircraft Obstruction Lighting
- Lighthouse Lighting Systems
- Racon Systems
- Beacon Buoy Lighting Systems
- Fog Warning Systems

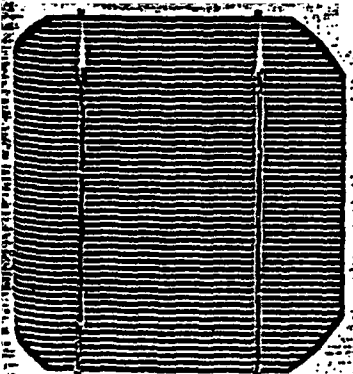
TECHNICAL SPECIFICATIONS

Module Catalogue Number	BP275
Typical Peak Power (P _{max})	75.00W
Voltage @ maximum power (V _{mp})	17.00V
Current @ maximum power (I _{mp})	4.45A
Short-circuit current (I _{sc})	4.75A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	21.40V
Minimum power (P _{min})	70.00W

Dimensions

Length 1188 mm
Depth 38.5 mm

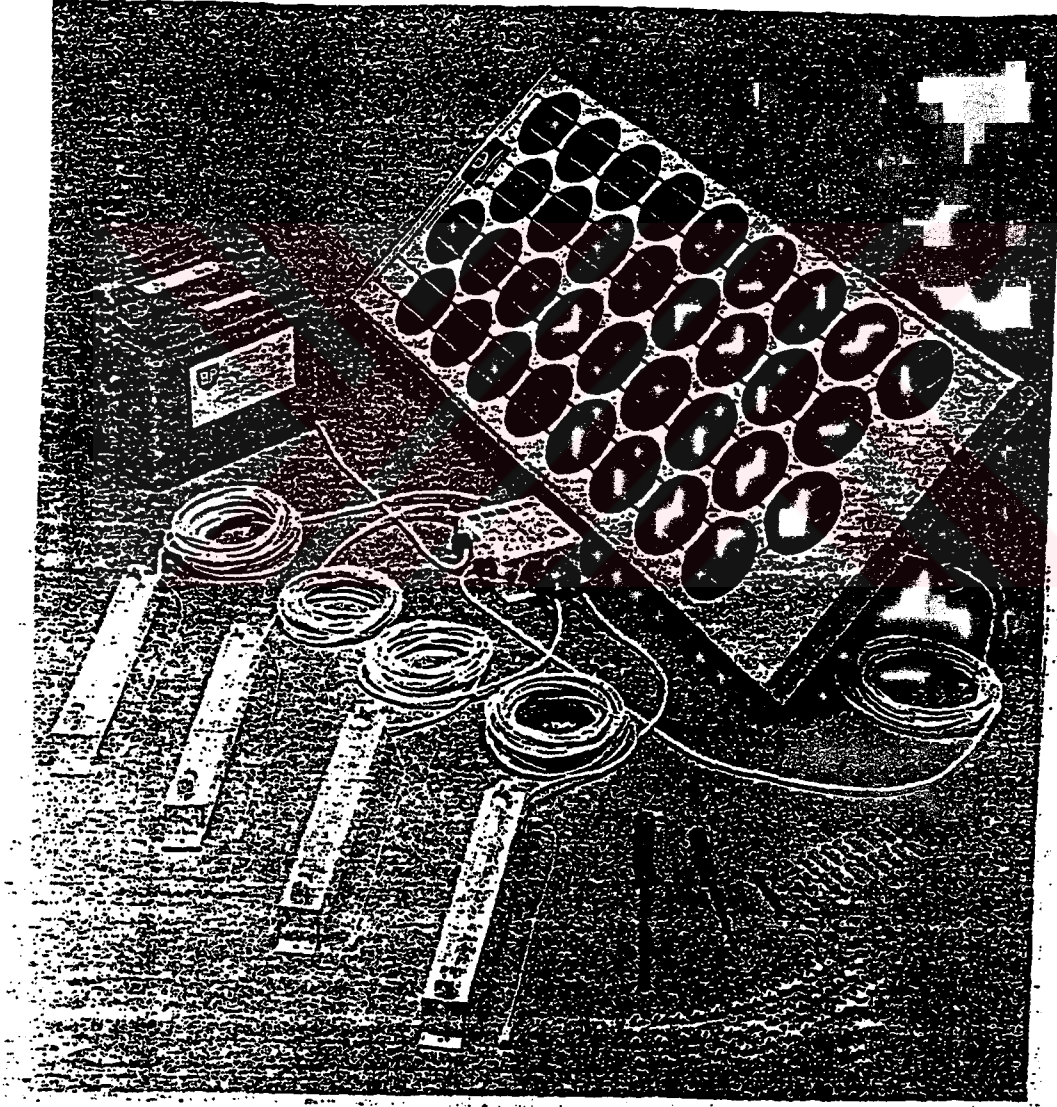
Width 530 mm
Weight 7.5 kg



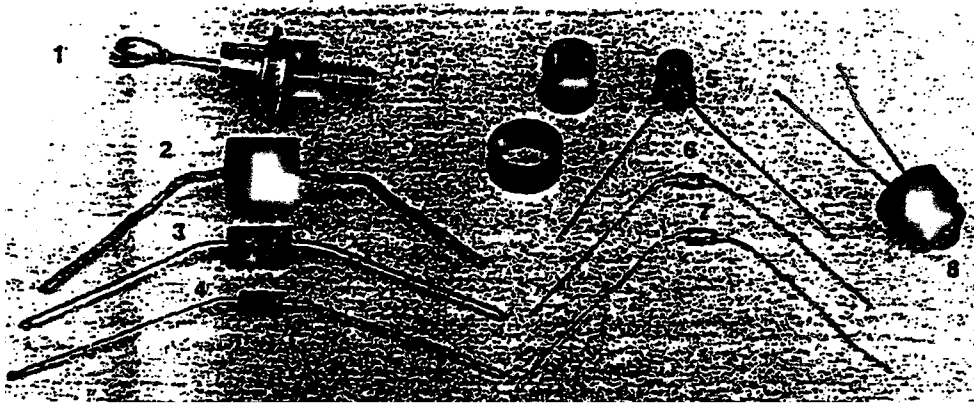
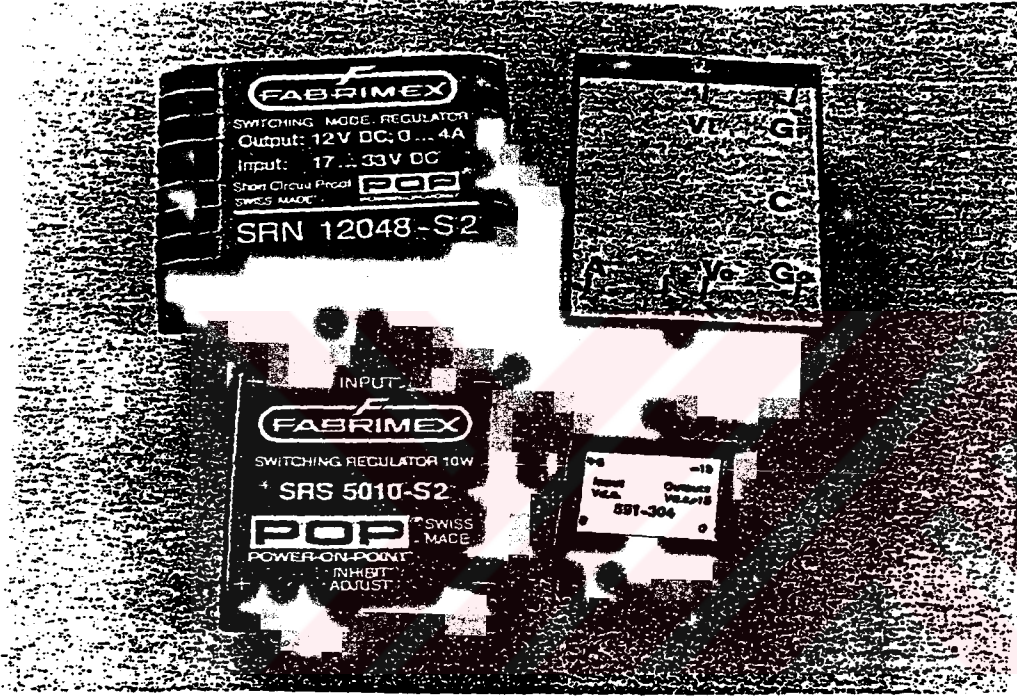
CELL SPECIFICATIONS

Series connected 72 cells

Ek 2 Güneş Pili-Akü Panel Bağlantı Kabloları



Ek 3 DC/DC Konverteri ve Elektronik Kart ile Diotlar



Ek 4 Güneş Pilleri ile Çalışan Su Pompası



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.04.1972
Doğum yeri	Niksar
Lise	1986-1990 Söke Ziraat Teknik Lisesi
Lisans	1990-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği
Yüksek Lisans	1995- Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Isı Proses Programı
Çalıştığı kurum	Tarım İl Müdürlüğü.

