

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
HİBRİD KULLANIMI İLE BİR BOTUN
MODELENMESİ VE MALİYET ANALİZİ**

Ali Hikmet ÖZDEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ali ALKUMRU

GEBZE
2002

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
HİBRİD KULLANIMI İLE BİR BOTUN
MODELLENMESİ VE MALİYET ANALİZİ

Ali Hikmet ÖZDEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2002

ÖZET

Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından birlikte yararlanmak günümüz uygulamalarında cazip hale gelmeye başlamış, yenilenebilir enerji kaynakları geleneksel fosil yakıtlarının yerine kullanılabilir hale gelmiş ve bu kullanım hava kirliliğinin azaltılmasında faydalı olmuştur.

Yapılan bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Florya İstasyonu ve Tübitak MAM'dan alınan saatlik rüzgar hızı değerleri ile saatlik güneş ışınım şiddeti değerleri kullanılmış, 24 HP'lik yükün karşılanabilmesi için rüzgar makineleri, güneş pil alanları ve batarya kapasitelerinin sisteme etkileri saptanmaya çalışılmıştır.

Sistemin optimizasyon hesaplarında; hibrid sistemi oluşturan her iki enerji kaynağının toplam yükü karşılama oranları değiştirilerek optimum değerler bulunmaya çalışılmış ve bu değerler kullanılarak minimum maliyetle sistem kurulmaya çalışılmıştır.

Sistem maliyetlerinin bulunmasında 20 yıllık komponent ömürleri temel alınmış ve en uygun maliyet tespitine çalışılmıştır.

SUMMARY

The combined utilization of renewables such as solar and wind energy is becoming increasingly attractive and is being widely used for substitution of oil-produced energy and eventually reduce air pollution.

In the present investigation hourly wind-speed and solar radiation data for Golden Horn part of Turkey has been analyzed to study impact of key parameters such as Photovoltaic (PV) area, number of wind machines and battery storage capacity on the operation of hybrid (wind + solar + diesel) energy conversion systems, while satisfying specified daily load of 24 HP.

The optimization parameter is based on calculation of the optimal percentage of power produced by each of the two separate systems that make up the hybrid system. The objective of the optimization procedure is to size a hybrid system that satisfied the load demand with the minimum cost.

The economic analysis is calculated based on 20 years system's life cycle cost .

TEŞEKKÜR

Her zaman olduğu gibi, tez çalışmalarım sırasında da yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Ali Alkumru'ya, Prof. Dr. Alaittin Hastaoğlu'na, enerji kaynakları konusunda dersler aldığım Yard. Doç. Dr. Salim Öncel'e, teorik yardımlarından dolayı Araş. Gör Ercan Özdemir ve GYTE Enerji Sistemleri Mühendisliği Akademik kadrosuna teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	2
2.1 Genel Bilgiler	
2.2 Güneş açıları	2
2.3 Güneş enerjisinin fotovoltaik yöntemle elektrik enerjisine dönüştürülmesi	4
2.4 Güneş pillerinin çalışma prensibi	5
2.5 Güneş pili teknolojisi	7
2.6 Tek kristalli (mono crystalline) güneş pilleri	8
2.6.1 Tek kristalli silikon (Si) güneş pilleri	8
2.6.2 Tek kristalli galyum – arsenik (GaAs) piller	9
2.7 Çok kristalli ve amorf güneş pilleri	10
2.7.1 Çok kristalli silikon piller	10
2.7.2 Çok kristalli kadmiyum sülfid / bakır sülfid piller	11
2.7.3 Amorf silikon piller	12
2.8 Güneş pillerinin verimi	14
2.9 Güneş paneli	19
2.9.1 Güneş paneli karakteristikleri	19
3. RÜZGAR ENERJİSİ	21
3.1 Genel bilgiler	21
3.2 Rüzgar gücünün kullanım nedenleri	21
3.3 Rüzgar enerjisinin avantajları ve dezavantajları	22
3.3.1 Avantajları	22

3.3.2 Dezavantajları	24
3.4 Rüzgar enerjisi ve dizel sistemler	25
3.5 Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli	26
3.6 Rüzgar türbin jeneratör sistemleri ve sınıflandırılması	27
3.6.1 Rüzgar türbin tipleri	27
3.6.1.1 Yatay eksenli türbinler	28
3.6.1.2 Düşey eksenli türbinler	28
3.6.1.3 Eğik eksenli türbinler	28
3.6.2 Jeneratör tipleri	29
3.6.2.1 Doğru akım jeneratörü	29
3.6.2.2 Senkron alternatör	30
3.6.2.3 İndüksiyon Jeneratörü	30
3.7 Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin ekonomik durumu	31
4. GÜNEŞ RÜZGAR HİBRİD SİSTEMLERİ	33
4.1 Giriş	33
4.2 Hibrid sistem yaklaşımı	33
4.3 Hibrid sistem dizaynı	34
4.3.1 Amaçlar	34
4.3.2 Hibrid sistem modeli	37
4.3.3 Sistem komponentleri	38
4.3.3.1 Batarya bankası	38
4.3.3.2 Dizel jeneratör	40
4.3.3.3 Inverter	40
4.3.3.4 Kontrol sistemi	41
5. MODEL VE OPTİMİZASYON	42
5.1 Model	42
5.2 Sistem konfigürasyonu	42
5.3 Teknik veriler	43
5.3.1 Fotovoltaik modül	43
5.3.2 Rüzgar jeneratörü	45
5.4 Hibrid enerji sistem optimizasyonu	45
5.4.1 Optimizasyon prosedürü	45
5.4.2 Modelin optimizasyonu	48
6 MALİYET ANALİZİ	54

6.1 Güç maliyetleri	54
6.2 Güneş / Rüzgar güç üretim oranı	54
6.3 Sistem maliyetleri	62
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan (m^2)
A_{pv}	Fotovoltaik pil alanı, (m^2)
C_{pv}	Fotovoltaik pil maliyeti, (\$)
Corr factor	İlk hareket için gerekli yakıt artış faktörü.
C	Bir ay içersinde oluşan rüzgarlı gün sayısı
C_w	Rüzgar jeneratörü maliyeti, (\$)
C_Q	Batarya maliyeti(\$)
C_T	Toplam sistem maliyeti(\$)
E	Güneşsiz/rüzgarsız saat oranı
E_f	Fotonun enerjisi(kw)
E_g	Yarı iletken mal. Enerji boşluğu-genişliği.
F	Kapasite faktörü (birimsiz)
f	Hızın frekansı (1/sn)
h	Plank sabiti(birimsiz)
J	Net akım(amp)

I_l	Işık altında ki akım(amp)
I_D	Karanlıktaki akım (amp)
L	Günlük yük, (kW)
K	Sabit
k	Sabit
P	Güç, (kW)
P_D	Minimum güç, (kW)
P_f	Paketleme faktörü, (birimsiz))
P_w	Rüzgar türbininden elde edilen güç.(kwh)
P_G	Giriş enerjisi(kwh)
Q	Batarya kapasitesi, (kW)
Q_1	Günlük depolama gereksinimi(amp)
Q_2	Aylık depolama gereksinimi(amp)
Q_3	Yıllık depolama gereksinimi(amp)
S	Işınım Şiddeti, (kWh/m ² /gün) veya (W/m ²)
T	Sıcaklık, (°C)
V	Rüzgar hızı, (m/s)

V_L	Uygulanan verim.
η	Verim, (boyutsuz)
η_{pc}	Güç eldesi verimi (boyutsuz)
ρ	Hava yoğunluğu, (kg/m^3)
c	Işığın boşlukta yayılma hızı (m/s)
m	kütle(kg)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1	Bir güneş pilinin çalışma prensibi	6
Şekil 2.2	Solar modüllerin yapım prensibi	7
Şekil 2.3	Tipik Bir p-n jonksiyonlu pil	9
Şekil 2.4	GaAs ve Si Güneş Pillerinin Performansları	10
Şekil 2.5	Bir Kadmiyum Sülfid Güneş Piliinin Şeması	12
Şekil 2.6	Tipik Bir Amorf Silikon Güneş Piliinin Yapısı	13
Şekil 2.7	Fotovoltaik Piliin Akım Gerilim (I-V) Karakteristiği	15
Şekil 2.8	Fotovoltaik Piller İçin Enerji Boşluk ve Maksimum Teorik Verim Değerleri	18
Şekil.3.1.	DC jeneratör kullanan rüzgar enerjisi üretim sistemi	29
Şekil.3.2.	Senkron Alternatör kullanan rüzgar enerjisi üretim Sistemi	30
Şekil.3.3.	İndüksiyon Jeneratör kullanan rüzgar enerjisi üretim Sistemi	31
Şekil 4.1	Sistem büyüklüğü (sizing) ile işletim stratejisi ilişkisi	35
Şekil 4.2	Sistem komponent seçimi için algoritma	36

Şekil 4.3	Hibrid sistem komponentleri	38
Şekil 5.1	Sistem konfigürasyon şeması (iç)	43
Şekil 5.2	Sistem konfigürasyon şeması (dış)	44
Şekil 5.3	2.5,5 ve 10 kW' lık rüzgar jeneratörü karakteristik eğrileri	45
Şekil 5.4	Saatlik ortalama güneş radyasyonu	49
Şekil 5.5	Aylara göre saatlik ışıınım şiddeti	50
Şekil 5.6	Bir metrekaare güneş pili başına elde edilen enerji Üretimi	51
Şekil 5.7	İstanbul Florya'da ölçülen ortalama rüzgar hızları	52
Şekil 5.8	10 kW' lık rüzgar jeneratöründen elde edilen gerçek güç	53
Şekil 6.1	Aylık ortalama yalnız rüzgar ve güneş güç üretimi	55
Şekil 6.2	Hibrid Sistem oranı (güneş/rüzgar)	56
Şekil 6.3	Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%10$)	57
Şekil 6.4	Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%20$)	57
Şekil 6.5	Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%30$)	58
Şekil 6.6	Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%40$)	58
Şekil 6.7	Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%50$)	59

Şekil 6.8 Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%60$)	59
Şekil 6.9 Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%70$)	60
Şekil 6.10 Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%80$)	60
Şekil 6.11 Hibrid Sistem Enerji Üretimi ($X_i=\%90$)	61
Şekil 6.12 X_i ye göre hesaplanan toplam sistem maliyeti	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Çizelge 2.1 GaAs ve Si Güneş Pillerinin Performanslarının Karşılaştırılması	10
Çizelge 2.2 Türkiyede kullanılan bazı ticari güneş paneli Karakteristikleri	20
Çizelge 3.1 Birincil enerji talebi karşılama oranları	22
Çizelge 3.2 Kişi Başına Enerji Tüketim Değerleri	22
Çizelge 3.3 Karşılaştırmalı emisyon miktarları	23
Çizelge 4.1 Türkiyede kullanılan bazı bataryaların karakteristikleri	39
Çizelge 5.1 PV modül karakteristiği	43
Çizelge 5.2 Aylara göre saatlik güneş radyasyonu	48
Çizelge 5.3 Aylara göre saatlik ışıınım şiddeti	50
Çizelge 5.4 Bir metrekare güneş pili başına hesaplanan enerji Üretimi	51
Çizelge 5.5 10 kW' lık rüzgar jeneratöründen elde edilen gerçek güç	52

1. GİRİŞ

Çevre sorunları doğurmaması, temiz ve güvenilir olması gibi nedenlerle, güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu konuda önde gelen iki ülke olarak A.B.D. ve İsrail gösterilebilir. Bu iki ülke, içinde bulunduğumuz 2000'li yıllarda toplam enerji ihtiyacının %20 sini güneş enerjisi ile karşılamaktadır.

Güneş enerjisinden ekonomik olarak istifade için 45° kuzey güney enlemleri arasında yer alınması gereklidir. Ülkemiz bu kuşak içindedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 60 yılı aşkın bir süreden beri yapmakta olduğu güneşlenme zamanı ve ışıyım şiddeti ölçümleri yüksek bir potansiyele sahip olduğumuzu göstermektedir. Son yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından da yeni ölçümler alınmış ve yayınlanmıştır. Bu verilere göre ülkemizin ortalama yılda 2400 saat güneşlenmeye, 0.15 milyon cal/cm²yıl düzeyinde de ışıyım şiddetine maruz olduğu anlaşılmaktadır. [Külünk ve Eyice, 1983].

Yeryüzü kabuğunun homojen tarzda ısınma ve soğuma davranışı göstermemesi nedeni ile, büyük hava kütleleri hareket etmek zorundadır. Bu hava kütlelerinin hareketine rüzgar denir. O halde rüzgar enerjisi güneş enerjisinin bir türevidir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen yenilenebilir enerji kaynakları birlikte kullanılarak, enerji süreksizliği engellenmeye çalışılarak, bu amaçla kurulabilecek hibrid sistem parametreleri incelenecektir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Genel Bilgiler

Güneşin çapı ve kütlesi, dünyaya kıyasla sırasıyla, 110 ve 334320 defa daha fazladır. İçinde sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüşümü (füzyon reaksiyonları) söz konusu olduğundan, oluşan kütle farkı, Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre, ısı enerjisine çevrilmekte ve dalgalar halinde uzaya yayılmaktadır. Bu ifadede: $c=3.10^8$ m/s ışığın boşlukta yayılma hızı; m birim zamanda oluşan kütle farkı ve E ise güçtür. $m=4.10^9$ kg/s olduğundan $E=3.6.10^{26}$ MW civarında hesaplanır; bu güneşin ışıyım gücüdür. Yapılan hesaplar: güneşin yüzeyindeki ışıyım şiddetinin $1550 \text{ cal/cm}^2.\text{s}$ atmosfere ulaşan değerin ise $0.028 \text{ cal/cm}^2.\text{s}$ olduğunu göstermektedir. Esasen yer yüzeyinde alınan ışıyım şiddeti enlem ve deklinasyon açılarına ve atmosferdeki soğurma miktarına bağlıdır. Pratik hesaplarda 1 kW/m^2 alınabilir [Külünk ve Eyice, 1983].

Güneş enerjisinden yararlanarak aşağıdaki uygulamalar yapılmaktadır: Konut ısıtma ve soğutma, buhar üretme, tuzlu sudan saf su elde etme, kurutma, sera ısıtma, proses ısısı ve sıcak su üretimi, kükürt ve bazı katıları ergitme, elektrik enerjisi üretimi gibi. Bu uygulamalardan 100°C 'nin altında sıcaklık gerektirenler düzlem kolektörlerle, diğerleri ise odaklı kolektörlerle yapılabilir.

2.2. Güneş Açıları

Güneş enerjisi uygulamalarında genellikle ışınları toplayan araçlar kullanılmaktadır. Bunlara kolektör denir. Esasında bu araçlar bir tür ısı eşanjörüdür. Zira topladığı güneş enerjisini, uygun bir ısı taşıyıcı ara maddeye (su ve hava gibi) aktarmaktadır. Isı enerjisinin bu aktarımı esnasında verimin yüksek olması, sistem dizaynı yanında, kolektörle güneş

ışınları arasındaki açıların doğru olarak bilinmesine bağlıdır. Belli başlıları 10 tane olan bu açılara güneş açıları denilmektedir. Enerji ve verim hesaplamalarında bu açılara ihtiyaç duyulmaktadır [Külünk ve Eyice, 1983].

- a) Yükseklik açısı (α) : ışınlı yatay yüzey arasındaki açı,
- b) Güneş azimut açısı (β) : tipik bir güneş ışınının, yatay yüzey üzerinde, kuzeye göre ve saat dönüş yönünde, sapma miktarını veren açıdır. Geliş açısı (θ): Tipik bir ışınlı eğik yüzey normali arasındaki açıdır.
- c) Zenit açısı (θ_z) : ışınlı yatay yüzeyin normali arasındaki açıya denir.
- d) Enlem açısı (ϕ) : Dünya üzerindeki tipik bir noktayı dünya merkezine birleştiren yarıçapın ekvator düzlemiyle yaptığı açıya denir. Bu açı ekvatorunda 0, kuzey kutbunda 90 ve güney kutbunda -90 derece alınmaktadır.
- e) Eğim açısı (S) : yatay yüzeyle eğik yüzey arasındaki açıdır.
- f) Deklinasyon açısı (δ) : Tipik bir ışığın tam öğle vakti ekvator düzlemiyle yaptığı dar açıya denir. Dünya güneş etrafında eliptik bir yörüngede dolandığından dolayı bu açı yıl boyu değişmektedir. Bu değişimin yaklaşık değerleri :

$$\delta = 23.45 \sin \{360(284+n)/365\} \quad (2.1)$$

ifadesinden bulunmaktadır. Burada n yılın gününü göstermektedir. 1 ocak için $n=1$ dir. Deklinasyon açısının yıllık değişimi sinüzoidaldir.

- g) Güneye bakan eğik yüzey geliş açısı (θ_T) : Ülkemizde meteoroloji ölçümlerinde kullanılan yüzeyler güneye bakmakta ve yatayla S açısı yapmaktadır. Bu eğik yüzeyin normali ile gelen ışın arasındaki açıya θ_T denilmektedir.
- h) Yüzey azimut açısı (γ) : Eğik bir yüzeye çıkılan bir düz denklemle buradan geçen boylam arasındaki açıya denir.
- i) Saat açısı (w) : Öğle vakti sıfır derece, öğleden önce + öğleden sonra – alınan bir açıdır.

Genel açı denklemi :

Daha önce tanımları yapılan güneş açılarından yararlanarak, geliş açısını (θ) bulmak için:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \sin\phi \cos S - \sin\delta \cos\phi \sin S \cos\gamma \\ & + \cos\delta \cos\phi \cos S \cos w + \cos\delta \sin\phi \sin S \cos w \\ & + \cos\delta \sin S \sin\gamma \sin w \end{aligned} \quad (2.2)$$

bağıntısı verilmektedir. Bu denklem polar koordinat sisteminde doğrultu kosinüsleri yazılarak bulunmakta, uygulamada ise bazı açıların 0 ve 90 derece alınmasıyla sadeleşmektedir [Külünk ve Eyice, 1983].

2.3. Güneş Enerjisinin Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Fotovoltaik piller (güneş pili), güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir yarı iletken kristaldir. Bazı maddelerin elektriksel özellikleri ışığa bağlı olarak değişir. Bu olay, değişik oranlarda katkılandırılmış aynı türden kristallerin ortak yüzeyli yapılarında (diyot yapısı) elektrik enerjisi üretimi olarak ortaya çıkar. Bütün yarı iletken maddeler fotovoltaik özelliklere sahip olmalarına rağmen, günümüzde bunlardan sadece birkaçı güneş pillerinin imalinde kullanılmaktadır. Bunlar elektronik sektöründe de önemli yer tutan Silikon (Si), Galyum Arsenik (GaAs), Kadmiyum Telurid (CdTe) ve Bakır Indiyum Diselenit (CuInSe₂ 'CIS') gibi yarı iletken malzemelerdir [Diken, 2000].

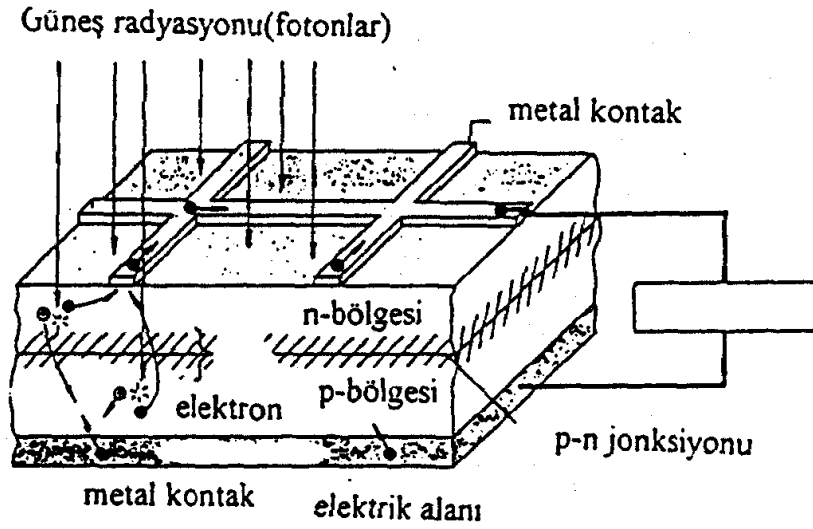
Teknolojisi en ileri durumda bulunan yüksek saflıktaki silikon, güneş pili yapımında en çok kullanılan yarı iletken malzemedir. Güneş pili yapımında kullanılan silikon yüksek saflık gerektirmesine rağmen dünyada en yaygın bulunan ikinci element olması büyük bir avantajdır.

2.4. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Güneş pili, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir yarı iletken kristaldir. Bugün en yaygın biçimde kullanılan güneş pili, silikon kristallerinden elde edilmektedir. Üzerine elektrik gelen Si kristalinin kontak uçları arasında sabit kabul edilebilecek bir doğru gerilim oluşmaktadır. Üretilen gerilim şiddeti yarı iletken malzemenin cinsine, üretilen akım şiddeti ise güneş pili üzerine gelen ışık şiddetine bağlıdır [Luque, 1989].

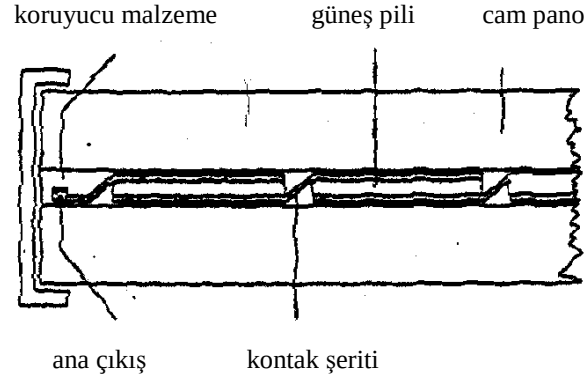
Fotovoltaik etki (güneş pili), bir yarı iletkendeki p-n dokunma yüzeyi (jonksiyonu) için kolayca tanımlanabilir. Silisyum gibi tipik bir yarı iletken, silisyum atomunun dört valans elektronunun her biri kimyasal bir bağla bir diğerine bağlıdır ve mutlak sıfır durumunda hiç serbest elektron yoktur. Eğer böyle bir yarı iletken, arsenik veya fosfor gibi beş valans elektronu olan başka bir madde ile katkılanırsa, yarı iletkeninin bu bölgesinde bir elektron fazlalığı oluşacaktır. Çünkü beş atomlu Arsenik veya Fosforun dört valans elektronu silisyum ile bağ yapacak ve bu beş valans elektronundan bağ yapmayan elektronlardan biri boş (serbest) kalacaktır. Sistemdeki bu fazla (serbest) elektronlar pratik olarak hareket edebilen serbest elektronlar haline gelir; n - tipi bir yarı iletken bu şekilde oluşturulmaktadır [Luque, 1989].

Aynı yarı iletken başka bir kısmında, üç valans elektronlu bir madde ile (örneğin bor) katkılanırlırsa bu kısmında elektron eksikliği oluşur. Bu durumda p - tipi yarı iletken oluşmaktadır. Bu elektron eksikliği, kafes içinde serbest olarak hareket edebilen oyuk fazlalığı olarak açıklanabilir. Bir tarafında n – tipi ve diğer tarafında p – tipi katkılanmış bölge olan bir yarı iletken parçası p – n jonksiyonu olarak adlandırılır. Bu jonksiyonda n – tipi bölgedeki – elektronlar p – tipi bölgeye geçme eğiliminde olacaklardır. Bu difüzyon, yönü n – tipi bölgeden p – tipi bölgeye doğru olan bir elektrik alan (E) meydana getirir. Şekil 2.1’de bir güneş pilinin çalışma prensibi verilmiştir. [Andreev, 1997]



Şekil 2.1 Bir güneş pilinin çalışma prensibi.

Standart ölçülerde bir güneş pili, 1000 W/m^2 yoğunluğunda gelen güneş ışınımı altında (bir yaz günü öğle saatlerinde alınan güneş ışınımı civarında bir değer), $0.57 - 0.6 \text{ V}$ doğru gerilim ve $1.85 - 2.00 \text{ A}$ doğru akım (DC) üretir. Diğer bir deyişle, güneş pilleri güneş enerjisini yaklaşık %15 – 22 verimle elektrik enerjisine dönüştürürler. Uygun sayıda güneş pilleri $17 - 18 \text{ V}$ gerilim üretmek üzere seri bağlanarak 'solar modül'ler oluşturulur. Bu solar modüller ise seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilebilir. Şekil 2.2'de solar modüllerin oluşturulması prensibi verilmiştir [Andreev, 1997].



Şekil 2.2 Solar modüllerin yapım prensibi

2.5. Güneş Pili Teknolojisi

Birbirine benzemeyen herhangi iki farklı malzemenin jonksiyonu ile fotovoltaiik etki oluşturulabilse bile, fotovoltaiik dönüştürücülerde (güneş pilleri) kullanılan esas malzemeler yarı iletkenlerdir. Yarı iletkenler, elektriksel iletkenliği metaller ile yalıtkan malzemelerin iletkenliği arasında bir değerde olan malzemelerdir. Silikon, güneş pillerinde ve elektronik sektöründe yarı iletken malzemelerin yapımında kullanılan temel yarı iletken malzemedir [Andreev, 1997].

Düşük maliyetli ve yüksek verimli güneş pilleri aşağıda değinilen üç ana yöntemle üretilir: Birincisi; büyük çaplı ingotların dilimlenmesi ile elde edilen tek kristalli malzemenin (single crystalline material) kullanımına dayanır. İkincisi ise maliyeti düşürmek için düşük kaliteli olarak imal edilmiş levha şeklindeki güneş pillerini doğrudan kullanma yaklaşımıdır. Sonuncu yöntem ise, döküm yoluyla elde edilen polikristal bloklardan çok ince silikon levha dilimlerinin elde edilmesidir. Ayrıca ince film (thin film) olarak yapılan güneş pilleri kullanılarak, çok az aktif malzemelerden, elektrik üretebilmek mümkündür. Çünkü ince film güneş pilleri güneş ışığını tek kristalli silikon

güneş pillerinden daha verimli bir şekilde absorbe eder. Tek kristalli, çok kristalli ve amorf (amorphous) pillerden, sıvı – yarı iletken jonksiyonlu pillere kadar bir çok yeni güneş pili tipinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bugün iki ana güneş pili üretim teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır. 80 – 120 W/m² güç yoğunluğuna sahip güneş pilleri (flat plate solar cells) ve optik sistemin verimine bağlı olarak 250 W/m² den daha fazla güç yoğunluğuna sahip olan toplayıcısı kuvvetlendirilmiş (concentrator - enhanced) piller.

Düz güneş pili teknolojisindeki gelişmeler sayesinde yüksek saflıkta silikon üretimi kolaylaşmakta ve maliyet düşmektedir. Araştırmalar tek kristalli silikon ve galyum piller, çok kristalli (multicrystalline) silikon ve galyum piller, amorf silikon piller ve diğer ince film güneş filmler; üzerinde yoğunlaşmaktadır [Andreev, 1997].

2.6. Tek Kristalli (Mono Cristalline) Güneş Pilleri

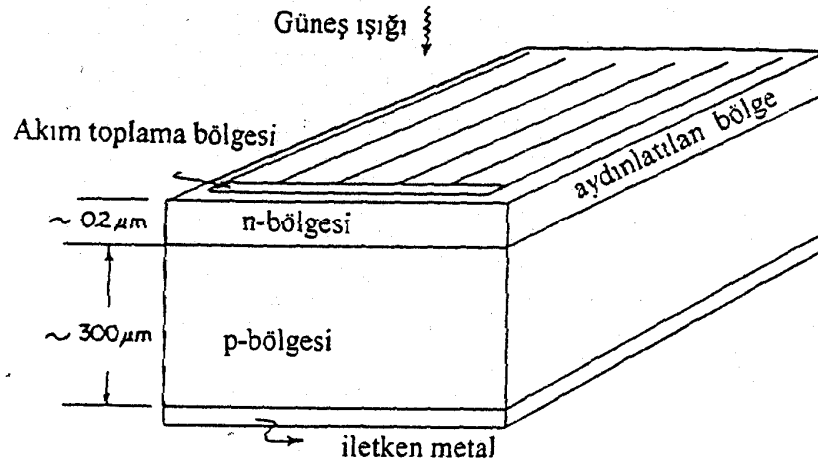
2.6.1. Tek Kristalli Silikon (Si) Güneş Pilleri

Tek kristalli piller için kullanılan en yaygın kanfigürasyon p – n jonksiyonudur. Eğer jonksiyonun her iki yanındaki malzemeler aynı ise, bu jonksiyon diyot homojonksiyonu olarak adlandırılır.

Bir p-n jonksiyonu iki ayrı malzemenin bir araya getirilmesi ile de yapılabilir. Malzemelerden birisi p – tipi diğeri ise n – tipi katkılıdır. Burada enerji bant boşluğu jonksiyonunun her iki tarafında farklı genişlikte olur. Bu tip jonksiyona ‘heterojonksiyon’ adı verilir; p ve n tipi malzemenin jonksiyonunda bir elektrik alanı oluşur. Bu alan güneş ışığının absorbe edilmesiyle oluşan yüklerin ayrılmasını sağlar. Fotonların absorbsiyonu ile meydana gelen pozitif ve negatif yükler güneş pilinin ön ve arka kısmına doğru hareket ederler. Pilin

arka yüzü metal bir kontak malzeme ile kaplanmıştır. Şekil 2.3'te tipik bir p – n jonksiyonlu pil görülmektedir.

Genel anlamda p – n jonksiyonlu güneş pillerinin laboratuvar şartlarında %19 verime ulaştıkları kanıtlanmıştır. Teorik olarak ise silisyum p – n jonksiyonlu piller maksimum %22 verimle enerji dönüşümü sağlarlar [Backus, 1977].



Şekil 2.3 Tipik Bir p-n jonksiyonlu pil [Backus, 1977].

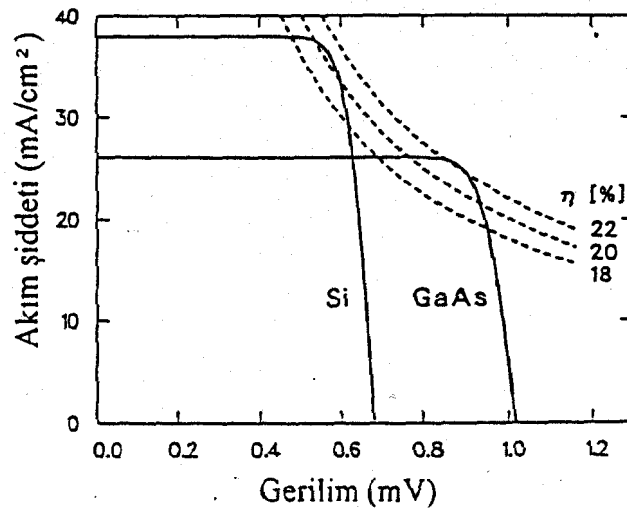
2.6.2. Tek Kristalli Galyum – Arsenik (GaAs) Piller

Galyum arsenik (GaAs), hem yüksek verime sahip olan tek kristalli güneş pilleri ve hem de ince-film teknolojisiyle üretilen güneş pilleri için verimli bir malzemedir. Bu piller maliyetleri dışında bir çok bakımdan silikon pillerinden daha üstündür. Galyum arseniğin enerji bant boşluğu (yaklaşık 1.4 eV), silisyumdan (yaklaşık 1.1eV) daha yüksektir. Aynı şekilde GaAs pillerin verimleri de (%22), silikon pillerin verimlerinden (%19) daha yüksektir. GaA pillerin silikon pillerinden bir diğer avantajı ise, verimin sıcaklığın artmasıyla

çok fazla değişmemesidir. Çizelge 2.1 ve Şekil 2.4' de GaAs ve silikon pillerin performansları karşılaştırılmaktadır [Pytlinski, 1985].

Çizelge 2.1 GaAs ve Si Güneş Pillerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Pil Malzemesi	Enerji Bant Boşluğu (eV)	Açık devre V_{OC} (volt)	Kısa devre I_{SC} (mA/cm ²)	Doluluk (fill) faktörü	Maksimum Verim
Si	1.1	0.63	34.0	0.80	19
GaAs	1.4	0.99	27.3	0.76	22



Şekil 2.4 GaAs ve Si Güneş Pillerinin Performansları [Reisemhuen, 1992]

2.7. Çok Kristalli Ve Amorf Güneş Pilleri

2.7.1. Çok Kristalli Silikon Piller

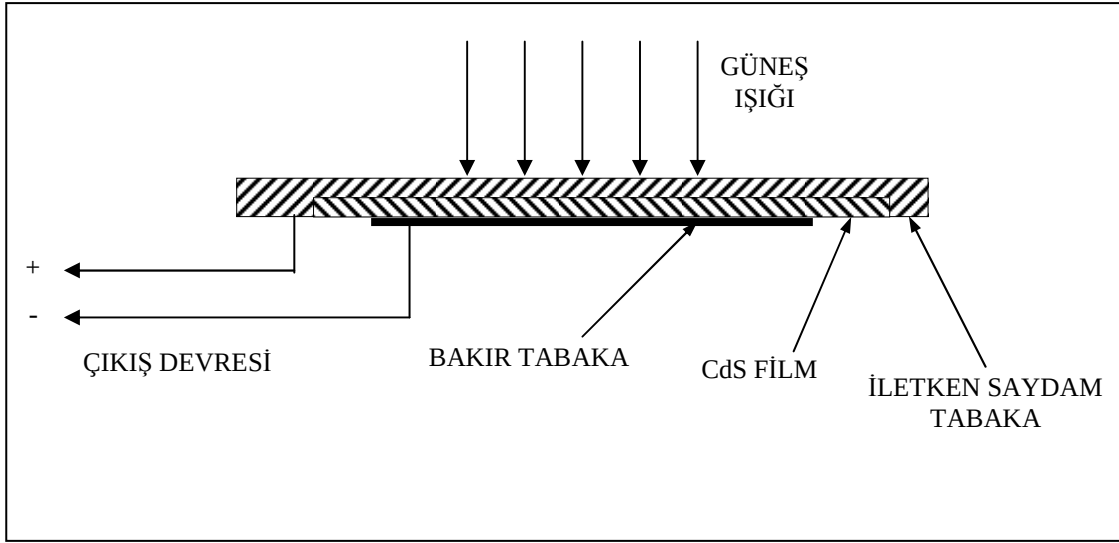
Yüksek performanslı piller için, çok kristalli film hazırlanması sırasında kontrol altında tutulması gereken birçok değişken vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Film kalınlığı optimize edilmelidir, kristal büyüklüğü

ışığı absorbe eden tabakanın kalınlığından daha büyük olmalıdır, dış kristaller yüksek direnç göstermelidir. Bu değişkenler oldukça önemlidir. Bu yüzden çok kristalli silisyum pillerin üretim tekniği oldukça zordur.

2.7.2. Çok Kristalli Kadmiyum Sülfid / Bakır Sülfid Piller

Kadmiyum sülfid güneş pilleri, Cu_2S ve CdS 'ten oluşan heterojen bir yapıdır. Şekil 2.5'te kadmiyumsülfid / bakırsülfid bir güneş pilinin şeması yer almaktadır. Bu pillerin aktif bölgesi, biraz daha kalın olan kadmiyum sülfid (CdS) filmin üzerine 100 – 300 μm kalınlığında bir bakır sülfidin yerleştirilmesiyle oluşur. Işık Cu_2S tabakasıyla absorbe edilir. Cu_2S 'in ışık absorpsiyonu güneş ışığı tayfına (solar spektrum) oldukça uygundur. Bu malzemenin yüksek absorpsiyon katsayısı sayesinde, güneş ışığının önemli bir kısmının absorbe edilmesi için çok ince bir tabaka yeterlidir [Andreev, 1997].

Bu pilin üretiminde öncelikle CdS ince bir Cu tabaka üzerinde buharlaştırılır ve Cu_2S tabakası yüksek sıcaklıkta bir iyon çözeltisi içine daldırılarak oluşturulur. Ek işlemler olmaksızın, buharlaşan tabakalar kadmiyum fazlalığı sebebiyle oldukça iletkenidir.



Şekil 2.5 Bir Kadmiyum Sülfid Güneş Pili Şeması

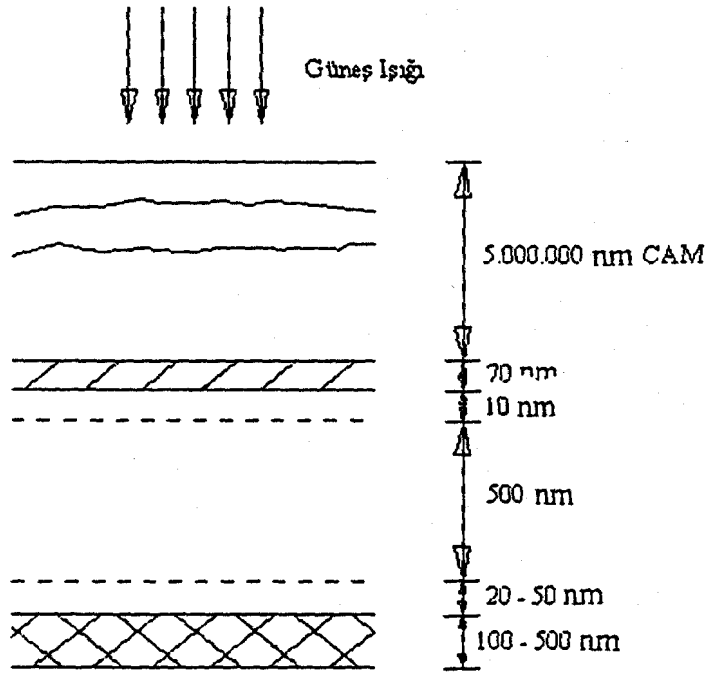
Cu_2S piller, oksijene ve su buharına karşı çok iyi korunmalı, ancak yansımayı önleyici bir tabaka ihtiyacının olmaması büyük bir avantajdır. Çünkü pil yüzeyi pürüzlüdür. Laboratuvar şartlarında bir $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ güneş piliyle yaklaşık %8.6'lık verim elde edilmiştir. Ayrıca 1.2 – 1.4 eV arası bir enerji boşluğuna sahip olan kadmiyum telürit (CdTe) güneş pilleri, %26 teorik dönüşüm verimi ile son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir [Andreev, 1997].

2.7.3. Amorf Silikon Piller

Şekil 2.6'da tipik bir amorf silikon güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu piller cam üzerine yerleştirilmiş üç ince tabakadan oluşmaktadır. Birinci tabaka, yaklaşık olarak 70 μm kalınlığındaki saydam iletkenidir. İkincisi, fotovoltaiik aktif olan amorf silikon tabakadır. Bu ikinci tabaka da üç alt tabakaya ayrılabilir. (1) 10 μm kalınlığındaki n – tipi kontak tabakası, (2) 500 μm kalınlığındaki gerçek tabaka ve (3) 20 – 50 μm kalınlığındaki n – tipi kontak tabakasıdır. En son tabaka ise 100 – 500 μm kalınlığında alüminyum veya yansıtma özelliği olan diğer bir tabakadır [Çolak, 1991].

Bir cm^2 alanlı amorf silikon güneş pilleri için elde edilen maksimum verim %3.5 olmaktadır. 2 – 5 μm kalınlığındaki çok kristalli silikon piller, amorf silikon pillerden en az %25 daha yüksek verimle çalışmaktadır. 100 cm^2 alanlı amorf silikon piller için maksimum verim %6.1'e kadar ulaşabilmektedir [Çolak, 1991].

Amorf silikon pilleri tek kristalli silikon pillerinden ayıran önemli özellikleri: amorf silikon pil malzemesinin hidrojen içermemesi ve kalınlığının, kristalli ve çok kristalli silikon pillerindeki 100 – 300 μm yerine sadece 1 μm olmasıdır. Bu pillerinin en büyük dezavantajı ise verimlerinin düşük oluşu, her yıl %5 verim kaybı oluşması ve ömürlerinin belirsiz olmasıdır [Çolak, 1991].



Şekil 2.6 Tipik Bir Amorf Silikon Güneş Pili'nin Yapısı

2.8. Güneş Pillerinin Verimi

Güneş ışığının fotonları aşağıdaki şekilde ifade edilen bir enerjiye sahiptir.

$$E_f = h \cdot f > E_g \quad (2.3)$$

Bu formülde ,

E = Fotonun enerjisi

f = Işığın frekansı

h = Plank sabiti

E_g = Yarı iletken malzemenin enerji bant boşluğu-genişliği

Işığın fotovoltaiik pil yüzeyine çarpmasıyla pil malzemesindeki elektronlar kovalent bağlarından koparlar. Farklı yarı iletken malzemeleri için, elektronların koptukları enerji bant genişlikleri de farklı olmaktadır. Silisyum için enerji bant genişliği değeri, $E_g = 1.4$ eV, diğer fotovoltaiik malzemeler için ise bu değer $0.6 - 2.6$ eV arasında değişmektedir [Backus, 1977].

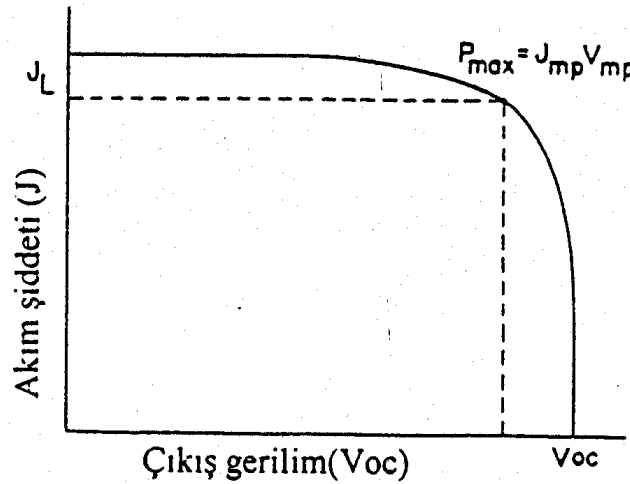
Bir elektron uyarıldığında, elektronun bulunduğu valans bandında oyuk (hole) adı verilen bir boşluk oluşur. Oyuğun yakınında bulunan bir elektron, bu oyuğu doldurur ve bu elektronun koptuğu valans bağında yine bir oyuk oluşur. Bu oyuk da başka bir elektron tarafından doldurulur ve proses böylece sürer. Fotovoltaiik pilde, yukarıda bahsedildiği şekilde elektronların birbiri ardısıra yaptıkları hareketler sebebiyle bir akım oluşur, fakat bu akım pozitif yüklü olarak gösterebileceğimiz oyukların ters yönde akışları şeklinde de ifade edebilir [Backus, 1977].

Fotovoltaiik pil kısa devre halinde iken, pilin p-n jonksiyonuna güneş ışığı düştüğünde, elektrostatik gerilim değeri karanlıkta iken olan değerinde kalır, ancak foton absorpsiyonu ile p ve n bölgelerinde oluşan ek azınlık

taşıyıcıları jonksiyona doğru ilerler. Bu azınlık taşıyıcılarının akışı, karanlık sürünme akımı ile aynı yöndedir ve akan net akıma güneş ışığının ürettiği kısa devre akımı (I_{sc}) adı verilir [Backus, 1977].

Güneş ışığına maruz bırakılan herhangi bir fotovoltaiik pile, bir dış yük bağlandığında, elektrik akımı oluşur ve faydalı güç elde edilir. Pilin gerilimi, açık devre değerinden daha az bir değere düşer, bu durumda pilin net akımı (I_L) ile pilin karanlık sürünme akımı (I_D) arasında fark oluşur. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilir [Backus, 1977].

$$I = I_L - I_D \quad (2.4)$$



Şekil 2.7 Fotovoltaiik Pilin Akım Gerilim (I-V) Karakteristiği

Bir fotovoltaiik pil kısa devre durumunda çalıştırıldığında, $R_L(\text{yük}) = 0$, $I = I_{sc}$ (kısa devre akımı) ve R_L Yüğüne net akım (I) aşağıdaki gibi aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$I = I_L - I_D \left(\exp \frac{qV_L}{kT} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Bu formülde ;

I = Net akım

I_L = Işık altındaki akım

I_D = Karanlıktaki akım

V_L = Yüke uygulanan verim

T = sıcaklık k = sabit

Açık devre durumunda , $R_L \Rightarrow \infty$ ve $V_L = V_{OC}$ olacağından,

$$V_{OC} = \left(\frac{qV_L}{kT} \right) \left(\frac{I}{I_D} + 1 \right) \quad (2.6)$$

Çıkış gücü ise, şu şekilde ifade edilir.

$$P_L = I^2 \cdot R_L \quad (2.7)$$

Güneş ışığı altındaki her fotovoltaik pilin, maksimum güç üretebileceği bir nokta mevcuttur. Bu maksimum güç aşağıda belirtilen şartın yerine getirilmesiyle elde edilebilir.

$$\frac{dP_L}{dR_L} = 0 \quad (2.8)$$

Fotovoltaik pilin maksimum gücü ise, şu şekilde ifade edilebilir.

$$P_{max} = I_{mp} \cdot V_{mp} \quad (2.9)$$

Maksimum güç çıktısını sağlayan gerilim (V_{mp}) ile açık devre gerilimi (V_{oc}) arasında aşağıdaki gibi bir ilişki bulunmaktadır.

$$\exp\left[\frac{qV_{mp}}{kT}\right]\left(\frac{qV_{mp}}{kI} + 1\right) = \exp\left[\frac{qV_{oc}}{kT}\right] \quad (2.10)$$

$$R_{Lmp} = \left(\frac{kT}{qI_D T_A}\right) \exp\left[\frac{-qV_{mp}}{k.T}\right] \quad (2.11)$$

Burada;

A : fotovoltaik pilin yüzey alanı (m²) olmaktadır.

Açık devre gerilimi ile ilişkili başka bir parametre de, gerilim faktörü (V_F) olarak adlandırılan ve Voc'nin enerji bant genişliğine (E_g) oranı ile bulunabilen katsayıdır.

Herhangi bir fotovoltaik pilden elde edilebilecek maksimum güç, pilin aydınlatılma durumundaki akım – gerilim eğrisinden elde edilebilen en büyük diktörtgenle belirlenir. Bu dikdörtgen yardımıyla belirlenen V_{mp} gerilimi ve I_{mp} akımı, doldurma (fill) faktörü (FF) olarak adlandırılan başka bir faktörü tanımlar

$$FF = \left(\frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_L}\right) \quad (2.12)$$

Burada I_L = I_{SC}'dir.

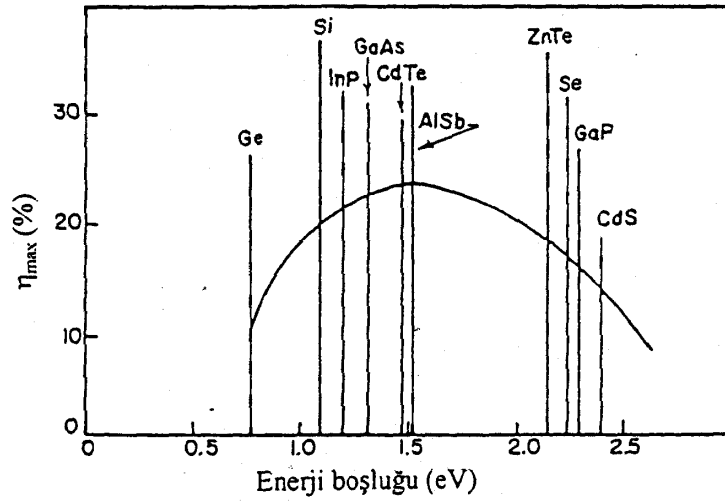
Bir p – n jonksiyonlu fotovoltaik pille elde edilebilen maksimum güç, V_{OC}, I_{SC} ve FF değerlerine bağlıdır. Sonuç olarak fotovoltaik pilin verimi, pilin çıkış gücünün girişteki güneş enerjisine oranıdır. Fotovoltaik pillerin, maksimum güç (P_M) noktasındaki teorik verimi;

$$\eta = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_g} \quad (2.13)$$

P_g = giriş enerjisidir.

$$\eta = \frac{E_g V_F FF I}{P_g} \quad (2.14)$$

Şekil 2.8'de çeşitli güneş pilleri için enerji boşluk değerleri ve maksimum teorik verimleri görülmektedir.



Şekil 2.8 Fotovoltaik Piller İçin Enerji Boşluk ve Maksimum Teorik Verim Değerleri [Backus, 1977]

Kayıpları da göz önüne alırsak, bir fotovoltaik pilin verimini etkileyen parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz: Açık devre akımı, kısa devre akımı ile akım ve gerilim kayıpları.

2.9. Güneş Paneli

Güneş paneli, içinde istenilen akım ve voltaj değerlerine ulaşmak amacıyla 36 adet seri ve paralel olarak bağlanmış güneş hücrelerini, elektrik bağlantılarının yapıldığı kabloları, ayrıca üst kısmında güneş ışığını yansıtmayan bir cam kaplamayı barındıran koruyucu bir sistemdir. Güneş pillerinin verimi sıcaklık, nemlilik gibi kriterlere bağlıdır. Bu parametrelerin artması durumunda verimlilik düşmektedir. Karlı mekan veya deniz kenarlarında yansımadan dolayı verim artışı olur.

2.9.1. Güneş Paneli Karakteristikleri

Standart olarak üretilen güneş panellerinden 17–18 V enerji elde edilmektedir. Bu değer güneş panelinin modeline göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak güneş ışınlarının hangi saatlerde yüksek enerjiyle dünya yüzeyine ulaştığı bilinmektedir; ancak fotovoltaiik bir diziden en iyi yararlanmak için 5 ile 8 saate ihtiyaç vardır. Panelin maksimum güç üretmesi için güneş ışınlarını en iyi yakalayacak şekilde yerleştirileceği ve maksimum yüzey açıklığının olduğu bir bölgenin seçileceğidir.

Türkiye’de sık kullanılan bazı güneş panellerinin karakteristikleri Çizelge 2.2 de açıklanmaktadır.

Çizelge 2.2 Türkiye’de kullanılan bazı ticari güneş paneli karakteristikleri

Kod	Pmax (W)	Akım (A) @Pmax	Gerilim (V) @Pmax	Uzunluk mm	Boy mm	Kalınlık mm	Ağırlık Kg
SBR05	5	0.29	17.0	275	231	17.0	0.75
SBR10	10	0.59	17.0	561	231	38.5	1.60
SBR20	20	1.18	17.00	532	448	38.5	3.00
SBR30	30	1.76	17.0	958	433	38.5	5.5
SBR45	45	2.64	17.0	1188	530	43.5	5.0
SBR55-S	55	3.05	18.0	825	530	43.5	5.0
SBR70	70	4.16	17.0	1188	530	43.5	7.5
SBR75	75	4.45	17.0	1188	530	43.5	7.5
SBR80-S	80	4.44	18.0	1188	530	43.5	7.5
SBR85-S	85	4.72	18.0	1188	530	43.5	7.5
SBR130-S	130	4.50	29.8	1350	805	40.0	13.0

3.RÜZGAR ENERJİSİ

3.1. Genel Bilgiler

Yeryüzü kabuğunun homojen tarzda ısınma ve soğuma davranışı göstermemesi nedeni ile, büyük hava kütleleri hareket etmek zorundadır. Bu hava kütlelerinin hareketine rüzgar denir. O halde rüzgar enerjisi güneş enerjisinin bir türevidir.

Bugün rüzgar enerjisi ile çalışan makinelerle: su pompalama, ev ısıtma ve soğutma, kurutma gibi işleri yapmak mümkündür. Büyük kapasiteli tesisler enter konekte sisteme elektrik enerjisi katkısında bulunmaktadır. Küçük tesisler ise kırsal kesime elektrik enerjisi götürülmesinde uygundur.

Aerogeneratör adı verilen rüzgar santralleri çevreyi kirletmemekte ve tükenmemektedir. Bu aygıtlar aşırı rüzgar akımlarını absorbe ettiklerinden bazı felâketleri de önlemektedir. Ancak kaynak kesikli olduğundan depolama alt sistemlerine gerek duyulmaktadır. Bu kaynağın kullanımı sağlıklı bir rüzgar hız ölçümü yapılmasına bağlı bulunmaktadır.

3.2. Rüzgar Gücünün Kullanım Nedenleri

2001 yılı itibari ile, ülkemizin mevcut enerji üretiminin yaklaşık %61'inin dışa bağımlı kaynaklardan karşıladığı göz önüne alınırsa, alternatif enerji kaynaklarının ülkemizin enerji ihtiyaçlarını karşılamada önemli rol oynaması kaçınılmazdır. Su ve kömür kaynaklarımızın sınırlı olduğuna göre, güneş, jeotermal ve güneş enerjisine yatırımlar yapmak zorunluluğu bir gerçektir.

Çizelge 3.1 Birincil enerji talebi karşılama oranları

YIL	YERLİ KAYNAKLAR	İTHALAT
1998	%39	%61
2000	%34	%66
2010	%29	%71
2020	%25	%75

Çizelge 3.2 Kişi Başına Enerji Tüketim Değerleri

YIL	Kişi Başına Genel enerji Tüketimi (kg petrol eşdeğeri)
1998	1170
2010	2300

3.3. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

3.3.1. Avantajları

- Temiz çevreyi kirletmeyen, yakıt parası olmayan bir enerjidir.
- Sürekli bir enerji kaynağıdır. Dışa bağımlılığı yoktur. Sadece yerel imkanlarla enerji elde edilir.
- Rüzgar enerjisinde ulaştırma masrafları yoktur. Doğadaki rüzgar direkt olarak kullanılabilir.
- Rüzgar türbinleri karmaşık makineler değildir. Gayet basit bir şekilde operatöre ihtiyaç duyulmadan çalışabilmektedir. Tamamen otomatik

olarak çalışabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Ayrıca bu şekilde sadece periyodik bakımlarının yapılması ile 20 – 30 yıla kadar çalışabilmektedir.

- Uzun dönem işletme masraflarının diğer tüm enerji kaynakları içinde en az olandır.
- Rüzgar türbinleri sanıldığıının aksine gürültü rahatsızlığı da vermezler. (Çizelge 3.2)
- Hava kirliliği yaratacak emisyon ve atık ısı oluşturmazlar. Rüzgar enerjisinin en büyük avantajı gerek sera etkisi gerekse hava kirleticisinin (CO_2 , SO_2 , NO_x gibi) diğer yöntemlere göre az olmasıdır.

Çizelge 3.3 karşılaştırmalı emisyon miktarları

Yakıt Cinsi	kWh başına düşen CO_2 miktarı (lb)	kWh başına düşen SO_2 miktarı (lb)	kWh başına düşen NO_x miktarı (lb)
Kömür	2.13	0.0134	0.0076
Doğalgaz	1.03	0.000007	0.0018
Petrol	1.56	0.0112	0.0021
Karışık yakıt ABD ortalaması	1.52	0.0080	0.0048
Rüzgar	0	0	0

Tablo 3.3'deki değerler A.B.D.'nde 1997 yılı verilerinden alınmıştır. Tek bir 750 kW' lık rüzgar türbini bir yıllık çalışma ile ortalama 12.5 – 13.4 mph hızda ve 10 m yükseklikte toplam 2697175 pound CO_2 , 14172 pound SO_2 ve 8.688 pound NO_x üretimine engel olmaktadır.

- Patlama yapmazlar ve radyasyon yaymazlar. Dolayısıyla tehlikeli değildirler.
- Çok yer kaplamazlar. Aksi gibi deniz üstü olarak denize kurulabilecek cinsleri karadan yer kazanmak maksadı ile kullanılabilirler.

- Artan petrol fiyatları, yeni çevre düzenlemeleri ve aniden ortaya çıkan başka maliyetleri olmadığı için vergi artırımını olarak yük olmaz.
- Atık üretimi söz konusu değildir.
- Yerli bir enerji kaynağıdır. Dünya enerji pazarlarından bağımsız olma özelliğine sahiptir.
- İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilebilmektedir.
- Rüzgar türbinleri modüler olup herhangi büyüklükte imal edilebilmekte, tek veya gruplar halinde kullanılabilmektedir. (Yılmaz, 2000)

3.3.2. Dezavantajları

- Rüzgar enerjisinin en büyük dezavantajı değişken olmasıdır. Yeryüzünde rüzgar hızının sabit olduğu yer çok azdır. Bu nedenle istenilen yere türbin kurulamaz.
- Bir çok türbin teknik olarak başarılı çalışma göstermesine rağmen, maliyetleri biraz yüksektir. Ancak, çevre ve sosyal şartlar bakımından ele alındığında rüzgar enerjisinin çevreyi kirletmediği açıktır. Türbin maliyetleri gün geçtikçe iyileşme göstermekte, zamanla fiyatlar diğer enerji kaynaklarıyla rekabet eder hale gelecektir.
- Rüzgar enerjisi elde etmek için kullanılacak ekipmanın çoğunun ithal edilmesi ve pahalı olması [Yılmaz, 2000].

3.4. Rüzgar Enerjisi ve Dizel Sistemler

Rüzgar türbini, evireç (inverter) ve küçük akü bankası ile bir dizel jeneratörü ile beraber çalışabilir. Rüzgar ve dizel sistemleri için;

1. Eğer mevcut bir dizel jeneratör varsa yakıt sarfiyatını azaltmak için kullanılabilir.
2. Rüzgar türbini ana ihtiyacı karşılamak veya çok düşük rüzgar zamanlarında rüzgar türbinine destek olmak için kullanılabilir.

Dünya üzerinde elektrik hattından uzak bölgelerin pek çoğunda dizel jeneratör kullanılmaktadır. KWh başına elektrik maliyeti, jeneratörün bakım masraflarına ve dizel jeneratörün verimine bağlıdır. Dizel jeneratörün ilk yatırım maliyeti azdır ve dizel teknolojisi dünya çapında çok iyi bilinen bir teknolojidir.

Eğer ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacı zaman zaman yüksek güçlere çıkıyor ve bu ihtiyaç günde bir kaç saatliğine oluyorsa, ortalama genel ihtiyacını rüzgar türbini yüksek güç ihtiyacında ise dizel jeneratörle karşılanabilir. Akü voltajını 220V alternatif akıma çeviren inverterin maksimum gücü aşıldığı zaman dizel jeneratör devreye sokulur. Çekilen yük inverterin gücü içersine girdiği zaman, belli bir süre sonra dizel jeneratör devreden çıkarılır. Jeneratörün verimini artırmak için çalıştığı süre içersinde aküleri şarj ederek rüzgar jeneratörüne destek olur. Akü yedekli rüzgar türbini + dizel jeneratör sistemi aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır.

1. Rüzgar türbini
2. Dizel jeneratör seti
3. Doğrultucu
4. Kontrol ünitesi
5. Akü bankası

6. Inverter

7. Dizel jeneratörün otomatik açma/kapama sistemi

Standart rüzgar türbinleri 20 watt – 25kW güçleri arasındadır. Daha yüksek güçler için iki veya daha fazla türbin paralel bağlanabilmektedir. Rüzgar türbinler 12, 24, 48 ve 120 V doğru akım üretebilmektedirler. Maksimum yükü karşılayabilecek bir dizel jeneratör seçilmelidir. Doğrultucu, dizel jeneratörden gelen alternatif akımı doğru akıma çevirir ve fazla gücü aküleri şarj etmek için kullanır. Gerekli olan akü bankası sistemin kurulduğu şartlara bağlıdır. Akülerin uzun ömürlü olabilmesi için şarj akımı, akü kapasitesinin %10undan fazla olmamalıdır. Ayrıca kapasitenin %40'ının altına inecek kadar aküler boşaltılmamalıdır (1.75V/hücre). Akü kapasitesinin %60'ının kullanılacağı düşünüldüğünde, 1kWh lik harcama örnek alınır; 24V doğru akım batarya grubu için $1000\text{Wh}/24\text{V} = 40\text{Ah}$ demektir. Buna göre, günlük akü kapasitesi $40/0.6=70\text{Ah}$ olmaktadır. Alternatif akım yükler için yeterli kapasitede bir evirece ihtiyac vardır. Piyasada mevcut olan evireçler genel olarak 12, 24, 48, 96 veya 120V DC girişlidir. Evirecin gücü devamlı ihtiyaç duyulacak maksimum güç kadar olmalıdır. Evirecin kendi maksimum gücünün iki katı kadar anlık güçleri karşılayabilmelidir. Çünkü elektrik motoru başlangıçta kendi anılan güçlerinin 3 – 4 katı güç çekmektedirler. Genellikle evireçler trapez dalga ile çalışırlar. Hemen hemen tüm ev ve ofis aletleri bu dalga ile çalışmaktadır. Ancak, bazı özel durumlarda örneğin ölçme aletlerinde tam sinüs akımına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru akımla çalışan cihazların rüzgar enerjisiyle birlikte kullanılması, çevirici kayıplarının hiç olmaması ya da çok az olması nedeniyle en verimli kullanım şeklidir [Yılmaz, 2000].

3.5. Ülkemizin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyelini ortaya koyacak kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizdeki 50 den fazla meteoroloji istasyonunda uzun yıllar yapılan rüzgar hızı ölçümlerinden, ülkemizin yaklaşık üçte birinde

bu enerjiden yararlanılabileceği tahmin edilmektedir. Hesaplardan 3 m/s den fazla rüzgar hızları dikkate alınmaktadır. Esasen rüzgarın sahip olduğu enerjinin en fazla %59.3 ünden yararlanılacağı teorik olarak hesaplanmaktadır. Ülkemizin özellikle Marmara, Güney Ege, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinin rüzgar enerjisi uygulamalarına uygun olduğu belirtilmektedir [Külünk ve Eyice, 1983].

Bu bölümde daha sonra gösterileceği üzere, rüzgardan elde edilen güç: rüzgar hızının kübü ve kanat yarıçapının karesi ile orantılıdır. Süpürülen birim alandan, birim zamanda üretilen enerjiye ise tesisin özgül iç kapasitesi denir ve bunun yüksek olması istenir. O halde rüzgar hız ölçümlerinin önemi ortadadır. [Külünk ve Eyice, 1983].

Ülkemizde yapılan meteorolojik incelemelerden, nispeten daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulan aylarda rüzgar hızının da arttığı anlaşılmaktadır. 34 yılı aşkın bir süreyle İstanbul Florya'da ölçülmüş aylık ortalama rüzgar hızı, optimizasyon hesaplarında kullanılmak amacıyla beşinci konuda yer almıştır.

3.6. Rüzgar Türbin – Jeneratörler Sistemleri ve Sınıflandırılması

3.6.1. Rüzgar Türbin Tipleri

Günümüzde bir kısmı ticari amaçlı olan değişik özellikte ve türde rüzgar türbinleri bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri dönme eksenlerine göre üç sınıfa ayrılır [Külünk ve Eyice, 1983]

3.6.1.1. Yatay eksenli türbinler

Dönme eksenli rüzgarın akım çizgilerine paralel olan türbinlerdir. Bunlar gaz türbinini andıran çok kanatlılardan, karşı ağırlıkla dengelenen tek kanatlı pervaneye kadar değişik tiplerde yapılmaktadır.

Yatay eksenli türbinlerin çoğu rüzgarı önden alacak şekilde (upwind) tasarlanmıştır. Rüzgarı arkadan alan (downwind) türbinler ise, yaygın bir kullanım alanları yoktur.

3.6.1.2. Düşey eksenli türbinler

Dönme eksenli rüzgarın akım çizgilerine dik olan türbinlerdir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savanius tipinde olanlardır. Bunlarda birincisi ilk hız alamaması ve bu nedenle uygun bir yardımcı sisteme ihtiyaç göstermesi, ikincisinin de veriminin düşük olması olumsuz yanlarıdır.

Nispeten daha pratik olan yatay eksenli türbinlerden, çok kanatlılar düşük devirlerde, tek ve birkaç kanatlılar ise yüksek devirlerde çalışmaktadırlar . Yine bu şekilden optimum devir sayısının altında ve üstünde tesis verimi düşmektedir. Devir sayısının düşmesi enerjinin yeterli olmaması, aşırı devir sayısı ve ise kanatların hava akımını engellemesi sonucunu doğurmaktadır ki ikisi de istenilmemektedir.

3.6.1.3. Eğik eksenli türbinler

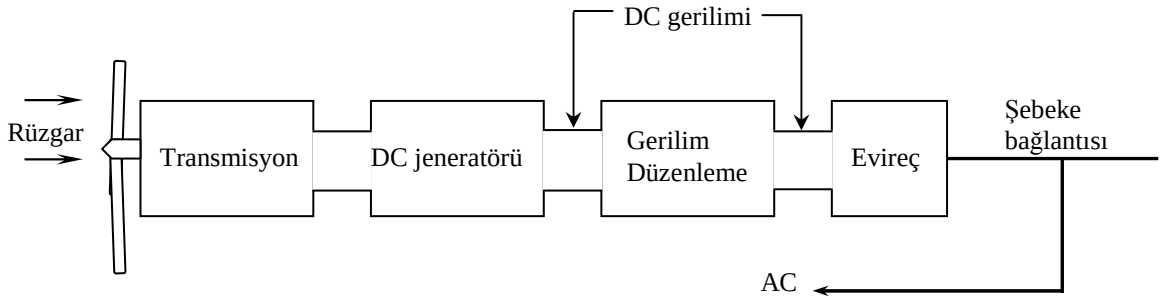
Dönme eksenleri, düşeyle rüzgar yönünde bir açı yapan türbinlerdir. Ayrıca, kanatlar ve dönme eksenli arasında da belirli bir açı bulunmaktadır. Yaygın bir kullanım alanı yoktur.

3.6.2. Jeneratör Tipleri

Jeneratör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir makinedir. Genel olarak tüm jeneratörler iki parçadan oluşurlar. Rotor ve stator. Stator tarafından bir manyetik alan oluşturulur. Rüzgar enerjisi üreten sistemlerde genellikle üç tip jeneratör kullanılır. Bunlar DC (doğru akım) jeneratörü, senkron alternatör ve indüksiyon jeneratörüdür.

3.6.2.1. Doğru akım jeneratörü

DC jeneratöründe oluşan gerilim hem hızla ve hem de akışla orantılıdır. Doğru akımı alternatif akıma çevirmek için bir dönüştüriciye ihtiyaç vardır. (2:1 oranında giriş açıklığı olan)



Şekil 3.1 DC jeneratör kullanan rüzgar enerjisi üretim sistemi

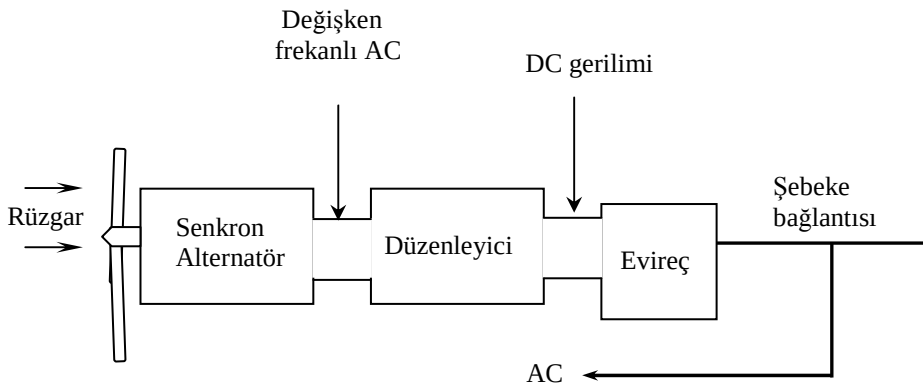
Bu 120 voltluk bir AC dönüştürücüsünün 50 – 100 voltluk bir giriş aralığında çalışmasına imkan tanımaktadır. Rüzgar hızı geniş bir aralıkta değişim gösterdiği düşünülürse, düzenleme yapmak için bir takım uygulamaların yapılması gereklidir. Jeneratör hızının düzenlenmesi, DC gerilimin özelleştirilmiş bir aralıkta sağlanmasına imkan tanıyacaktır. Hız düzenlemesi genel olarak kanatların hatvelerinin ayarlanması ile elde edilir.

Aktarma dişlileri sayesinde kanadın devir sayısı dakikada 50 – 100 devirden 1000 – 2000 devire yani jeneratörün ihtiyaç duyduğu seviyeye getirilir. Genel verim, kanatların cinsine, transmisyona, jeneratöre, düzenleyici devresi ve değiştiriciye bağlıdır.

3.6.2.2. Senkron alternatör

Senkron alternatör alternatif akım üretir. Gerilim frekansı, rotorun hızının ve kutup sayısının bir fonksiyonudur. Hız düzenlemesi ile, alternatörü direkt olarak şebekeye bağlanmasını sağlayan fazla ve frekansta bir değişiklik olacaktır. Alternatör çıkışı rektifiye edilir ve DC ye dönüştürülür. Elde edilen bu doğru akım, daha sonra hat frekansı çıkışı ile direkt olarak şebekeye bağlanan senkron değiştiriciye doğru beslenir.

Bu dizayn, alternatörün doğrudan rüzgar türbinine bağlanmasını sağlar. Böylece, dişli kutusuna olan gereksinimde ortadan kalkmış olur. Dişli kutusu masrafı ve verimi düşürmesi göz önüne alındığında enerji üretim sistemlerinin verimi kanatlara, alternatöre, rektifiye ve değiştiriciye bağlıdır.

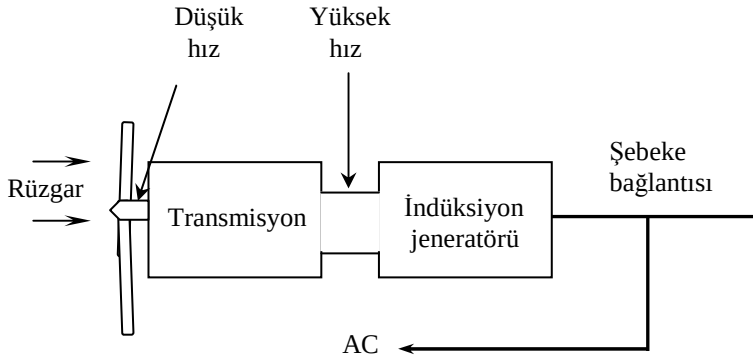


Şekil 3.2 Senkron Alternatör kullanan rüzgar enerjisi üretim sistemi

3.6.2.3. İndüksiyon jeneratörü

İndüksiyon jeneratörü, asenkron jeneratör olarak da bilinir. Makineyi tahrik etmek için aynı bir reaktif güç kaynağı vardır. Ayrıca senkron hızdan

daha hızlı çalıştırılmalıdır. Verim, kanat tipine dişli kutusuna ve jeneratöre bağlıdır.



Şekil 3.3 İndüksiyon Jeneratör kullanan rüzgar enerjisi üretim sistemi

3.7. Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinin Ekonomik Durumu

Ekonomik değerlendirme, yalnızca elektrik şebekesine bağlı, çalışma koşulları bilinen büyük rüzgar türbinleri için yapılmaktadır. Bu değerlendirme sonucunda rüzgar türbin tesisinin ekonomik olup olmadığı görülür. Küçük ve orta güçteki tesisler böyle bir değerlendirme için uygun değildir.

Farklı alternatifler arasında kıyaslama yapılırken, hangi ekonomik kavramın seçileceği konusunda karar verilmesi gerekir. Çoğunlukla 'şimdiki değer' olarak adlandırılan bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde, enflasyon oranı indirgeme işlemine katılır ve birçok yıla yayılmış olan yatırımların şimdiki değer cinsinden net maliyeti hesaplanmış olur.

Değişik kaynaklarla rüzgar arasında karşılaştırma yapılırken, elde güvenilir rakamların bulunmaması bir dezavantajdır. İngiltere'de endüstrisinin

özelleşmesi ile farklı kaynaklardan elde edilen elektriğin maliyeti yeni bir boyut kazanmıştır. Bu ülkede, termik santrallerden elde edilen elektriğin maliyeti yaklaşık olarak 0.06 ECU/kWh dir. Günümüzde rüzgar türbinlerinden elde edilen elektrik çok az bir miktar daha fazladır. Gelecek on yıl içerisinde fosil kaynaklardan sağlanan elektriğin maliyetinin düzenli olarak artacağı buna karşılık rüzgar enerji maliyetinin %20-25 oranda azalacağı beklenmektedir [Yılmaz, 2000].

Rüzgar enerjisinin günümüze kadar olan gelişimi şu şekilde karakterize edilebilir.

- 1980' lerden günümüze kadar rüzgardan üretilen elektriğin maliyetinde 3-4 katlık düşüş olmuştur. Şu anki maliyet 0.05-0.065 ECU/kWh tir.
- Ticari rüzgar türbinlerinin boyutu 22-55 kW' dan yaklaşık 750 kW' a artırılmıştır.
- Rüzgar türbinlerinin verimi 1981'de %60 iken, günümüzde %95-98 e varan bir gelişim göstermiştir.

4. GÜNEŞ-RÜZGAR HİBRİD SİSTEMLERİ

4.1. Giriş

Hibrid enerji sistemi birden fazla enerji sisteminin birlikte kullanılmasıdır. Bunlar güneş, rüzgar, dizel jeneratör setleri olabilir. Hibrid sistemler elektrik şebekesinden uzak olan bölgeler için ekonomik bir fırsattır. Doğru ve uygun yatırım büyüklüğü için etkili sistem yönetimi önemlidir. Sistemde kesin olmayan enerji sağlayıcıları, yük isteklerinin değişikliği bazı komponentlerin lineer olmayan karakteristikleri optimum işletme stratejileri ile optimum büyüklükteki hibrid sistem komponentlerinin birbirine bağlı olmasından bir karmaşa problemi ile karşılaşılabilir. Sistemin işletim stratejisi için uygun seçeneklerin araştırılması; hibrid sistem için optimum operasyon stratejisi yaklaşık bulgularla tasarlanmasını sağlar. Bazı zaman periyotlarında tahmini hava ve yük durumu ile uzun vadeli sistem komponent karakterleri araştırılır.

İşletme giderleri değerlendirilir ve komponent büyüklükleri optimum araştırma kurallarına göre dizayn algoritması ile değiştirilir. Optimum sistem konfigirasyonu verilen bölge ile uygulama gereksinimleri için optimum işletim stratejisi ile algoritmik olarak seçilir.

4.2. Hibrid Sistem Yaklaşımı

Elektrik ağının uzak bölgelere ulaşması zor olmaktadır. Bu boşluğu bir hibrid sistem “şebekesiz enerji sağlamak için” güneş, rüzgar enerjileri ve dizel jeneratör seti kombinasyonu ile doldurulabilir. Bu sistemler üretim için güç sağlarlar. Etkin maliyet, güvenli dizayn ve uygun işletim bu sistemler için önemlidir. Uygun kapasitede kurulan ve etkili işletilen tesis, uzun vadede

kendi kendini işleten bir sistem olur. Kullanılan jeneratör ve bataryaların ömrünü uzatmak, işletim aralıklarını daha iyi tayin etmekte başarılıdır.

Dizayn ve optimizasyon kontrol problemi, problemin kompleksliği ve lineer olmayan komponent karakteristikleri nedeni ile çözümünü zorlaştırır. Bu operasyon kontrol problemi literatürde “Ekonomik güç üretim problemi” olarak adlandırılır [Papalexopoulos,1993]. Kararlı hal, işletme gereksinimlerini özelleştirmek için ve objektif fonksiyon konularını minimize etmek için uygun kontrollerin ayarlanması ile başarılıdır. Optimum işletme kontrol probleminin çözüm zorluğu, problemin boyutlarında yatar [Jansen, 1993]. Kontrol stratejileri Barley’ in çalışmalarında ileri sürdüğü regülatör set ve devrelerinin ayarlanması ile tamamlanır. Optimum kontrol kararları ve kontrol operasyon stratejilerinin her ikisi yansımali alan operasyonu ile modellenir. Bu sistemlerin çözümü için genetik algoritmaların en uygun olduğu anlaşılmıştır [Seeling – Hochmuth, 1997].

4.3. Hibrid Sistem Dizaynı

4.3.1. Amaçlar

Geliştirilen dizayn algoritmalarının amacı iki kademelidir.

1. PV hibrid sistem komponentlerinin büyüklüğü.
2. PV hibrid sistemin işletme kontrolü.

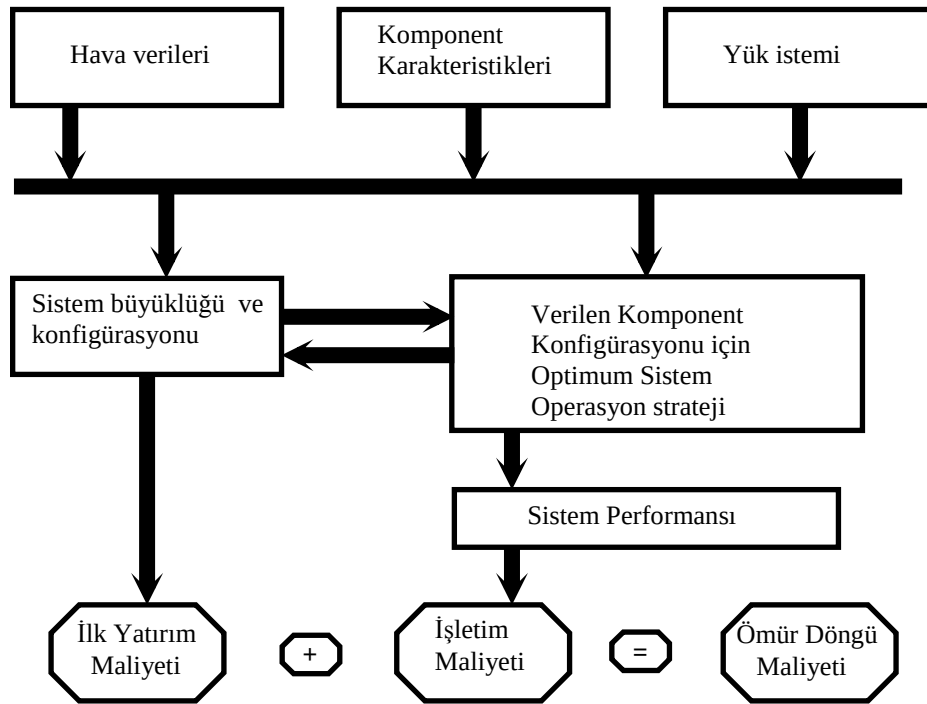
Uygun sistem dizaynı ve operasyon kontrolü;

1. Ömür döngü (life cycle) fiyatları.
2. Güvenli sistem işletim garantilerini.

minimize eder. Diğerleri ise sistem komponentlerinin ekonomisi, işletimi, yerine konması ve bakım ihtiyaçlarıdır.

İşletim maliyetlerinin düşürülmesi ve talebin karşılanma zorluğu, uygun sistem konfigürasyonu ile birlikte uygun stratejinin seçilmesi ile giderilir.

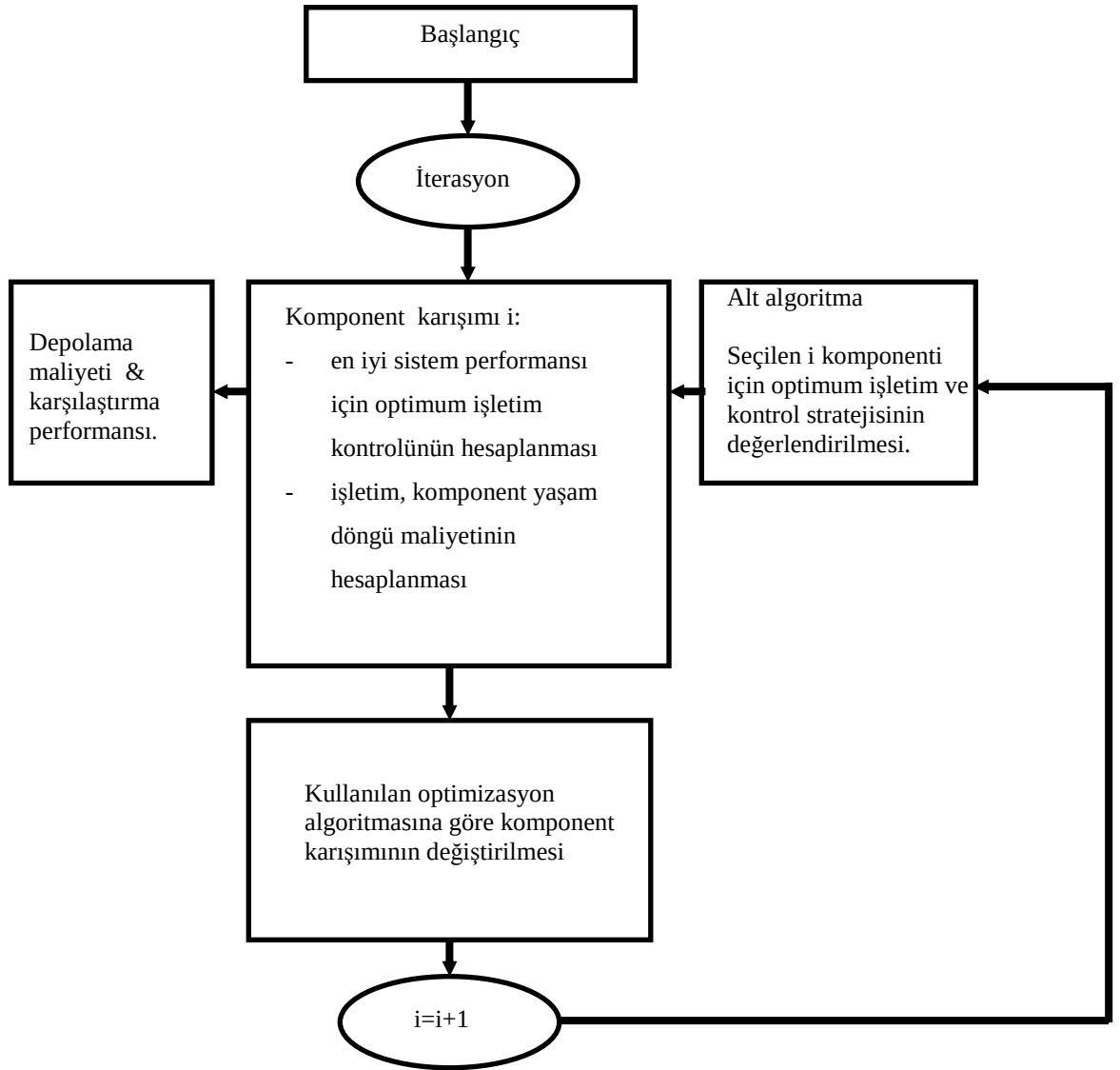
Operasyon stratejisi elile adapte edilebilir ve komponent sayısı ile yaşı düşürülerek seçilen sistemin performansı yükseltilir. Hibrid sistemin büyüklüğü ana algorithmada gösterilmektedir [Seeling – Hochmuth, 1997].



Şekil 4.1 Sistem büyüklüğü (sizing) ile işletim stratejisi ilişkisi

Başlangıç sistem düzeni için, sistem komponent karışımları ve konfigürasyon modelleri gösterilir. Karar değişkenleri, kontrol setleri, uygun tesisat yükseklikleri ve açıları, komponent sayısı, PV, rüzgar, batarya, kablo, dizel jeneratör kapasitesi ile ilgilidir.

Sistemin komponent karışımı başlangıçta rasgele seçilir. Kontrol düzenleri ve operasyon strateji giderleri kesin komponent karışımı için alt algoritmalarda araştırılır ve ana algoritmaya geçilir.



Şekil 4.2 Sistem komponent seçimi için algoritma

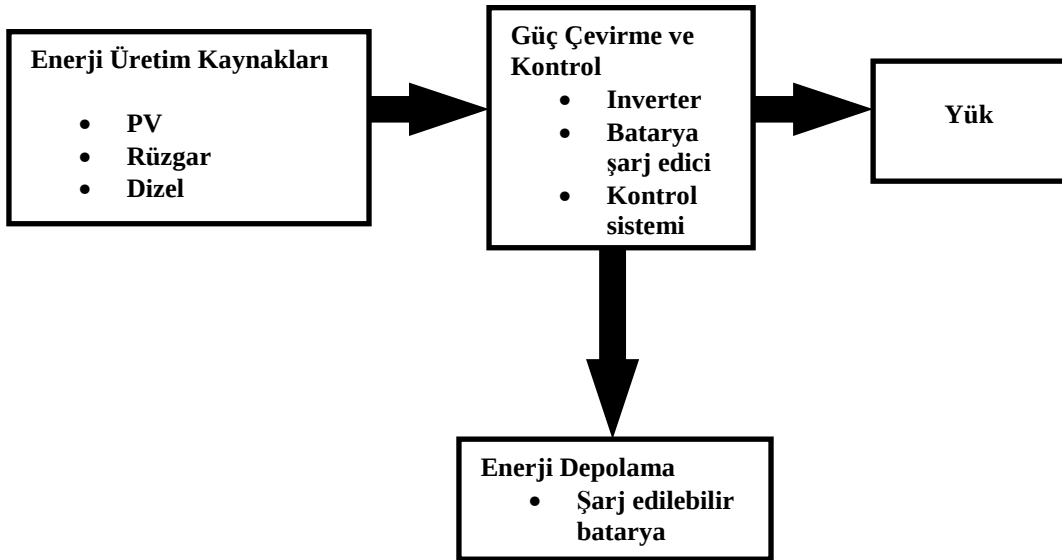
4.3.2. Hibrid Sistem Modeli

Hibrid sistem için kullanılan kantitatif model aşağıdaki elemanları içerir.

1. Karar değişkenleri (decision variables) : Karar değişkenleri modelin çözülmesi ile kararlaştırılır. Karar değişkenleri komponent sayısı, komponent numaraları, düzen setleri ve işletme kararlarını içerir. Batarya sarj veya deşarj akımı (x_{bat}), dizel çıkış gücü (x_{dizel}), switch pozisyonları(x_{Si}) , devir değişkenleri (x_{Ri}) dir
2. Objektif fonksiyon : Objektif fonksiyon, karar değişkenlerindeki değerlerin değişimi ile değişir. İstenen kararın sonucu objektif fonksiyon ile ölçülür. Bu yaklaşım objektif fonksiyonu tanımlar. a) başlangıç ekipman maliyeti ve b) yakıt ve diğer işletme maliyetleri. Maliyet – kazanç hesaplarına göre proje plan periyodunda hesaplanır. [Marrison and Seeling-Hochmuth,1997]
3. Kısıtlamalar : Sistem üzerindeki fizisel, yerel, sosyoekonomik, teknolojik kısıtlamalar karar değişkenleri için bir daralmaya yol açar. Kısıtlamalar verilen yaklaşımda bataryanın teknik karakteristikleri, dizel işletimi ve arz ile talep karşılaştırılmasında verilmiştir.

PV-Rüzgar hibrid sistemi, bölgenin hava verileri, komponent verim karakteristikleri, açılar ve yükseklik gibi kurulum detaylarıyla enerji verimi, Schuhmacher' in modeli temel alınarak hesaplanır.

4.3.3. Sistem Komponentleri



Şekil 4.3 Hibrid sistem komponentleri

4.3.3.1. Batarya bankası

Bu sistemlerde şarj edilebilir batarya kullanılır : Nikel – Kadmiyum, Nikel – Demir ve Kurşun asit . Nikel kadmiyum üniteleri mükemmel hizmet ömrü ve bozulmaya karşı yüksek direnç sahiptirler ancak düşük şarj verimi, yüksek fiyatı, kendi kendini boşaltması (self-discharge), aşırı su tüketimi ve çevre açısından etkileri dezavantajdır. Birçok ülkede bu bataryalara karşı kısıtlamalar getirilmiştir. Nikel – Demir bataryaları yine yüksek deşarj oranı, aşırı su tüketimi ve düşük şarj verimi sebebiyle tercih edilmemektedir. Buna karşın Kurşun asit bataryalar, yüksek ölçekte uygulamalarda kabul görmektedir. En verimli ve diğerlerine göre düşük maliyetleri kullanımda ön plana çıkmalarında başlıca sebeptir. Nikel bazlı bataryaların dörtte biri fiyatındadır.

Bu çalışmada da kullanılan kurşun asit bataryaların ömrü 15 yıla kadar çıkmaktadır. Bu bataryalar hava koşullarından hiçbir şekilde etkilenmezler ve çok defa dolup boşalabilme (deep cycle) özelliğine sahiptir. Performans kaybı olmadan %70-80 boşaltılabilirler ve bunu da en az 1000 – 1500 defa tekrarlayabilirler.

Türkiye’de kullanılan bazı bataryaların özellikleri çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Türkiye’de kullanılan bazı bataryaların karakteristikleri

Ürün Kodu	S190	S240	S400	S550	S650	S750	S900
C12-Ah	100	200	310	425	505	580	700
C120-Ah	195	245	400	550	660	750	915
Derinlik (mm)	103	103	124	124	145	145	166
Genişlik (mm)	206	206	206	206	206	206	206
Yükseklik (mm)	403	403	403	519	519	519	519
Kuru Ağırlık (kg)	8.5	10.5	15.2	22.9	22.9	26.3	30.7
Elektrolitli ağırlık (kg)	13.6	15.2	20.3	31.5	31.5	37.0	43.7

Ürün Kodu	S1200	S1500	S2100	S2500	S3000	S3750	S4400
C12-Ah	960	1190	1650	1950	2280	2950	3500
C120-Ah	1240	1545	2120	2545	3075	3830	4500
Derinlik (mm)	191	233	275	275	399	487	576
Genişlik (mm)	210	210	210	210	210	212	212
Yükseklik (mm)	694	694	844	844	820	820	820
Kuru Ağırlık (kg)	42.5	51.6	71	76.1	104	128	152

Elektrolitli ağırlık (kg)	590	73.7	104	112.2	150.6	185	220.0
Derin Deşarj Miktarı (%10 %50 %75)	6500-2400-1350 defa						
Hücre voltajı	12V						
Çalışma Sıcaklığı	-17 °C ile +50 °C arası						
Otomatik Deşarj	20 °C de %2-3 30 °C de %4-5						

Bataryalar paralel ve seri bağlama yöntemi ile değişik voltaj değerlerine sahip olabilirler.

4.3.3.2. Dizel jeneratör

Dizel jeneratör yenilenebilir enerji kaynaklarını takviye etmekte kullanılan en uygun enerji kaynağıdır. Bu üniteler, içten yanmalı motor ve alternatif akım üreten bir alternatörden oluşur. Doğru akım üretebilirler ancak yaygın değildir. Yük faktörü %60-70 in üzerinde tutulmalıdır.

Değişik dizel büyüklükleri için işletme sırasında yakıt sarfiyat maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır.

Yakıt maliyeti = maliyet / litre . kullanılan litre

$$= \text{maliyet / litre} \cdot \sum_{t=t_0 \dots T} (\text{litre}(I_{\text{dizel}}(t) \cdot U_{\text{ac}}) \cdot \text{corr}_{\text{factor}}) \quad (4.1)$$

$\text{corr}_{\text{factor}}$ ilk hareket için gerekli yakıt artış faktörüdür. Düşük kapasitelerde soğuk dizelin sarfiyatı normal çalışma şartlarından daha yüksektir.

4.3.3.3. Inverter

Inverterler standart elektronik ekipmanlardır ve pek çok kullanım alanı vardır. PV, rüzgar veya bataryadan gelen doğru akımı, sistemde gereken alternatif akım ihtiyaçlarını karşılamak için alternatif akıma çeviren

cihazlardır. Inverterlerin verimi nominal çıkış gücünün maksimum olduğunda genellikle yük akımına bağlıdır. Verim %95'e kadar çıkabilir ancak düşük yüklerde %75-80 lere düşebilir. Inverterler başlıca üç kategoride sınıflandırılabilirler. Değişken frekanslı inverterler, frekansı kendiliğinden sabitleyen inverterler, doğrusal sabitlenen inverterler.

4.3.3.4. Kontrol sistemi

Etkili kontrol sistemleri, komponentlerin sistem açısından daha verimli çalışmalarını ve daha uzun ömürlü olmalarını sağlar. Bu birimlerin kontrol alanları

1. Şarj voltajının en üst limiti
2. Düşük voltajda, bağlantı kesme
3. Yük tekrar bağlantı voltaj değeri

Bu sistemler şönt veya seri olarak dizayn edilebilirler. Bu dizaynlar lineer ve sviçli sistemler olarak alt kategorilere ayrılabilir. Lineer olanlar, sabit voltaj şarj rejimini sağlarlar, anahtarlı (switch) olanlar PV-rüzgar akımını kesme prensibine göre çalışırlar.

Kontrol ünitesinin başlıca fonksiyonu bataryaların en uygun şartlarda şarj ve deşarj edilmesi, sıcaklık ayarları, yıldırım kontrolü, farklı koruma / sigorta sistemleri, monitöre farklı alarmları yollaması, rüzgar türbinleri ve güneş panellerinden gelen tüm verileri kaydetmesi ve monitöre göndermesi olarak özetlenebilir.

5. MODEL VE OPTİMİZASYON

Bu bölümde, Kuzey Marmara bölgesinde hibrid enerji ile çalışan bir magnet elektrik motoru ile 24HP gücünde bir botun çalıştırılması analiz edilmiştir. Bu amaçla sistemin matematik modellemesi yapılmış, uygun konfigürasyonlar saptanmış ve sistemin minimum maliyetle kurulabilmesi için optimizasyon yapılmıştır.

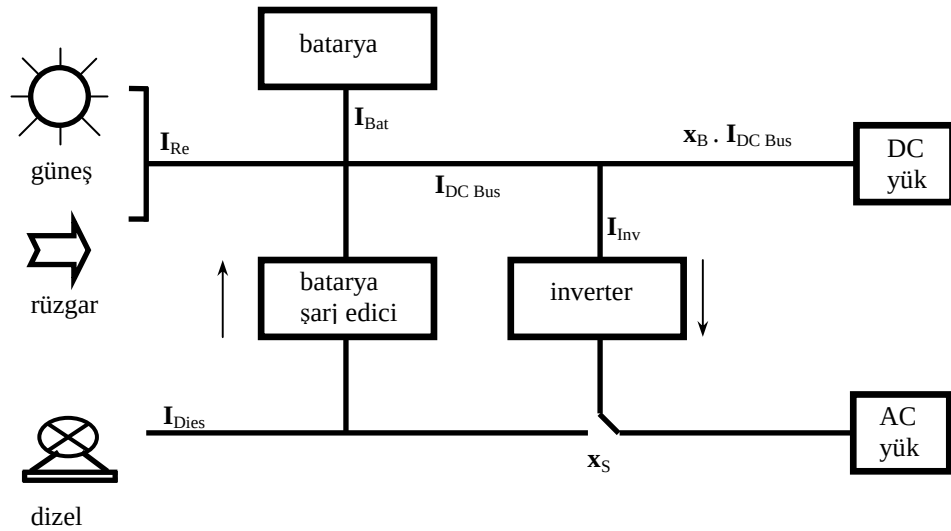
5.1. Model

Model olarak 12m boyunda, 24HP gücünde bir palamar botu alınmıştır. Bu bot tersane içinde gemi manevra işlemlerinde ve çeşitli bölgelerdeki bakım onarım işlemleri için personel taşımacılığında kullanılmaktadır. Botun işletim süreleri, günlük mesai boyunca sürekli olmamakla beraber periyodik görev yapmaktadır. Personel ve malzeme taşımacılığında kullanıldığı için kapalı mekanları bulunmaktadır. Bu alanlar güneş pillerinin montajı için uygundur. Yük hesaplarında, botun günlük ortalama 4 saat çalıştığı kabul edilmiştir.

5.2. Sistem Konfigürasyonu

Pervaneden alınmak istenen güç, hibrid sistem tarafından karşılanacak yükü (24HP) oluşturmaktadır ve sabit kabul edilmiştir. Güneş pilleri ve rüzgar türbini güvertede uygun açı ve yüksekliklerde yerleştirilir. Sistemde düşük meteorolojik veriler sebebiyle oluşacak enerji açığını karşılamak ve sabit olmayan çalışma süreleri için sisteme batarya grubu ilave edilir. Ayrıca hibrid sistemin yeterli enerji üretemediği anlarda devrenin yükünü karşılamak için bir back-up jeneratör yerleştirilir. Devrede çalışan AC yükleri karşılamak için inverter, bataryaların şarj/deşarj kontrolü, sistem verimini yükseltmek amacıyla gerekli kontrol edici ve diğer komponentler kullanılır. Sistemin konfigürasyon şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.

Sistem Konfigürasyon Blok Şeması (dış)



Şekil 5.1 Sistem Konfigürasyon Şeması (Dış)

5.3. Teknik Veriler

5.3.1. Fotovoltaik Modül

Teknik özellikleri verilen güneş panelleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Çizelge 5.1 de PV modül teknik karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 PV modül karakteristiği (Manolakos et al)

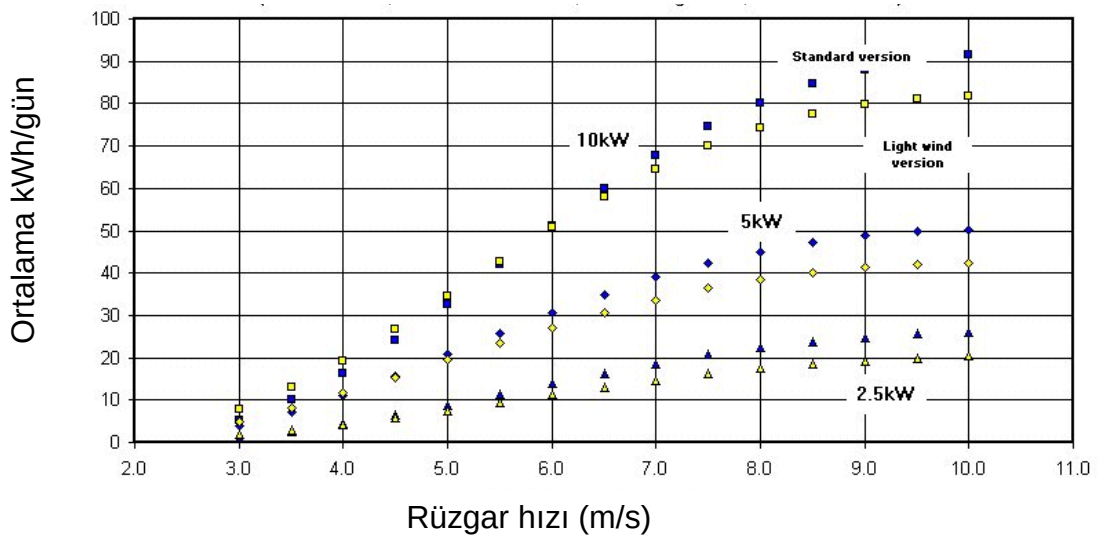
Nominal Gücü	85W
En yüksek güçteki voltaj	18V
En yüksek Güçteki akım	4.72A
Kapalı devre akımı	5.0A
Açık devre voltajı	22.03V
Minimum güç	80W
Boyutları	1188x43.5x530 mm

BU SAYFADA SİSTEM ŞEMASI VAR (YATAY)

Şekil 5.2 Sistem Konfigürasyon Şeması (İç)

5.3.2. Rüzgar Jeneratörü

Rüzgar jeneratöründen elde edilen gerçek güç, üretici tarafından verilen karakteristik eğriler kullanılarak elde edilir. Üretici firma tarafından verilen 2.5, 5, 10kW'lık jeneratör karakteristik eğrileri Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 2.5, 5 ve 10kW'lık rüzgar jeneratörü karakteristik eğrileri.

5.4. Hibrid Enerji Sistem Optimizasyonu

5.4.1. Optimizasyon Prosedürü

Optimizasyon prosedürü, üretilen optimal güç yüzdesi baz alınarak, her bir enerji sistemi (rüzgar veya güneş) için yapılır. Optimizasyonun amacı hibrid sistemin, belirlenen güç talebini (yük) minimum maliyetle karşılamak için konfigürasyonu belirlemektir.

Hibrid rüzgar – güneş sistemi, güneş pili alanı ve rüzgar türbini kullanılarak, matematiksel formülizasyonu ve optimizasyon prosedürü aşağıda anlatılmıştır.

- 1) Saatlik hesaplanan PV (fotovoltaik) güç (P_{SC}) aylık ışıltık şiddeti kullanılarak hesaplanır.

$$P_{SJ} = S_J \cdot \eta \cdot A_{PV} \quad (5.1)$$

burada; η sistem verimi, A_{PV} fotovoltaik pil alanını göstermektedir. Sistem verimi η ise

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_{PC} \cdot P_F \quad (5.2)$$

formülüyle bulunur. Modül verimi η_M Evans tarafından ortaya konan

$$\eta_M = \eta_R \cdot [1 - \beta (T_C - T_R)] \quad (5.3)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eşitlik 5.2 ve 5.3’de kullanılan η_R modül referans verimi, η_{PC} güç şartlandırma verimi, P_F paketleme faktörü, β array verim sıcaklık katsayısı, T_C aylık ortalama hücre sıcaklığı ve T_R hücre verimi için üretici firma tarafından verilen referans sıcaklık değerini göstermektedir.

- 2) Rüzgar türbini sisteminden elde edilebilecek maksimum güç, mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşme verimi %100 kabul edilerek;

$$P_W = 0.593 (0.5 \rho A v^3) \quad (5.4)$$

Bu denklemde A rüzgar türbininin rotor yanal alanı, v rüzgar hızını (m/s) ρ ise rüzgar yoğunluğu (kg/m^3)

Elde edilen gerçek güç ise rüzgar türbininin karakteristik eğrilerine bağlı olarak bulunabilir.

3) Aylık elde edilen rüzgar – güneş hibrid güç;

$$P_{ij} = P_{Sj} \cdot X_i + P_{Wj} (1 - X_i) \quad (5.5)$$

formülü ile bulunur. Bu denklemdeki P_{Sj} saatlik hesaplanan j ayında elde edilen güneş gücü, P_{Wj} saatlik hesaplanan j ayında elde edilen rüzgar gücü, X_i ise aylık güneş enerji yüzdesidir.

4) Kullanılacak batarya kapasitesi hesaplanırken, toplam enerji depolama gereksinimi (Q), günlük depolama gereksinimi (Q_1), aylık depolama gereksinimi (Q_2) ve yıllık depolama gereksinimi (Q_3) nin toplanması ile hesaplanır.

Q_1 güneşsiz ve/veya rüzgarsız günlerde hibrid enerji yetersizliğini gidermek, Q_2 bulutlu günlerdeki gereksinimi karşılamak ve Q_3 ise düşük enerji elde edilen aylardaki gereksinimi hesaplamak için gereklidir. Minimum batarya kapasitesi yükü karşılamak için bir yıl göz önüne alındığında ;

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.6)$$

Günlük depolama Q_1 , günlük yük L, batarya kapasitesi F ve güneşsiz/rüzgarsız saat oranı E ile doğru orantılıdır.

$$Q_1 = E \cdot L \cdot F \quad (5.7)$$

Aylık batarya kapasitesi Q_2 , yük L, bir ay içinde oluşan rüzgarlı gün sayısı C, rüzgar gücündeki yetersizlik ve güneş/rüzgar oranına bağlı olarak;

$$Q_2 = F [C \cdot L \cdot X_i + Q_{2w} \cdot (1 - X_i)] \quad (5.8)$$

Yıllık depolama gereksinimi Q_3 ise

$$Q3=30.F.PD \quad (5.9)$$

Minimum güç (PD) hibrid enerji üretimi ile yük arasındaki fark baz alınarak;

$$PD = \min \left\{ \max \left[\sum_{j=k}^{12+k} (P_{ij} - L) \right] \right\}_{i=1,11} \quad (5.10)$$

Bu denklemdaki toplam yılın tüm ayları için yapılır. Maksimum enerji depolama değeri k başlangıç ayı değiştirilerek hesaplanacaktır. Minimum enerji depolama karşılanacak şekilde, güneş rüzgar güç oranı (Xi) %0 dan %100 arasında %10 luk artımlarla değiştirilerek optimum hibrid sistem hesaplanır.

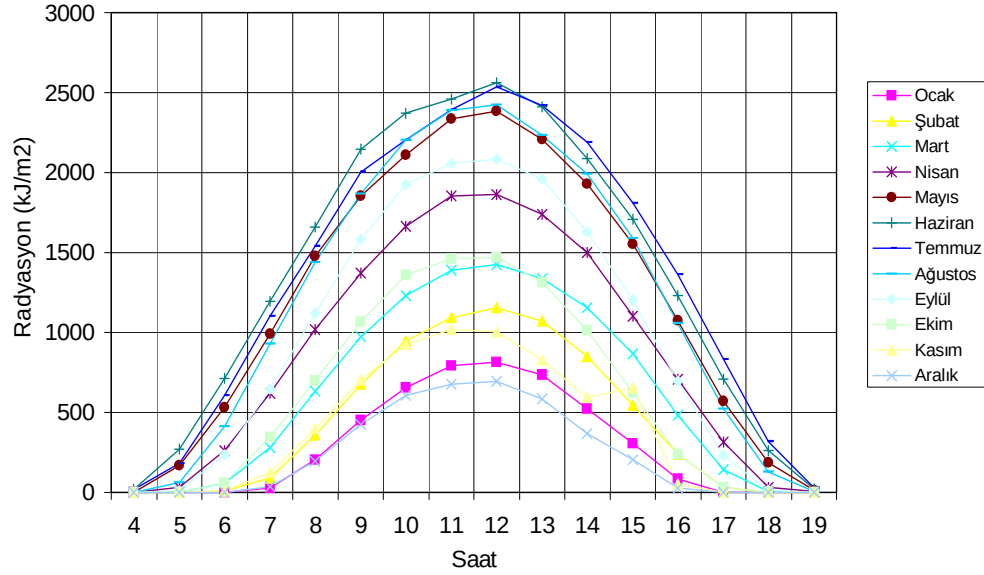
5.4.2. Modelin Optimizasyonu

Fotovoltaik pilin bir metrekaresinden üretilebilecek gerçek gücün hesaplanabilmesi için öncelikle bölgenin ışınım şiddetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 5.2 Aylara göre saatlik güneş radyasyonu [Tırıs ve Tırıs, 2000].

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04 – 05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05 – 06	0,0	0,0	0,0	29,6	168,2	270,9	182,2	62,8	8,0	0,0	0,0	0,0
06 – 07	0,0	7,6	57,6	262,7	532,0	712,7	604,8	411,9	233,0	59,4	8,2	0,0
07 – 08	25,7	90,0	279,0	617,9	990,0	1195,0	1102,0	931,2	644,0	343,8	125,7	35,4
08 – 09	201,5	358,8	632,5	1016,5	1476,6	1658,8	1538,6	1439,5	1120,2	697,6	398,9	194,3
09 – 10	452,5	675,7	971,8	1371,3	1852,3	2145,9	2002,5	1866,9	1585,6	1066,5	702,5	425,3
10 – 11	653,6	947,6	1231,2	1665,2	2108,8	2371,7	2203,7	2204,7	1923,2	1359,8	922,6	604,4
11 – 12	791,0	1092,9	1388,2	1854,2	2337,5	2461,4	2392,4	2390,7	2055,5	1461,5	1016,7	675,0
12 – 13	813,7	1156,5	1423,7	1862,0	2384,6	2561,4	2534,6	2423,2	2082,4	1468,5	1003,6	694,8
13 – 14	733,5	1069,7	1336,2	1739,0	2206,7	2411,6	2418,2	2233,4	1959,2	1313,2	829,6	582,4
14 – 15	522,9	850,7	1152,9	1501,5	1930,2	2090,2	2192,4	1990,7	1629,1	1013,0	591,9	368,4
15 – 16	306,2	543,6	867,5	1100,3	1553,4	1709,6	1808,8	1589,5	1201,4	625,4	655,2	202,2
16 – 17	83,7	239,3	480,5	708,0	1075,6	1231,1	1364,4	1056,8	696,9	237,7	53,0	27,4
17 – 18	0,0	31,4	142,9	314,1	568,8	709,0	830,5	521,2	228,4	29,2	0,0	0,0
18 – 19	0,0	0,0	5,3	29,9	185,5	261,2	317,0	126,8	13,6	0,0	0,0	0,0
19 – 20	0,0	0,0	0,0	4,9	14,4	22,7	26,4	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0

Saatlik ve günlük Kuzey Marmara güneş ışınlm şiddeti (Insolation) hesaplamalarında Çizelge 5.2 de verilen veriler kullanılmıştır



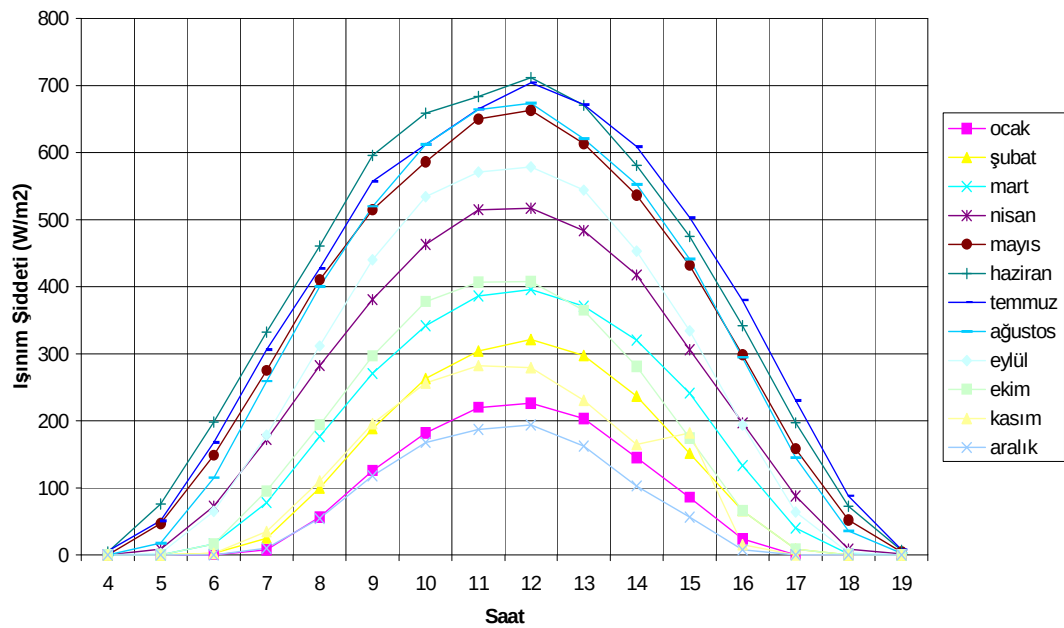
Şekil 5.4 Saatlik ortalama güneş radyasyonu (Kuzey Marmara)

Bu çizelgede ifade edilen değerler metre kareye düşen enerji miktarıdır (kJ/m^2). Günlük ışınlm şiddeti bu veriler kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 5.5’de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3 Aylara göre saatlik ışınlm şiddeti

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04 – 05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05 – 06	0,0	0,0	0,0	8,2	46,7	75,3	50,6	17,4	2,2	0,0	0,0	0,0
06 – 07	0,0	2,1	16,0	73,0	147,8	198,0	168,0	114,4	64,7	16,5	2,3	0,0
07 – 08	7,1	25,0	77,5	171,6	275,0	331,9	306,1	258,7	178,9	95,5	34,9	9,8
08 – 09	56,0	99,7	175,7	282,4	410,2	460,8	427,4	399,9	311,2	193,8	110,8	54,0
09 – 10	125,7	187,7	269,9	380,9	514,5	596,1	556,3	518,6	440,4	296,3	195,1	118,1
10 – 11	181,6	263,2	342,0	462,6	585,8	658,8	612,1	612,4	534,2	377,7	256,3	167,9
11 – 12	219,7	303,6	385,6	515,1	649,3	683,7	664,6	664,1	571,0	406,0	282,4	187,5
12 – 13	226,0	321,3	395,5	517,2	662,4	711,5	704,1	673,1	578,4	407,9	278,8	193,0
13 – 14	203,8	297,1	371,2	483,1	613,0	669,9	671,7	620,4	544,2	364,8	230,4	161,8
14 – 15	145,3	236,3	320,3	417,1	536,2	580,6	609,0	553,0	452,5	281,4	164,4	102,3
15 – 16	85,1	151,0	241,0	305,6	431,5	474,9	502,4	441,5	333,7	173,7	182,0	56,2
16 – 17	23,3	66,5	133,5	196,7	298,8	342,0	379,0	293,6	193,6	66,0	14,7	7,6
17 – 18	0,0	8,7	39,7	87,3	158,0	196,9	230,7	144,8	63,4	8,1	0,0	0,0
18 – 19	0,0	0,0	1,5	8,3	51,5	72,6	88,1	35,2	3,8	0,0	0,0	0,0
19 – 20	0,0	0,0	0,0	1,4	4,0	6,3	7,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0

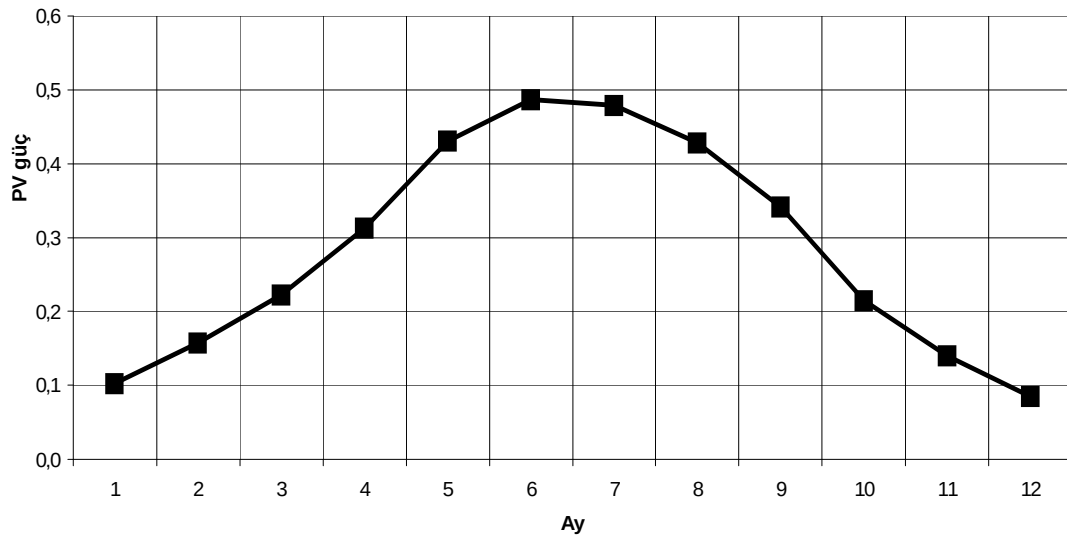
Bölüm 5.1’de bahsedilen Denklem 5.1’den yararlanılarak m^2 başına düşen günlük güneş enerji üretimi hesaplanarak Çizelge 5.4 ve Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Aylara göre saatlik ışınlm şiddeti (Kuzey Marmara)

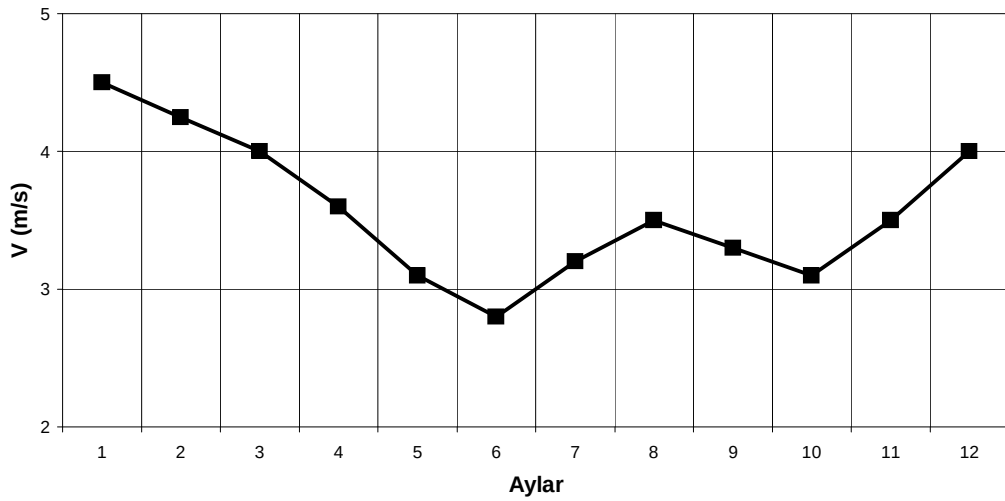
Çizelge 5.4. Bir metrekare güneş pili başına hesaplanan enerji üretimi (Kuzey Marmara)

Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Işınım Şiddeti kWh/m ² /gün	1274	1962	2774	3910	5385	6086	5982	5349	4272	2688	1752	1058
Güneş Enerji Üretimi Wh/m ² /gün	152,8	235,5	332,9	469,2	646,1	730,3	717,8	641,9	512,7	322,5	210,3	127,0



Şekil 5.6. Bir metrekare güneş pili başına elde edilen enerji üretimi

Bölüm 5.1.2’de anlatılan rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için rüzgar verilerine ihtiyaç vardır. Rüzgar verileri 34 yılı aşkın bir süre için İstanbul Florya’da ölçülmüş aylık ortalama hızı Şekil 5.7’de verilmiştir.

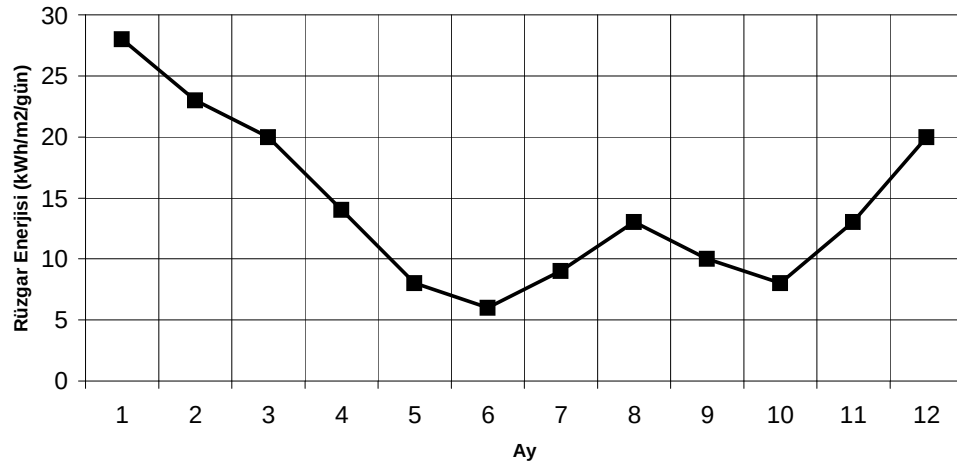


Şekil 5.7 İstanbul Florya’da ölçülen ortalama rüzgar hızları (1959-1993)

Rüzgar enerjisinden elde edilecek gerçek güç rüzgar sistemleri üretici tarafından karakteristik eğrileri kullanılarak bulunur. Türkiye’de kullanılan ticari markalar için karakteristik eğriler verilmiştir. Hibrid sistem için kullanılacak rüzgar türbini 10kW ve katları olarak düşünülmüş ve Florya rüzgar verileri kullanılarak üretilen gerçek güç Çizelge 5.6 de verilmiştir.

Çizelge 5.5. 10kW lik rüzgar türbininden elde edilen gerçek güç

Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rüzgar Hızı m/s	4,5	4,3	4,0	3,6	3,1	2,8	3,2	3,5	3,3	3,1	3,5	4,0
Rüzgar Enerji Üretimi kWh/gün	28	23	20	14	8	6	9	13	10	8	13	20



Şekil 5.8. 10kW lik rüzgar türbininden elde edilen gerçek güç

Bir metrekaare güneş pili ve 10kW'lık bir rüzgar türbininden elde edilen bir günlük güç miktarı sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu grafikler denklemler haline yazılırsa ;

Bir metrekaare güneş pilinde elde edilen güç, ayların (A) fonksiyonu olarak

$$P_{PV} = -12,911A^2 + 166,93A - 102,4 \quad (5.11)$$

denkleminde $Wh/m^2/gün$,

10kW'lık bir rüzgar türbininden elde edilen güç, ayların (A) fonksiyonu olarak

$$P_W = 0,506A^2 - 7,501A + 35,682 \quad (5.12)$$

denkleminde $kWh/gün$ Bu denklemler daha sonra minimum maliyet hesaplanırken kullanılacaktır.

6. MALİYET ANALİZİ

6.1. Güç Maliyetleri

Bir PV-rüzgar hibrid sisteminin ilk yatırım maliyeti, yükü karşılayan güneş/rüzgar güç oranına bağlıdır. PV maliyeti $C_{i,PV}$, rüzgar maliyeti $C_{i,W}$, batarya sistemi maliyeti $C_{i,Q}$ ve toplam sistem maliyetinin $C_{i,t}$ literatürden alınan veriler ile nasıl hesaplanacağı aşağıda anlatılmıştır [Elhadidy, 1999].

$$C_{i,PV} = AC \cdot A_{PV} \cdot X_i \quad (6.1)$$

$$C_{i,W} = WC \cdot (1 - X_i) \quad (6.2)$$

$$C_{i,Q} = BC \cdot Q \quad (6.3)$$

$$C_{i,t} = C_{i,PV} + C_{i,W} + C_{i,Q} \quad (6.4)$$

PV sistem maliyet denkleminde yer alan AC, metrekare başına enerji üretim maliyetidir. Büyük ölçekte sistemler için ilk yatırım maliyeti 800\$/m², güç üretme maliyeti 150\$, toplam donanım maliyetinin %10'u mühendislik ve %36'sı kurulum ve yönetim maliyeti olarak alınmıştır. Küçük sistemlerde güç üretme maliyeti ön plandadır.

WC rüzgar türbini için ilk yatırım maliyeti, BC ise batarya kapasite maliyetidir ve 180\$/kWh olarak alınmıştır [Elhadidy, 1999].

6.2. Güneş / Rüzgar Güç Üretim Oranı

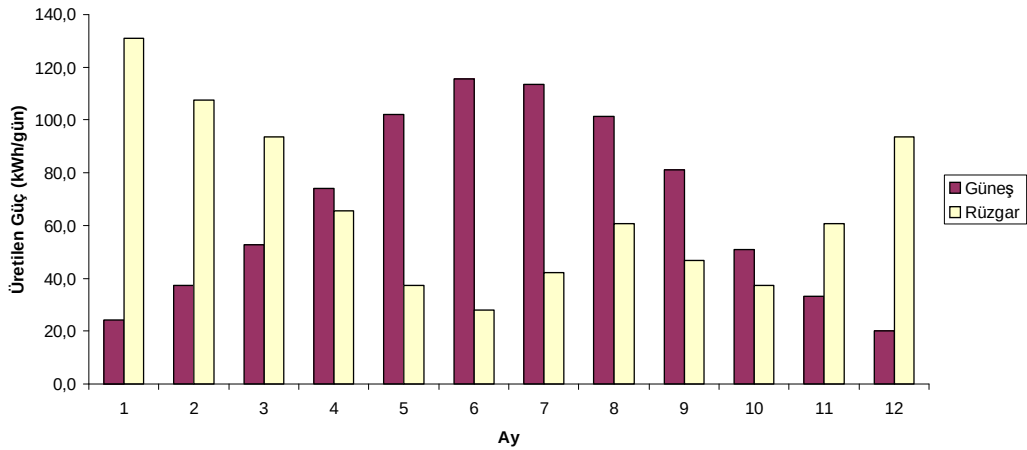
Hibrid sistem maliyeti güneş/rüzgar güç üretim oranlarına bağlıdır. Karşılansması istene yük için minimum maliyetin bulunabilmesi için, PV/rüzgar güç oranı grafiksel olarak gösterilecektir.

Bir metrekare fotovoltaik pilden, bir günde üretilen güç Çizelge 5.3'te verilmiştir. 12 aylık periyotta elde edilen bu güçlerin ortalaması 424.91

W/m²/gün olarak bulunur. Yükün (67 kWh) tek başına PV sisteminden karşılayabilmesi için (güneş/rüzgar=%100), 158.14 m² alan gerekmektedir.

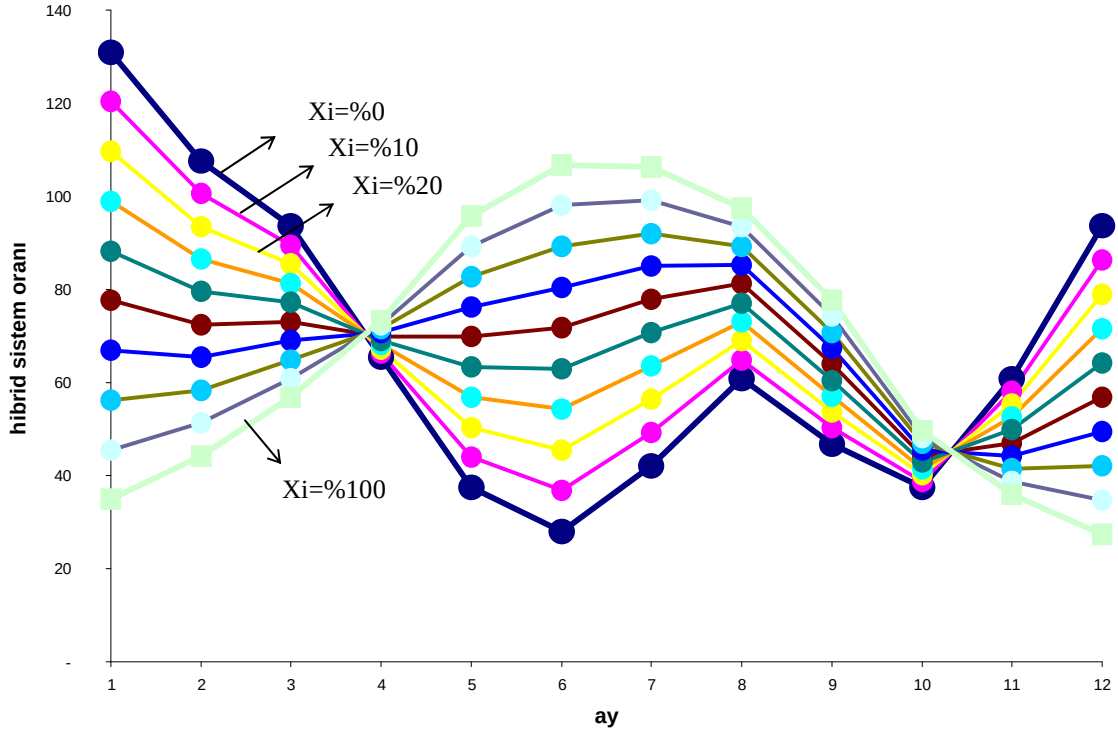
10kW lık rüzgar türbininden elde edilen ortalama günlük güç ise 14.33 kW/gün dür. (Çizelge 5.4). Tek başına rüzgar türbin sisteminin yükü karşılayabilmesi için (güneş/rüzgar=%0), 46.88kW'lık rüzgar türbinine ihtiyaç vardır.

Şekil 6.1'de 158.14 m² PV ve 46.88 kW rüzgar türbininden elde edilen güç değerleri ayrı ayrı verilmiştir.



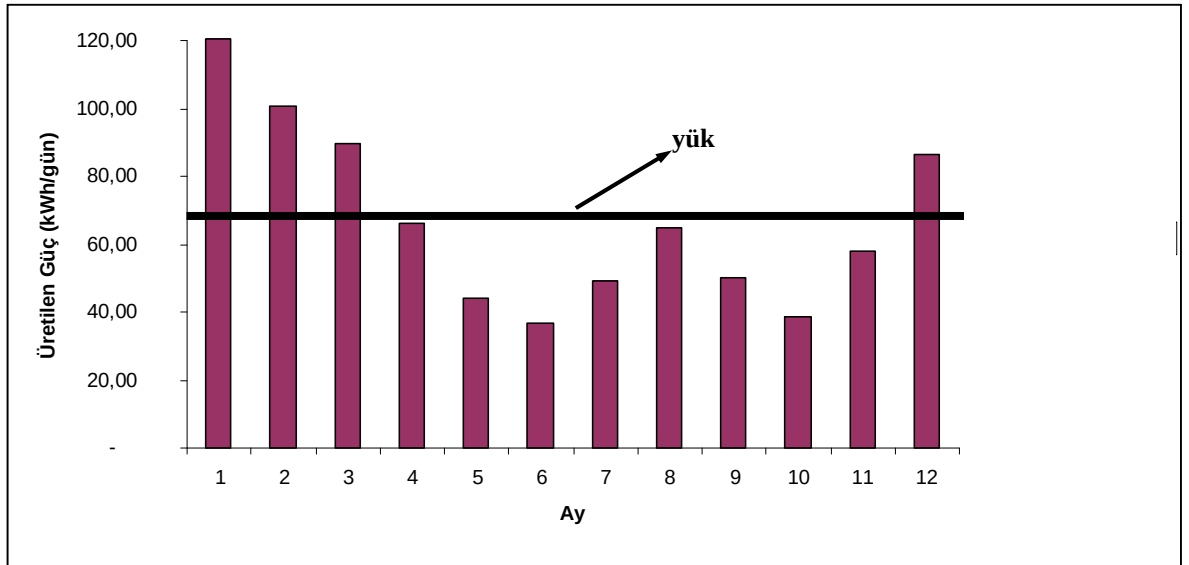
Şekil 6.1. Aylık ortalama yalnız güneş ve rüzgar güç üretimi

Bu veriler kullanılarak güneş/rüzgar oranı %0 dan başlayarak %10 artırımlarla hibrid sistemler oluşturulmuş ve optimum şartların bulunabilmesi için Şekil 6.1'de verilmiştir.

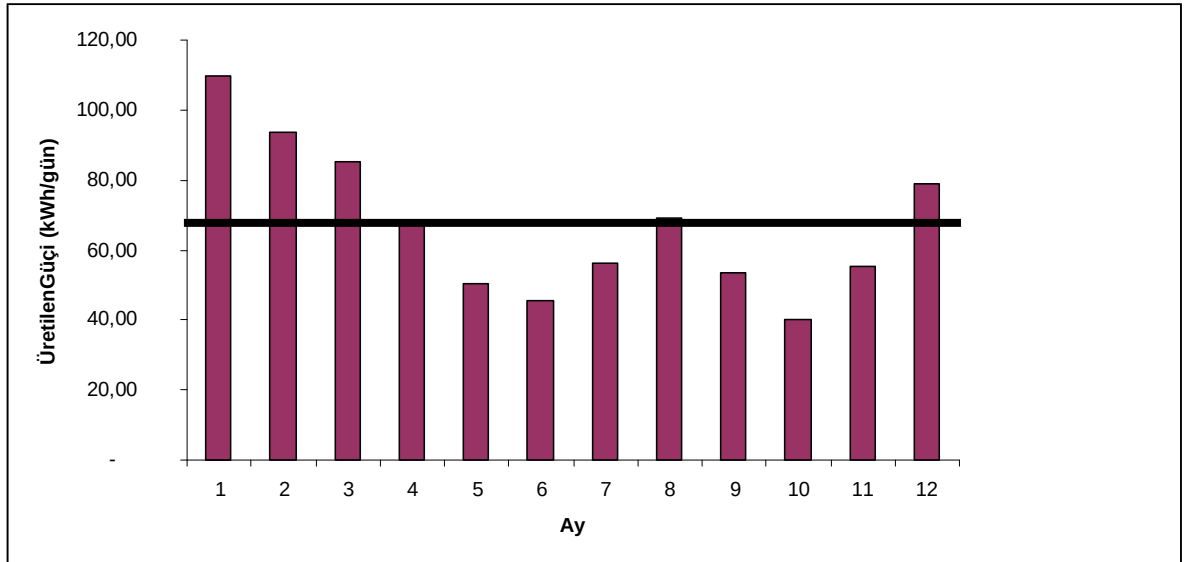


Şekil 6.2 Hibrid sistem oranı X_i (güneş/rüzgar)

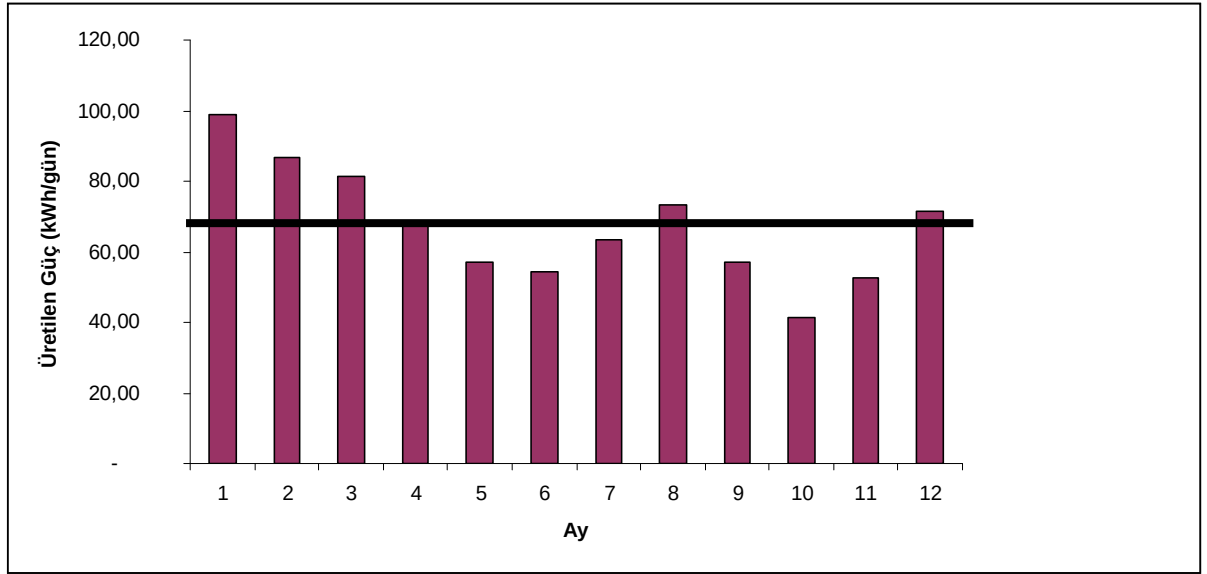
Şekil 6.2 günlük yük talebini karşılamak için gerekli olan PV ve rüzgar hibrid sistemlerini göstermektedir. Bu veriler kullanılarak Şekil 6.3 ile 6.11 arasında güneş/rüzgar oranları %10'luk artımlarla irdelenecek, sistemin günlük yük ihtiyacını karşılayamadığı günler belirlenecek ve buradan gerekli batarya ihtiyacı çıkarılacaktır. Son olarak da her bir hibrid sistem için PV alanı, rüzgar türbini ve batarya maliyetleri üst üste toplanarak en uygun olan sistem seçilecektir.



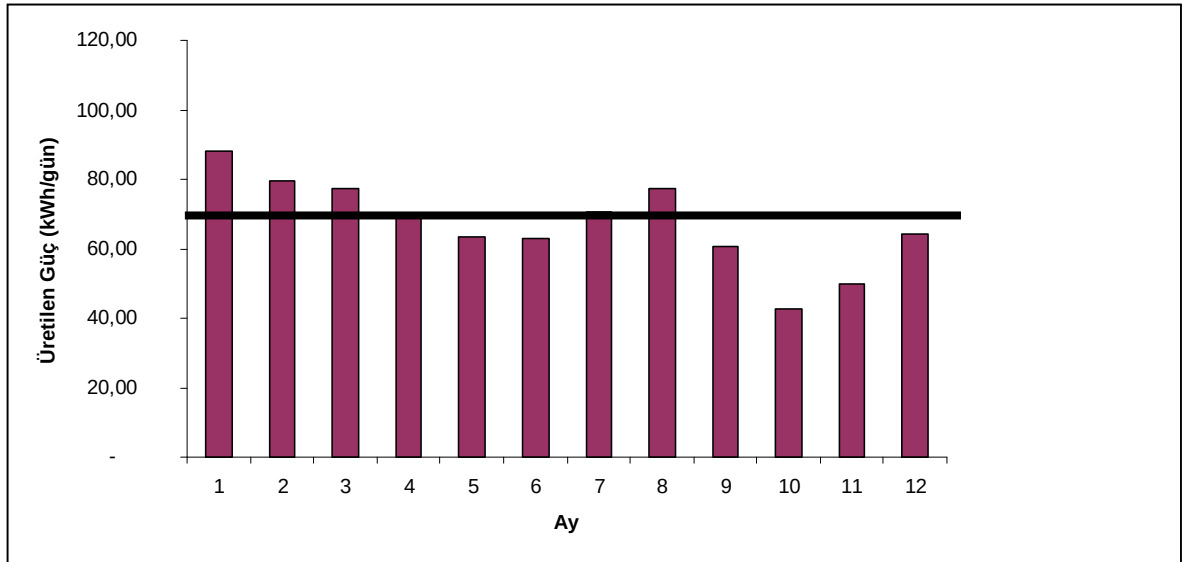
Şekil 6.3 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 10\%$)



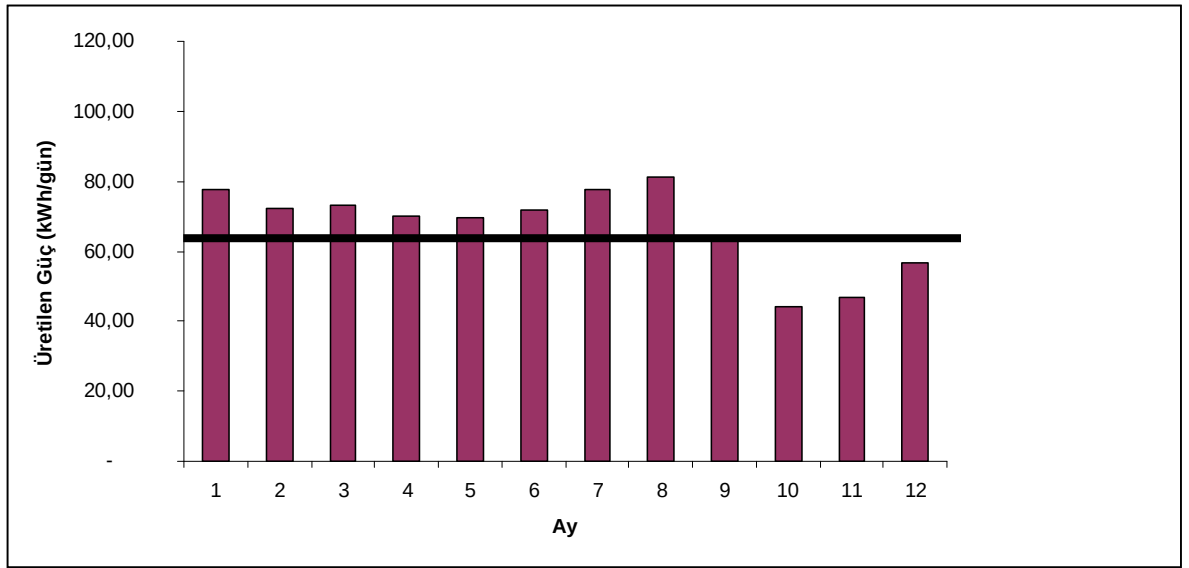
Şekil 6.4 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 20\%$)



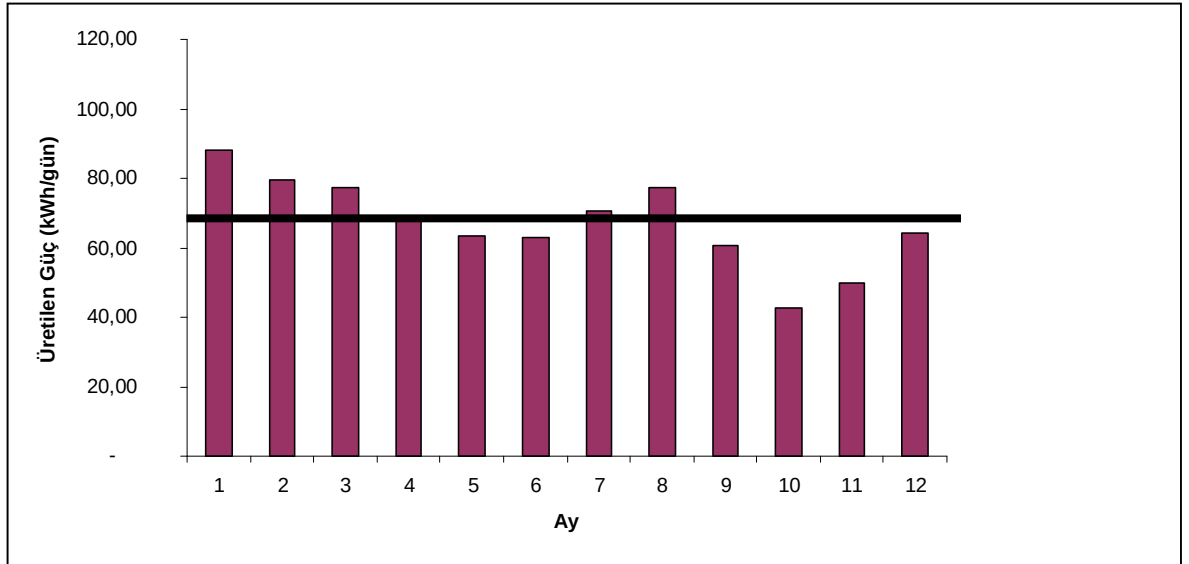
Şekil 6.5 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 30\%$)



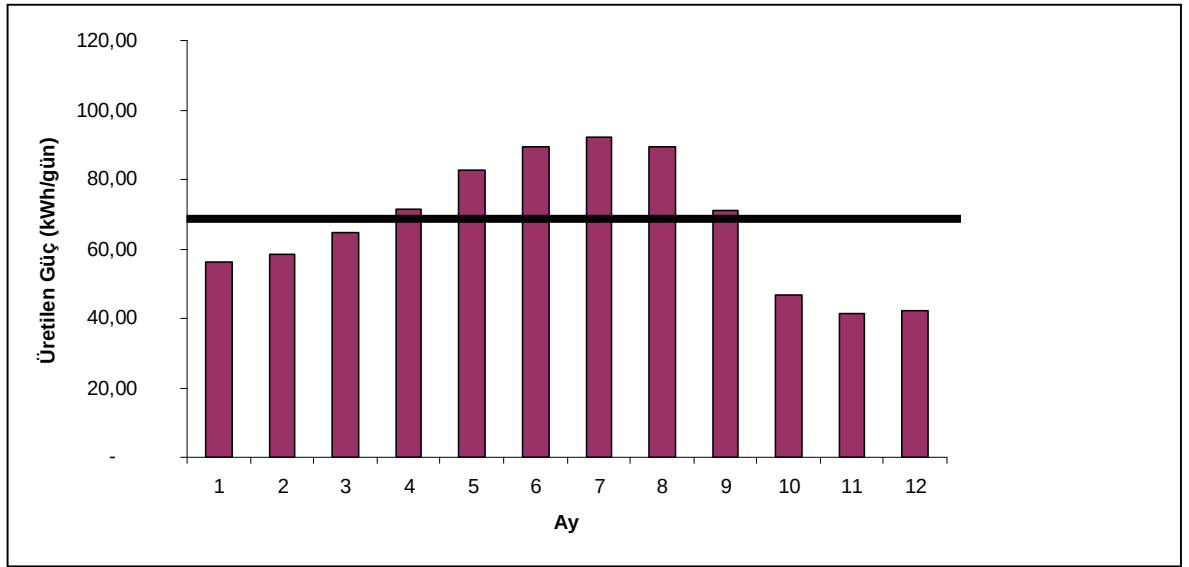
Şekil 6.6 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 40\%$)



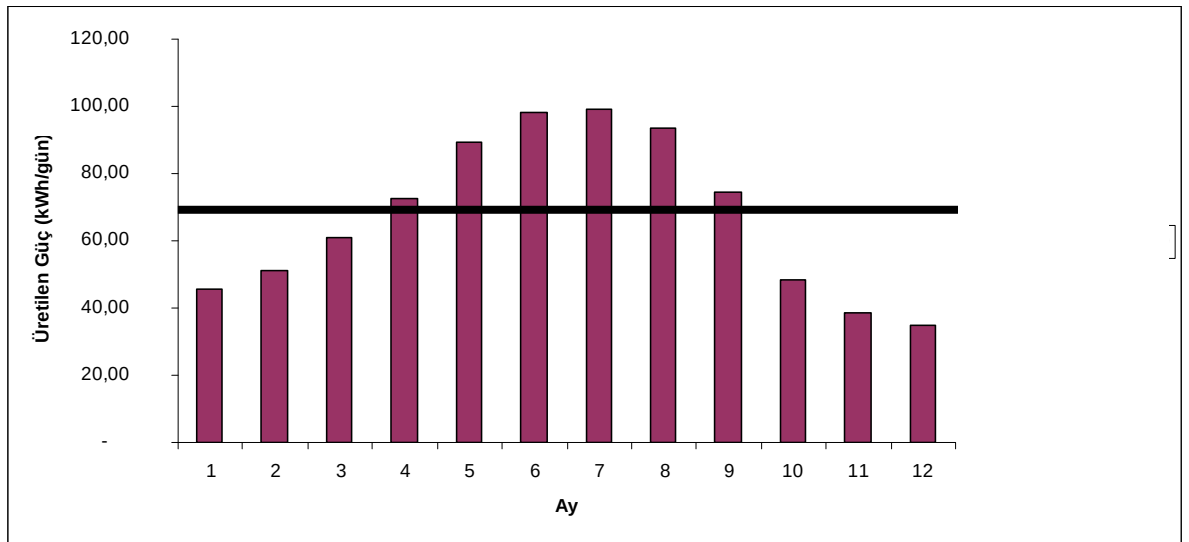
Şekil 6.7 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 50\%$)



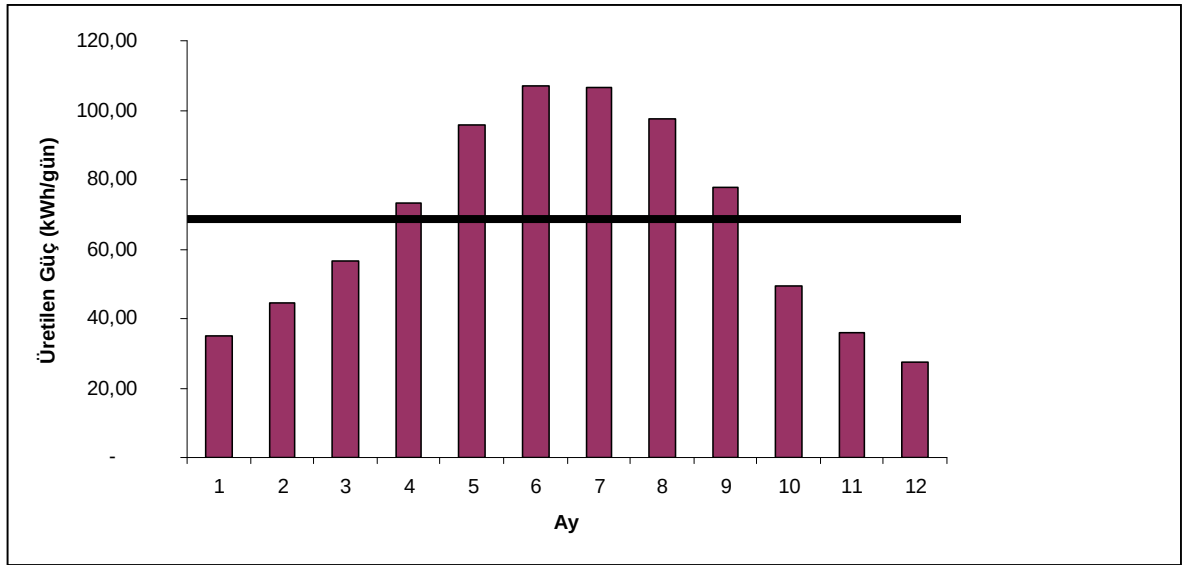
Şekil 6.8 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = 60\%$)



Şekil 6.9 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = \%70$)



Şekil 6.10 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = \%80$)



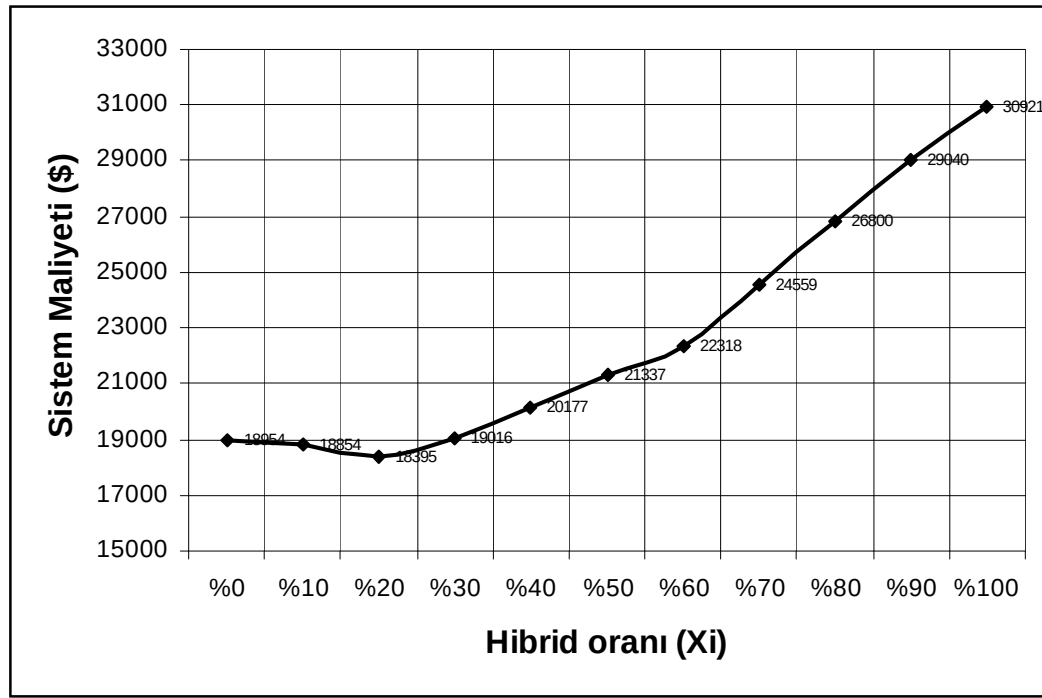
Şekil 6.11 Hibrid sistem enerji üretimi ($X_i = \%90$)

6.3. Sistem Maliyetleri

Yukarıda değişik hibrid sistemler için güç üretimi verilmişti. Eşitlik 6.1 ile 6.4 arasındaki denklemler kullanılarak, her bir hibrid sistem için PV alanı, PV maliyeti, rüzgar türbin gücü, rüzgar türbin maliyeti ve hibrid sistemin yetersiz kaldığı dönemlerde sisteme destek olacak batarya kapasitesi, batarya maliyeti ve toplam maliyet aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 6.1 Toplam Hibrid Sistem Maliyetleri

X_i	PValanı (m^2)	PV maliyeti (\$)	Rüzgar Türbini (kW)	Rüzgar Türbin Maliyeti (\$)	Hibrid Sistem Yetersizliği (kWh)	Batarya maliyeti (\$)	Toplam Maliyet (\$)
%0	0,0	0,0	46,9	10313,6	48	8640	18953,6
%10	15,8	2372,1	42,2	9282,24	40	7200	18854,3
%20	31,6	4744,2	37,5	8250,88	30	5400	18395,1
%30	47,4	7116,3	32,8	7219,52	26	4680	19015,8
%40	63,3	9488,4	28,1	6188,16	25	4500	20176,6
%50	79,1	11860,5	23,4	5156,8	24	4320	21337,3
%60	94,9	14232,6	18,8	4125,44	22	3960	22318,0
%70	110,7	16604,7	14,1	3094,08	27	4860	24558,8
%80	126,5	18976,8	9,4	2062,72	32	5760	26799,5
%90	142,3	21348,9	4,7	1031,36	37	6660	29040,3
%100	158,1	23721,0	0,0	0	40	7200	30921,0

Şekil 6.12 X_i 'ye göre hesaplanan toplam sistem maliyeti

Grafikten de anlaşılacağı üzere minimum maliyet X_i =%20 olduğunda sağlanmaktadır. Hibrid sistem büyüklüğü (sizing) 31.6 m^2 (~32) PV ve 37,5 kW (~40) rüzgar türbininin optimum şartlarda yükü karşılayacağı belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgar enerjisinin hibrid kullanılması meteorolojik verilerin süreksizliği nedeniyle kullanımı cazip olmaktadır. Yapılan çalışmada optimum sistem konfigürasyonunu sağlamak için kaynakların oransal değişimlerine göre matematiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplar neticesinde güneş/rüzgar oranının %20 olduğu konfigürasyonun sistemin yükü olan 24 HP'ü optimum karşıladığı görülmüştür. Hibrid sistem büyüklüğü 32 metrekare PV olup ve 40 kW'lık bir rüzgar türbinine ihtiyaç olduğu saptanmış ve kurulacak sistem maliyetinin 20 yıllık komponent ömürleri varsayılarak 18395 USD olduğu bulunmuştur.

. Halen dünya enerji talebinin %80'ini karşılayan fosil yakıtların neden oldukları asit yağmurları, karbon monoksit, karbondioksit, kükürt dioksit vb. yayınımlarla dünya iklimi için tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları uzun ömürlü, dayanıklı, çevre kirliliği yaratmayan ve çok az bakım gerektiren sistemlerdir. Verimlerinin düşük ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması bu sistemlerin en önemli dezavantajlarıdır. Bu çalışmada da görüldüğü üzere fosil yakıt kaynaklı elde edilen enerji hala maliyet açısından cazibesini sürdürmektedir. Geleneksel fosil yakıtların tükenebilir olması göz önünde tutularak ve tüm dünyada hızla geliştirilen temiz enerji kaynakları ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen ülkemiz açısından önemsenmesi gereken sistemler oldukları bir gerçektir.

KAYNAKLAR

1. Andreev, V.M., Grilikhes, V.A. and Rummyantsev V.D., Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight, John Wiley & Sons Ltd, 1997.
2. Ashari, M. and Nayar, C.V., An Optimum Dispatch Strategy Using Set Point for a Photovoltaic (PV) – Diesel – Battery Hybrid Power System, Solar Energy, 1-9, 1999.
3. Backus, E.C., Photovoltaic Conversion, Academic Press Inc., 1977.
4. Bergey Wind Power Company Equipment Catalogue, Norman (Oklahoma), 1994.
5. Çolak, M., Güneş Pilleri ve Uygulamaları, Mühendis ve Makine, Cilt 32, sayı:382, 1991.
6. E.İ.E.(Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü), Güneş Enerisi Tebliğleri, Ankara, 1984.
7. El Hadidy, M.A. and Shaadid, S.M., Optimal Sizing of Battery for Hybrid (Wind +Diesel) Power Systems, Renewable Energy, 77-86,1999.
8. El Hadidy, M.A. and Shaadid, S.M., Parametric Study Of Hybrid (Wind + Solar + Diesel) Power Generating Systems, Renewable energy, 29-139, 2000.
9. Groumpos, P.D. and Papageorgiou, G., Solar Energy, 341-51, 1987.

10. Habib, M.A., Said, S.A.M., El Hadidy, M.A. and Al Zaharna, I., Optimization Procedure of a Hybrid Photovoltaic Wind Energy System, Energy , 919-929, 1999.
11. Jae S.P., Takeshi, K.S.Y. and Takeshi, H.. Operation Control of Photovoltaic / Diesel Hybrid Generating System Considering Fluctuation of Solar Radiation, Solar Energy Materials & Solar Cells, 535-542, 2001.
12. Külünk, H. ve Eyice S., Yeni Enerji Kaynakları, Fotosan Ofset Matbaacılık, 1983 .
13. Luque, A., Solar Cells and Optics for Photovoltaic Conversion, IOP Publishing Ltd., 1989.
14. Manalagos, D., Papodakis, D., Papontais, S. and Kyritsis, S., A Simulation Optimization Programme for Designing Hybrid Energy Systems, Energy, 679-704, 2001.
15. Markvart, T., Sizing of Hybrid Photovoltaic – Wind Energy Systems, Solar Energy , 277-281, 1996.
16. Markvart, T., Solar Electricity, Second Edition, John Wiley & Sons, 1997.
17. Muselli, M. and Notton, G., A. Design of Hybrid – Photovoltaic Power Generator with Optimization of Energy Management, Solar Energy, 143-157, 1999.
18. Protogeropoulos, C., Brinkworth, B.J. and Marshall, R.H., Int. Journal of Energy Research, 465-79, 1997.
19. Pytlinski, J.T., Photovoltaic Cell Tehnologies, 1985.

20. Seeling – Hochmuth, G.C., A Combined Optimization Concept for the Design and Operation Strategy of Hybrid – PV Energy Systems, Solar Energy, 77-87, 1997.
21. Yılmaz, M., Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Tez yazarı 1968 yılında Bilecik'te doğdu. İlk ve orta eğitimini İstanbul'da tamamladıktan sonra Yıldız Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. 1991 yılında mezun olduktan sonra askerlik hizmetini yapmak için orduya katılmıştır. 1993 yılında Türkiye Gemi Sanayii'nde göreve başlamış ve Pendik Tersanesinde gemi makineleri üzerine çalışmıştır. Halen Haliç Tersanesinde çalışmaya devam etmektedir. Evli olan yazarın bir çocuğu bulunmaktadır.
