

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şebek., Bağ., Çal. Hib., Ene.,
Sist., Risk Değ.

Yüksek Lisans Tezi

Bedri Kekezoğlu

2007

152
477

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN HİBRİD ENERJİ
SİSTEMLERİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

Elektrik Müh. Bedri KEKEZOĞLU

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN

İSTANBUL, 2007

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : ~~35~~ R152-477

Kayıt No : 3590

Geldiği Yer : Fen Bilimleri
Enstitüsü

Tarih : 05/12/2007

Fiyat : 4,10

Fatura No :

Ayniyat No : 23

Ek :

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

XIII-82

**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇALIŞAN HİBRİD ENERJİ
SİSTEMLERİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

Elektrik Müh. Bedri KEKEZOĞLU

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Ülkemizde Yenilenebilir Enerji	2
1.1.1 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	3
1.1.2 Güneş Enerjisi Potansiyeli	4
2. RÜZGAR ENERJİSİ	6
2.1 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi	6
2.2 Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları	7
2.3 Rüzgar Nedir	8
2.4 Rüzgar Türbinleri	8
2.4.1 Rüzgar enerjisi türbinlerinin tanımı	8
2.4.2 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	9
2.4.2.1 Rüzgar kuvvetinden yararlanma şekline göre sınıflandırılması	9
2.4.2.1.1 Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanılan türbinler	9
2.4.2.1.2 Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanılan türbinler	9
2.4.2.1.3 Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri	9
2.4.2.2 Pervane ekseninin konumuna göre sınıflandırılması	10
2.4.2.2.1 Yatay eksenli türbinler	10
2.4.2.2.2 Düşey eksenli türbinler	11
2.4.3 Modern yatay eksenli rüzgar türbinlerini oluşturan elemanlar	12
2.4.3.1 Kule	13
2.4.3.1.1 Kule seçimi	13
2.4.3.1.2 Kule uzunluğunun seçimi	13
2.4.3.2 Yatak	14
2.4.3.3 Türbin pervanesi	14
2.4.3.4 Dişli kutusu	14
2.4.3.5 Generatör	15
2.4.3.6 Yüksek ve düşük hız milleri	15
2.4.3.7 Hız kontrolörü	15
2.4.3.8 Yönelme sürücüsü ve yönelme motoru	16

2.5	Rüzgar Türbinlerinden Elektrik Enerjisi Üretimi	16
3.	GÜNEŞ ENERJİSİ	19
3.1	Güneş Enerjisinin Tarihçesi	19
3.2	Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yapısı	19
3.3	Güneş Enerjisi Sistemlerinin Elektriksel Eşdeğer Devreleri	21
3.3.1	Basitleştirilmiş model	21
3.3.2	Tek diyotlu model	22
3.3.3	İki diyotlu model	23
3.4	Güneş Enerji Sistemlerinin V-I Karakteristikleri	23
3.5	Güneş Enerji Sistemlerinin Maksimum Çalışma Noktasının Tespiti	25
3.5.1	Maksimum güç noktası izleyiciler (MPPT)	26
4.	HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ	28
5.	GÜÇ SİSTEMLERİNDE EKONOMİK KRİTERLER VE GÜVENİLİRLİK	30
5.1	Güç Sistemlerinde Ekonomik Kriterler	30
5.1.1	Rüzgar enerji santrallerinde ekonomi	30
5.1.1.1	Başlangıç maliyetleri	30
5.1.2	Güneş enerji santrallerinde ekonomi	32
5.1.3	Ekonomik büyüklükler	33
5.1.4	HOMER programında ekonomik büyüklükler	34
5.1.4.1	Ana başlangıç maliyeti	34
5.1.4.2	Yıla indirgenmiş maliyet	34
5.1.4.3	Yıla indirgenmiş ana maliyet	35
5.1.4.4	Yıla indirgenmiş yenileme maliyeti	35
5.1.4.5	Bakım onarım masrafları	36
5.1.4.6	Faiz oranı	36
5.1.4.7	Proje ömrü	36
5.1.4.8	Sinking fund faktörü	37
5.1.4.9	Hurda değeri	37
5.1.4.10	Yenileme maliyeti	37
5.1.4.11	Toplam net şimdiki maliyet	37
5.1.4.12	Toplam yıllık maliyet	38
5.1.4.13	Ana düzeltme faktörü	38
5.2	Güç Sistemlerinde Güvenilirlik	38
5.2.1	Güvenilirlik tanımlamaları	38
6.	ÖRNEK BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ	41
7.	SONUÇ	55
	KAYNAKLAR	57
	EKLER	59
	Ek 1 IEEE test sistemi yük profili için MATLAB kodları	60
	Ek 2 Rüzgar türbini katalogu	63
	Ek 3 Rüzgar türbini çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları	64
	Ek 4 Güneş panelleri çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları	65

Ek 5 Saatlik rüzgar hızı verileri67

ÖZGEÇMİŞ82

A_0	Yıllık ödeme miktarı
A_w	Yıllık enerji harım maliyeti
C_0	Birim alan başına maliyet
C_{HOMER}	HOMER'da toplam yıllık maliyeti
C_{inv}	Batın güc başına maliyet
C_p	Rüzgar enerji sistemi güç katsayısı
C_{ref}	HOMER'da bileşenin yenileme maliyeti
$CRFO$	HOMER'da ana devrelere faktörü
C_r	Rüzgar enerji sistemi montaj katsayısı
C_t	Sistemde bir toplam maliyet
C_w	Birim enerji başına maliyet
c_d	Geriaklar katsayısı
c_f	Enflasyon oranı
c_i	Enflasyon sabiti
f	HOMER'da enflasyon oranı
I	Güneş panelinin çıkış gücü
I_d	Diyoit akımı
I_p	Paralel direnç üzerinden alınan akım
I_{ph}	Foton akımı
I_s	Diyoit deyma akımı
$INTC$	HOMER'da gerçek bir değeri ile tam sayı kısmını kullanarak, tam sayı fonksiyonu
i	Faiz oranı
I_L	Geriaklar faiz oranı
M_r	Rüzgar türbini dönme hızı
n	Ölçer faktörü
n	Yıl sayısı
P_e	Rüzgar enerji sistemi generatör çıkış gücü
P_{gp}	Güneş panelinden alınan gerçek çıkış gücü
P_{max}	Güneş panelinden alınabilecek maksimum çıkış gücü
P_r	Rüzgar türbin sistemi çıkış gücü
P_s	Şimdiki maliyet değeri
P_w	Rüzgar gücü

SİMGE LİSTESİ

A	İşletme alanı
A_n	Yıllık ödeme miktarı
A_w	Yıllık enerji birim maliyeti
C_a	Birim alan başına maliyet
$C_{ann,tot}$	HOMER’da toplam yıllık maliyeti
C_{kw}	Birim güç başına maliyet
C_p	Rüzgar enerji sistemi güç katsayısı
C_{rep}	HOMER’da bileşenin yenileme maliyeti
$CRF()$	HOMER’da ana düzeltme faktörü
C_T	Rüzgar enerji sistemi moment katsayısı
C_t	Santrale ait toplam maliyet
C_u	Birim enerji başına maliyet
e_a	Görünür enflasyon
e_i	Enflasyon sabiti
e_r	Eskalasyon sabiti
f	HOMER’da enflasyon oranı
I	Güneş panelinin çıkış gücü
I_d	Diyot akımı
I_p	Paralel direnç üzerinden akan akım
I_{ph}	Foton akımı
I_s	Diyot doyma akımı
$INT()$	HOMER’da gerçek bir değer in tam sayı kısmını kullanan, tam sayı fonksiyonu
i	Faiz oranı
i_a	Görünür faiz oranı
M_c	Rüzgar türbini döndürme momenti
m	Diyot faktörü
n	Yıl sayısı
P_e	Rüzgar enerji sistemi generatör çıkış gücü
P_{ger}	Güneş panelinden alınan gerçek çıkış gücü
P_{max}	Güneş panelinden alınabilecek maksimum çıkış gücü
P_t	Rüzgar türbin sistemi çıkış gücü
P_v	Şimdiki maliyet değeri
P_w	Rüzgar gücü

R	Rüzgar türbini yarıçapı
R_{comp}	HOMER’da bileşenin ömrü
R_p	Paralel direnç
R_{rem}	HOMER’da bileşenin proje sonunda kalan ömrü
R_{rep}	HOMER’da yenileme maliyet süresi
R_S	Seri direnç
S	HOMER’da bileşenin hurda değeri
V	Güneş paneli çıkış gerilimi
V_T	Termal gerilim
W	Santralin net güç üretimi
w	Rüzgar türbini mil hızı
η_g	Rüzgar enerji sistemi generatör verimi
η_m	Rüzgar enerji sistemi güç aktarım mekanizması verimi
η_{MPPT}	MPPT verimi
ρ	Havanın özgül ağırlığı
v	Rüzgar hızı
λ	Rüzgar enerji sistemi uç hız oranı

KISALTMA LİSTESİ

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri	11
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi	13
FOF	Forced Outage Factor	14
FOH	Forced Outage Hours	16
FOR	Forced Outage Rate	17
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	18
MTTF	Mean Time To Failure	18
MTTR	Mean Time To Repair	18
MPPT	Maximum Power Point Tracker	21
POF	Planned Outage Factor	22
POH	Planned Outage Hours	23
PH	Period Hours	23
PV	Photovoltaic	24
SH	Service Hours	24
TÜSİAD	Türkiye Sanayiciler ve İşadamları Derneği	24
UOF	Unplanned Outage Factor	25
UOH	Unplanned Outage Hours	28
WECS	Wind Energy Conversation Systems	29

Sekil 5.1 Şimdiki değer istatisti ile yıllık sistem oranını karşılaştırılması	33
Sekil 5.1 İzlenilen sistemin tek hat diyagramı	41
Sekil 5.2 Sistemde kullanılan yükler ve yıllık yük eğrisi	42
Sekil 5.3 Sistemde kullanılan yükler ve haftalık değişimi	42
Sekil 5.4 Rüzgar hızının yıllık değişim eğrisi	44
Sekil 5.5 Rüzgar türbinin çıkış gücünün yıllık değişim eğrisi	44
Sekil 5.6 Sistemde kullanılan güç kaynağı verisinin değişimi	45
Sekil 5.7 Güç kaynağı ve yük eğrisi	46
Sekil 5.8 Arıza durumunda rüzgar türbin çıkışının değişimi	48
Sekil 5.9 Arıza durumunda güç kaynağı verisinin değişimi	48
Sekil 5.10 100kw'lık panellerden kullanıldığı senaryo 1 için Arıza durumunda dizel jeneratör çıkışının değişimi	49
Sekil 5.11 HOMER ana ekranı	52
Sekil 5.12 HOMER - 24 rüzgar türbin verileri güç ekranı	53

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Düşey ve yatay eksenli türbinler	11
Şekil 2.2 Farklı güçlerdeki rüzgar türbinlerinin kule uzunlukları	13
Şekil 2.3 Dişli kutusu.....	14
Şekil 2.4 Rüzgar türbininde enerji dönüşümü	16
Şekil 2.5 İki bıçaklı bir Darrieus türbinin C_p/λ değişimi	17
Şekil 2.6 Farklı rüzgar hızları için türbinin döndürme momenti, mil hızı karakteristiği	18
Şekil 2.7 Farklı rüzgar hızlarında, türbin gücünün ve her hızdaki maksimum gücün mil hızına bağlı değişimleri.....	18
Şekil 3.1 Güneş paneli kesiti	21
Şekil 3.2 Basitleştirilmiş güneş paneli modeli.....	22
Şekil 3.3 Tek diyotlu model	23
Şekil 3.4 İki diyotlu model	23
Şekil 3.5 Örnek bir güneş enerji sistemine ait $V - I$ karakteristiği.....	24
Şekil 3.6 Örnek bir güneş enerji sisteminin $V - I$ ve $P - V$ karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası	24
Şekil 3.7 Seri bağlı güneş panellerine ait $V - I$ karakteristiği	25
Şekil 4.1a Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu hibrid enerji sistemi	28
Şekil 4.1b Yenilenebilir kaynaklar ve fosil yakıtlarının bir arada kullanıldıkları hibrid enerji sistemi	29
Şekil 5.1 Şimdiki değer ifadesi ile yıllık ödeme oranının karşılaştırılması	33
Şekil 6.1 İncelenen sistemin tek hat diyagramı	41
Şekil 6.2 Sistemde kullanılan yüke ait yıllık yük eğrisi	42
Şekil 6.3 Sistemde kullanılan yükün haftalık değişimi	42
Şekil 6.4 Rüzgar hızının yıllık değişim eğrisi	44
Şekil 6.5 Rüzgar türbini çıkış gücünün yıllık değişim eğrisi	44
Şekil 6.6 Sistemde kullanılan güneş ışınımı verisinin değişimi	45
Şekil 6.7 Güneş paneline ait güç eğrisi.....	46
Şekil 6.8 Arıza durumunda rüzgar türbin çıkışının değişimi.....	48
Şekil 6.9 Arıza durumunda güneş panelleri çıkışının değişimi	48
Şekil 6.10 100kw'lık generatörün kullanıldığı senaryo 1 için Arıza durumunda dizel generatör çıkışının değişimi	49
Şekil 6.11 HOMER ana ekranı	52
Şekil 6.12 HOMER'de rüzgar türbin verileri giriş ekranı	53

Şekil 6.13 HOMER’de rüzgar verisi giriş ekranı	53
--	----

Çizelge 1.1 Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	3
Çizelge 1.2 Türkiye’nin rüzgar potansiyeli	4
Çizelge 1.3 Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	5
Çizelge 3.1 Ülkü çü, lü rüzgar türbinalerinin maliyetlerinin ekipman başına kıyaslanması	31
Çizelge 3.2 PV sistemlere ait ilk kurulum maliyetleri	32
Çizelge 6.1 Uygulanmada kullanılan senaryolar	43
Çizelge 6.2a Diesel jeneratörlere ait arıza oranları	46
Çizelge 6.2b Güneş panellerine ait arıza oranları	47
Çizelge 6.2c Rüzgar türbinlerine ait arıza oranları	47
Çizelge 6.3a 200k W değeriindeki jeneratörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	49
Çizelge 6.3b 150k W değeriindeki jeneratörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	50
Çizelge 6.3c 10k W değeriindeki jeneratörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	50
Çizelge 6.4 Tüm senaryolar için yıllık yakıt maliyetleri	51
Çizelge 6.5 HOMER’de eklenilen optimum dizayn sonuçları	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	3
Çizelge 1.2 Türkiye'nin rüzgar potansiyeli	4
Çizelge 1.3 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	5
Çizelge 5.1 Ufak güçlü rüzgar türbinlerinin maliyetlerinin ekipman başına kıyaslanması.....	31
Çizelge 5.2 PV sistemlere ait ilk kurulum maliyetleri.....	32
Çizelge 6.1 Uygulamada kullanılan senaryolar	43
Çizelge 6.2a Dizel generatöre ait arıza oranları	46
Çizelge 6.2b Güneş panellerine ait arıza oranları.....	47
Çizelge 6.2c Rüzgar türbinine ait arıza oranları	47
Çizelge 6.3a 200kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	49
Çizelge 6.3b 150kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	50
Çizelge 6.3c 100kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar	50
Çizelge 6.4 Tüm senaryolar için yıllık yakıt maliyetleri	51
Çizelge 6.5 HOMER'dan elde edilen optimum dizayn sonuçları	54

ÖNSÖZ

Ülkemizin enerji sıkıntısına girdiği şu günlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve bu kaynakların kullanıldığı hibrid enerji sistemleri enerji piyasasında kendini göstermeye başlamıştır. Bu değişimle birlikte hibrid enerji sistemlerinde risk değerlendirilmesi önemli bir konu haline almıştır. Bu gelişmeler ışığında yapmış olduğum çalışmanın ülkemizdeki araştırmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Tez çalışmalarım sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN'a ve hocam Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN'e, sabır ve anlayışlarını hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Elk. Müh. Bedri KEKEZOĞLU

ÖZET

Hızla büyümekte olan güç sistemlerinde talep edilen enerji her geçen gün artmaktadır. Bu gelişme insanoğlunu, fosil yakıtlı enerji üretim sistemlerinin yüksek maliyetlerini ve çevresel etkilerini de göz önüne alarak, yeni enerji kaynaklarını kullanma yoluna sürüklemiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte hibrid enerji sistemleri oluşmuş ve günümüzde enerji üretim sistemlerinde önemli bir yer kazanmıştır. Hibrid enerji sistemleri, şebekeden bağımsız çalışarak yükleri besleyebildikleri gibi, enterkonnekte sisteme bağlanarak şebekeye de enerji sağlayabilmektedirler.

Tüm bu avantajlarının yanında özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliklerinin bulunmamasından dolayı hibrid enerji sistemlerinde yüklerin tam olarak beslenemedikleri durumlarla karşılaşılabilir.

Bu çalışmada şebekeden bağımsız çalışan, rüzgar türbini + güneş panelleri + dizel generatörden oluşan bir hibrid enerji sistemi üzerinde, rüzgar ve güneş sistemlerinin sürekliliği incelenmiş ve sistem için risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Uygulaması gerçekleştirilen sistem, 250kW gücündeki bir yükü karşılayacak şekilde farklı senaryolar (Dizel+Rüzgar+Güneş enerjisi hibrid kombinasyonları) geliştirilerek incelenmiş ve olası arıza durumlarına göre risk değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak her bir senaryo için beslenemeyen yük miktarı, yükün beslenemediği yıllık toplam saat sayısı, dizel generatöre ait yıllık toplam yakıt maliyeti ve optimum senaryoya ait ekonomik çıktılar elde edilmiştir.

ABSTRACT

In recent times, energy demand is more and more increasing due to increasing population and developing technology. Because of this fact, human being leads to use renewable energy sources since the costs and environmental effects of fossil fuels is high.

With using renewable energy sources in conventional power systems hybrid energy systems arises and has gained an important role. Hybrid energy systems are both working stand-alone and grid-connected.

In spite of major advantages of renewable energy sources, since hybrid energy systems have no continuity, they don't supply to consumers at full-load in some cases.

In this study, cost and risk assessment of wind and solar energy systems is performed for a stand-alone wind turbine + solar panels + diesel generator hybrid energy system.

In the applied system, different cases (hybrid combinations of diesel + wind + solar generation) to feed a load of 250 kW are investigated and performed risk assessment for contingent fault conditions. Consequently, unenergized load amount, unenergized annual total hour, total hour diesel generator fuel cost for each case and economical magnitudes for optimum case are obtained.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşam standartlarını yükseltme çabası, gündelik işleri kolaylaştırma yetisini kazanma uğraşı ve beraberinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler, yük profilinin çeşitlenmesi ve yük seviyesinin artması sonuçlarını doğurmuştur.

Tarihsel gelişim içerisinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil kaynaklar fosil yakıtlar olmuştur. Özellikle 1970'li yıllardan sonra baş gösteren fosil yakıtlarındaki sıkıntı kendisini enerji piyasasında da göstermiş, artan yakıt fiyatlarına paralel olarak birim enerji fiyatları da yükselmiş ve kullanıcıları yeni enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Eski çağlardan beri farklı amaçlarla kullanılagelen rüzgar enerji yenilenebilir bir elektrik enerjisi kaynağı olarak kendisini piyasada ilk gösteren enerji kaynaklarından biri olmuştur. İlk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına karşın işletme maliyetlerindeki verim ve fosil yakıtlarındaki sıkıntılar rüzgar enerjisini günümüzün en önemli enerji kaynaklarından biri haline getirmiştir.

Güneş enerjisi de bu gelişmelerden payına düşeni almayı başarmıştır. Küçük güçlü yüklerin beslenmesinde rahatlıkla kullanılabilir olmasının yanında büyük güçlü yüklerin beslenmesinde de kullanılabilir olmaları güneş enerji sistemlerinin yayılımında önemli rol oynamıştır.

Her iki alternatif enerji kaynağı da (rüzgar ve güneş) şebekeden bağımsız halde herhangi bir yükü besleyebildikleri gibi enterkonnekte sisteme bağlanmak suretiyle de enerji üretimi yapabilmektedirler.

Şebekeden bağımsız çalışan güneş enerji sistemleri çıkış gerilimlerinin DC olması sebebiyle DC yükleri direkt olarak besleyebilmekte, evirici sistemler yardımıyla AC yüklerin de enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmektedirler. Rüzgar enerji sistemli ise küçük güçler için DC çıkış verebildiklerine karşın genellikle AC çıkış gerilimine sahiptirler.

Günümüzde gerek rüzgar enerji sistemleri, gerekse güneş enerji sistemlerinde oluşan üretim merkezleri enterkonnekte sisteme bağlanarak bu merkezlerin de sisteme enerji sağlayan birer santral olarak işlev görmesi sağlanmaktadır.

Enerji sistemlerindeki bu değişimler hibrid enerji sistemleri kavramını ortaya çıkarmıştır. Hibrid enerji sistemleri farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanıldıkları güç sistemleri olarak ifade edilebilmektedir.

Literatürde hibrid enerji sistemleri ile birçok uygulama yapılmıştır. Dizel generatörler ile

rüzgar türbinlerinin (Bansal R. C., Bhattı T. S. ve Kothari D. P., 2004) ve fotovoltaik sistemlerin (Shaahid S. M. ve Elhadidy M. A., 2005; Fung C. C., Wiengmoon B. ve Nayar C.V., 2002) kullanıldığı hibrid sistemlerle ilgili çalışmaların yanında rüzgar ve yakıt hücresinden oluşan hibrid enerji sistemleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan sistemler üzerinde de ilgi toplanmıştır.

Yapılan çalışmalar özellikle rüzgar ve güneş enerji sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Her iki enerji kaynağı için dalgalanma karakteristiklerine (Sahin A.D., ve Sen. Z., 1995) ve boyutlandırılmalarına (Markvart T., 1996) ilişkin konular araştırmacıların ilgisini çeken noktalardan olmuştur.

Çeşitli çalışmalarda maliyet ve boyut açısından hibrid sistemlerin tekil sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır (Celik A. N., 2002). Gerek rüzgar gerekse fotovoltaik sistemlere ilişkin performans analizleri (Reddy, J.B. ve Reddy, D.N 2004) de yapılan çalışmalarda yer bulmuştur.

Rüzgar ve güneş enerji sistemlerine nazaran çok yeni bir enerji üretim sistemi olan yakıt hücrelerinin bulunduğu hibrid enerji sistemlerinin (El-Shater T. F., Eskander M. N. ve El-Hagry M. T., 2006; Nelson, D.B., Nehrir, M.H. ve Wang, C, 2005) analizi konusu günümüzde oldukça ilgi çeken bir güç sistem konusu olmaya başlamıştır.

Ülkemizde ise çalışmalar rüzgar ve güneş potansiyeli oldukça yüksek bir bölgemiz olan Batı Anadolu bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bu bölgeye ait güneş rüzgar hibrid sistemlerinin değerlendirilmesi ve optimizasyonu yapılmıştır (Ulgen K. ve Hepbasli A., 2003; Eke R., Kara O. ve Ulgen K., 2005).

Bu çalışmada da rüzgar, fotovoltaik ve dizel generatörden oluşan, şebekeden bağımsız çalışan bir hibrid enerji sistemine ait risk değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme için IEEE test sistemlerine ait risk verileri kullanılmıştır.

1.1 Ülkemizde Yenilenebilir Enerji

Dünya üzerindeki toplam enerji gereksinimi yaklaşık 15 trilyon kWh civarındadır ve hızla artmaktadır. Bu ihtiyacın %80'i fosil yakıtlarından sağlanırken, kalan %20'lik kısmı hidroelektrik santraller ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Ülkemizde ise enerji ihtiyacının yalnızca %0,5'lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [1].

Her ne kadar kullanım oranları düşük olsa da ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Çizelge 1.1 de ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynağı potansiyelleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (Atılğan İ., 2000)

KAYNAKLAR	Brüt	Teknik	Ekonomik (Kullanılabilir)
Hidrolik Enerji			
(MW)	107.500	53.750	34.862
(milyar kWh/yıl)	430	215	124,5
Jeotermal Enerji			
Isı (MW)	31.500	7.500	2.843
(Mtep/yıl)	-	5,4	1,8
Elektrik (MW)	4.500	500	350
(milyar kWh/yıl)	-	-	1,4
Güneş Enerjisi			
Isı + Elektrik (MW)	111.500x10 ³	1.400.000	116.000
(milyar kWh/yıl)	977.000	6.105	305
(Mtep/yıl)	80.000	500	25
Rüzgar Enerjisi			
Elektrik (MW)	220.000	55.000	20.000
(milyar kWh/yıl)	400	110	50
Klasik Biomas Enerji			
Yakıt (Mtep/yıl)	30	10	7
Modern Biomas			
Yakıt (Mtep/yıl)	90	40	25

1.1.1 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü verilerine göre, Avrupa'da rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından en zengin ülkelerden biri olan Türkiye'de, rüzgar enerjisi kaynakları elektrik ihtiyacının tamamını karşılayacak düzeydedir [2].

Türkiye'nin rüzgar potansiyeli için yapılan ve ilk kez 1998'de TÜSİAD'ın "21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi" adlı raporunda açıklanan

bulgulara göre; Türkiye'nin karasal alanlarında 20 bin MW'lık kullanılabilir rüzgar enerjisiye sahip olduğu denizlerde ise bu rakamın 15 bin MW olduğu ortaya konmuştur [3].

Çizelge 1.2 Türkiye'nin rüzgar potansiyeli [3]

KARASAL ALANDA			
Karakteristik	Brüt	Teknik	Kullanılabilir
Güç (MW)	220 000	55 000	20 000
Enerji(GWh/yıl)	400 000	110 000	50 000
DENİZSEL ALANDA			
Karakteristik	Brüt	Teknik	Kullanılabilir
Güç (MW)	-	60 000	15 000
Enerji(GWh/yıl)		180 000	45 000

Dünya üzerinde ise rüzgar enerji potansiyelinin, 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki alanda 26.000 TWh/yıl olduğu, ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı 9.000 TWh/yıl kapasitenin kullanılabilir olduğu tahmin edilmektedir. Yine yapılan çalışmalara göre, Dünya karasal alanları toplamının ($107 \times 10^6 \text{ km}^2$) %27'sinin ($3 \times 10^6 \text{ km}^2$) yıllık ortalama 5.1 m/s'den daha yüksek rüzgar hızının etkisi altında kaldığı belirtilmektedir. Bu rüzgar enerjisinden yararlanma imkanının olabileceği varsayımıyla 8 MW/km² üretim kapasitesi ile 240.000 GW kurulu güce sahip olunacağı hesaplanmaktadır.

1.1.2 Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [4].

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir.

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.

Çizelge 1.3 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m²-yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Türkiye'de 2000 yılı itibariyle kurulu 3 milyon m²'lik güneşli su ısıtıcı kollektörlerle kullanılan güneş enerjisi 120 Btep/yıl düzeyinde olup, ekonomik potansiyelin %0,5'ine karşılıktır.

2. RÜZGAR ENERJİSİ

Toplumların gelişmeye başlamasıyla birlikte farklı enerji formlarının kullanılması zorunluluğu baş göstermiştir. İnsanoğlunun kullanmaya başladığı ilk enerji formlarından olan rüzgar enerjisi günümüzde de en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak gösterilmektedir.

2.1 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar enerjisi tarihte ilk olarak yelkenli gemilerin güç kaynağı olarak kendini göstermiştir. Elektrik enerjisindeki gelişmelerle birlikte (generatör teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler) rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü de sağlanmıştır.

Rüzgar enerjisi ilk kullanımı M.Ö. 2800 yıllarına kadar uzanmaktadır. Rüzgar enerjisi ilk olarak Orta Doğuda kullanılmıştır. M.Ö. 17. Yüzyılda Babil kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Persler M.S. 7. yüzyıl ortalarında dikey eksenli rüzgar değirmenleri yaygın olarak kullanmaktaydılar (Johnson G.L., 2001).

Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk Yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerin kullanılmaya başlanması 12.yüzyılda olmuştur.

18.Yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunmaktaydı. 19. yüzyıla gelindiğinde rüzgar enerjinin en önemli kullanım alanı su pompalarıydı. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile rüzgar enerjisi önemini yitirmeye başlamıştı. Bununla beraber, rüzgar türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. 23 m çapında olan bu rüzgar türbini elektrik üretimi gerçekleştirilen ilk rüzgar türbini oldu. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgar kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgar enerjisi kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlıyordu. Ancak 19.yüzyılda geliştirilen ilk rüzgar türbinlerin verimlerinin düşük olmasına rağmen 1910 yılına gelindiğinde güç değerleri 5 ile 25 kW arasında değişen birkaç yüz rüzgar ünitesi Danimarka'da enerji üretmekteydi.

1925 yılından sonra 2 ve 3 bıçaklı rüzgar türbinleri Amerikan pazarında kendilerini göstermeye başladılar.

1961 yılında Roma'da birleşmiş milletler tarafından düzenlenen "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı"nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisi idi. Böylece çok eskiden bu yana tanınan rüzgar enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor, yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. 1961-1966 yılları arasında Almanya' da rotor çapı 35 m olan 100 kW'lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde duruluyordu. 1970'lerde Danimarka'daki Gedser türbini, gücü 650 kW olan büyük türbinlerle değiştiriliyordu. Bu dönemde rüzgar generatörleri üzerinde İsviçre, Avusturya ve İtalya'da da teknolojik çalışmalar yapmaktaydı. Amerika'da 1970'lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darrieus tipi makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanamayan rüzgar enerjisi, 1974-1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımlarının ardından, gündeme daha çok girmiştir.

Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık, eski tip rüzgar generatörleri yerine modern ve çağdaş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgar türbini ile beraber, dizel motor ve güneş fotovoltaik generatörü içeren rüzgar-dizel-PV hibrid sistemlerde geliştirilmiştir.

Günümüzde bir tüketiciyi besleyecek tek türbin yerine, birden çok türbin içeren rüzgar çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılabilmektedir. Almanya, Danimarka, Hollanda, A.B.D., İspanya, İngiltere ve İsveç 'in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıdan uzakta rüzgar santralleri kurulmuştur. Günümüzde şamandıra üzerine yerleştirilen rüzgar türbinleri de vardır.

2.2 Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Rüzgar enerjinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Rüzgar enerjisi, fosil yakıtlarla, kömür ve doğalgazla yanmaya dayanan işletmeler gibi havayı kirletmez. Rüzgar türbinleri asit yağmurlarına sebep olan atmosferik emisyonlar üretmez.
- Rüzgar türbinlerinde enerji üretimi sırasında hammadde maliyeti yoktur.
- Rüzgar enerjisi, ülke içi enerji kaynağıdır.
- Rüzgar enerjisi, tükenmeyen rüzgar gücünün yenilenebilir olmasına prensibine dayanır.

- Rüzgar enerjisi hala yenilenebilir enerji kaynaklarından en düşük fiyatlılarından biridir.
- Rüzgar türbinleri çiftliklere inşa edilebilir, böylece en iyi rüzgar konumlarının bulunduğu kırsal bölgelerde ekonomiden faydalanır. Çiftçiler arazilerinde çalışmaya devam edebilir, çünkü rüzgar türbinleri arazinin sadece küçük bir kısmını kullanır.

Rüzgar enerjisini dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İlk kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu rüzgar santrallerinin en önemli dezavantajlarından biridir.
- Rüzgar hızının sabit olmamasından dolayı üretilen enerji değişkendir. Bu durumda enerjinin depolanmasını zorunlu kılmaktadır.
- Yüksek verimli rüzgar santralleri enerji ihtiyacının yüksek olduğu şehir merkezlerinden uzaktır.

Rüzgar gücü işletmelerinin diğer geleneksel güç işletmeleriyle karşılaştırıldığında nispeten küçük çevresel etkileri vardır. Bunlar bazı işletmelerin rotor pervanesiyle oluşan seslerin yüksek olması, estetik etkiler ve bazen kuşların rotora doğru uçuşuyla ölmesidir. Bu problemlerin çoğu, rüzgar tesislerinin uygun şekilde yerleştirilmesiyle veya teknolojik gelişmelerle iyice azaltılabilir.

2.3 Rüzgar Nedir

Rüzgâr esas olarak sıcaklık farkları ve bununla birlikte basınç farklılıklarından ortaya çıkmaktadır. Geostrofik deniz rüzgârı yer üzerinden 1.000 metreden daha yükseklerde hareket etmektedir ve meteoroloji balonları yardımıyla ölçülmektedir.

100 metreye kadar yüksekte olan rüzgârlar ise yüzey rüzgârlarıdır. Bunlar yeryüzünün yüzey yapısından çok fazla etkilenmektedirler. Engeller ve engeller bu rüzgârları frenlemektedir. Dünyanın dönmesinden dolayı yere yakın rüzgârlar geostrofik rüzgâr yönlerine göre kolaylıkla farklılık göstermektedir.

2.4 Rüzgar Türbinleri

2.4.1 Rüzgar enerjisi türbinlerinin tanımı

Tahrik edilen kısmı dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makinalar türbin olarak adlandırılmaktadırlar. Rüzgar türbinleri ile ilgili tanımlar, değişik kaynaklarda birbirleriyle çelişmektedir. Bu konudaki en genel tanımlama aşağıdaki gibidir: Pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane miline rotor veya türbin

denilir. Pervane mili dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu generatöre bağlayan mile de, generatör mili denir. Bunların tümü kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığıyla sağlanır. Tüm bu elemanlara, en genel halde rüzgar enerjisi tesisi adı verilir. Bu gerçeğe rağmen, yerli ve yabancı literatürde, rüzgar enerjisi tesisi yerine, rüzgar türbini tabiri kullanılmaktadır.

2.4.2 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, direnç, kaldırma ve yükselen hava kuvvetinden yararlanmalarına göre, pervane ekseninin yatay ya da düşey olmasına göre sınıflandırılabilirler.

2.4.2.1 Rüzgar kuvvetinden yararlanma şekline göre sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri rüzgar kuvvetinden yararlanma şekillerine göre 3 kısımda incelenirler. Bunlar;

- Rüzgarın Direnç Kuvvetinden Yararlanılan Türbinler
- Rüzgarın Kaldırma Kuvvetinden Yararlanılan Türbinler
- Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri

2.4.2.1.1 Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanılan türbinler

Direnç kuvvetinden yararlanan türbinlerde, rüzgara karşı bir düzey tutulur ve rüzgar basıncından dönme hareketi oluşur. Örnek olarak; kepçe tipi anemetreler, Fars çarkı ve Savonius türbini gösterilebilir. Direnç kuvvetinden yararlanan türbinler, pistonlu pompalar ile su pompalanması gibi yüksek moment gereken yerlerde kullanılmaktadırlar.

2.4.2.1.2 Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanılan türbinler

Kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlerde rüzgar; yüzeye belli bir açıyla gelir ve yüzeye etkiyen hava hızının doğrultusuna dik olarak oluşan kaldırma kuvveti, dönme hareketine dönüşür. Yüzey öncesinde yüksek basınç, yüzey arkasında ise alçak basınç oluşmaktadır. Örnek olarak, düşey eksenli Darrius türbini ve kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinleri gösterilebilir. Rüzgar türbinleri, nominal güçlerine göre de 5kW ile 100kW arasında olanlar küçük güçlü, 100kW'ın üstünde ise büyük güçlü rüzgar türbinleri olarak sınıflandırılır.

2.4.2.1.3 Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri

Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri, hava hareketindeki kinetik enerjiden yararlanan türbinlerdir. Enerji dönüştürücüsü yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri (güneş enerjisi

konveksiyon bacası), güneş ışınları enerjisi tarafından ısıtılan havanın yükselmesi ve yükselen havadaki kinetik enerjinin de rüzgar türbinini tahrik etmesi prensibine göre çalışır. Isıtılarak yükselmesi istenen hava, üstten cam veya plastik malzemeden yapılmış geçirgen bir çatı ile örtülüdür ve bu çatının ortasında yer alan betonarme bacada yükselir.

Yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerinde elde edilen güç; kolektör verimi, kolektör enine kesit alanı, havanın sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, dış ortam sıcaklığı, güneş sabiti ve bacanın yüksekliğine bağlıdır. Buradaki baca yüksekliği arttıkça, elde edilen güç de artmaktadır. Bu baca, alttan ankastre mesnet üstten serbest bir çubuk olarak idealleştirilmektedir.

2.4.2.2 Pervane ekseninin konumuna göre sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri pervane eksenlerinin konumlarına göre 2 ayrı kategoride sınıflandırılırlar (Johnson G.L., 2001). Bunlar;

- Yatay Eksenli Türbinler
- Düşey Eksenli Türbinler

2.4.2.2.1 Yatay eksenli türbinler

Dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatlar rüzgar yönüne diktir. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinlerin çoğu rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgarı arkadan alan türbinlerin ise, yaygın bir kullanım alanları yoktur.

Yatay eksenli türbinlerde rotor, dişli çark, generatör ve fren bir kule üzerinde yatay şafta bağlanmışlardır. Büyük güçlü türbinlerde (1 MW'dan büyük) transformatör de kulenin tepesinde türbin gövdesinde yer alır. Küçük güçlü türbinlerde ise, transformatör şebeke bağlantı sistemleri ile birlikte yerde bulunur.

Rotora iki veya üç kanat bağlıdır. Üç kanatlı rotor sürekli (değişikliği az, stabil) üretim sağlayıp daha sessiz çalışmasına karşın, bu tip rotorların maliyetleri yüksektir. 500 kW ile 3 MW arasındaki türbinler için rotor çapı ($=D$) genellikle 40-80 m arasında değişmektedir. Rotor genellikle kulenin önünde yer alır. Rotorun kulenin arkasında kalması halinde kulenin yarattığı türbülans türbin verimini düşürmektedir. Rotorun türbin önünde rüzgâr doğrultusuna göre ayarlanabilmesi için elektrikli yönlendirici bulunur ve bu türbin gövdesi ile kule arasında yer alır. Kule genellikle çelikten imal edilir. Büyük türbin kuleleri betondan da olabilmektedir.

Generatörün sabit hızlı olması halinde rotor hızının kontrolü gerekmektedir. Aksi halde aşırı rüzgâr hızlarında rotor kontrolsüz hızlanır ve kazaya sebep olur. Rotor kontrolü iki şekilde yapılmaktadır:

a) Rotor kanatlarının uygun dizaynı ile rüzgâr hızı belirli bir değerin üstüne çıksa dahi (örneğin: 25 m/s) türbin hızı sabit kalmaktadır (stall control). Bu olay hidroelektrik türbinlerindeki kavitasyon ile benzerlik göstermektedir.

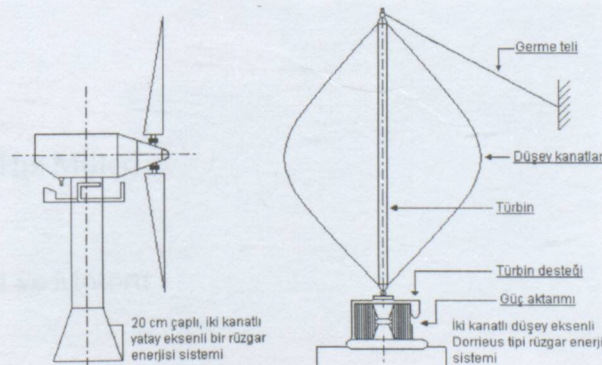
b) Kanatların rüzgâr doğrultusu ile açısının bir hidrolik sistemle değiştirilmesi (pitch control) ile rotor kontrolü sağlanabilmektedir. Çok yüksek hızlarda kanatlar rüzgâra en az direnç gösterecek şekilde çevrilerek türbin hızı ayarlanabilmektedir. Bunun hidroelektrikteki benzeri Kaplan türbinleridir. Açısı değiştirilebilen rotor kanatlarının diğer faydası düşük rüzgâr hızlarında da yüksek verimin elde edilebilmesidir. Asenkron generatörlerin rüzgar türbinlerinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte tüm rüzgar hızlarında enerji dönüşümü mümkün kılınmıştır.

Senkron generatör kullanılan rüzgar türbinlerinin hızını generatörün dizayn hızına çıkartmak için rotor ile generatör arasında dişli çark kullanılmaktadır. Ancak bu hem maliyeti hem de bakım masraflarını arttırmaktadır.

2.4.2.2.2 Düşey eksenli türbinler

Bu türbinlerin dönme eksenleri düşey ve rüzgara diktir. Kanat kirişleri dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Düşey eksenli türbinlerde, kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur.

Aynı ilke Savonius rotorlarda daha özel bir şekilde kullanılır. Bu rotorda güç katsayısı 0,15'den daha azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler.(Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Düşey ve yatay eksenli türbinler

Kanatlar bir düşey şafta bağlanmıştır. Bu türbinler G.J.M. Darrieus isimli bir Fransız mühendis tarafından 1931'de icat edildiğinden Darrieus türbini olarak da isimlendirilir. Yatay eksenli türbinlere göre üstünlükleri şunlardır:

- a) Rüzgâr doğrultusundan etkilenmez. Dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yoktur.
- b) Bütün elektromekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır.

Buna karşılık düşey eksenli türbinlerinin başlıca iki eksikliği var:

- a) Türbin kanatları dizaynı dolayısıyla verimleri düşüktür.
- b) Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgâr hızına maruz kalırlar, bu ise enerji üretimini azaltır.

Verim düşüklüğü nedeniyle düşey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamıştır. Uygulama Kanada ve Kaliforniya'daki birkaç ünite ile sınırlı kalmıştır. "H" türbini denen ve bir kulenin tepesinde düşey şaft üzerine yerleştirilen türbin araştırma konusu oluyorsa da henüz ekonomik açıdan fizibil olamamıştır.

2.4.3 Modern yatay eksenli rüzgar türbinlerini oluşturan elemanlar

Yer konumuna göre, rotoru yatay eksenle çalışan yatay eksenli rüzgar türbinleri, daha geleneksel ve daha modern bir kullanımı sunarlar. Bir rüzgar türbinin elektrik sistemi mekanik enerjinin elektrikselleştirilmesine dönüştürme sağlayacak tüm ekipmanın yanında, kontrol ve izleme ekipmanlarını da içermelidir (Iou F., Bloobjerg F. ve Chen Z., 2002). Modern yatay eksenli kanatlı rüzgar türbinlerini oluşturan ana elemanlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler;

- Kule
- Yatak
- Türbin Pervanesi
- Dişli Kutusu
- Generatör
- Yüksek ve Düşük Hız Milleri
- Hız Kontrolörü
- Yönelme Sürücüsü ve Motoru

2.4.3.1 Kule

Kule malzemesi, genelde çelik veya betondur. Modern rüzgar türbinleri, halka enine kesitli kulelere sahiptir. Kule yüksekliği, yüksekteki daha rüzgar hızlarından yararlanmanın getirişi ile boya bağlı artış gösteren kule maliyeti arasındaki optimum çözümle belirlenir. Kule boyutlandırılmasındaki bir diğer parametre de, eğilme doğal frekansı, kule malzemesi ve dolayısıyla maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgar türbinlerinin tüm imalat giderlerinin % 11-20'si kule imalatına aittir.

2.4.3.1.1 Kule seçimi

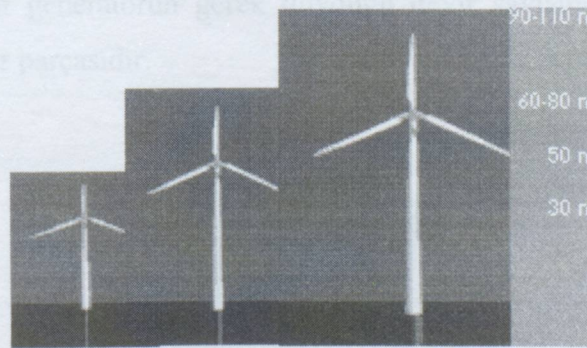
Kule, rüzgar türbinlerinde yatak ve rotoru taşır. Kuleler genellikle tüp şeklinde çelik, kafes yapılı veya betonarme olarak inşa edilir. Halat destekli direk tipi kuleler genellikle küçük türbin uygulamalarında kullanılır.

Tüp şeklindeki kule şekli en çok tercih edilen kule şeklidir. Genellikle 20 – 30 metre yükseklikte üretilir. Kafes yapılı kuleler çelik profillerin kaynaklanarak birleştirilmesi ile oluşturulur. En temel avantajları maliyetlerinin düşük olmasıdır. Benzer boyutlarda bir tüp kulenin hemen hemen yarısı kadar malzeme ve yapım maliyeti vardır.

Birçok küçük türbin halat destekli direk tipi kule kullanılarak inşa edilir. En büyük avantajı ağırlığının çok az ve maliyetlerinin çok düşük olmasıdır. Dezavantajları ise araziye kurulum zorluğu ve tarım alanlarının kullanımını engellemesidir.

2.4.3.1.2 Kule uzunluğunun seçimi

Büyük bir türbinden küçüğüne oranla daha büyük bir güç elde edileceği muhakkaktır. Şekil 2.2'de sırası ile 225 KW , 600 KW ve 1500 KW'lık türbinleri görülmektedir.



Şekil 2.2 Farklı güçlerdeki rüzgar türbinlerinin kule uzunlukları

Kule ve kanat boyutları elde edilen güç/maliyete oranı ekonomik olduğu sürece büyük uzunlukta seçilebilmektedir.

2.4.3.2 Yatak

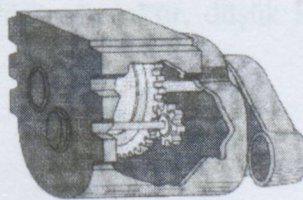
Yatak, kulenin en üstünde bulunan ve içerisinde dişli kutusunu, düşük ve yüksek hız milini generatörü, kontrolörü ve fren sistemini bulunduran kısımdır.

2.4.3.3 Türbin pervanesi

Rüzgar türbinlerinin pervaneleri; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik (cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı) ve ağaçtan imal edilebilmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten üretilmektedirler. Çelikten üretilen kanatların eğilmeye dayanımı büyüktür. Fakat, yorulma dayanımları ve korozyon sorunu yaratmaktadırlar. Alüminyum kanatlar, çeliğe göre daha hafif ve korozyona daha dayanıklıdır. Alüminyum malzemenin zayıf noktaları; kabuk şeklindeki malzemenin burkulması, imalat tekniğinin zorluğu ve pahalı olması olarak gösterilebilir. Cam elyafının kopma mukavemeti, 420 N/nm^2 ile St 52 çeliğinin kopma mukavemeti 520 N/nm^2 'ye yakındır. Karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzemenin kopma mukavemeti ise, 550 N/nm^2 ile çelikten daha iyidir. Cam elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzemenin ana sorunu, elastisite modülünün 15 kN/nm^2 ile çeliğe nazaran (210 kN/nm^2) çok düşük olmasıdır. Bu nedenle, çok uzun kanatlarda cam elyafı yerine, elastisite modülü 44 kN/nm^2 olan karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzeme kullanılır.

2.4.3.4 Dişli kutusu

Pervane milindeki enerji, generatöre bir dişli sistemi ile aktarılır. Dişli sistemi, pervane milinin devir sayısını generatörün gerek duyduğu devir sayısına çıkarır. Dişli kutusu bir rüzgar türbinin en ağır parçasıdır.



Şekil 2.3 Dişli kutusu

2.4.3.5 Generatör

Rüzgar enerjisi tesislerinde kullanılan generatörler, alternatif akım veya doğru akım generatörleri olabilir. Burada elde edilen elektrik akımı, yetersiz kalitede alternatif akım veya doğru akım bile olsa, çeşitli güç elektroniği düzenekleriyle şebekeye uygun hale getirilebilirler.

Doğru akım generatörleri, büyük güçlü rüzgar enerjisi tesislerinde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimi sahip olmaları ve alternatif akım generatörlerine göre daha yüksek maliyetli olmalarıdır. Doğru akım generatörleri, günümüzde sadece küçük güçlü rüzgar enerji tesislerinde akülere enerji depolamak için kullanılır.

Direkt şebekeye bağlantı sistemlerinde; alternatif akım generatörlerini oluşturan asenkron veya senkron generatörlerin millerinin devir sayısı $n_{\text{senkron}} = 60.f/p$ (d/d) bağlantısı ile verilir. Burada f Hertz biriminde elektrik şebekesi frekansı, p çift kutup sayısı ve n dakikada devir sayısıdır. Dişlideki kayıplar ve gürültünün önlenmesi amacıyla, çok kutuplu generatörü olan dişli kutusuz türbinler de kullanılmaktadır. Bu bağıntıdan da anlaşılabileceği gibi, generatörün kutup sayısı arttıkça, 50 Hz'lik elektrik şebekesi frekansına uygun akım için gereken generatör mili devir sayısı da azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek kutup sayılı generatörlerde dişli kutusuna gerek kalmamaktadır.

Asenkron generatör kullanılan rüzgar türbinlerinin bağlandıkları şebekeye olan etkileri ikiye ayrılabilir;

- Kararlı hal güvenliği
- Güç kalitesi

Kararlı hal güvenliğindeki amaç rüzgar gücü enjekte edildiğinde, şebeke güç kararlılığı koşullarını kontrol etmektir. Güç kalitesi analizi ise rüzgar hızındaki değişimlere karşı üretilen gerilim dalgasındaki bozulmaları izler (Cidras J. ve Feijoo A.E., 2002).

2.4.3.6 Yüksek ve düşük hız milleri

Yüksek hız milinin görevi generatörü sürmektir, düşük hız mili ise rotor tarafından tahrik edilen mildir.

2.4.3.7 Hız kontrolörü

Rüzgar türbinin çalışma aralığını belirleyen kısım hız kontrolörüdür. Rüzgar türbinlerinin enerji üretimine başlayacağı rüzgar hızı (cut-in speed) ve türbinin devre dışı kalacağı rüzgar

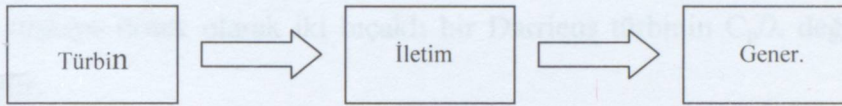
hızı (cut-out speed) değerlerinin uygulanması hız kontrolörü tarafından yapılmaktadır.

2.4.3.8 Yönelme sürücüsü ve yönelme motoru

Rüzgar türbinlerinde rotorun rüzgarın esme yönüne göre hareketini belirleyen ekipman yönelme sürücüsüdür. Yönelme motoru ise sürücüden aldığı komutlar doğrultusunda rotorun hareketini sağlar.

2.5 Rüzgar Türbinlerinden Elektrik Enerjisi Üretimi

En basit hali ile bir rüzgar türbinindeki enerji dönüşümü kanatlara çarpan rüzgarın rotoru çevirmesi ve rotorun miller vasıtası ile generatörü tahrik etmesi ile açıklanabilir.



Şekil 2.4 Rüzgar türbininde enerji dönüşümü

Generatör çıkış gücü olan P_e , rüzgar türbini iletim sisteminin çıkışında elde edilen güç (P_t) ile generatör veriminin (η_g) çarpımı olarak ifade edilmektedir.

$$P_e = \eta_g P_t \quad (2.1)$$

İletim sisteminin verimi (η_m) ile türbin güç katsayısının (C_p) da işleme dahil olmasıyla birlikte generatör çıkış gücü türbin giriş gücü olan rüzgar gücü (P_w) cinsinden denklem 2.2 gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w \quad (2.2)$$

Bir rüzgar türbin sisteminde rüzgar hızına bağlı olarak elde edilebilecek maksimum güç 2.3 ifadesi ile formüle edilmektedir (Bekiroğlu N., Yumurtacı Z. ve Kekezoğlu B., 2006).

$$P_e = 0.5 \rho \pi R^2 v^3 C_p \quad (2.3)$$

Bu ifadede,

ρ : Havanın özgül ağırlığını (kg/m^3)

R: Türbin yarı çapını (m)

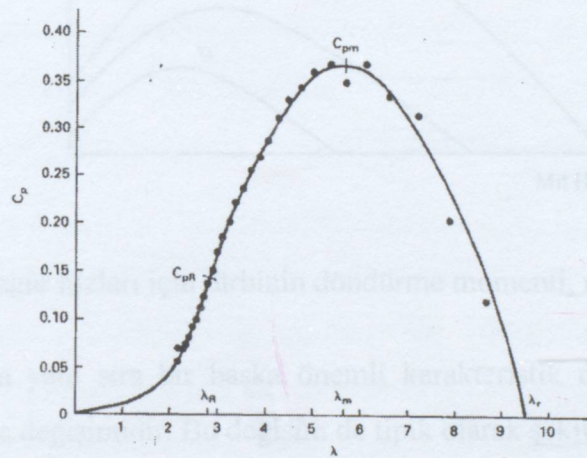
v: Rüzgar hızını (m/s) ifade etmektedir.

C_p katsayısı da λ uç hız oranına bağlı bir büyüklük olup, her rüzgar hızı için, belirli mil hızında bir maksimum değere sahiptir. C_p katsayısı eğer sistemde mevcutsa dişli kutusunun, generatörün ve güç elektroniği elemanlarından oluşan dönüştürücülerin verimlerini içerir. Bir rüzgar enerjisi çevrim sistemi için güç katsayısının alabileceği en yüksek değer 0,59 olarak sınırlandırılmıştır (Betz Limiti) (De Broe A.M., Drovilhet S. ve Gevorgian V., 1999). Uç hız oranı ise;

$$\lambda = R\omega/v \quad (2.4)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Bu denklemde yer alan ω , rad/sn cinsinden mil hızıdır.

Buna göre herhangi bir rüzgar hızı için uç hız oranının C_p 'yi maksimum yaptığı nokta, mevcut rüzgardan en yüksek güç alınabilecek çalışma noktasıdır. Güç katsayısı ile uç hız oranı arasındaki ilişkiye örnek olarak iki bıçaklı bir Darrieus türbinin C_p/λ değişimi Şekil 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 İki bıçaklı bir Darrieus türbinin C_p/λ değişimi

Rüzgar türbininin ürettiği döndürme momenti ifadesi, türbin üzerinde üretilebilecek maksimum gücün mil açısal hızına oranı ile elde edilebilir.

$$M_e = P_e / \omega = (0.5\rho\pi R^2 v^3 C_p(\lambda)) / \omega \quad (2.5)$$

Denklem 2.5 döndürme moment katsayısı (C_T) katılarak yeniden düzenlenirse döndürme momenti;

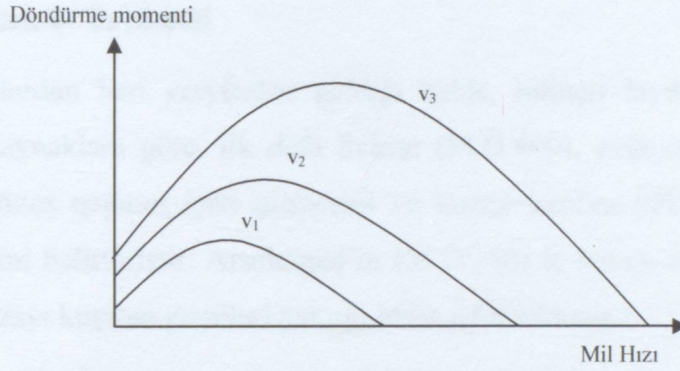
$$M_e = 0.5\rho\pi R^3 v^2 C_T(\lambda) \quad (2.6)$$

şeklini alır.

Döndürme momenti katsayısı güç katsayısının uç hız oranına oranı şeklinde ifade edilmektedir. Başka bir deyişle güç katsayısı uç hız oranı ile döndürme momenti katsayısının çarpımına eşittir.

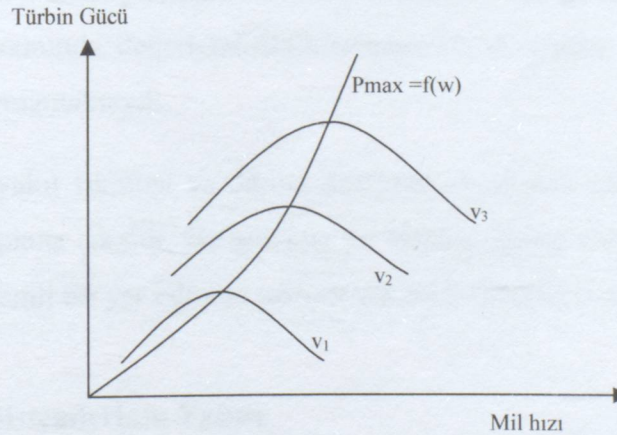
$$C_p = \lambda C_T \quad (2.7)$$

Bir rüzgar türbinin sahip olduğu C_T katsayısının uç hız oranına göre değişimi, türbin üreticisi firmalar tarafından verilmiş grafiklerden, rüzgar tüneli testlerinden elde edilebilir ya da bir prototip için sonlu elemanlar analizi yardımıyla, hesaplanabilir. Farklı rüzgar hızları için türbin döndürme momentinin mil hızına bağlı değişimi de 2.6 bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Farklı rüzgar hızları için türbinin döndürme momenti, mil hızı karakteristiği

Döndürme momentinin yanı sıra bir başka önemli karakteristik de türbinden alınabilecek güçlerin mil hızına göre değişimidir. Bu değişim de tipik olarak şekil 2.7'deki gibidir.



Şekil 2.7 Farklı rüzgar hızlarında, türbin gücünün ve her hızdaki maksimum gücün mil hızına bağlı değişimleri

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyamızın en büyük enerji kaynağı olan güneş enerjisi tarihsel süreç içerisinde elektrik enerjisi üretiminde de kendisini göstermiştir. Güneş enerjisi sistemlerinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan sistemlere “Fotovoltaik Sistemler” adı verilir.

Fotovoltaik kelimesi “photo” ve “volta” kelimelerinin bileşiminden ortaya çıkmıştır. Photo kelimesi Latince ışık anlamında kullanılmaktaydı. Volta (Count Volta: 1745 – 1827 İtalyan fizikçi) ise elektriksel bir büyüklük olan gerilimin birimi olarak kullanılmaktadır. Kısaca fotovoltaik (photovoltaic - PV) kelimesi güneş ışığının elektrik enerjisine direk çevrimini ifade etmektedir (Volker Q., 2005).

3.1 Güneş Enerjisinin Tarihçesi

Güneş ışınlamı asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde, bilinçli faydalanmaya başlanması oldukça yenidir. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö.400), evlerin güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışığının içeri girmesini ve kuzey tarafını yüksek yaparak rüzgarın önlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Archimede’nin (M.Ö.250) iç bükey aynalarla güneş ışığını odaklayarak Sirakuzayı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir.

Güneş enerji sistemlerinin geçmişi 1839 yılına uzanmaktadır. Bu tarihte Becquerel tarafından ışık etkisi keşfedilmişti, fakat bu yüzyılın teknoloji düzeyi PV sistemlerinin keşfedilmesi için yetersizdi. Yarı iletken malzemeler bu keşiften 100 yıl sonra kullanılmaya başlandı. Böylelikle PV sistemlerine ulaşmak için ilk adım atılmış oldu. Shockley’in p - n jonksiyon modelini geliştirmesinin ardından Bell Laboratuvarları’nda 1954 yılında ilk güneş hücresini geliştirildi. Bu hücrenin verimi yaklaşık %5 civarlarındaydı. İlk geliştirilen güneş hücreleri uzay araştırmaları kapsamında değerlendirildiklerinden bu dönemler için maliyetleri kaygı verici bir durum oluşturmamaktaydı.

1970’ler baş gösteren yakıt sıkıntısı ve dünya üzerinde uygulanan ambargolar yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkardı. Bu gelişme ile birlikte güneş enerji sistemleri de enerji piyasasında kendine önemli bir yer edinme şansını yakaladı (McGarw-Hill Editors, 1999).

3.2 Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yapısı

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan güneş panelleri yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilmektedirler. Yarı iletken elemanlar son yörüngelerinde dört adet elektron bulunduran elementlere verilen isimdir. Son yörüngede bulunan bu elektronlara

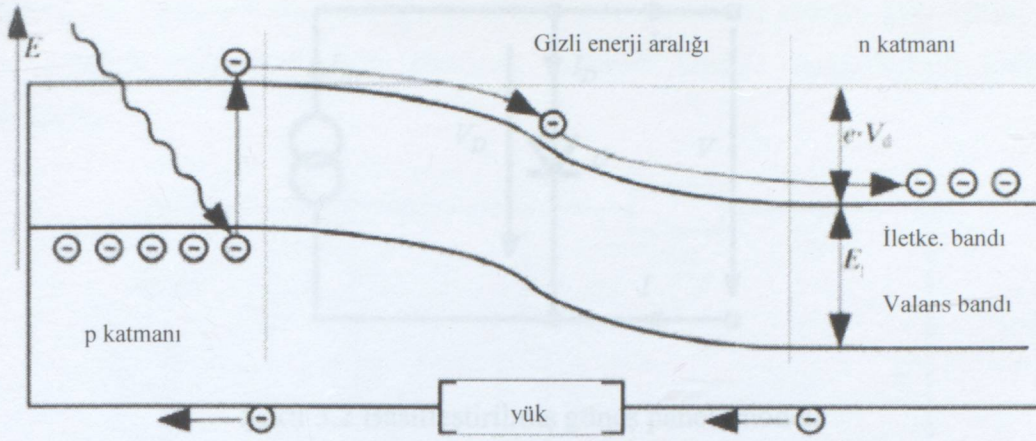
valans elektronları adı verilir. Yarı iletken elementler periyodik cetvelin IV. grubunda bulunurlar (Silisyum, Germanyum vb.). Bununla birlikte III. ve V. grup elementleri ve II. ve VI. grup elementlerinin de eşit oranlarda birleşerek oluşturdukları bileşikler yarı iletken malzeme özelliği gösterirler.

Silikon fotovoltaiik sistemlerde en çok kullanılan yarı iletken malzemedir. Doğada oksijenden sonra en sık rastlanan element olmasına rağmen silikon saf halde bulunmamaktadır.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkı maddeleri gereklidir. Bir yarı iletken malzemenin n tipi malzemeye dönüştürülmesi için V. grup elementlerinden biri ile etkileşime girmesi gerekir. V. grup elementinin son yörüngesinde yarı iletken malzemeye göre bir fazla elektron olduğundan, bu fazla elektronu yarı iletken malzemeye verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi adı verilir. Böylelikle oluşmuş olan n tipi malzemedeki negatif yüklü bir karakteristiğe kavuşmuş olur.

p tipi yarı iletken malzeme elde etmek için ise, elementin III. grup elementlerinden (alüminyum, indiyum, bor vb.) biri ile etkileşime girmesi sağlanır. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için, yeni oluşan bileşikte bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

p ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. n tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler, çoğunluğu oluştururlar. p ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. p - n yapısı oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. p - n tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, p bölgesi tarafında negatif, n bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklem bölgesi güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron - hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.



Şekil 3.1 Güneş paneli kesiti

Yarıiletkenler, bir gizli enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar, valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu gizli enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, p - n eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron - hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder [4].

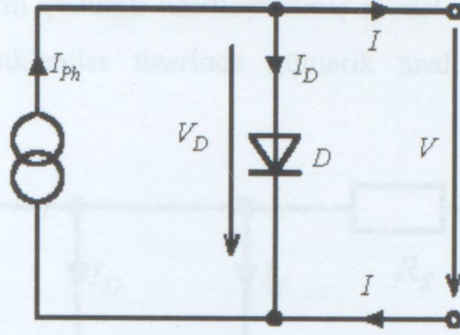
3.3 Güneş Enerjisi Sistemlerinin Elektriksel Eşdeğer Devreleri

Güneş enerji sistemleri, fiziksel konumları göz ardı edilerek elektriksel eşdeğer devreler ile modellenebilmektedirler (Araujo R.G., Kruter S., Onnekin K. ve Quaschnig V., 2001).

3.3.1 Basitleştirilmiş model

Çeşitli ilhaller yapıldığında güneş enerji sistemlerinin en sade modeli, basitleştirilmiş model ile ifade edilmiştir. Basitleştirilmiş güneş panelinin, elektriksel eşdeğer modeli, bir diyot ve bir akım kaynağından oluşur.

Model üzerinde akım kaynağı (I_{ph}) foton akımını ifade etmektedir ve güneş ışınımı ($E - 'W/m^2'$) ile doğru orantılıdır (Araujo R.G., Kruter S., Onnekin K. ve Quaschnig V., 2001). Güneş panelini oluşturan yarı iletken elemanı (n - p tabakası) ise en basit hali ile bir diyot yardımıyla modellenmiştir.



Şekil 3.2 Basitleştirilmiş güneş paneli modeli

Devre çözülmesi için Kirchhoff akım yasası kullanıldığında;

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade de I , panelin çıkış akımını, I_{ph} , foton akımını ve I_D , diyot akımını göstermektedir. I_D diyot akımı denklem 3.2 gösterildiği ifade edilebilir.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{mV_T}} \right) - 1 \quad (3.2)$$

Bu denklemde I_S diyotun doyma akımını, m diyot faktörünü, V_T termal gerilimi (25° sıcaklıkta 25,7 mV değerindedir) ve V panelin çıkış gerilimini ifade etmektedir.

3.3.2 Tek diyotlu model

Basitleştirilmiş model her ne kadar güneş paneline ait büyüklüklerin hesaplanmasına yardımcı olsa da optimal bir gösterim şekli değildir. Gerçekte panel üzerinde gerilim düşümleri ve kaçak akımlar meydana gelmektedir.

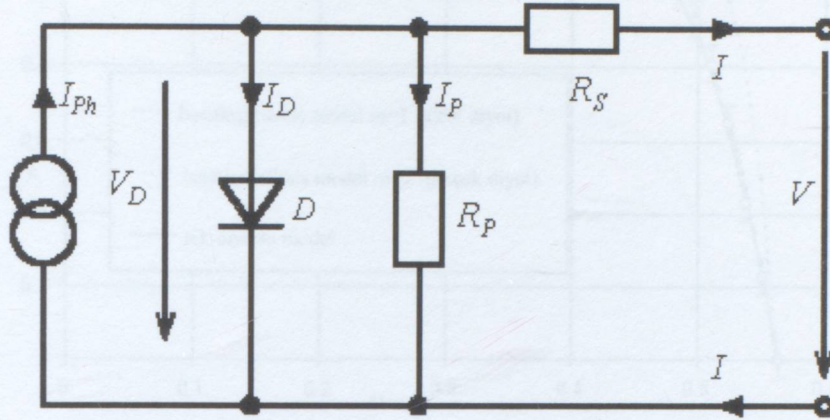
Panel üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerinin sembolize edilmesi amacıyla tek diyotlu modelde R_S seri direnci kullanılmıştır. Güneş paneli üzerinde meydana gelebilecek olan kaçak akımların modellenmesi ise R_P paralel direnci ile sağlanmıştır.(Şekil 3.3).

Tek diyotlu model üzerinde Kirchhoff akım yasasının uygulanmasıyla denklem 3.3 de verilen eşitlikler elde edilir.

$$I_{ph} - I_D - I_P - I = 0$$

$$I_{ph} - I_S \left(e^{\frac{V + I.R_S}{mV_T}} \right) - 1 - \frac{V + I.R_S}{R_P} - I = 0 \quad (3.3)$$

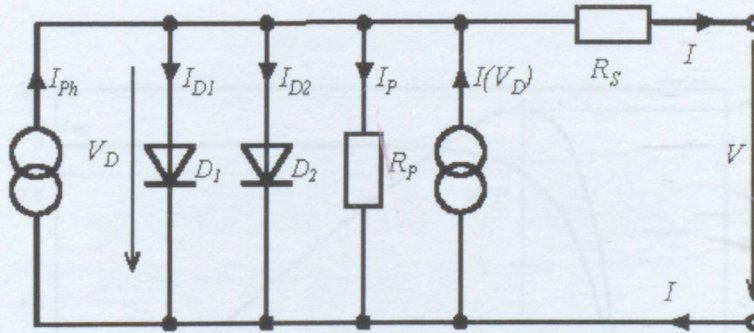
Elde edilen bu denklemlerin çözümü basitleştirilmiş model de olduğu gibi kolay değildir. Sonuca ulaşmak için denklemler üzerinde nümerik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.3 Tek diyotlu model

3.3.3 İki diyotlu model

İki diyotlu model negatif gerilim altında güneş panelinin arıza durumunu sembolize eder. Diyot faktörleri birbirinden farklı iki diyot eşdeğer devrede kullanılır (Şekil 3.4).

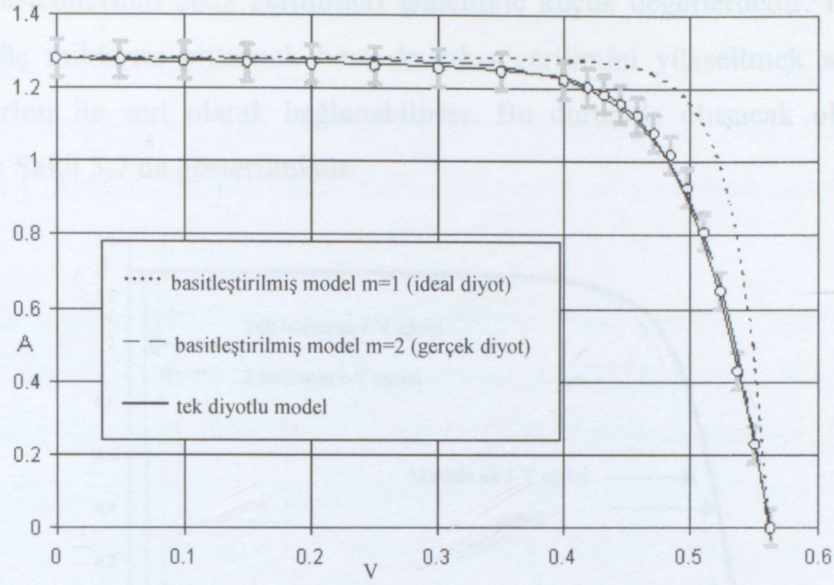


Şekil 3.4 İki diyotlu model

Model üzerindeki ikinci akım kaynağı diyotun negatif gerilim altındaki arızasını temsil eder.

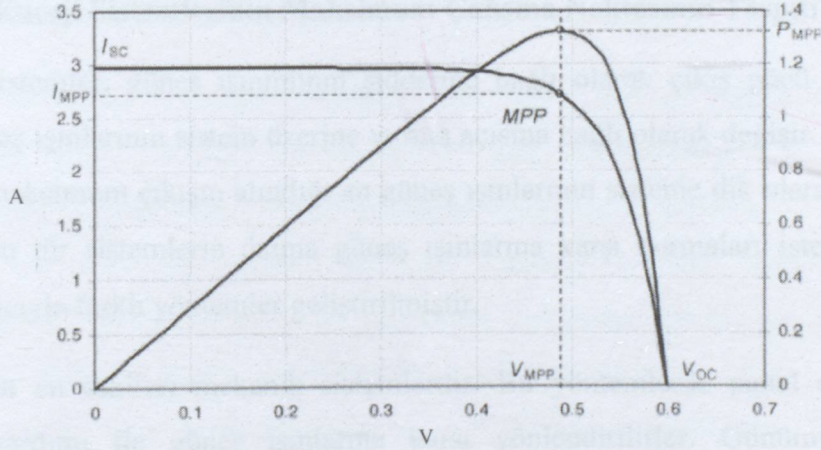
3.4 Güneş Enerji Sistemlerinin V-I Karakteristikleri

Güneş Enerji Sistemlerini akım – gerilim karakteristikleri oluşturmada önce sisteme ait açık devre ve kısa devre parametrelerinin hesaplanması (ya da ölçülmesi) gerekmektedir.



Şekil 3.5 Örnek bir güneş enerji sistemine ait V – I karakteristiği

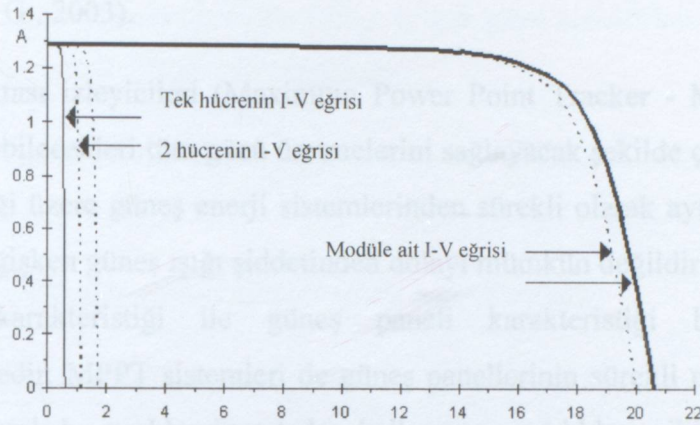
Şekil 3.5’de açıkça görüldüğü gibi, basitleştirilmiş modelde kullanılan ideal bir diyot güneş gerçek panelinin karakteristiğinden oldukça farklı bir eğriyi ortaya çıkarmıştır. Basitleştirilmiş model üzerinde gerçek bir diyotun kullanımı ise modelin gerçek sisteme olan yakınsamasını arttırmıştır. Tek diyotlu model kullanımı ile sisteme ait gerçek akım – gerilim karakteristiğine ulaşılmıştır.



Şekil 3.6 Örnek bir güneş enerji sisteminin V – I ve P – V karakteristikleri üzerinde maksimum güç noktası

Şekil 3.6, bir güneş enerji sisteminin akım – gerilim karakteristiği üzerinde maksimum güç noktasını göstermektedir. Şekilden de görülebileceği üzere sistemin açık devre geriliminin 0,6V, kısa devre akımının 3A olmasına rağmen maksimum gücün sağlandığı noktada (nominal çalışma noktası) gerilim 0,48V ve akım 2,75A’dır.

Güneş enerji sistemlerinin çıkış gerilimleri genellikle küçük değerlerdedir. Hem sistemden alınabilecek güç miktarını arttırmak hem de çıkış gerilimini yükseltmek amacıyla güneş panelleri birbirleri ile seri olarak bağlanabilirler. Bu durumda oluşacak olan sisteme ait karakteristikler Şekil 3.7 da gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Seri bağlı güneş panellerine ait V – I karakteristiği

Karakteristik yapısı olarak sistemde herhangi bir değişiklik olmamasına karşın, çıkış geriliminin artışı ile birlikte sistemden elde edilebilecek maksimum güç değeri de yükselmiştir.

3.5 Güneş Enerji Sistemlerinin Maksimum Çalışma Noktasının Tespiti

Fotovoltaik sistemler, güneş ışınımının şiddetine bağlı olarak çıkış gücü üretirler. Güneş ışınımında güneş ışınlarının sistem üzerine vurma açısına bağlı olarak değişir. Bir güneş enerji sisteminden maksimum çıkışın alındığı an güneş ışınlarının sisteme dik olarak çarptığı andır. Dolayısıyla bu tür sistemlerin daima güneş ışınlarına karşı durmaları istenir. Bu durumu sağlamak amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Bu sistemlerin en eskileri mekanik sistemlerdir. Bu yöntemlerde panel sistemi mekanik ekipmanlar yardımı ile güneş ışınlarına karşı yönlendirilirler. Günümüzde ise güneş panellerinde maksimum verimin ve çıkış gücünün alınması amacıyla maksimum güç noktası takip edicileri (MPPT – maximum power point tracker) kullanılmaktadır. Bu sistemler çeşitli algoritmaların elektronik yapılar aracılığıyla panele uygulanması vasıtasıyla panelin gelen güneş ışınına göre maksimum çalışma noktasında işlem görmesini sağlarlar.

3.5.1 Maksimum güç noktası izleyiciler (MPPT)

Birim güç üretiminde en fazla harcama yapılan sistemler güneş enerji sistemleridir. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan güç devrelerinin amacı minimum seviyede güç kaybına sebep olmak ve güneş panelinin maksimum enerji transferine izin verecek şekilde çalışmasını sağlamaktır (Walker G., 2003).

Maksimum güç noktası izleyicileri (Maximum Power Point Tracker - MPPT), fotovoltaiik (PV) modülleri üretebilecekleri tüm gücü üretmelerini sağlayacak şekilde çalıştıran elektronik sistemlerdir. Bilindiği üzere güneş enerji sistemlerinden sürekli olarak aynı verimde elektrik enerji elde etmek değişken güneş ışığı şiddetinden dolayı mümkün değildir. Dolayısıyla bu tip sistemlerde yük karakteristiği ile güneş paneli karakteristiği birbiri ile uyum sağlayamayabilmektedir. MPPT sistemleri de güneş panellerinin sürekli maksimum noktada çalışmalarını sağlayarak bu problemin ortadan kalkmasını sağdıkları gibi, kullanılacak olan güneş panellerinin sayısının azalmasına yol açarak maliyetlerin de azalmasını sağlamaktadırlar.

MPPT sistemleri, PV modülleri güneş ışınlarının geliş açısına göre konumlandıran mekanik bir izleme sistemi değildir. MPPT sistemleri, PV modüllerin elektriksel çalışma noktalarını değiştirerek modüllerin mümkün olan maksimum gücü üretmelerini sağlayan elektronik tabanlı yapılardır. Buna karşın MPPT sistemleri, mekanik izleme sistemleri ile birlikte de kullanılabilmektedirler.

Güneş enerji sistemleri üreticiler tarafından bataryaları (aküleri) şarj etmek üzere dizayn edildiklerinden dolayı klasik konvansiyonel şarj kontrolörler bu tip sistemlerde kullanılmaktadır. Konvansiyonel kontrolör, boş bir bataryayı doldurmak istediğinde panelleri direk olarak bu bataryaya bağlar. Böylelikle modüller batarya geriliminde çalışmaya zorlanmış olur. Bu gerilim seviyesi ise genellikle panellerin maksimum gücü elde etikleri gerilim değeri değildir. MPPT sistemleri ise böyle bir durumda sahip olduğu algoritma yardımıyla modülün maksimum gücü elde edeceği gerilim seviyesini belirlerler. Daha sonra üretilen gerilim yüksek verimli DC-DC dönüştürücüler yardımıyla batarya gerilimine çevrilir (Blue Sky Energy).

Bir MPPT sisteminin verimi Denklem 3.4'de verildiği gibi ifade edilebilir;

$$\int_0^T P_{\max}(t) dt$$

2019 yılında Türkiye'de en çok satılan 100 kişisel bakım ürünü arasında yer alan markaların, ziraatla ilişkisine

kullanılanları; bu problemler oluşmaktadır. Bu probleme çözüm olarak; dünya çarında

- Parazit Kapasite Algoritması (Parasitic Capacitance)

olarak sıralanabilir (Holm D.P., Kopp M.E., 2000).

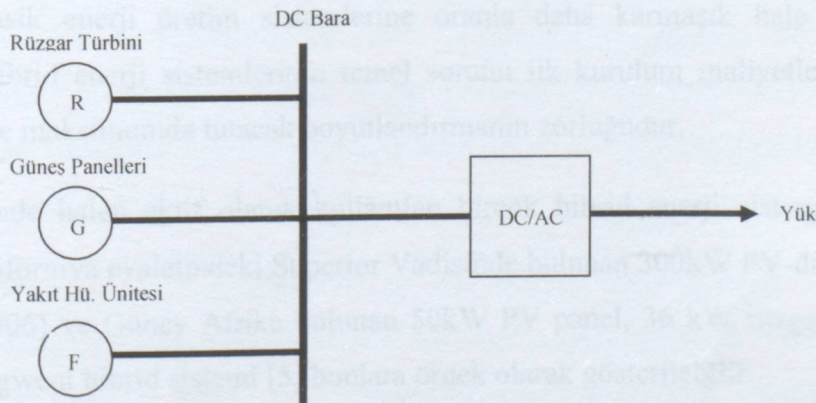
4. HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının birinci derece enerji kaynakları arasında kullanılmaya başlanmalarıyla birlikte hibrid enerji sistemleri kavramı ortaya çıkmıştır. Hibrid kelimesi literatürde “melez” anlamında kullanılmaktadır. Enerji sistemlerinde ise kavram olarak birden çok güç sisteminin bir arada kullanılması olarak açıklanabilmektedir.

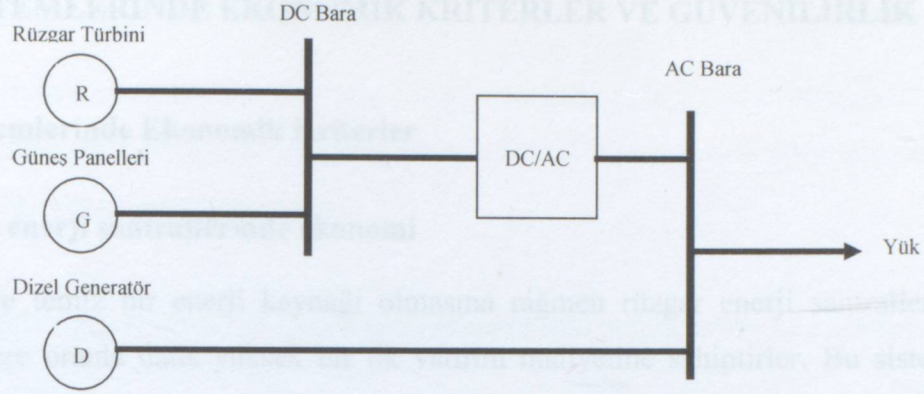
Dünya üzerinde klasik elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların, zamanla tükenmeye başlanması ve enerji dönüşümü sonucunda oluşturdukları atıklarının çevreye zararlı olması gelecek adına önemli problemler oluşturmaktadır. Bu probleme çözüm olarak; dünya üzerinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının, diğer enerji kaynakları ile birlikte hibrid olarak kullanılması sonucu elde edilebilecek alternatif bir enerji kaynağı gösterilebilmektedir.

Farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanılmasının çeşitli nedenleri olabilmektedir. Bunlardan en önemlisi rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliklerinin bulunmaması ve yükleri tekil olarak besleyememeleridir. Yalnızca alternatif enerji kaynaklarından oluşan bir hibrid enerji sistemi çiftlikler ya da evler gibi küçük yüklerin beslenmesinde tek başlarına yeterli olabilmektedirler. Fakat büyük ve sürekli yüklerin beslenmesinde yenilenebilir enerji kaynakları yeterli gücü sağlayamayabilmektedirler. Bu gibi sistemlerde dizel generatörler kullanılarak gerekli güç eksikliğini tamamlamakta ve şebeke frekansını belirlemektedir. Benzer şekilde çeşitli depolama ekipmanları kullanılarak da hibrid enerji sistemlerinde süreklilik problemi aşılabilmektedir. Günümüzde klasik depolama ekipmanlarında (akümülatör vb.) hidrojen depolama sistemlerine kadar birçok depolama teknolojisi hibrid enerji sistemlerinde baş göstermektedir.

Şekil 4.1’de hibrid enerji sistemlerine çeşitli örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.1a Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu hibrid enerji sistemi



Şekil 4.1b Yenilenebilir kaynaklar ve fosil yakıtlarının bir arada kullanıldıkları hibrid enerji sistemi

Şekil 4.1a'da görüldüğü gibi hibrid sistemler yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılmaları ile elde edilebilirler. Güneş panellerinden elde edilen çıkış gerilimi ve yakıt hücrelerinin çıkış gerilimi DC'dir. Küçük güçlü rüzgar türbinlerinin çıkış gerilimleri de DC olabilmektedir. Bu durum DC gerilim ile beslenen yüklerde avantaj teşkil etmektedir. Bununla birlikte yüksek güçlü rüzgar türbinlerinin çıkış güçleri de AC olmasına karşın yüksek değerlere sahip olabilmektedir. Bu gibi sistemlerde rüzgar türbininin çıkış gerilimi doğrultularak alçaltılır ve sistemde bir DC bara oluşturulur.

Son yıllarda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre birbirini tamamlayıcı özellik gösteren alternatif enerji kaynaklarının birlikte kullanımının sistem güvenilirliğini artıracığı belirlenmiştir. Eleman boyutlarının ve denetim stratejisinin iyi seçilmesi durumunda sistem maliyetinin çok az yükseleceği hatta kurulan bölgenin özelliklerine göre biraz düşebileceği belirtilmiştir.

Tüm avantajlarına rağmen hibrid sistemlerde kullanılan eleman sayısının fazlalığı bu sistemini klasik enerji üretim sistemlerine oranla daha karmaşık hale getirecektir. Bu doğrultuda hibrid enerji sistemlerinin temel sorunu ilk kurulum maliyetlerini minimumda, güvenilirliği ise maksimumda tutacak boyutlandırmanın zorluğudur.

Dünya üzerinde halen aktif olarak kullanılan birçok hibrid enerji sistemi bulunmaktadır. Amerika Kaliforniya eyaletindeki Superior Vadisinde bulunan 300kW PV-dizel hibrid sistemi (Patel M., 2006) ve Güney Afrika bulunan 50kW PV panel, 36 kW rüzgar generatöründen oluşan Lucingweni hibrid sistemi [5] bunlara örnek olarak gösterilebilir.

5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE EKONOMİK KRİTERLER VE GÜVENİLİRLİK

5.1 Güç Sistemlerinde Ekonomik Kriterler

5.1.1 Rüzgar enerji santrallerinde ekonomi

Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olmasına rağmen rüzgar enerji santralleri, fosil yakıtlı santrallere oranla daha yüksek bir ilk yatırım maliyetine sahiptirler. Bu sistemlerde başlangıç maliyetlerinin kabaca %80'ini ekipman maliyetleri ve kurulum maliyetleri içerir (Morei M.I., El-Faurly T.H.M., El-Soudany E.F. ve Saloma M.M.A., 2003). Başlangıç maliyetlerinin yüksek oluşu nedeniyle optimal işletim açısından rüzgar enerji sistemlerinde ekonomi önemli bir konu halini almaktadır. Bunun yanında bir rüzgar enerjisi çevrim santralinde rüzgar güç değerini hesaplamak için tüm güç sisteminin hesaba katılması gerektiğinden, enerji maliyetini hesaplamak daha kolay bir işlem halini almaktadır (Kennedy S., 2005).

Bir rüzgar enerji santralinde birim enerji maliyeti başlangıç maliyetleri ve işletme maliyetlerinin açık ve doğru bir şekilde ortaya konması ile tespit edilebilir.

5.1.1.1 Başlangıç maliyetleri

Rüzgar türbinlerinde elektrik üretiminin sağlanması amacıyla birçok bileşen kullanılır: Kule, kulenin üzerinde bulunan türbin kanatları, generatör, kontrolörler, sensörler, kulenin altında bulunan transformatörler, anahtarlama elemanları ve koruma elemanları gibi. Bu bileşenlere ait kurulum maliyetlerinin rüzgar santralının tasarımında optimum şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

İletim hatları, türbinin yerleştirileceği alan ve ulaşımı sağlayacak yollara ait başlangıç maliyetleri santralin genişliğine göre değer alacaklardır. Bu gibi başlangıç maliyetlerini azaltmak ancak ulaşımı rahatlıkla yapılabilen ve enerji nakil hatlarına bağlantısı kolaylıkla yapılabilecek alanları kullanmakla sağlanabilmektedir.

Rüzgar türbinine ait diğer büyüklükler ise kW başına değerlendirilir. Genellikle bu tip bileşenlerin birim fiyatları güç seviyeleri arttıkça azalır. Güç seviyesinin artışı ile gerçekleşen birim fiyatlardaki azalma rüzgar enerjisi sistemlerinde özellikle kule maliyetlerinde kendisini göstermemektedir. Güç değeri arttıkça yatak boyutu büyüyecek ve rotor yarıçapı genişleyecektir. Böylelikle kule tarafından taşınması gereken toplam ağırlık artar. Bu durum kule dayanıklılığının artırılması sonucunu doğurur. Dolayısıyla güç artışı ile birlikte kulenin

birim maliyetinde bir azalma gözlenmez.

Birim başına kurulum maliyetleri de başlangıç maliyetleri arasında yer alır. Aşağıdaki tabloda ufak güçteki rüzgar türbinlerine ait kurulum maliyetlerinin bileşenlerine göre dağılımı 1980 ve 1990 yılları baz alınarak kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.1 Ufak güçlü rüzgar türbinlerinin maliyetlerinin ekipman başına kıyaslanması

	1980	1990
Rotor ve Kanatlar	12.0	20.5
Kontrolör	6.0	6.6
Aktarım Elemanları (Miller ve Dişli Kutusu)	11.0	14.5
Generatör	7.0	11.6
İskelet	8.0	2.4
Kule	18.0	7.5
Kurulum	20.0	25.6
Dağıtım	16.0	9.5
Nakliye	2.0	1.8

Büyük ve küçük güçlü rüzgar santralleri arasında maliyet açısından büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Bunun nedeni temel bileşenlerin (kanatlar ve yatak, aktarım elemanlar, kule, kurulum maliyetleri...) farklılık göstermemesidir.

Bir rüzgar türbinine ait maliyet dört farklı büyüklük ile ifade edilebilir. Bu büyüklükler *toplam maliyet*, *birim alan başına maliyet*, *birim güç başına maliyet* ve *birim enerji başına maliyet* olarak sıralanabilirler.

Toplam maliyet (C_t) küçük güçlü santrallerde genellikle donanım maliyetleri için kullanılırken, büyük güçlü santrallerde santralin kurulacağı alanı, ulaşım için gerekli alt yapıyı, dağıtım sistemini ve kurulum maliyetlerini de kapsamaktadır. Bakım ve onarım maliyetleri toplam maliyet içerisinde değerlendirilmezler.

Birim alan başına maliyet (C_a);

$$C_a = \frac{C_t}{A} \text{ \$/m}^2 \quad (5.1)$$

Denklem 5.1 ile ifade edilmektedir. Burada A, santrale ait işlem alanıdır. C_a farklı büyüklük ve tipteki rüzgar türbinlerinin karşılaştırılmasında kullanılan bir parametredir.

Birim güç başına maliyet (C_{kW}) ise Denklem 5.2 ile verilmektedir.

$$C_{kW} = \frac{C_t}{P_{eR}} \text{ \$/kW} \quad (5.2)$$

Bu denklemde P_{eR} türbinden elde edilebilecek maksimum güç değeridir.

Rüzgar santrallerinin maliyet analizi için kullanılan son büyüklük olan birim enerji başına maliyet ise Denklem 5.3 ile ifade edilmektedir.

$$C_u = \frac{A_w}{W} \text{ \$/kWh} \quad (5.3)$$

Verilen eşitlikte A_w yıllık enerji başına birim maliyeti ifade ederken, W santralin kW cinsinden net güç üretimini göstermektedir.

5.1.2 Güneş enerji santrallerinde ekonomi

Güneş Enerji Dönüşüm Sistemlerinde de durum rüzgar santrallerinden farklı değildir. Bu sistemlerde de yakıt maliyeti olmamasına karşın ilk kurulum maliyetleri fosil yakıtlı sistemlere nazaran oldukça yüksektir. Çizelge 5.2 de fotovoltaiik sistemlere ait ilk kurulum maliyetlerinin ekipmanlara yüzdelik dağılımları gösterilmiştir (Rehman S., Bader M.A. ve Al Madlen S.A., 2006).

Çizelge 5.2 PV sistemlere ait ilk kurulum maliyetleri

HARCAMA	YÜZDESİ
Fizibilite ve Geliştirme Çalışmaları	%0.4
Mühendislik Hizmetleri	%0.2
PV Sistem Bileşenleri	%69.6
Santral Bilanço Harcamaları	%27.8
Diğer	%2

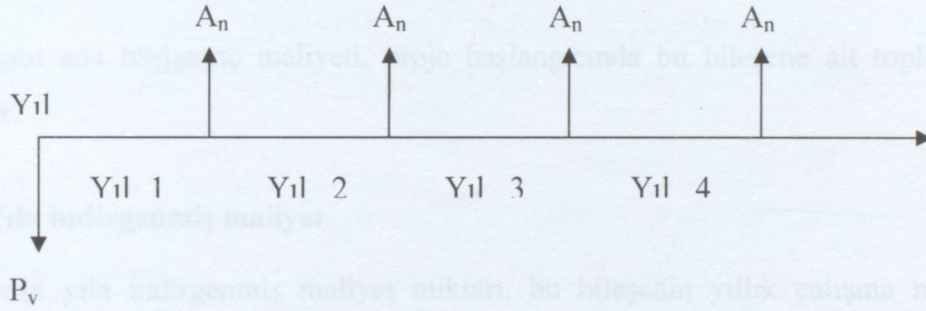
5.1.3 Ekonomik büyüklükler

Gerek geleneksel enerji üretim sistemlerinin gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin ortaya konabilmesi için bazı ekonomik kavramların ortaya konması gerekmektedir.

Bu amaçla geliştirilen en önemli ekonomik büyüklüklerden biri *şimdiki değer* (*present value*) ifadesidir. Şimdiki değer ifadesi (P_v), Denklem 5.4'de gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$P_v = A_n \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5.4)$$

Bu ifadede; A_n yıllık periyodik ödeme oranlarını; i faiz oranını ve n yıl sayısını göstermektedir.



Şekil 5.1 Şimdiki değer ifadesi ile yıllık ödeme oranının karşılaştırılması

A_n yıllık ödeme oranların oluşturduğu seri ile P_v şimdiki değer ifadesinin ekonomik olarak birbirlerine eşit oldukları söylenebilir. Bu durum Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Şimdiki değer analizi enflasyon bulunan ortamlarda daha önce verilen denklemlerde ifade edilen eşitlikler yardımı ile doğru sonuçlar vermemektedir. Bu gibi durumlarda enerji tüketimi artmamasına rağmen harcamalarda bir artış söz konusu olur. Dolayısıyla şimdiki değer analizinde kullanılacak olan yıllık ödemeler serisinin de yıllara göre artış gösterecek şekilde düzenlenmesi gerekir. Yıllık artış ulusal enflasyon oranından kaynaklandığı gibi genel enflasyona bağlı belirli ekipmanın maliyet değişiminden de kaynaklanabilmektedir.

Bir maliyet üzerindeki yıllık artış oranı *gerçek eskalasyon sabiti* (e_r) ile ifade edilebilir. Gerçek eskalasyon sabitinin *enflasyon sabiti* (e_i) ile birleştirilmesi sonucu *görünür eskalasyon sabiti* (e_a) elde edilir.

$$1 + e_a = (1 + e_r)(1 + e_i) \quad (5.5)$$

Faiz oranları da benzer şekilde enflasyondan etkilenmektedir. Uzun süreli güç endüstrisi verileri göz önüne alındığında faiz oranlarının ortalama olarak enflasyon oranının %4 üzerinde olduğu söylenilebilir.

Benzer şekilde *görünen faiz oranı* (i_a) da *gerçek faiz oranı* (i) ile enflasyon değerinin bir fonksiyonu olarak verilebilir.

$$i_a = \frac{1+i}{1+e_a} - 1 \quad (5.6)$$

5.1.4 HOMER programında ekonomik büyüklükler

İncelenen bir güç sistem için ekonomik analizler yapan HOMER* programına ait ekonomik büyüklükler ve programa ait hesaplama yöntemleri sırasıyla şu şekildedir:

5.1.4.1 Ana başlangıç maliyeti

Bir bileşenin ana başlangıç maliyeti, proje başlangıcında bu bileşene ait toplam kurulum maliyetidir.

5.1.4.2 Yıla indirgenmiş maliyet

Bir bileşenin yıla indirgenmiş maliyet miktarı, bu bileşenin yıllık çalışma maliyeti, ana maliyet ve proje süresince yıla indirgenmiş yenilenme maliyetlerinin toplamıdır. Her bir bileşenin yıla indirgenmiş maliyeti o bileşene ait

- Yıla indirgenmiş maliyet
- Yıla indirgenmiş yenileme maliyeti
- Yıla indirgenmiş bakım onarım maliyeti
- Yıla indirgenmiş yakıt maliyeti

değerlerinin toplamıdır.

Bileşenlerin toplam net maliyete olan katkılarını belirlemesi açısından, yıla indirgenmiş maliyet farklı bileşenlerin maliyetlerini karşılaştırmak için kullanışlıdır. Düşük maliyetli ve yüksek çalışma bedeli olan bileşenlerle (dizel generatörler gibi) yüksek maliyetli ve düşük

* HOMER programı uygulama çalışmasında kullanılmış olup, Bölüm 6'da daha detaylı olarak anlatılmıştır.

çalışma bedeli olan bileşenlerin (PV dizileri ve rüzgar türbinleri gibi) arasında doğru bir fiyat karşılaştırmasına olanak tanır.

5.1.4.3 Yıla indirgenmiş ana maliyet

HOMER, her bir bileşenin yıla indirgenmiş ana maliyetini hesaplamak için proje süresince başlangıç maliyetini yıla indirger.

HOMER içerisinde her bir bileşenin yıla indirgenmiş ana maliyeti Denklem 5.7 ile hesaplanır.

$$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF(i, R_{proj}) \quad (5.7)$$

Burada, C_{cap} bileşenin başlangıç ana maliyetini, $CRF()$ ana iyileştirme faktörünü, i faiz oranını ve R_{proj} proje süresini ifade etmektedir.

5.1.4.4 Yıla indirgenmiş yenileme maliyeti

Bir sistem bileşeninin yıla indirgenmiş yenileme maliyeti, proje süresince meydana gelen tüm yenileme maliyetlerinden projenin sonundaki hurda değerinin çıkarılmasının yıla indirgenmiş değeridir.

HOMER içerisinde her bir bileşenin yıla indirgenmiş yenileme maliyeti Denklem 5.8 kullanılarak hesaplanır.

$$C_{arap} = C_{rep} \cdot f_{rep} \cdot SFF(i, R_{comp}) - S \cdot SFF(i, R_{proj}) \quad (5.8)$$

f_{rep} , bileşen ömrünün proje süresinden farklı olmasından dolayı yükselen bir faktördür (Denklem 5.9).

$$f_{rep} = \begin{cases} CRF(i, R_{proj}) / CRF(i, R_{rep}) & , R_{rep} > 0 \\ 0 & , R_{rep} = 0 \end{cases} \quad (5.9)$$

R_{rep} , yenileme maliyet süresi Denklem 5.10 ile ifade edilir.

$$R_{rep} = R_{comp} \cdot INT\left(\frac{R_{proj}}{R_{comp}}\right) \quad (5.10)$$

Burada $INT()$, gerçek bir değer tam sayı kısmını kullanan, tam sayı fonksiyonudur. Tam sayı fonksiyonu yuvarlama yapmaz. Örnek olarak, $INT(4,27)=4$ ve $INT(6,92)=6$ gibi.

HOMER bir bileşenin proje sonundaki hurda değerinin bileşenin kalan ömrü ile orantılı olduğunu varsayar. Bu nedenle hurda değeri, Denklem 5.11'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$S = C_{rep} \cdot \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (5.11)$$

Burada, R_{rem} bileşenin proje sonunda kalan ömrünü ifade eder ve Denklem 5.12 ile ifade edilir.

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (5.12)$$

Bunun yanında C_{rep} , bileşenin yenileme maliyetini, SFF() sinking fund faktörünü, i faiz oranını ve R_{comp} bileşenin ömrünü.

Her bir sistem bileşeninin yıla indirgenmiş ana maliyeti simülasyon sonuçları penceresindeki maliyetler sayfasında gösterilmektedir.

5.1.4.5 Bakım onarım masrafları

Bir bileşenin bakım onarım masrafları bu bileşenin yıllık bakım onarım maliyetidir.

5.1.4.6 Faiz oranı

HOMER'e ait girdi verilerinden biri olan faiz oranı yıllık reel faiz oranıdır. Yıla indirgeneme maliyetler ile eski maliyetler arasında dönüşüm yapılmasını sağlayan bir hesaplama oranıdır. Ekonomik girdi ekranında bulunur. Yıllık reel faiz oranı, nominal faiz oranı ile ilişkilidir (Denklem 5.13).

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (5.13)$$

Burada i' nominal faiz oranını ve f yıllık enflasyon oranını temsil etmektedir.

Faiz oranının bu şekilde tanımlanması ile enflasyon değeri ekonomik analize katılmıştır. Enflasyon oranının tüm maliyetler için eşit olduğu kabul edilmiştir.

5.1.4.7 Proje ömrü

Proje ömrü, sistem çalıştığı sürece, meydana gelen tüm maliyetleri kapsayan zaman aralığıdır. HOMER proje ömrünü her bileşene ait yıla indirgenmiş yenileme maliyetlerini ve yıla indirgenmiş ana maliyetleri ile sistemin toplam net maliyetini hesaplamada kullanılır.

5.1.4.8 Sinking fund faktörü

Eşit yıllık nakit akışı serisinin gelecek değerinin hesaplanmasında kullanılan bir orandır (Denklem 5.14).

$$SFF(i, N) = \frac{i}{(1+i)^N - 1} \quad (5.14)$$

Burada N yıl sayısını ifade etmektedir.

5.1.4.9 Hurda değeri

Hurda değeri, proje ömrü sona erdiğinde sisteme ait bileşenlerin değerleridir. HOMER bileşenlerin lineer amortismanına sahip olduklarını kabul eder. Bunun anlamı bileşenlere ait hurda değerlerinin kalan ömürleri ile doğru orantılı olduğudur. Hurda değeri başlangıç maliyetlerinden çok yenileme maliyetlerine bağlıdır.

Hurda değeri yıla indirgenmiş yenileme maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılır.

5.1.4.10 Yenileme maliyeti

Bileşen ömrü bittiğinde oluşan bileşeni yenileme maliyetidir. Bazı durumlarda yenileme maliyeti başlangıç maliyetinden farklı olabilmektedir. Örnek durumlar aşağıda belirtilmiştir;

- Sistem üzerindeki tüm bileşenlerin yenilemeye ihtiyaç duymaması (Rüzgar enerjisi santrallerinde kuleler gibi)
- Sponsor firma tarafından başlangıç maliyetleri azaltılmış olabilir, fakat yenileme maliyetleri değiştirilmemiş olabilir.

Yenileme maliyetleri yıla indirgenmiş yenileme maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılır.

5.1.4.11 Toplam net şimdiki maliyet

Toplam net şimdiki maliyet HOMER'in ana ekonomik çıktısıdır. Tüm sistemler net şimdiki maliyete göre değerlendirilmişlerdir ve diğer tüm ekonomik çıktılar, net şimdiki maliyeti bulma amacıyla hesaplanmıştır. Net şimdiki maliyet Denklem 5.15 yardımı ile elde edilir.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (5.15)$$

Burada, $C_{ann,tot}$ toplam yıllık maliyetini ve CRF() ana düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

5.1.4.12 Toplam yıllık maliyet

Toplam yıllık maliyet, her bir sistem bileşeninin yıllık maliyetlerinin toplamı ile diğer maliyetlerin toplamına eşittir.

5.1.4.13 Ana düzeltme faktörü

Ana düzeltme faktörü bir yıllık ödeme değerinin hesaplanmasında kullanılan bir orandır (Eşit yıllık nakit akışı serisi) (Denklem 5.16).

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (5.16)$$

5.2 Güç Sistemlerinde Güvenilirlik

Genel olarak güvenilirlik, bir sistemin normal işletme koşullarında çalışmasına devam edebilme yetisi olarak tanımlanmaktadır. Daha geniş anlamda güvenilirlik bir sistemin belirlenmiş bir zaman periyodu içerisinde düzenli çalışma koşulları altında gerekli fonksiyonlarını yerine getirebilme yetisi olarak açıklamaktadır.

5.2.1 Güvenilirlik tanımlamaları

- Periyot saatleri (PH - period hours)

Ünitenin aktif olarak kullanıldığı toplam saat sayısıdır (saat/yıl).

- İşletme saatleri (SH - service hours)

Ünitenin faaliyette bulunduğu toplam saat sayısıdır (saat/yıl).

- Zorunlu kesinti saatleri (FOH - forced outage hours)

Sınıf 0,1,2 ya da 3'de belirtilen planlanmamış kesintiye uğrayan üniteye ait kesinti zamanıdır.

- Sınıf 0 planlanmamış kesinti

Ünitenin servise alınması sırasında yanlış konumlandırılması sonucunda oluşan kesintidir.

- Sınıf 1 planlanmamış kesinti

Oluştugu bölgeden itibaren derhal giderilmesi gereken kesintidir.

- Sınıf 2 planlanmamış kesinti

Faaliyette bulunan bölgeden itibaren 6 saat içerisinde giderilmesi gereken kesintidir.

- Sınıf 3 planlanmamış kesinti

Bir sonraki hafta sonuna kadar faaliyetteki bölgeden uzaklaştırılabilecek bir ünitenin bulunması durumunda 6 saat boyunca ertelenebilecek kesintidir.

- Sınıf 4 planlanmamış kesinti

Bir sonraki planlanmış kesintiye kadar mevcut durumdan uzaklaştırılabilecek olan bir ünitenin bulunması durumunda ünite kesintisinin bir sonraki hafta sonu bitimine kadar yayılabileceği kesintidir.

- Planlanmış kesinti saatleri (POH – planned outage hours)

Üniteye ait basit ya da genişletilmiş planlı kesinti saatlerinin toplamıdır.

- Planlanmamış kesinti saatleri (UOH - unplanned outage hours)

Ünitenin sınıf 0,1,2,3 ya da 4 planlanmamış kesinti durumunda bulunduğu toplam saat sayısıdır.

- Ortalama arıza süresi (MTTF – mean time to failure)

Ünitenin arıza durumunda bulunduğu ortalama süredir.

- Ortalama onarım süresi (MTTR – mean time to repair)

Ünitenin ortalama arıza süresi giderim zamanıdır.

- Zorunlu kesinti oranı (FOR - forced outage rate)

$$FOR = \frac{\text{zorunlu kesinti saatleri}}{\text{zorunlu kesinti saatleri} + \text{servis saatleri}} \times 100 = \frac{FOH}{FOH + SH} \times 100 \quad (5.17)$$

- Zorunlu kesinti faktörü (FOF - forced outage factor)

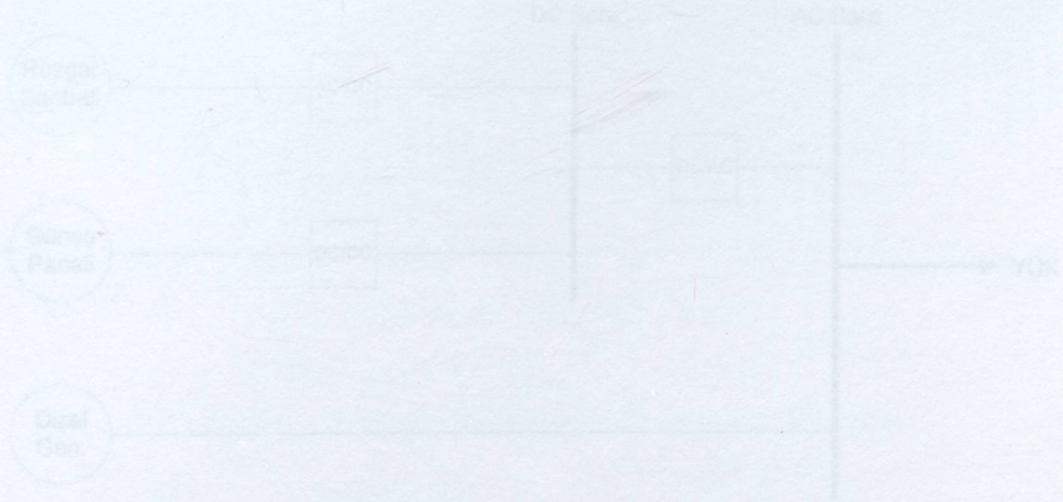
$$FOF = \frac{\text{zorunlu kesinti saatleri}}{\text{periyot saatleri}} \times 100 = \frac{FOH}{PH} \times 100 \quad (5.18)$$

- Planlanmış kesinti faktörü (POF - planned outage factor)

$$POF = \frac{\text{planlanmış kesinti saatleri}}{\text{periyot saatleri}} \times 100 = \frac{POH}{PH} \times 100 \quad (5.19)$$

- Planlanmamış kesinti faktörü (UOF - unplanned outage factor)

$$UOF = \frac{\text{planlanmamış kesinti saatleri}}{\text{periyot saatleri}} \times 100 = \frac{UOH}{PH} \times 100 \quad (5.20)$$



Şekil 6.1: İncelenen sistemin tek hat diyagramı

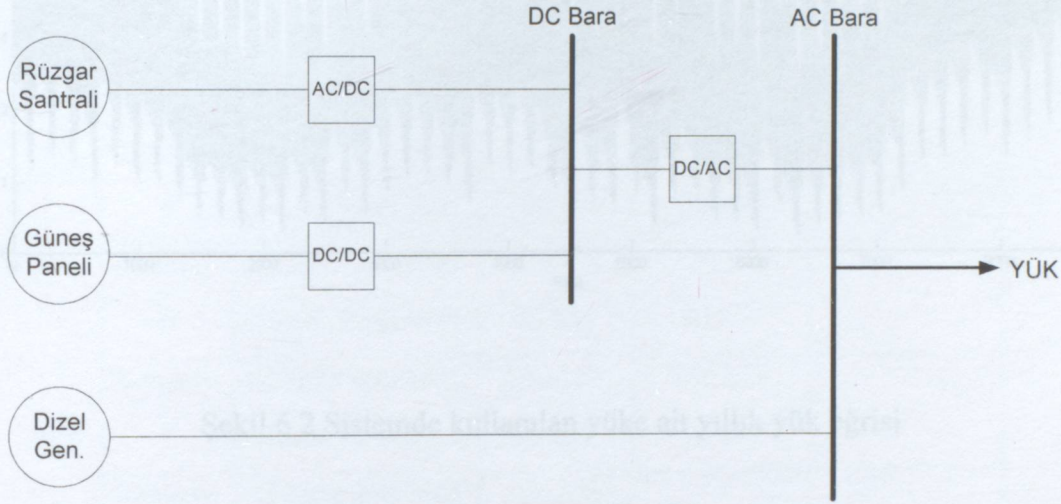
Sistemin üzerinde bulunan yükün saatlik değişim eğrileri IEEE test sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Sistemde kullanılan yük değeri 20kW olarak kabul edilmiştir. Kullanılan yükün saatlere göre değişimi Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Belirlenen yük değeri baz alınarak sistemin maksimum 100kW’lık güç üretecek şekilde farklı senaryolar geliştirilerek incelenmiştir. Bu senaryolar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Bu senaryoda diesel generatörün çıkış gücü 100kW olarak belirlenmiştir diğer diğer 20kW çıkış gücü 20kW, güneş panelinin çıkış gücü ise 180kW olarak belirlenmiştir. Diğer senaryolar da benzer şekilde değerlendirilmiştir.

Sistemde tek bir diğer türbinin gücü 20kW olarak belirlenmiş ve senaryoların oluşturulması için katları olarak uygulanmıştır. Böylelikle güç sisteminde türbin türünü değiştirilmesini yerine türbin sayısının artırılması ile gücün karşılanması yoluna gidilmiştir. Güneş paneli için ise birim çıkış gücü 10kW olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, senaryolarda belirlenen güç değeri için güneş panelinin katları alınmıştır.

6. ÖRNEK BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olarak güç üretimi sağlayamamalarından dolayı hibrid enerji sistemlerinde yükün karşılanamaması problemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, hibrid enerji sistemlerine meydana gelebilecek olan enerji kesintilerinin yol açacağı mali kayıplar ile sistemde kullanılan fosil yakıtlı üretim sistemlerine ilişkin yakıt maliyetlerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Şekil 6.1’de tek hat diyagramı verilen hibrid enerji sistemine ait risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

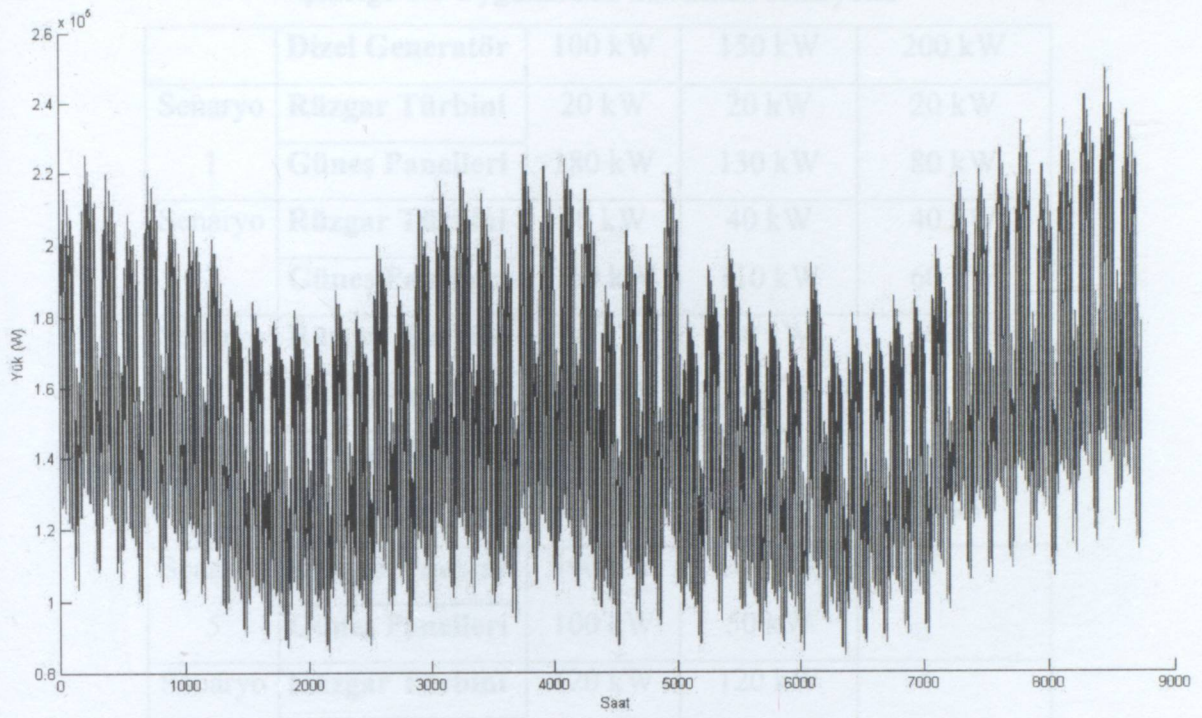


Şekil 6.1 İncelenen sistemin tek hat diyagramı

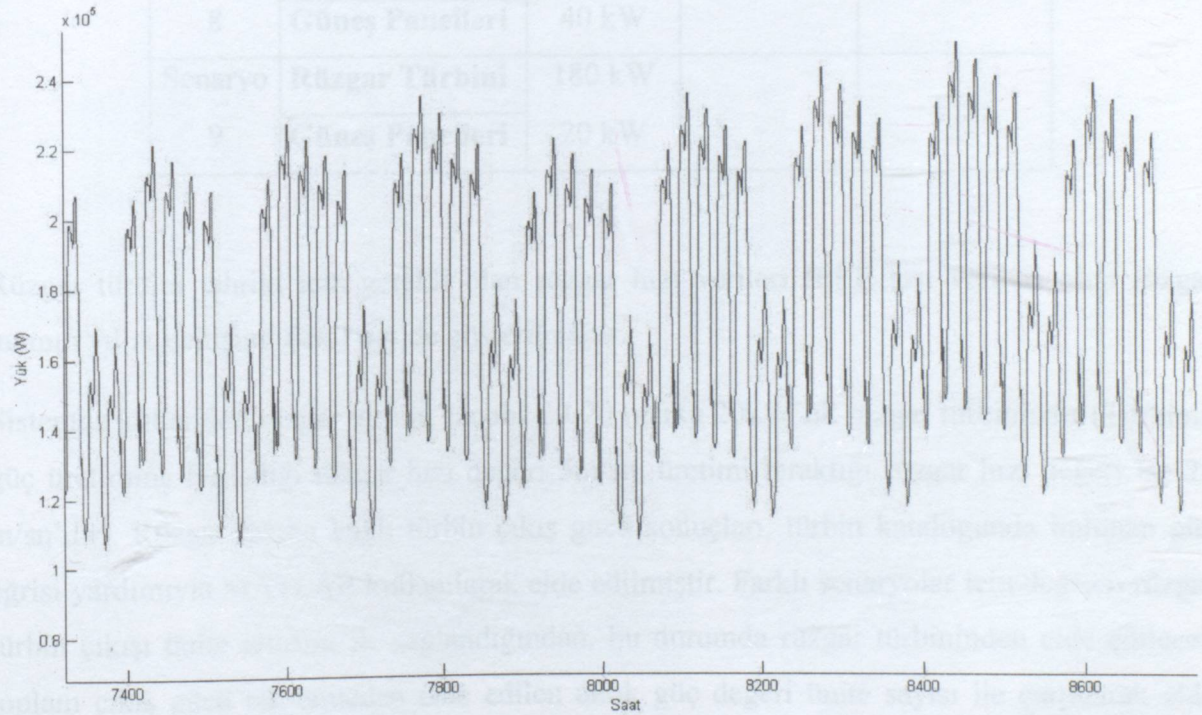
Sistem üzerinde bulunan yüke ait saatlik değişim eğrileri IEEE test sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Sistemde kullanılan yük değeri 250kW olarak kabul edilmiştir. Kullanılan yükün saatlere göre değişimi Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Belirlenen yük değeri baz alınarak sistem maksimum 300kW’lık güç üretecek şekilde farklı senaryolar geliştirilerek incelenmiştir. Bu senaryolar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. İlk senaryoda dizel generatörün çıkış gücü 100kW olarak belirlenmiş olup rüzgar türbinin çıkış gücü 20kW, güneş panellerinin çıkış gücü ise 180kW olarak belirlenmiştir. Diğer senaryolar da benzer şekilde değerlendirilmiştir.

Sistemde tek bir rüzgar türbinin gücü 20kW olarak belirlenmiş ve senaryoların tümünde bunun katları olarak uygulanmıştır. Böylelikle güç artırımında türbin tipinin değiştirilmesi yerine türbin sayısının artırılması ile gücün karşılanması yoluna gidilmiştir. Güneş panelleri içinse birim çıkış gücü 10kW olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, senaryolarda istenilen güç değeri için güneş panellerinin katları alınmıştır.



Şekil 6.2 Sistemde kullanılan yüke ait yıllık yük eğrisi



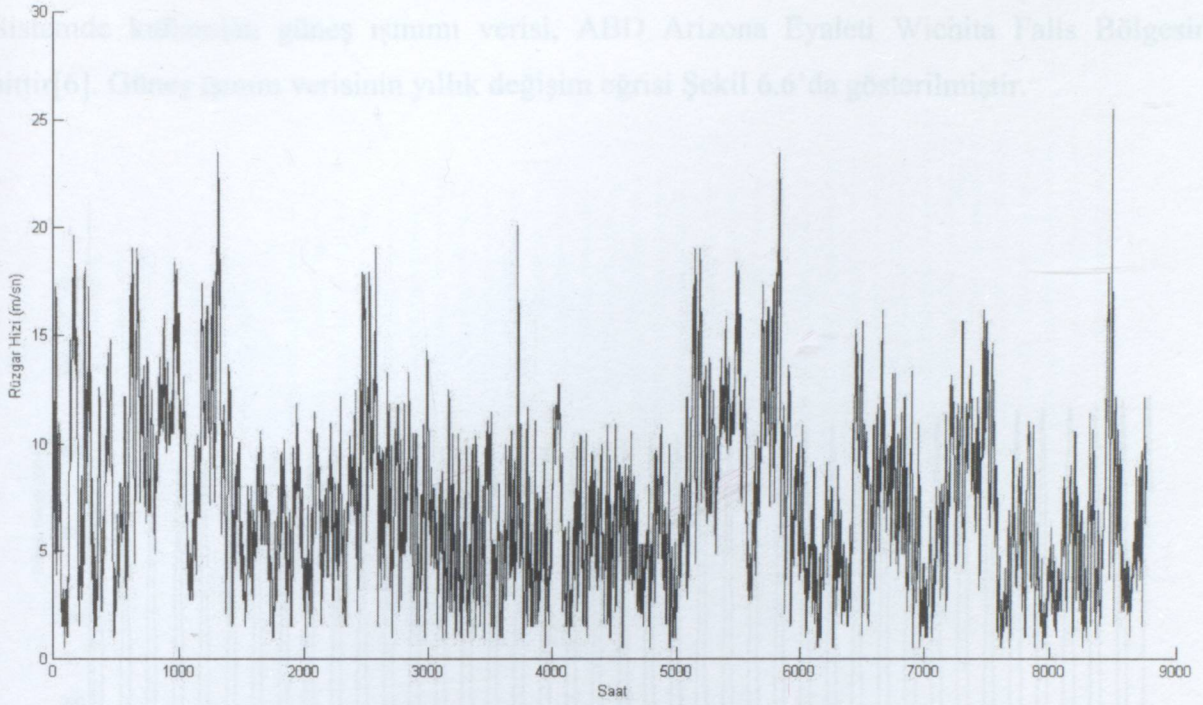
Şekil 6.3 Sistemde kullanılan yükün haftalık değişimi

Çizelge 6.1 Uygulamada kullanılan senaryolar

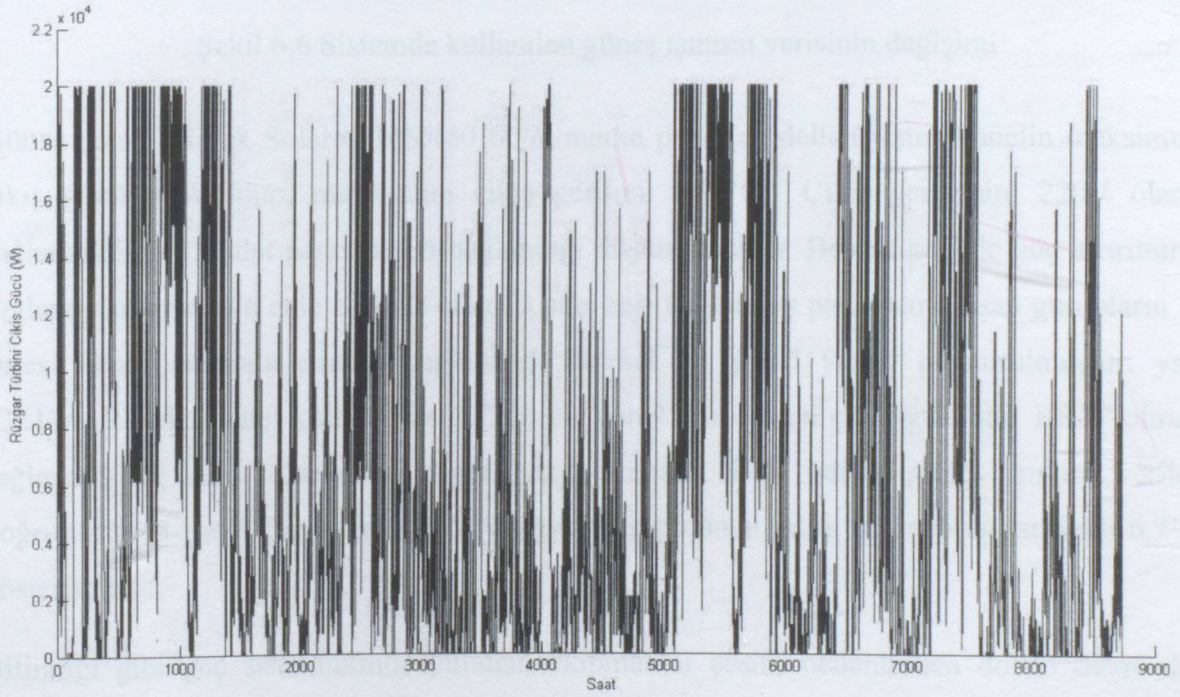
	Dizel Generatör	100 kW	150 kW	200 kW
Senaryo 1	Rüzgar Türbini	20 kW	20 kW	20 kW
	Güneş Panelleri	180 kW	130 kW	80 kW
Senaryo 2	Rüzgar Türbini	40 kW	40 kW	40 kW
	Güneş Panelleri	160 kW	110 kW	60 kW
Senaryo 3	Rüzgar Türbini	60 kW	60 kW	60 kW
	Güneş Panelleri	140 kW	90 kW	40 kW
Senaryo 4	Rüzgar Türbini	80 kW	80 kW	80 kW
	Güneş Panelleri	120 kW	70 kW	20 kW
Senaryo 5	Rüzgar Türbini	100 kW	100 kW	
	Güneş Panelleri	100 kW	50 kW	
Senaryo 6	Rüzgar Türbini	120 kW	120 kW	
	Güneş Panelleri	80 kW	30 kW	
Senaryo 7	Rüzgar Türbini	140 kW	140 kW	
	Güneş Panelleri	60 kW	10 kW	
Senaryo 8	Rüzgar Türbini	160 kW		
	Güneş Panelleri	40 kW		
Senaryo 9	Rüzgar Türbini	180 kW		
	Güneş Panelleri	20 kW		

Rüzgar türbini tahriki için gerekli olan rüzgar hızı verileri IEEE test verileri olup rüzgar hızının yıllık değişimi Şekil 6.4’de gösterilmiştir.

Sistemde kullanılan rüzgar türbini Jacobs 29-20 marka 20kW’lık rüzgar türbinidir (Türbinin güç üretimine başladığı rüzgar hızı değeri 5m/sn, üretimi bıraktığı rüzgar hızı değeri ise 24 m/sn’dir). Rüzgar hızına bağlı türbin çıkış gücü sonuçları, türbin katalogunda bulunan güç eğrisi yardımıyla MATLAB kullanılarak elde edilmiştir. Farklı senaryolar için değişen rüzgar türbin çıkışı ünite artırımı ile sağlandığından, bu durumda rüzgar türbininden elde edilecek toplam çıkış gücü tek üniteden elde edilen anlık güç değeri ünite sayısı ile çarpılarak elde edilmiştir. Tek bir ünitenin rüzgar hızı test verilerine göre vermiş olduğu yıllık çıkış gücü değişimi Şekil 6.5’de gösterilmiştir.

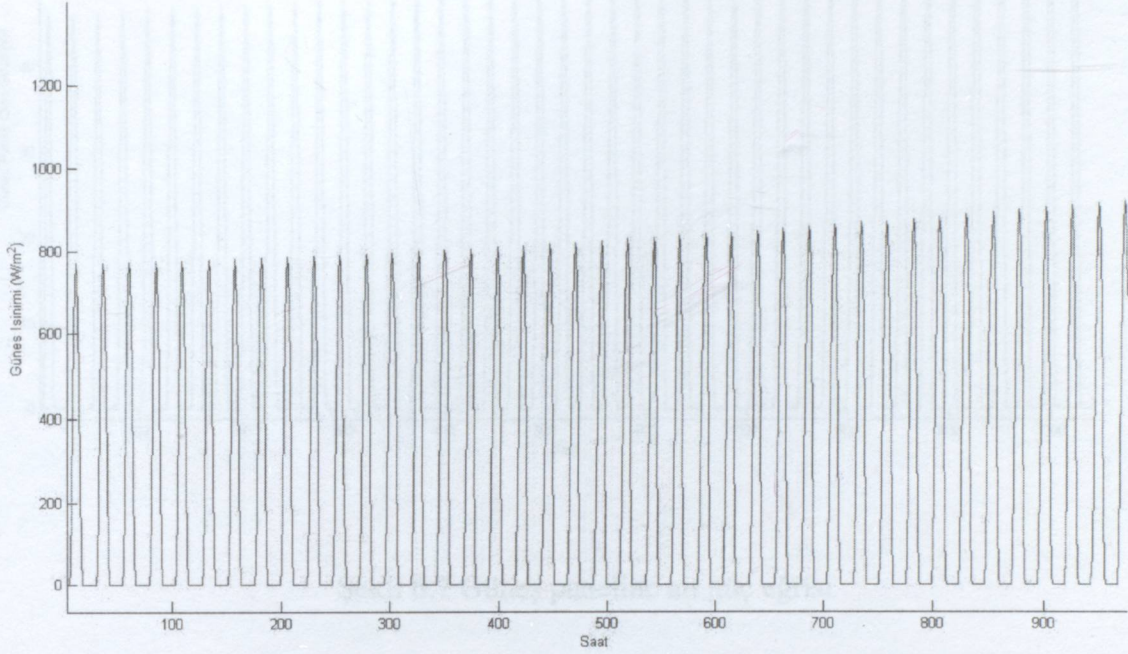


Şekil 6.4 Rüzgar hızının yıllık değişim eğrisi



Şekil 6.5 Rüzgar türbini çıkış gücünün yıllık değişim eğrisi

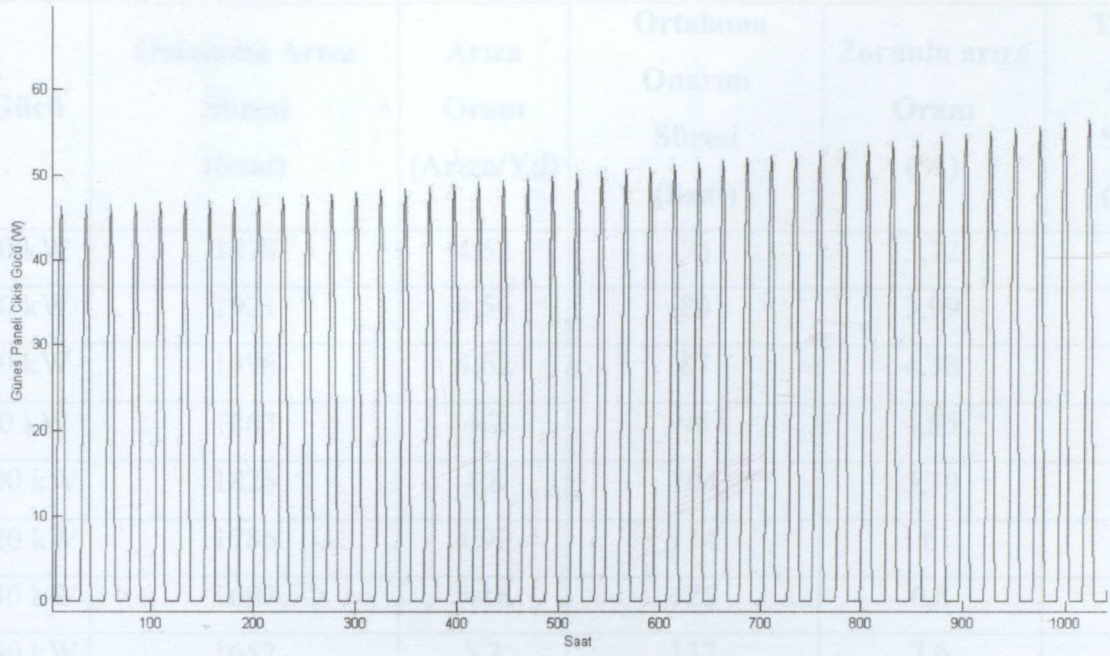
Güneş panellerinin enerji üretimini sağlayan büyüklük güneş ışıınımı(W/m^2) verisidir. Sistemde kullanılan güneş ışıınımı verisi, ABD Arizona Eyaleti Wichita Falls Bölgesine aittir[6]. Güneş ışıınım verisinin yıllık değışim eğrisi Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Sistemde kullanılan güneş ışıınımı verisinin değışimi

Güneş paneli olarak Solarex MSX60 60W marka panel modellenmiştir. Panelin maksimum çıkış gücü 60W olup, maksimum çıkış gerilimi 17V’tur. Çıkış gerilimini 220V olarak sağlamak için 13 adet panelin seri bağlandığı düşünülmüştür. Benzer şekilde güç artırımının sağlanması amacı ile elde edilmiş olan 13 adet seri bağlanmış panelden oluşan grupların 13 tanesi kendi arasında paralel bağlanarak karesel bir panel yapısı oluşturulmuştur; yani $13 \times 13 = 169$ adet panel kullanılmıştır. Tek bir panel gurubunun çıkış gücünün 10kW olması sağlanmış ve senaryolarda bu değeri baz alınmıştır. Elde edilen güneş ışıınımı verileri doğrultusunda panel gurubundan elde edilen çıkış gücünün yıllık değışim eğrisi Şekil 6.7’da gösterilmiştir.

Bilindiği gibi güç sistemlerinde bulunan ekipmanlar çeşitli nedenlerden dolayı devre dışı kalabilmektedir. Sistemde meydana gelen bu arıza durumlarının süresi ekipman gücünün büyümesiyle birlikte gerek bakım zorluklarının artması, gerekse bakım gerektiren ünitenin merkeze olan uzaklığından dolayı uzayabilmektedir.



Şekil 6.7 Güneş paneline ait güç eğrisi

Analiz edilen sistem üzerinde her bir enerji üretim sistemine ait arıza süreleri de göz önüne alınmıştır. Böylelikle yıl içerisinde gerçekleşen arızalardan dolayı ne kadar güç kaybı olduğu tespit edilmiş ve meydana gelen ekonomik kayıplar ortaya gerçekçi olarak konulabilmektedir. Sistemde kullanılan her üç üretim sistemi için de yıllık arıza oranları IEEE test verileri kullanılarak elde edilmiştir (Çizelge 6.2). Her bir senaryo için arıza oranları belirlenmiş ve yıl içerisinde rasgele dağıtılmışlardır.

Çizelge 6.2a Dizel generatöre ait arıza oranları

Gücü	Ortalama Arıza Süresi (Saat)	Arıza Oranı (Arıza/Yıl)	Ortalama Onarım Süresi (Saat)	Zorunlu arıza Oranı (%)	Toplam Arıza Süresi (Saat)
20 kW	1063	8,24	30	2,74	247
40 kW	947	9,25	45	4,53	416
50 kW	930	9,42	50	5,1	471
100 kW	918	9,54	70	7,08	668
150 kW	913	9,6	83	8,33	797
200 kW	909	9,64	91	9,1	877

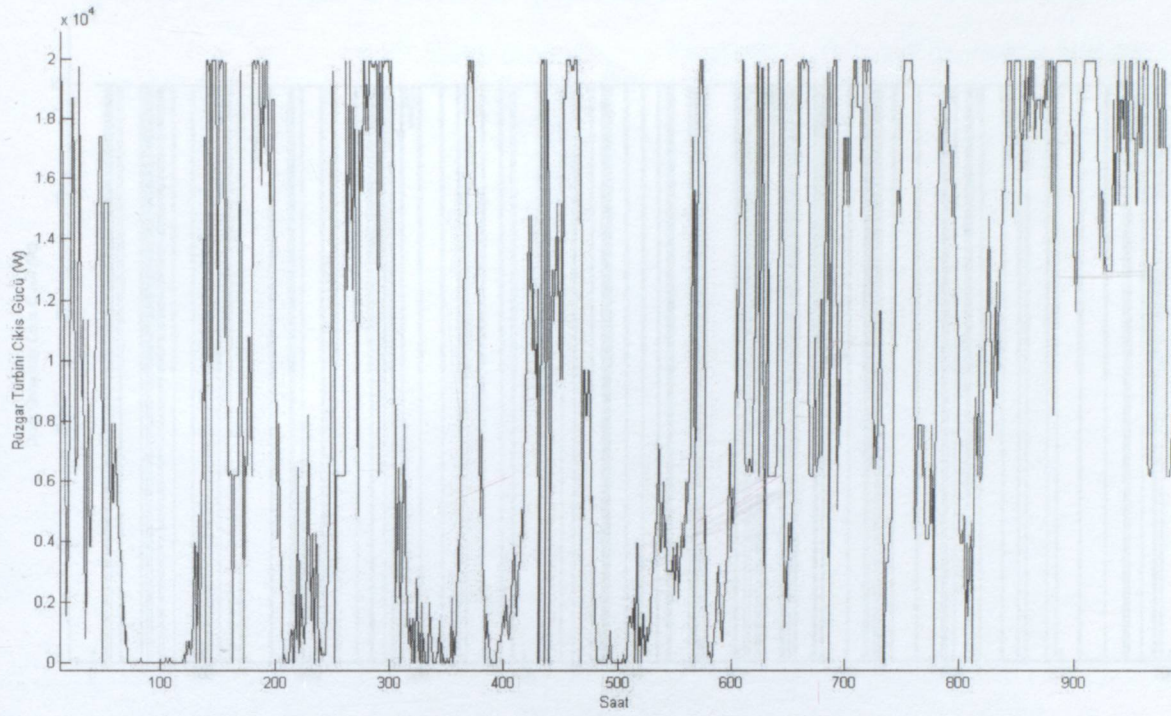
Çizelge 6.2b Güneş panellerine ait arıza oranları

Gücü	Ortalama Arıza Süresi (Saat)	Arıza Oranı (Arıza/Yıl)	Ortalama Onarım Süresi (Saat)	Zorunlu arıza Oranı (%)	Toplam Arıza Süresi (Saat)
20 kW	1938	4,52	75	3,72	339
40 kW	1921	4,56	80	3,99	364
60 kW	1896	4,62	87	4,38	401
80 kW	1863	4,7	95	4,85	446
100 kW	1825	4,8	104	5,39	499
120 kW	1786	4,92	114	6	560
140 kW	1697	5,16	125	6,8	645
160 kW	1652	5,3	137	7,6	726
180 kW	1604	5,46	150	8,5	819

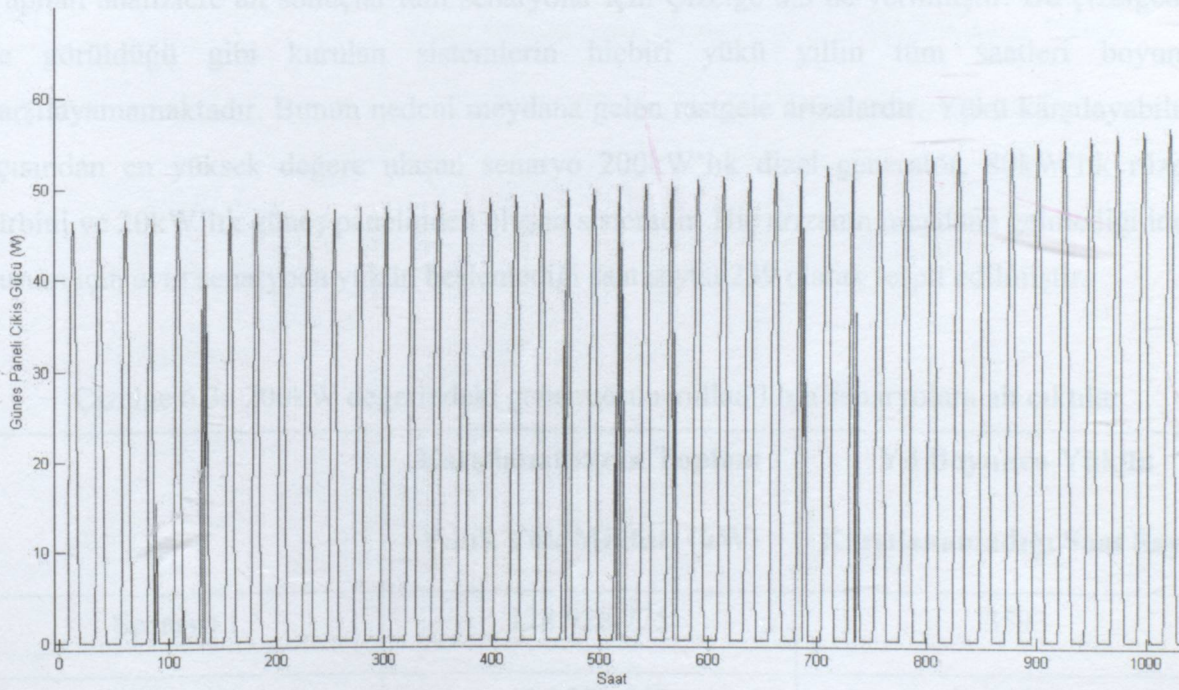
Çizelge 6.2c Rüzgar türbinine ait arıza oranları

Gücü	Ortalama Arıza Süresi (Saat)	Arıza Oranı (Arıza/Yıl)	Ortalama Onarım Süresi (Saat)	Zorunlu arıza Oranı (%)	Toplam Arıza Süresi (Saat)
20 kW	1921	4,56	80	3,99	365
40 kW	1921	4,56	80	3,99	365
60 kW	1921	4,56	80	3,99	365
80 kW	1921	4,56	80	3,99	365
100 kW	1921	4,56	80	3,99	365
120 kW	1921	4,56	80	3,99	365
140 kW	1921	4,56	80	3,99	365
160 kW	1921	4,56	80	3,99	365
180 kW	1921	4,56	80	3,99	365

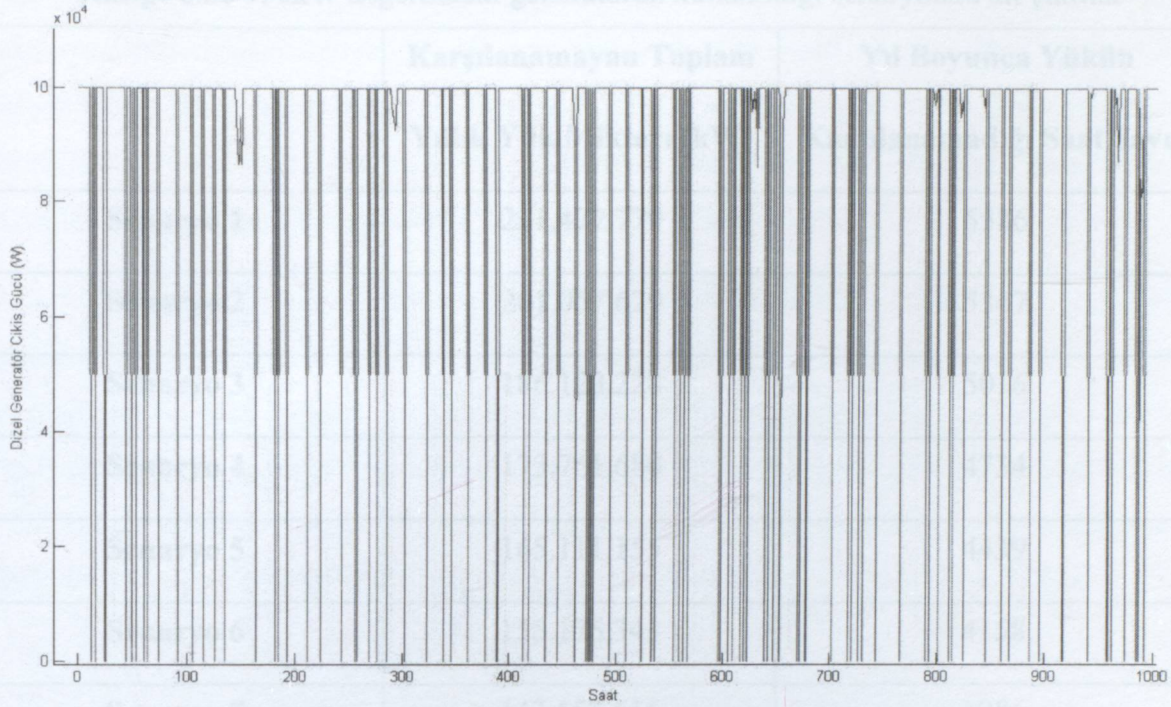
Çizelge 6.2’de verilen arıza oranlarının ünitelere uygulanması sonucunda sistemin yükü karşılayıp karşılayamadığı analiz edilmiştir. Her bir üniteye ait arızalı çalışma durumlarına ilişkin yıllık güç eğrileri Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Arıza durumunda rüzgar türbin çıkışının değişimi



Şekil 6.9 Arıza durumunda güneş panelleri çıkışının değişimi



Şekil 6.10 100kW'lık generatörün kullanıldığı senaryo 1 için Arıza durumunda dizel generatör çıkışının değişimi

Yapılan analizlere ait sonuçlar tüm senaryolar için Çizelge 6.3'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi kurulan sistemlerin hiçbiri yükü yılın tüm saatleri boyunca karşılayamamaktadır. Bunun nedeni meydana gelen rastgele arızalardır. Yükü karşılayabilme açısından en yüksek değere ulaşan senaryo 200kW'lık dizel generatör, 80kW'lık rüzgar türbini ve 20kW'lık güneş panelinden oluşan sistemdir. Hiç arızanın meydana gelmediği ideal durum için aynı senaryoda yükün beslemediği saat sayısı 239 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.3a 200kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar

	Karşılanamayan Toplam	Yıl Boyunca Yükün
	Yıllık Yük Miktarı (kW)	Karşılanamadığı Saat Sayısı
Senaryo 1	128.928,775	3593
Senaryo 2	124.771,062	3452
Senaryo 3	119.327,469	3256
Senaryo 4	115.247,465	3089

Çizelge 6.3b 150kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar

	Karşılanamayan Toplam Yıllık Yük Miktarı (kW)	Yıl Boyunca Yükün Karşılanamadığı Saat Sayısı
Senaryo 1	221.477,779	5586
Senaryo 2	201.057,629	5347
Senaryo 3	186.123,228	5016
Senaryo 4	173.761,680	4734
Senaryo 5	165.111,155	4439
Senaryo 6	155.176,343	4158
Senaryo 7	143.552,555	3986

Çizelge 6.3c 100kW değerindeki generatörün kullanıldığı senaryolara ait çıktılar

	Karşılanamayan Toplam Yıllık Yük Miktarı (kW)	Yıl Boyunca Yükün Karşılanamadığı Saat Sayısı
Senaryo 1	480.982,027	8079
Senaryo 2	440.495,366	7627
Senaryo 3	404.200,009	7231
Senaryo 4	374.066,236	6790
Senaryo 5	347.912,769	6372
Senaryo 6	324.660,745	5985
Senaryo 7	303.702,579	5674
Senaryo 8	281.645,792	5414
Senaryo 9	254.499,096	5205

Tüm senaryolar için dizel generatörde harcanan yakıt miktarı belirlenmiş ve yıllık toplam yakıt maliyeti hesaplanmıştır. İncelenen sistemde Çukurova marka dizel generatörler kullanılmıştır. Bu generatörlere ait katalog bilgilerinden birim güç başına yakıt sarfiyatları 0,275 litre/kW olarak tespit edilmiştir. Kullanılan tüm senaryolar için dizel generatörlerde harcanan yakıt maliyeti hesaplanarak Çizelge 6.4’de gösterilmiştir.

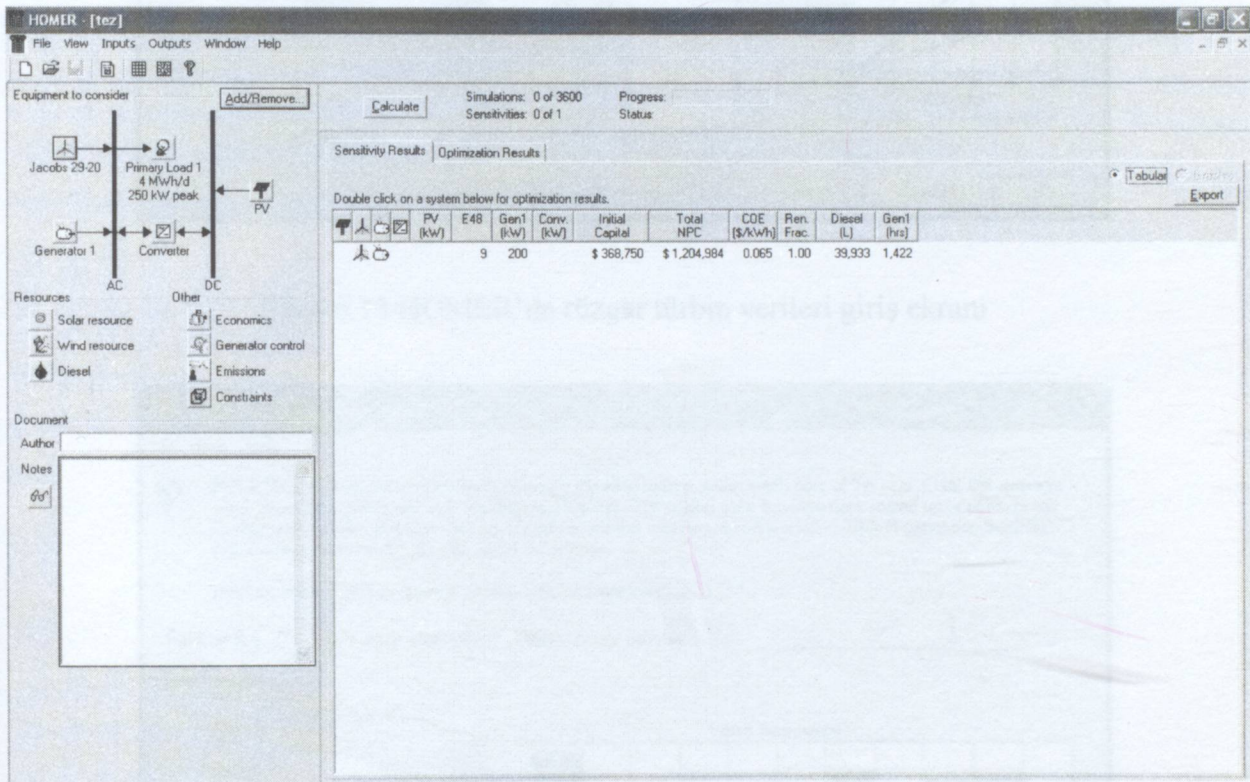
Değerlendirilen durumlar içerisinde en düşük yakıt maliyetine sahip olan 100kW’lık generatörün kullanıldığı senaryo 9’dur. Yakıt maliyetinin düşük olmasına karşın bu senaryoda karşılanamayan yük miktarı ve yükün karşılanamadığı zaman miktarı oldukça yüksektir. Yakıt maliyetinin en yüksek olduğu durum ise 200 kW’lık generatörün kullanıldığı senaryo 1’dir. Bu durumda da yakıt sarfiyatındaki artışa karşın yük talebinin karşılanması maksimum seviyeye çıkmış ve en düşük yük açığı değeri elde edilmiştir.

Çizelge 6.4 Tüm senaryolar için yıllık yakıt maliyetleri

	100kW’lık Generatöre Ait Yakıt Maliyeti (YTL)	150kW’lık Generatöre Ait Yakıt Maliyeti (YTL)	200kW’lık Generatöre Ait Yakıt Maliyeti (YTL)
Senaryo 1	486.311	643.761	700.234
Senaryo 2	480.729	626.061	672.704
Senaryo 3	471.669	604.081	644.992
Senaryo 4	458.353	580.017	615.927
Senaryo 5	442.950	554.037	-
Senaryo 6	426.318	529.358	-
Senaryo 7	407.145	504.544	-
Senaryo 8	390.947	-	-
Senaryo 9	374.871	-	-

Sistem üzerinde meydana gelecek olan harcamalar ilk kurulum maliyetlerini, yakıt sarfiyatlarını ve karşılanamayan enerji bedelini içermektedir. Sistem için geliştirilen tüm senaryoların ilk kurulum maliyetleri ve birim enerji maliyetleri HOMER programı yardımı ile

elde edilmiştir. HOMER, şebekeden bağımsız çalışan ya da şebekeye bağlı çalışan dağıtılmış üretim sistemlerinin dizayn kriterlerinin basitleştirilmesini sağlayan, sistem bileşenlerine ait ekonomik ve teknik fizibilitenin gerçekleştirilmesi için imkan sağlayan optimizasyon algoritmalarını içeren bir bilgisayar ara yüzüdür. HOMER'dan alınmış ekran görüntüleri Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'de gösterilmiştir. HOMER üzerinde sistem birebir olarak kurulmuş ve tüm senaryolar kurulan simülasyon devresi üzerinde analiz edilmiştir. Program girdisi olarak mevcut enerji üretim sistemlerine ait birim ilk kurulum maliyetleri, bakım onarım maliyetleri ile yenileme maliyetleri kullanılmıştır. Bunun yanında rüzgar ve güneş verileri ile birlikte dizel generatöre ait birim yakıt maliyeti de simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.11 HOMER ana ekranı

HOMER programında yapılan analizler sonucunda tüm senaryolar içerisinde optimum sonucu 200kW'lık generatörün kullanıldığı senaryo 4'ün verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Buna göre 200kW'lık generatörün kullanıldığı senaryo 4 için elde edilen değerler Çizelge 6.5'da verilmiştir.

Yapılan maliyet analizlerinde yıllık enflasyon oranı da göz önünde bulundurulmuştur. Yıllık reel enflasyon oranı %9 olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar bu değer baz alınarak gerçekleştirilmiştir (TÜFE).

Wind Turbine Inputs

File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: **Jacobs 29-20** Details... New... Delete

Turbine properties:

Abbreviation: J29 (used for column headings)
 Manufacturer: Wind Turbine Industries Corp.
 Website: www.windturbine.net
 Current: AC

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	25000	10000	50
2	50000	20000	100
3	75000	30000	150
{..}	{..}	{..}	{..}

Other

Lifetime (yrs) **25** {..}
 Hub height (m) **30** {..}

Sizes to consider

Quantity **1** Enter the quantities of wind turbines that you want HOMER to consider

1
2
3
4
5
6

Power Curve

Cost Curve

Help Cancel OK

Şekil 6.12 HOMER’de rüzgar türbin verileri giriş ekranı

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import hourly data file **Import File...**

Baseline data

Month	Wind Speed (m/s)
January	7.500
February	11.300
March	7.900
April	4.600
May	4.400
June	5.200
July	5.500
August	9.700
September	7.100
October	9.000
November	9.200
December	5.900
Annual average:	7.250

Wind Resource

Other parameters

Altitude (m above sea level) **0**
 Anemometer height (m) **10**
 Variation With Height...

Advanced parameters

Weibull k **2**
 Autocorrelation factor **0.85**
 Diurnal pattern strength **0.25**
 Hour of peak windspeed **15**

Scaled data for simulation

Scaled annual average (m/s) **7.25** {..}

Plot... Export...
 Help Cancel OK

Şekil 6.13 HOMER’de rüzgar verisi giriş ekranı

Çizelge 6.5 HOMER'dan elde edilen optimum dizayn sonuçları

İlk Kurulum Maliyeti (\$)	Şimdiki Toplam Maliyet (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$/kWh)
380.360	1.524.765	0,107

Sistemin ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir. Sistemde kullanılan tüm ünitelerin çalışma ömürleri de bu doğrultuda seçilmiştir.

Bilindiği gibi hibrid enerji sistemleri bazen yer alan rüzgar türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin çıkış güçleri sabit değildir. Bu tür sistemler yüklerle sürekli beslenmesinde kullanıldıklarında enerji yetersizlikleri ile karşılaşabilmektedir. Dolayısıyla bu tip sistemler şebekeden başlamaz çangıktan durumlarında harici ekipmanlarla desteklenmelidirler. Tasarlanan sistemlerde ya depolama cihazları ya da fosil yakıt kullanan üretim sistemleri kullanılarak yetersiz talep emiği gibi sürekli olarak karşılanması sağlanmaktadır.

Süreklilik problemlerinin yarıdan ekipmanlarda meydana gelebilecek olan arızalarla sistemden talep edilen güçün üretimi sistemi tarafından karşılanamaması yol açabilmektedir. Sistemde bulunan üretim sistemlerinde meydana gelen arızalar gibi bir süre devre dışı kalmasına yol açarlar. Bu arızanın giderilme süresi ekipmanın sağladığı güç seviyesi arttıkça ve üretimi uzak olduğu yerlerde mesafeden dolayı uzayabilmektedir.

Yapılan çalışmada şebekeden başlamaz çangıktan bir hibrid enerji sisteminde risk analizi gerçekleştirilmiştir. Seçilen yük değeri bir alınarak farklı senaryolarda üretim sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan hibrid enerji sistemi rüzgar türbin, güneş paneli ve diesel generator kombinasyonu ile oluşturulmuştur.

Rüzgar türbinlerinin giriş verisi olarak IEC test verileri kullanılmış, güneş panellerinin giriş verisi olarak ise ABD Arizona Eyaleti Wichita Falls bölgesine ait güneş ışınımı verileri kullanılmıştır. Ancak rüzgar türbinlerinin düşük rüzgar hızlarında ve güneş panellerinin gölgeli enerji üretiminden dolayı belirli zaman aralıklarında her iki üniteye de güç grafiği elde edilememiştir.

7. SONUÇ

Fosil yakıtlarının hızlı bir tükenme trendine girmesiyle birlikte yakıt maliyetleri yükselmiş ve buna bağlı olarak fosil yakıtı kullanan enerji üretim sistemlerinde birim enerji maliyetinde bir artış gözlenmiştir. Çevre kirliliği faktörünün de bu duruma dahil olmasıyla birlikte enerji sektöründe yeni arayışlar başlamış ve yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretiminde yer almaya başlamışlardır.

Farklı enerji üretim sistemlerinin bir arada kullanılmaya başlanmalarıyla birlikte hibrid enerji sistemleri kavramı ortaya çıkmıştır. Böylelikle gerek küçük güçlü yüklerin beslenmesinde gerekse enterkonnekte sistem aracılığıyla büyük güçlü yüklere enerji sağlayabilen hibrid enerji sistemlerinin analizi kaçınılmaz bir hal almıştır.

Bilindiği gibi hibrid enerji sistemleri üzerinde yer alan rüzgar türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin çıkış güçleri sabit değildir. Bu tür sistemler yüklerin sürekli beslenmesinde kullanıldıklarında enerji yetersizlikleri ile karşılaşabilmektedir. Dolayısıyla bu tip sistemler şebekeden bağımsız çalıştıkları durumlarda harici ekipmanlarla desteklenmelidirler. Tasarlanan sistemlerde ya depolama cihazları ya da fosil yakıtı kullanan üretim sistemleri kullanılarak yükün talep ettiği gücün sürekli olarak karşılanması sağlanmış olur.

Süreklilik problemlerinin yanından ekipmanlarda meydana gelebilecek olan arızalarda sistemden talep edilen gücün üretim sistemi tarafından karşılanamamasına yol açabilmektedir. Sistemde bulunan üretim sistemlerinde meydana gelen arızalar ilgili birim devre dışı kalmasına yol açacaktır. Bu arızanın giderilme süresi ekipmanın sağladığı güç seviyesi arttıkça ve üretimin uzak olduğu yerlerde mesafeden dolayı uzayacaktır.

Yapılan çalışmada şebekeden bağımsız çalışan bir hibrid enerji sisteminde risk analizi gerçekleştirilmiştir. Seçilen yük değeri baz alınarak farklı senaryolarda üretim sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan hibrid enerji sistemi rüzgar türbini, güneş paneli ve dizel generatör kombinasyonundan oluşmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin giriş verisi olarak IEEE test verileri kullanılmış, güneş panellerinin giriş verisi olarak ise ABD Arizona Eyaleti Wichita Falls Bölgesine ait güneş ışınlamı verileri kullanılmıştır. Ancak rüzgar türbininin düşük rüzgar hızlarında ve güneş panellerinin geceleri enerji üretememesinden dolayı belirli zaman aralıklarında her iki üniteden de çıkış gücü elde edilememiştir.

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar ortaya konulmuştur:

- Ekipmanlarda meydana gelebilecek hata değerleri rasgele şekilde oluşturulmuş ve ünitelere ait yıllık çıkış değerleri bu işlem sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen çıkış güçleri ile yük değerleri karşılaştırılmış ve sonuçta karşılanamayan yük miktarları ile süreleri ortaya konmuştur. Bu sonuca göre 200kW'lık dizel generatörün kullanıldığı senaryo 4, yıllık toplam 115.247,465 kW karşılanamayan yük ve 3089 saatlik yük karşılanamama zamanı ile en uygun değerleri vermiştir. Karşılanamayan yük yıllık talebin %8,58'ini, karşılanamama süresi ise %35'ini oluşturmaktadır.
- Çalışmada her bir senaryo için dizel generatör için yıllık yakıt maliyeti hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. HOMER programı yardımı ile tasarlanan senaryolar içerisinde optimum işletme maliyetlerini veren durum belirlenmiştir. En optimum durumda (200kW'lık dizel generatörün kullanıldığı senaryo 4) birim enerji maliyeti 10,7 cent olarak elde edilmiştir. Bu değer şuanda kullanılan gerçek değerlerle kıyaslandığında (ticarethaneler için birim enerji fiyatı yaklaşık olarak 8 cent) kabul edilebilir değerdedir.
- Bu çalışma ile bir hibrid enerji sisteminde gerek meydana gelebilecek arızalardan dolayı gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmayışlarından dolayı yüklerin tam olarak beslenemeyebileceği ortaya konmuş ve sistem tasarımı sırasında göz önüne alınması gereken parametreler belirtilmiştir. Bu durumun sistem üzerinde bulunan dizel generatörde kullanılan yakıt sarfiyatını arttığı gösterilmiştir. Buna göre yükün en iyi beslendiği senaryoda 615.927 YTL'lik yakıt maliyeti ortaya çıkmıştır.
- Sisteme bir depolama cihazının eklenmesi yük talebini karşılama eksikliğinin azalmasına neden olacaktır. Depolama cihazı özellikle belirli saatlerde rüzgar ve güneşten elde edilen artık enerjinin depolanmasını sağlayacaktır. İlk kurulum maliyetlerinde belirli bir artışa neden olsa da bu ilave sistemin birim enerji maliyetini azaltacağından kurulacak olan hibrid enerji sistemlerine depolama ekipmanının eklenmesi tavsiye edilebilir.
- Günümüz enerji sistemlerinde yakıt pilleri de çok yaygın hale gelmektedir. Bu nedenle yakıt pillerinin kullanıldığı hibrid enerji sistemleri üzerine de çalışmaların yapılması gerekmektedir.
- Hibrid enerji sistemleri bağımsız olarak çalışabildikleri gibi şebekeye bağlı olarak da çalışabilirler. Bu durum ayrı bir inceleme konusudur.

KAYNAKLAR

- Atılğan İ. (2000), "Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 15:31-47.
- Araujo R.G., Krouter S., Onnekin K. ve Quaschnig V. (2001), "Photovoltaic Energy Systems", TU, Berlin.
- Bansal R. C., Bhatti T. S., Kothari D. P. (2004), "Automatic Reactive Power Control of Isolated Wind-Diesel Hybrid Power Systems for Variable Wind Speed/Slip", Electric Power Components and Systems, 32.
- Bekiroğlu N., Yumurtacı Z. ve Kekezoğlu B. (2006), "Maximum Power Generation Using Wind Power Plants", 2nd International Green Energy Conference (IGEC-2), Kanada.
- Blue Sky Energy, "What Is Maksimum Power Point Tracking and How Does It Work"
- Celik A. N. (2002), "Optimisation And Techno-Economic Analysis Of Autonomous Photovoltaic-Wind Hybrid Energy Systems İn Comparison To Single Photovoltaic And Wind Systems", Energy Conversion and Management, 43:18
- Cidras J. ve Feijoo A.E. (2002), "A Linear Dynamic Model for Asynchronous Wind Turbines With Mechanical Fluctuations", IEEE Transactions on Power Systems, 17:3.
- De Broe A.M., Drovilhet S. ve Gevorgian V., (1999), "A Peak Tracker for Small Wind Turbines in Battery Charging Applications", IEEE Transactions on Energy Conversation, 14:4.
- Eke R., Kara O., Ulgen K. (2005), "Optimization of a Wind/PV Hybrid Power Generation System", International Journal of Green Energy, 2.
- El-Shater T. F., Eskander M. N., El-Hagry M. T. (2006), "Energy Flow And Management Of A Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System", Taylor & Francis, 25:2.
- Fung C. C., Wiengmoon B., Nayar C.V. (2002), "An Investigation On The Characteristics And Performance Of A PV-Diesel Hybrid Energy System For Teaching And Research", TENCON '02 Proceedings.
- Holm D.P., Ropp M.E. (2000), "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed", Photovoltaic Specialists Conference, IEEE.
- Iou F., Bloobjerg F. Ve Chen Z. (2002), "A New Simulation Platform to Model, Optimize and Design Wind Turbines", IECON'02, IEEE.
- Johnson G.L. (2001), "Wind Energy Systems", Manhattan, KS.
- Kennedy S. (2005), "Wind Power Planning: Assessing Long-Term Costs and Benefits", Energy Policy, 33.
- Markvart T. (1996), "Sizing Of Hybrid Photovoltaic-Wind Energy Systems", Solar Energy
- McGarw-Hill Editors (1999), "Energy Systems Handbook", McGraw-Hill Professional Book Group.
- Morei M.I., El-Faurly T.H.M., El-Soudany E.F. ve Saloma M.M.A (2003), "A Flexible Wind Energy Scheme for Voltage Compensation and Fliker Mitigations", Power Engineering Society General Meeting, IEEE.

Nelson, D.B., Nehrir, M.H., Wang, C. (2005), "Unit Sizing Of Stand-Alone Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Power Generation Systems", Power Engineering Society General Meeting, IEEE.

Patel M. (2006), "Wind And Solar Power Systems: Design, Analysis Ana Operation", Taylor and Francis.

Reddy, J.B., Reddy, D.N. (2004), "Probabilistic Performance Assessment Of A Roof Top Wind, Solar Photo Voltaic Hybrid Energy System" Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium.

Rehman S., Bader M.A. ve Al Madlen S.A. (2006), "Costs of Solar Energy Generated Using PV Panels", Elsevier.

Sahin A.D., Sen Z. (1995), "Refined Wind Energy Formulation And Its Application In Turkey", The Second International Conference on New Energy Systems and Conversions.

Shaahid S. M., Elhadidy M. A. (2005), "Optimal Sizing Of Battery Storage For Stand-Alone Hybrid (Photo-Voltaic + Diesel) Power Systems", International Journal of Sustainable Energy, 24.

Ulgen, K., and Hepbasli, A. (2003), "A Study on Evaluating Power Generation of Solar-Wind Hybrid systems in Izmir, Turkey", Energy Sources.

Volker Q. (2005), "Understanding Renewable Energy Systems", Earthscan, Kanada.

Walker G. (2003), "Evaluating MPPT Converters Topologies Using A Matlab PV Model".

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] atlas.cc.itu.edu.tr/~baytas/enerji/enerji.htm

[2] www.icciconference.com

[3] www.resiad.org

[4] www.eie.gov.tr

[5] www.dme.gov.za

[6] <http://rredc.nrel.gov>

EKLER

- Ek 1 IEEE test sistemi yük profili için MATLAB kodları
- Ek 2 Rüzgar türbini katalogu
- Ek 3 Rüzgar türbini çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları
- Ek 4 Güneş panelleri çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları
- Ek 5 Saatlik rüzgar hızı verileri

```
% Daily peaks
Monday=75*wppeak/100;
Tuesday=75*wppeak/100;
Wednesday=75*wppeak/100;
Thursday=75*wppeak/100;
Friday=75*wppeak/100;
Saturday=75*wppeak/100;
Sunday=75*wppeak/100;
%This part forms a zero matrix 52 by 7 for daily peaks%
for i=1:1:52
    for j=1:1:7
        dpeaks(i,j)=0;
    end
end
%Daily peaks%
m=1;
for k=1:1:52;
    dpeak(m,:)=[Monday(k) Tuesday(k) Wednesday(k) Thursday(k) Friday(k) Saturday(k) Sunday(k)];
    dpeaks(m,:)=dpeak(m,:); % Each row in dpeaks represents the daily peak load, each column represents the days of the week, starting from Monday.
    m=m+1;
end

%This part forms a zero matrix 364 by 24 for hourly peaks%

for is=1:1:364
    for j=1:1:24
        hpeaks(is,j)=0;
    end
end

%Seasonal hourly load variations in percent of daily peak%

% Winter weeks : 1-8 & 44-52 %
Winter_weekdays = [67    63    60    58    55    52    50    48    46    44    42    40    38    36    34    32    30    28    26    24    22    20    18    16    14    12    10    8    6    4    2];
```


Ek 1 IEEE test sistemi yük profili için MATLAB kodları

```

clear all;
PeakLoad = input('Enter your peak load : ');

% weakly peaks %
wpeaks=PeakLoad*[86.2 90 87.8 83.4 88 84.1 83.2 80.6 74 73.7 71.5 72.7 70.4 75 72.1 80
75.4 83.7 87 88 85.6 81.1 90 88.7 89.6 86.1 75.5 81.6 80.1 88 72.2 77.6 80 72.9 72.6 70.5 78
69.5 72.4 72.4 74.3 74.4 80 88.1 88.5 90.9 94.0 89.0 94.2 97.0 100 95.2]/100;

% Dailiy Peaks from Monday to Sunday %
Mondays = 93*wpeaks/100;
Tuesdays=100*wpeaks/100;
Wednesdays=98*wpeaks/100;
Thursdays=96*wpeaks/100;
Fridays=94*wpeaks/100;
Saturdays=77*wpeaks/100;
Sundays=75*wpeaks/100;
%This part forms a zero matix 52 by 7 for dailiy peaks%
for i=1:1:52
    for j=1:1:7
        dpeaks(i,j)=0;
    end
end
%Dailiy peaks%
m=1;
for k=1:1:52;
    dpeak(m,:)=[Mondays(k) Tuesdays(k) Wednesdays(k) Thursdays(k) Fridays(k) Saturdays(k)
    Sundays(k)];
    dpeaks(m,:)=dpeak(m,:); % Each row in [dpeaks] matrix represent the each week and each
    column represents the days of the weeks, starting from monday to saturday
    m=m+1;
end

%This part forms a zero matix 364 by 24 for hourly peaks%

for i=1:1:364
    for j=1:1:24
        hpeaks(i,j)=0;
    end
end

%Seasonal hourly load variations in percent of dailiy peak%

%Winter weeks : 1-8 & 44-52 %
Winter_weekdays = [67    63    60    59    59    60    74    86    95    96
    96    95    95    95    93    94    99    100    100    96    91    83
    73    63];

```



```

Winter_weekdays = [78    72    68    66    64    65    66    70    80    88
                    90    91    90    88    87    87    91    100    99    97    80    88
                    87    81];

```

% Summer weeks : 18 - 30 %

```

Summer_weekdays = [64    60    58    56    56    58    64    76    87    95
                    99    100    99    100    100    97    96    96    93    92    92    93
                    87    72];

```

```

Summer_weekends = [74    70    66    65    64    62    62    66    81    86
                    91    93    93    92    91    91    92    94    95    95    100    93
                    88    80];

```

% Spring/Fall weeks : 9-17 & 31-43%

```

SpringFall_weekdays = [63    62    60    58    59    65    72    85    95    99
                        100    99    93    92    90    88    90    92    96    98    96    90
                        80    70];

```

```

SpringFall_weekends = [75    73    69    66    65    65    68    74    83    89
                        92    94    91    90    90    86    85    88    92    100    97    95
                        90    85];

```

% Each row in hpeaks matrix represent the days of the year (364 day)

% Each column in hpeaks matrix represent the hours of the day, for example

% :1st column represent 12-1 am, second column represent 1-2 am, while 12th

% column represent 11am-Noon and 13rd column represent Noon-1pm

```

mm=1;
for i=1:1:8
    for j=1:1:7
        hpeak_winter(mm,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_winter(mm,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekends/100;
        end
        mm=mm+1;
    end
end

```

```

nn=1;
for i=9:1:17
    for j=1:1:7
        hpeak_SpringFall(nn,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_SpringFall(nn,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekends/100;
        end
        nn=nn+1;
    end
end

```



```

pp=1;
for i=18:1:30
    for j=1:1:7
        hpeak_Summer(pp,:)=dpeaks(i,j)*Summer_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_Summer(pp,:)=dpeaks(i,j)*Summer_weekends/100;
        end
        pp=pp+1;
    end
end

rr=1;
for i=31:1:43
    for j=1:1:7
        hpeak_SpringFall_1(rr,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_SpringFall_1(rr,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekends/100;
        end
        rr=rr+1;
    end
end

```

```

qq=1;
for i=44:1:52
    for j=1:1:7
        hpeak_winter_1(qq,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_winter_1(qq,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekends/100;
        end
        qq=qq+1;
    end
end

```

```

hpeaks(1:56,1:24)=hpeak_winter;

hpeaks(57:119,1:24)=hpeak_SpringFall;

hpeaks(120:210,1:24)=hpeak_Summer;

hpeaks(211:301,1:24)=hpeak_SpringFall_1;

hpeaks(302:364,1:24)=hpeak_winter_1;

```

```

%This vector shows the hourly load variations from 1st day to 364th day%
hourlyloads=reshape(hpeaks',1,8736);

```


JACOBS® Model 29-20 Wind Turbine

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Output	Grid intertie 240 Volt A.C. 60 Hz 1 phase power
Rating	20 KW
Type	Nominally horizontal upwind design
Cut-in wind speed	8 mph
Peak output	25.5 mph
Rotor type	3 blade variable pitch
Rotor RPM at rated output power	175
Rotor diameter	29 feet
Transmission	Offset Hypoid gear drive
Ratio — Rotor to alternator	1:6
Alternator type	Brushless, 3 phase with outboard exciter
Rating	30 KVA, 3 phase, 0-180 volts
Protection:	
Yaw control	Dual fold tail
Overspeed	Blade actuated governor
High wind/storm	Offset rotor axis
Tower:	
Type	Free standing, 3 leg design
Construction	Angle iron tubular leg construction
Heights available	Nominal 80-120 ft.
Brake type	Multi-disc type

Earth Energy Systems, Inc. continually improves its products and therefore reserves the right to change the design, materials and/or specifications without notice.

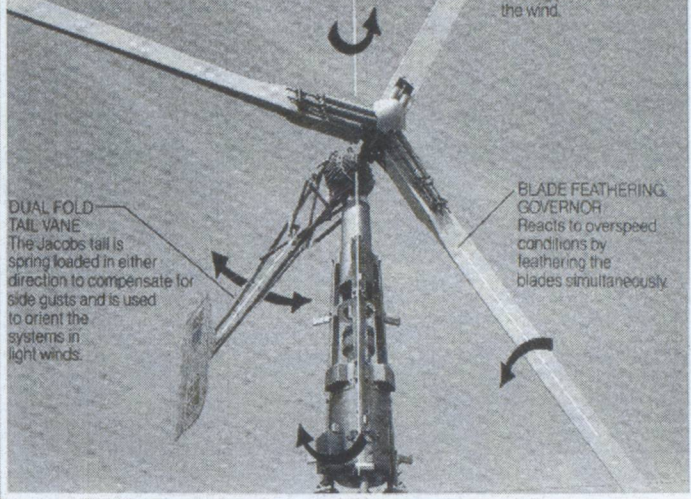
DESIGN FEATURES

OFFSET HYPOID GEAR DRIVE
Wind force creates rotor back thrust. Rotor back thrust is balanced to alternator load to ensure an upwind position. In high winds,

alternator load is overcome and rotor turns around to the side of the tower with the blades feathered and running parallel to the wind.

DUAL FOLD TAIL VANE
The Jacobs tail is spring loaded in either direction to compensate for side gusts and is used to orient the systems in light winds.

BLADE FEATHERING GOVERNOR
Reacts to overspeed conditions by feathering the blades simultaneously.



Ek 3 Rüzgar türbini çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları

```
function P = ruzguc(R,v);

% P çıkış gücü (kW) , ro havanın özgül ağırlığı
% R türbin yarıçapı (m) , v rüzgar hızı (m/s)
% Cp türbinin güç sabiti (0,3 - 0,5 arasında)

ro = 1.225; % İdeal koşullarda
Cp = ; % Türbine göre değişen bir değer
R = 22; % Türbin kataloğundan alınan değer
v = 20; % m/s cinsinden rüzgar hızı verisi

% türbinin cut-in ve cut-out hızlarını belirlemek için

if v<=5; % cut-in hızı
    v = 0;
elseif v>=24; % cut-out hızı
    v = 24;
else
    v = v;
end

P =(pi.*ro.*R^2.*v^3.*Cp)/(2e3)
```


Ek 4 Güneş panelleri çıkış gücünün hesaplanması için MATLAB kodları

```
function Ia = msx60i(Va,Suns,TaC)
% MSX-60 güneş paneli için msx60.m modeli
% akım, gerilim, sıcaklık ve parlaklığa bağlıdır
% Ia = msx60(Va,G,T) = panel akımı
% G = Güneş sayısı (1 Güneş = 1000 W/m^2)
% T = C° cinsinden sıcaklık

k = 1.38e-23; % Boltzman sabiti
q = 1.60e-19; % Elektron yükü

% istenilen büyüklükler girildiğinde, model tarafından
% 1000 W/m^2 bazı için hesaplanır
A = 1.2; % "diyet kalite faktörü"
Vg = 1.12; % bant aralığı gerilimi
Ns = 36; % seri bağlı hücre sayısı (diyet)

TaC = 25;
Suns = 0:0.01:1 ;
Va = 17;

T1 = 273 + 25;
Voc_T1 = 21.06 / Ns; % T1 sıcaklığında tek hücreye ait açık devre gerilimi
Isc_T1 = 3.80; % T1 sıcaklığında tek hücreye ait kısa devre akımı

T2 = 273 + 75;
Voc_T2 = 17.05 / Ns; % T2 sıcaklığında tek hücreye ait açık devre gerilimi
Isc_T2 = 3.92; % T2 sıcaklığında tek hücreye ait kısa devre akımı

TaK = 273 + TaC; % panelin çalışma sıcaklığı
Trk = 273 + 25; % referans sıcaklık

% Va = 0 olduğunda, foton akımı Iph_T1 = panelin kısa devre akımı
% "a" sabiti Isc ve T ye bağlı belirtilir

Iph_T1 = Isc_T1 * Suns;
a = (Isc_T2 - Isc_T1)/Isc_T1 * 1/(T2 - T1);
Iph = Iph_T1 * (1 + a*(TaK - T1));

Vt_T1 = k * T1 / q; % = A * kT/q
Ir_T1 = Isc_T1 / (exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);
Ir_T2 = Isc_T2 / (exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);

b = Vg * q/(A*k);
Ir = Ir_T1 * (TaK/T1).^(3/A).*exp(-b.*(1./TaK - 1/T1));

X2v = Ir_T1/(A*Vt_T1) * exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc = - 1.15/Ns / 2;
% üretici grafiklerinden
Rs = -dVdI_Voc - 1/X2v; % her hücre için seri direnc
```


% Ia = 0:0.01:Iph;

Vt_Ta = A * 1.38e-23 * TaK / 1.60e-19; % = A * kT/q

% Ia1 = Iph - Ir.*(exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta)-1);

% solve for Ia: f(Ia) = Iph - Ia - Ir.*(exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta)-1) = 0;

% Newton's method: Ia2 = Ia1 - f(Ia1)/f'(Ia1)

Vc = Va/Ns;

Ia = zeros(size(Vc));

% Iav = Ia;

for j=1:5;

 Ia = Ia - (Iph - Ia - Ir.*(exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta)-1))./(-1 - (Ir.*(exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta)-1)).*Rs./Vt_Ta);

% Iav = [Iav;Ia];

end

Pg=Va.*Ia;

Ek 5 Saatlik rüzgar hızı verileri

4.9	4.9	4.3	5.3	5.3	6.4	7.6	7.6	7.4	8.1	8.4	11.5
10.5	12	11.5	10.5	8.4	8.7	4.9	6.1	6.5	9.2	9.8	11.5
11.5	15.3	17.2	16.3	16.3	11.9	10.5	9.5	8.7	9.5	7.3	3.9
6	9.5	7.6	6.6	6.6	8.7	8.9	9.5	10.5	10.5	11	11
11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	8.4	6.4	8.4	7.4	7.4
8.4	7.8	7.8	6.8	6.8	6.3	6.3	4.7	5.2	3.7	4.2	2.6
1.6	2.2	2.2	2.8	1.5	2.7	2.7	2.1	2.6	2.6	2.6	3.2
2.7	1.5	2.2	2.7	2.2	2.7	2.7	2.7	2.2	1.5	2.2	1
0.5	1.6	2.7	1.5	2.7	2.2	2.7	2.7	3.2	2.2	2.7	3.2
3.2	2.2	2.7	2.2	1	1	1.6	1.5	1	1	1.6	2.2
3.3	2.7	3.8	3.3	3.8	3.8	3.3	3.8	4.9	6.7	6.6	7.1
7.2	7.1	7.2	8.2	9.3	11	11.5	13.1	13.7	14.8	14.3	14
14	12.8	12.2	12.2	10.6	9.2	12	11.9	13	13.6	14.2	15.7
14.2	15.7	17.4	17.4	16.8	17.4	17.4	18	19.6	18.5	19.6	18.3
15.7	14.8	15.9	16.2	18.3	16.2	17.3	16.2	15.7	15.7	17.3	14.2
13.7	13.7	14.7	13.7	13.2	14.7	15.2	15.3	14.2	15.2	14.7	13.1
12	11	10.5	10.5	11.5	11.5	11.5	8.9	8.4	6.8	8.4	6.6
6.2	5	2.7	3.3	3.1	2.2	2.2	2.7	3.8	4.3	4.2	1.5
2.8	5.5	3.9	7.9	3.4	3.8	5.5	4.7	3.7	5.2	6.4	8.5
7.3	6.3	4.7	6.9	5.3	2.7	6.9	6.5	5.5	5.4	3.9	3.3
3.3	3.4	3.3	3.3	5.4	6.1	7.7	8.2	10.4	11.5	14.8	15.3
17.6	17.6	18.1	18.1	18.1	17.6	17.6	18.1	17.6	14	9.8	10.4
10.9	12.5	10.9	9.8	11.4	10.9	8.9	7.2	11.1	10.6	11.1	10.6
13.3	13.3	11.1	11.7	11.1	12	12.8	14	14.5	14.5	14.5	14
14.5	17.2	13.3	11.7	10.6	12.2	14.5	14	12.8	13.3	13.3	13.3
11.7	12.8	11.1	10.5	5.3	6.3	6.8	7.9	6.9	7.9	7.4	7.4
8.4	6.9	5.9	3.7	4.8	4.2	2.2	4.8	2.2	2.8	5.9	5.4
3.7	3.2	1	5.3	2.6	3.9	1.5	1.5	1	5.3	5.3	4.2
3.8	1.5	2.2	2.3	2.8	3.4	3.4	4.7	2.8	3.7	1.5	3.2
2.1	2.3	3.2	2.7	2.7	3.4	5.4	2.7	3.8	3.3	4.9	6.6
6.1	8.2	8.7	9.3	10.4	10.4	11	11.5	12	12	12.6	11.7
12.2	10.6	10.6	10.1	9.4	8.3	7.2	8.3	6.7	5.5	5.4	5.5
5	4.4	3.9	3.3	2.2	2.8	2.2	2.8	2.7	2.7	3.8	3.8
3.8	3.8	4.4	4.9	4.4	5.5	5	4.4	3.9	4.3	5.4	6.6
6.3	5.4	4.9	6	6.3	6.3	7.3	6.8	7.6	8.7	9.2	9.8
10.4	9.8	10.4	9.2	9.8	9.2	9.2	8.7	9.8	10.4	10.9	11.9
12.5	13	13	14.2	13	11	10.5	9.5	9.5	10	9.5	10
10	10.5	10	9.5	8.9	10.5	8.9	11.5	11.5	12.5	12.5	13.7
13.7	14.8	14.8	14.8	13.3	12.7	12.7	11.1	11.7	10.6	10.1	9
9	9	8.5	8.5	9	9	8.5	7.4	7.5	6.5	5.9	4.8
4.2	3.2	2.1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	2.8	3.3
3.2	4.2	3.2	2.2	1.1	1.6	2.8	2.2	2.7	2.7	2.2	3.3
3.3	2.8	3.8	3.3	4.4	4.9	4.9	4.4	4.9	5.4	6.7	6.7
6.7	5	4.4	4.4	4.9	5	5	3.3	3.4	4.4	3.8	4.4
4.9	6	6.1	6.6	7.1	7.1	8.2	8.1	6.5	6.5	7.1	7.7
6.6	7.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.6	5.5	6.2	6.7	6.7
5.4	6.2	6.6	7.1	6.6	6.6	7.7	7.1	7.7	7.7	8.3	11
10.1	10.6	10.6	10.4	10.6	11.7	12.2	11.7	12.2	11.1	10.6	6.7

7.2	5.5	4.4	3.3	3.4	3.4	2.8	3.4	4.3	4.4	4.9	6
6.2	5.4	3.8	3.8	5.4	5.5	6.1	6.6	8.2	8.2	6.5	7.6
7.1	7.6	9.8	8.7	10.4	10.4	10.4	12.2	14.2	15.7	16.3	16.7
16.8	16.8	16.3	16.3	16.8	16.8	15.7	15.7	14.2	14.7	15.2	17.4
14.7	14.7	15.6	16.7	16.7	13.1	14.3	17.2	18.5	19	17.8	17.8
17.8	17.3	16.2	14.2	13.7	12	12	8.4	8.4	6.8	4.4	6.2
5.4	7.1	6.6	7.1	6.5	8.1	9.3	9.8	14.2	15.2	14.2	13.2
13	14.7	13	13	14.2	14.7	15.7	16.8	18.5	17.4	19	18
15.7	16.3	16.8	16.3	16.1	15.6	15.6	16.1	15.6	15	15.6	15
16.1	15.6	15	13.7	12.2	12.2	10.6	8.5	7.3	8.9	8.4	10
11	11	11	10.5	11	10.5	11	11.5	11.5	12.5	12.5	13
11.4	11.4	11.4	11.4	10.4	12.5	12.2	12.5	11.7	12.2	12.8	13.6
11.9	11	10	9	7.9	8.4	7.9	8.4	9.6	9.6	8.4	8.4
8.4	7.8	6.3	6.3	6.3	6.3	7.1	7.1	7.2	8.3	10.1	10.6
10.6	10.6	10.4	11.1	11.7	12.8	13	12.8	14	13.6	13	13
12.5	11.5	10	9.5	7.3	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.4	7.8
8.4	7.3	6.8	6.8	6.8	7.3	8.4	7.1	7.6	8.7	10.4	10.9
11.5	10.9	10.9	11.4	11.4	11.4	12.5	11.9	11	10.9	10.9	10.4
10.9	10.4	10.4	10	9.5	9.5	9.2	7.1	6.7	6.7	6.7	7.2
7.2	7.2	6.7	4.9	6.6	6.6	7.1	7.2	8.3	8.7	8.3	7.8
9.2	7.7	7.8	8.3	9.3	9.3	9.9	10.4	9.9	9.3	9.3	8.3
8.9	9.4	9.9	8.7	9.3	9.9	10.1	10.6	10.6	10.6	11.5	12
13.1	13.1	12	11.5	10.4	13.1	13.1	13.1	14	13.3	12.2	10.5
11	11	11.5	12	11	11.6	12.2	11.1	12.7	12.7	12.2	11
11.5	11.5	11.5	11.5	11	11.5	11.5	11.4	13	11.5	13.7	14.3
14	10.6	13.8	14.8	15.9	14.3	13.8	12.7	12.2	12.2	12.2	12.2
13.8	13.3	12.7	12.7	13.3	12.7	12.2	10.6	11.1	10.1	10.1	9.6
10.1	10.6	11.1	11.6	11.6	11.6	12.7	12.2	12.5	13.3	13.3	13.8
12.7	13.3	12.7	12.2	11.6	11.1	10.6	10.1	10.6	10.6	10.5	10
10.1	10	10	10	10	10	10	11.5	10.5	10.5	11.5	12
10.5	11.5	11.5	11.5	11	12	11.5	10.5	11	12	12	12.5
11	11	11	10.5	10.5	13.6	15.2	15.2	14.2	14.7	13.6	13.6
14.7	16.3	16.8	18.4	17.5	16.4	14.8	14.3	14.3	14.7	15.2	15.2
15.2	14.7	15.2	14.8	15.2	15.2	17.8	17.3	18	17	16.4	15.9
15.9	14.8	14.8	13.3	13.8	13.3	13.3	13.4	12.3	12.3	15.9	16
15	15.5	16	15.4	15.9	13.9	13.8	10.7	11.7	11.7	12.3	11.8
11.2	10.7	10.7	9.6	7.9	7.5	8.5	7.9	7.4	7.9	8.9	10
7.3	10.5	10.5	11	10.5	11	11.5	11.5	11	11	11	11
10.5	11	11.5	13.1	11.5	11.5	12	12	12.5	12	11.5	11.5
11	10.5	11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5	7.8	8.9	7.8
7.8	7.3	7.3	6.3	6.3	6.3	6.8	6.8	6.8	6.3	5.2	4.7
4.2	6.3	4.7	4.2	4.7	5.2	4.2	4.3	4.3	3.9	3.2	4.3
4.4	4.4	3.7	4.3	3.4	2.7	2.7	2.7	2.7	3.3	4.9	4.7
4.3	4.3	4.2	3.6	3.6	4.1	4.1	4.2	4.7	3.7	3.7	3.2
3.7	3.7	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7	3.8	4.9	5.4	6.5	5.3
6	7.1	8.2	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	9.9	8.7
7.8	7.2	6.7	6.2	6.1	5.2	3.9	5	4.4	5.5	5.5	5
5.5	8.1	8.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	10.4	9.8	9.8	9.8
9.8	9.2	8.7	8.7	8.1	8.1	7.1	7.1	7.6	8.1	7.3	7.3
7.3	7.6	6.6	8.1	9.8	9.8	9.2	10.4	11.1	13	13.3	14.7

15	14.7	15.2	16.3	16.8	16.3	16.8	17.4	16.8	15.2	15.2	15.7
15.2	15.2	13.7	14.2	13.7	11.5	11.5	12	12	12	10.5	11
10	10.5	11	10	10	11	10	10.5	10.9	11.9	13.6	14.2
14.2	15.7	15.7	14.7	13	15.2	16.3	16.3	15.7	15.7	15.7	16.3
16.3	15.2	14.2	14.2	12	13.7	12.5	12	11	11.5	12	12
12	12	12.5	11.5	10.5	10.9	10.4	10	9.5	7.9	8.7	7.1
7.6	8.7	9.2	10.4	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	11.4	11.9	12.5
15.9	12.5	16.2	16.8	16.2	16.2	13.2	14.7	16.4	17	17.5	16.4
17	16.4	15.3	14.3	13.3	11.6	8.9	9.5	8.4	7.3	8.1	8.7
10.4	11	10.3	10.9	11.1	12.4	10.4	10.1	14.7	16.3	16.3	16.8
17.4	18.5	19	19	16.3	14.2	16.3	16.3	17.3	18.9	18.9	19.9
19.9	21.5	21	23.5	21.5	18.9	18.3	17.3	17.8	18.5	17.5	17
16.4	22.3	17.5	18	18.5	18	18	17	15.4	13.8	13.3	12.7
11.6	10.6	7.9	5.8	6	6	6.6	6.2	6.6	8.3	9.5	11
10.5	10.5	10.1	10.1	8.9	9.5	10.6	10.6	10.1	8.4	10.7	11.8
10.7	10.2	10.6	10.6	10.1	10.6	9.6	10.1	9	7.9	8	6.9
6.9	6.4	4.7	4.2	4.7	4.8	4.3	2.1	3.7	4.2	3.7	3.7
4.7	5.8	6.8	7.1	4.4	4.9	7.1	7.1	8.2	9.9	10.4	12.6
13.1	12.6	13.1	12.6	13.7	13.1	11.4	11.1	11.1	12.5	13.1	13.1
12	12.5	12.5	11.5	11.5	11.5	11	11.5	11	12	12	8.9
8.4	5.8	3.7	2.3	2.8	4.7	1.5	2.2	1.6	3.2	2.7	4.8
6.9	5.4	6.5	6.5	6.9	6.5	4.7	4.8	5.4	4.8	5.4	4.8
5.4	5.4	5.4	4.3	6	5.4	5.4	6.5	8	8	8.5	8.5
8.5	8.5	9	8.5	6.9	6.9	6.5	6.5	6.5	8	9.6	9.6
8.5	8.5	9	8.5	8	8	9	9	10.1	8.5	10.1	10.1
10.1	9.6	10.1	10.1	9	8	7.6	7.6	6.5	5.4	4.8	5.3
6.4	5.9	5.3	4.2	4.8	5.3	4.8	3.7	4.3	4.8	5.3	4.8
6.4	6.4	6.4	5.3	4.8	5.3	5.3	4.8	4.8	5.3	4.8	3.7
3.7	4.2	2.7	2.7	2.7	4.2	3.7	3.7	4.8	4.2	3.2	3.2
2.2	2.2	1.5	2.1	1.5	1.6	2.1	3.1	2.7	3.2	2.7	2.7
3.2	2.7	3.7	2.2	3.2	3.7	4.2	4.2	4.2	5.3	5.9	7.4
8	7.4	7.4	7.4	6.4	6	6.4	5.2	4.8	4.3	4.2	4.8
4.2	4.2	5.9	4.8	4.2	3.8	4.3	4.8	6.4	7.4	8	8
7.4	6.9	7.4	6.4	5.9	5.9	5.9	4.8	4.2	3.2	3.2	3.2
3.2	3.2	3.2	2.7	3.7	4.2	4.8	4.7	5.3	6.4	6.9	6.4
4.8	6.4	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.4	5.2	4.8	4.7	4.8
5.3	5.9	5.9	4.7	4.7	5.2	5.2	5.9	6.4	6.9	8.4	9
8.5	8.5	8.4	9	8.4	8.4	9	9	9.6	8.5	8	9.6
9	8	8	7.4	6.9	6.9	8	6.9	8.5	9.6	9.6	9.6
10.6	10.1	10.1	9.6	9.6	9.6	9.6	10.1	10.1	8.5	8	7.9
5.9	5.3	5.9	5.9	5.9	5.3	5.9	6.9	6.9	7.4	6.9	7.4
8	8	7.4	9	6.9	8	7.4	6.9	8.5	8	6.9	6.9
5.9	6.4	6.9	6.4	6.4	6.4	5.3	7.4	6.9	6.9	6.9	7.4
7.4	7.9	8	7.4	6.9	6.9	7.4	6.4	6.9	7.4	6.4	5.3
5.3	5.3	4.2	4.2	3.7	4.2	4.2	3.7	3.7	4.2	5.3	6.9
6.9	6.4	6.4	5.9	5.3	4.8	3.7	3.7	3.2	1.5	2.7	1.6
3.2	4.7	4.8	4.8	4.2	4.2	3.7	3.7	4.2	3.7	3.7	3.7
3.7	3.7	3.7	2.7	2.7	2.2	2.2	1.5	1.5	1	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1	1.5	1	1.5	2.2	2.7	2.7	2.7	2.2
2.7	3.2	3.3	2.7	6.4	3.7	3.3	4.3	4.3	3.3	2.7	4.3

4.3	3.2	3.8	4.3	2.7	4.3	3.7	3.2	4.2	4.7	6.4	6.9
6.9	6.4	6.4	8	6.9	6.4	5.9	5.3	5.3	5.3	4.7	5.3
5.3	4.2	4.8	4.7	4.7	5.3	5.3	5.3	6.3	6.8	7.8	8.8
8.8	9.5	9.5	8.3	7.8	7.4	7.3	7.8	5.9	9.6	8.3	7.3
7.3	6.8	7.8	7.8	8.1	7.3	8.3	8.8	9.2	9.7	10.2	9.7
9.2	9.5	8.6	7.6	7.6	7.8	7.6	7.1	7.6	6.1	5	5
5	5	4.2	4.2	4.5	4.1	3.2	5	6.1	6.4	6.6	6.1
6.4	5.6	5.9	4.2	3.1	3.6	3.6	2.6	3.2	3.7	3.7	3.6
3.6	3.6	3.7	4.2	4.1	4.5	4.7	5.2	5.8	5.2	4.7	4.2
4.2	6.8	6.3	5.8	5.2	5.2	4.2	3.2	3.2	3.2	1.5	1.5
1.5	1.6	1.5	2.1	3.2	3.2	3.1	2.6	3.6	4.1	4.1	4.2
3.8	9.8	9.8	8.7	7.1	7.1	6.2	6.7	8.9	6.2	7.2	8.3
8.9	8.3	8.3	8.1	7.2	6.7	7.6	7.3	6.8	6.8	7.3	7.3
8.1	8.9	9.8	11.4	11.4	10.9	11.9	9.4	9.9	11	10.4	8.9
8.4	8.4	9	8.4	7.8	8.4	8.4	8.4	7.8	8.9	9.5	9.5
8.9	10	9.5	8.4	7.4	7.8	8.4	7.8	5.8	5.8	5.2	7.4
5.9	5.9	5.9	5.3	5.3	4.7	5.3	7.4	6.4	7	7	7.9
7.4	7.9	7.4	5.3	5.3	4.2	4.2	4.2	3.3	2.7	3.2	2.7
3.2	2.7	2.7	2.7	3.2	2.7	2.2	4.7	4.5	4.1	4.5	4.2
4.7	4.2	4.2	3.8	2.2	2.2	1	2.1	3.1	3.6	3.2	3.2
3.7	4.7	3.2	3.6	3.7	3.7	3.7	3.2	4.9	5.4	6	6.5
7.1	7.1	6	6	4.3	3.7	4.2	4.2	3.7	3.7	3.1	2.7
3.2	2.7	2.7	2.2	1.5	2.7	2.2	2.7	3.3	4.4	3.8	3.8
5.2	6.8	4.2	3.7	3.7	4.2	5.9	7	6.5	4.8	3.2	2.1
2.2	3.8	5.2	5.2	5.4	6	6	6.6	8.9	10	10.5	10.5
10	11.5	11	10.5	10.5	11	10	10	10	10	10	10
10	8.9	5.8	8.4	8.4	8.4	7.9	8.9	10	10.5	10.5	9.5
10.5	10	10	9.5	9.5	8.9	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
8.4	7.9	7.9	8.9	8.9	7.9	7.9	7.8	7.8	6.9	7.4	6.4
5.3	4.2	4.2	4.2	5.8	5.4	4.9	4.7	4.3	4.9	4.9	4.9
4.9	4.9	3.8	2.2	1.6	3.9	3.9	4.9	6.6	7.3	7.3	6.8
6.8	6.8	6.3	6	5.2	4.3	4.3	6.3	5.4	3.9	3.8	6
7.6	5.4	6.8	6.8	5.8	5.2	5.8	6.4	6.4	6.3	6.8	7.8
7.3	6.8	7.8	7.9	6.8	4.9	3.9	3.8	3.8	5.4	6.6	6
4.9	5.4	6	4.9	3.8	4.4	3.8	5.4	5.8	5.2	8.4	8.4
8.9	9.5	8.4	8.7	8.1	8.4	8.7	9.2	8.9	9.5	10	11
10	8.9	8.4	8.4	7.8	7.9	6.5	5.9	6.9	8.1	8.6	7.4
7.9	9	7.9	6.9	7.6	5.4	3.2	4.2	3.2	2.7	3.2	2.7
2.7	4.2	4.2	3.6	5.2	5.2	5.2	6.3	6.1	6.6	7.6	7.6
8.1	8.1	7.6	7.1	7.1	6.8	6.1	5	4.5	4.5	5	5
5	5	4.5	4.5	4.1	4.1	5	5	5.6	6.1	6.6	6.6
7.1	7.6	7.6	8.1	6.1	5	4.5	3.7	3.8	6.7	7.8	6.7
7.1	4.3	4.9	5.4	8.9	10.1	8.2	8.7	8.9	10.4	10.6	12.2
10.4	11.1	8.7	6.7	7.2	6.7	6.2	4.9	6.1	5.4	6.2	6
5.5	4.3	3.8	3.9	2.1	3.3	2.2	2.6	3.2	2.2	3.2	3.7
3.7	4.2	6.9	6.9	5.3	3.7	2.1	2.1	1.6	2.1	2.2	2.1
2.7	2.2	2.7	2.8	1.5	2.2	1.6	2.7	2.7	2.7	3.2	5.4
6.8	7.3	7.3	7.3	6	5.5	6.2	5.5	6.1	6.6	7.2	7.7
8.7	8.9	8.9	8.3	9.4	7.8	9.2	9.2	8.7	8.1	9.2	9.8
9.2	10.4	10.4	8.1	7.1	7.1	8.1	8.7	8.1	8.7	9.5	9.5

7.9	8.9	8.4	8.4	8.4	8.4	8.9	8.4	7.9	8.9	7.9	9.5
8.9	8.4	8.1	8.9	8.1	8.1	7.1	7.1	7.2	6.7	10.4	10.4
9.2	10.4	10.9	10.9	11.9	12.5	12.5	11.9	11	10.5	10	8.9
8.4	8.4	8.4	7.3	7.3	5.2	4.7	5.8	6.3	5.4	5.2	6.3
7.3	7.3	7.3	6.8	4.7	2.8	2.2	4.3	5.4	6.7	8.1	8.3
8.9	8.9	8.9	8.2	7.8	8.9	10.6	13	13	10	6.8	7.3
6.8	6.9	4.2	4.3	4.4	4.4	7.8	8.3	11.1	12.2	12.8	12.8
15	14.5	17.9	17.9	17.4	11	11	10	9.5	11.5	14.7	14.2
14.2	16.8	16.8	16.2	16.8	17.8	16.2	16.2	16.2	16.2	16.8	17.4
16.2	15.2	15.7	16.2	16.2	16.2	14.7	13.1	13.1	12.7	11	8.9
8.4	7.8	6.8	6.8	6.8	5.4	6.6	6.7	7.1	8.2	8.2	10.4
11.4	11	12.6	10.4	12	11.5	13.1	13.1	14.7	16.3	16.3	17.9
16.3	17.4	16.3	16.8	17.3	15.2	13.1	11.6	10.1	9.6	9	9.6
9	9	9.1	10.6	11.1	10.6	9.6	9.6	7.9	8.5	7.9	9.6
10.6	11.1	9	9.6	9.6	10.6	9.6	11.1	11.5	11	12	11.5
12	13	12.5	12.8	14	15.2	14.2	12	13.1	14.8	13.3	15.5
18.6	19.1	19.1	16.4	15.4	14.3	13.8	12.7	11.8	10.7	11.1	12.8
10.1	11.7	11.7	10.6	10.1	7.9	9.6	6.4	5.5	1.5	1.6	3.3
3.3	4.9	5.4	5.4	5.4	6	6	7.7	8.7	8.7	9.9	8.7
8.2	7.1	7.1	5.4	4.2	5.3	5.3	7.6	7.6	7	7	9.2
7.6	6.5	5.4	3.3	6.9	6.5	5.3	6.4	6.9	7.4	7.9	8
8.5	9.7	9.7	9.6	8.5	7.5	5.9	5.9	5.3	4.7	4.7	5.3
4.2	4.2	6.9	3.7	6.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.8	6.8	7.3
7.9	9.8	9.8	8.7	8.1	9.4	9.4	9.4	10.1	11.5	12.6	13.3
12.2	12.8	10.4	9.5	6.3	6.3	6.3	6.3	7.8	8.9	11.5	10.9
10.9	10.4	10.4	11.4	11.9	10.5	8.1	6.8	7.1	5.5	3.3	5.4
7.1	6.2	7.9	5.4	6	6.7	6.7	5.5	8.2	9.9	8.2	8.3
7.7	7.1	6.1	2.1	4.2	1.6	1.5	2.2	1	1.6	4.8	4.8
5.4	5.4	4.8	4.2	4.8	4.8	5.2	4.7	5.9	7.4	7.9	9
8.4	8.4	9	10.7	10.1	10.3	10.1	9.6	9.8	9	9	9
9.8	9.2	9.2	9.2	9.6	9.6	10.8	9.6	11.1	11.7	11.7	11.8
11.7	11.1	11.8	11.1	11.1	10.2	8.5	7.5	7	5.3	4.8	4.3
5.9	6.5	9	5.9	5.3	2.2	3.7	5.9	9.1	7	10.2	8.5
5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.3	4.2	3.7	2.7	2.7	2.8	3.3
5.4	4.9	4.9	5.4	5.9	7.1	7.4	8.7	8.7	8.7	8.1	11.9
11.4	10.9	9.8	8.7	7.1	6.1	4.9	4.9	4.9	4.9	7.7	6.1
6.1	6.1	6.1	6.1	6.6	6.6	6.1	6.1	7.1	6.7	6.2	5.4
7.6	7.8	7.6	7.6	7.7	7.4	8.6	8.1	7.8	7.8	10.6	9.6
8.5	9.6	11.1	13.3	12.2	10.6	10	10.5	12	11	11.5	10.5
10.5	10	10	9.5	9.2	8.7	8.9	7.9	7.8	4.9	5.4	6.2
8.1	8.4	8.1	7.9	6.8	7.3	8.1	8.1	8.1	8.7	10	10
10	10.5	9.8	9.5	7.9	7.1	4.9	4.3	4.3	3.4	3.2	3.3
2.7	2.7	3.3	3.8	3.8	3.8	3.8	3.2	4.9	6.5	8.1	10.5
10.5	10	10	10.5	9.8	8.7	9.2	8.1	8.1	7.6	7.9	7.9
6.3	6.3	4.7	3.7	2.1	1.6	1.6	4.7	4.2	4.7	4.2	5.2
5.3	4.7	4.3	4.8	4.3	3.2	2.2	2.2	1.6	2.2	2.7	2.7
3.2	3.2	3.2	4.2	4.7	4.2	4.2	4.2	6.3	7.6	7.6	7.6
6.5	5.3	5.3	4.4	7.3	3.9	4.9	7.2	8.1	7.6	8.1	10.4
10.9	9.8	10.1	8.9	6.6	9.8	8.3	8.3	8.9	10.1	7.2	7.6
6.8	7.1	6.6	6.8	6.6	6	6	4.3	2.7	2.3	1	3.7

11.1	13.8	13.8	14.3	13.3	13.3	12.8	12.8	13.9	13.3	13.3	12.8
13.4	12.3	11.7	11.1	11.1	10.2	9.7	9.1	8.5	8.5	9.7	8.5
7.5	8	7	5.9	7	6.9	7.4	7.4	6.4	7.3	6.3	5.8
6.8	7.3	8.9	8.4	7.3	6	6	4.9	4.3	5.2	5.2	5.2
6.3	5.2	5.8	6.3	7.3	7.4	6.9	7.4	6.9	6.9	7.9	7.4
6.9	7.9	7.9	7.9	7.4	6.9	5.8	5.2	5.2	4.2	4.7	5.8
5.9	6.4	5.9	6.9	5.9	4.7	4.7	5.9	5.3	4.8	4.2	5.3
6.3	6.3	5.8	6.3	6.3	5.4	3.8	3.3	2.7	4.3	2.2	3.3
2.7	2.7	1.6	4.4	3.8	3.8	4.4	4.9	5.5	6.7	7.1	7.2
8.2	7.6	6.5	6.4	5.6	5	5.6	5	5.6	6.1	5.6	6.6
6.9	6.9	6.5	6.4	6	6	4.9	5.4	6.6	7.1	8.7	6.6
7.6	6.5	8.7	4.9	5.4	6	4.3	3.7	3.8	3.8	2.1	1
2.2	2.2	2.1	2.1	3.1	3.6	4.7	5	4.5	3.6	4.1	5
7.1	7.4	6.5	6	4.4	4.9	4.2	4.2	3.2	2.7	1.5	1
1.6	1.6	1.5	1.6	3.7	6.8	7.3	9.2	9.2	9.8	10.4	9.8
12.5	11.9	11.5	11.9	9.8	9.8	8.7	9.2	7.9	6.6	5.4	4.3
4.2	3.9	2.2	3.3	3.8	3.8	3.2	3.2	4.1	5.2	3.6	5.2
7.8	7.8	6.9	7.4	8.8	8.5	9.6	10.5	9.7	4.2	2.2	7.1
4.5	5.6	5.4	8.1	7.7	7.8	6.6	6.2	5.4	5.8	5.8	4.2
3.7	2.7	2.7	2.7	2.7	3.7	3.8	4.2	4.2	3.8	2.7	1.6
1	1	1	1	1.5	1.5	2.1	3.7	5.3	6.6	6.9	7.1
7.6	7.6	7.6	7.8	7.8	7.3	7.4	7.8	8.3	10.5	8.8	6.1
6.1	6.1	4.1	3.6	3.6	3.6	3.8	3.7	3.3	5	6	5.4
4.9	4.3	3.7	2.2	2.7	2.2	1	1.5	2.2	3.3	3.9	2.7
3.3	3.3	2.2	1.6	1.5	1	2.2	3.7	3.2	3.2	2.7	3.7
3.7	2.6	4.1	4.1	4.8	6.4	5.3	4.2	3.7	4.8	5.3	6.4
5.9	6.4	6.4	6.9	7.4	7.9	7.9	7.8	7.6	8.1	8.7	9.9
6.6	5.4	4.4	2.7	2.7	3.3	3.2	2.7	2.2	2.2	2.6	3.1
2.2	1	2.1	2.1	2.6	3.2	3.2	2.7	2.6	3.7	3.7	4.5
4.7	4.7	5.3	5.3	4.7	5.3	4.8	3.7	2.2	1.5	4.2	4.2
4.3	2.1	4.8	6.9	8	5.9	5.8	6.3	7.8	8.4	9.5	10
8.9	8.9	10	9.5	9.5	8.4	7.8	6.3	7.3	5.2	4.7	3.4
4.4	3.3	3.4	3.3	2.8	4.9	5.4	5.4	6.6	8.3	8.7	9.8
10.4	10	10	9.2	9.2	4.3	3.3	2.2	1	1.5	1	1.6
5.4	6.8	3.8	2.7	4.3	6	6.8	7.3	8.4	7.9	8.7	8.4
8.9	8.9	8.4	8.4	7.9	7.6	6	4.9	4.9	4.9	4.9	3.9
3.4	2.7	2.8	2.2	1.6	1.6	1.5	2.2	2.7	2.2	3.2	3.2
3.7	4.8	5.3	5.4	6	4.2	5.9	5.9	5.9	7.4	8	7.4
6.9	4.7	6.4	5.9	7.4	5.3	4.8	5.3	4.5	4.2	4.3	3.2
3.7	2.8	2.7	2.6	1	2.1	4.3	7.1	9.8	9.2	8.3	8.3
9.4	10.6	10.6	10.1	8.3	8.9	8.3	10.6	9.4	9.4	7.9	8.3
8.7	8.3	8.9	9.2	10.4	11.1	9.9	6.6	8.7	8.3	7.1	7.6
8.4	8.1	8.1	8.1	9.5	9.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5	10
10.5	11.4	11.5	10.5	10	10	9.6	7.8	6.8	5.8	5.2	4.7
3.7	3.2	2.1	1.6	1.5	1.5	3.2	3.2	3.2	3.7	4.3	4.2
5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	4.8	4.3	3.8	2.2	1.6	1
2.2	2.1	1.5	1.5	2.2	2.2	3.7	4.7	5.3	4.2	4.2	4.1
4.2	4.2	4.5	4.5	4.2	4.7	4.2	3.7	5.3	6.4	6.3	6.4
6.4	5.9	5.9	5.2	5.8	5.8	5.8	6.6	6.6	7.3	7.1	8.1
6.9	5	4.7	5.3	5.4	4.2	2.1	2.1	1.5	1.1	1	2.2

2.2	1	1.6	1.5	1	1.5	2.1	2.1	3.7	4.2	4.4	5.8
5.2	5.2	3.7	3.7	2.7	2.2	1	1.5	1	1	1.6	2.7
3.4	2.8	3.9	5.4	4.4	3.9	4.9	5.5	5	5.5	7.1	8.1
7.9	10	9.5	9.5	7.9	6.8	5	3.9	2.8	2.7	5.4	5.4
5	5.4	6	4.4	4.4	6.6	7.1	7.2	7.8	7.8	8.1	8.2
7.7	8.7	9.9	8.7	9.2	8.7	9.3	8.3	8.9	8.1	7.6	7.8
7.3	7.3	6.8	6.8	4.7	3.8	6.6	8.7	8.2	8.7	9.3	9.2
8.7	9.8	10	10.6	3.8	6.5	5.4	4.7	4.7	4.5	4.1	4.2
4.5	4.1	4.5	4.7	4.7	5.9	7.6	7.6	8.1	7.1	8.1	8.6
9.2	6	4.9	3.8	3.3	5	4.3	2.8	4.4	5	4.9	4.4
5.4	4.9	3.7	3.7	4.7	4.5	6.6	7.6	8.6	11	11.7	16.4
20.1	17.4	15.7	15.6	13.6	10.9	9.2	8.9	8.9	7.7	7.7	6.6
6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.6	7.7	7.7	7.7	8.7	8.2	8.1
7.1	9.9	11	5.4	4.2	5.4	5.4	6	5.4	6	4.9	6
6.5	6	5.4	4.9	4.9	5.4	6.1	7.2	6.6	7.1	5.8	4.7
4.7	3.7	2.7	2.1	4.3	3.3	2.2	1	1	1	1	1.5
1.5	1.5	2.6	2.6	2.1	2.6	3.7	3.2	3.2	5	5	7.6
7.6	8.7	9.8	11.7	9.8	7.6	5.4	2.8	2.2	2.6	2.1	3.1
2.1	2.6	3.6	2.6	1.5	2.1	4.2	4.7	5.9	6.9	8.5	7.4
6.9	5.9	4.8	4.8	4.8	4.2	4.2	3.7	4.1	4.9	4.2	4.9
4.3	3.3	3.8	4.4	4.3	3.9	3.9	3.8	5.9	2.2	1.5	3.1
3.7	3.1	2.7	3.2	4.2	4.2	2.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	2.1	1.5	2.2	2.2	5	6.2	7.1	6.7	8.7	10.6
11.1	10.5	7.8	6.3	6.8	4.2	2.1	1.6	2.7	3.2	3.1	3.2
4.1	3.7	3.8	3.8	4.9	4.9	5.4	6.1	7.7	7.2	7.2	7.1
5.8	6	6.7	4.7	1.6	2.2	4.4	3.8	3.7	3.7	3.6	3.7
3.3	2.7	2.7	2.2	3.2	3.3	4.4	4.9	5	5.3	6.1	7.5
3.7	4.8	4.7	3.7	3.7	4.7	5.3	4.7	4.7	7	7.6	7
7.6	7	7.6	7.6	7.6	7.4	7	9.2	8.1	4.2	5.9	7.9
7.9	7.4	6.9	7	6.5	5.9	4.7	5.9	5.3	4.7	4.9	3.8
3.7	3.2	2.3	2.3	0.5	2.7	3.8	5.4	5.4	6	6.1	5.2
3.4	3.8	5.8	6.1	4.9	5.5	4.2	3.4	2.8	2.2	2.2	2.7
2.7	3.3	2.2	2.7	1.6	2.2	3.3	4.2	3.7	3.7	4.2	4.2
4.3	4.2	4.3	4.7	5.9	6	6	4.8	3.7	4.2	4.8	4.2
4.3	4.8	4.8	5.4	5.4	6.5	8.1	8.1	7.9	8.5	8.5	8.5
9.6	11.7	10.1	9	9.6	10.1	10.2	10.2	10.7	10.7	10.1	10.1
10.7	10.7	10.7	10.7	10.2	9.1	10.2	10.7	10.2	10.7	11.8	11.8
11.2	11.8	11.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	10.7	11.8
11.8	12.3	12.3	12.8	12.3	12.3	12.3	12.3	12.8	11.8	11.8	11.2
11.8	11.8	11.2	10.7	10.7	10.7	9.7	10.1	9.1	8.5	8.5	7.9
8.5	9	7.9	6.9	6.4	7.9	6.8	6.9	7.4	8.4	8.4	9
9	9.6	9.6	7.8	6.8	5.2	4.9	4.4	3.3	2.2	2.2	4.7
3.2	4.7	4.7	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7	5.9	5.4	5.4	6.1
4.9	3.7	2.8	3.3	2.7	3.2	2.8	3.3	2.7	2.2	2.7	2.2
2.2	2.7	2.7	1.5	1.5	1.5	2.7	2.2	2.8	2.7	3.2	4.2
4.7	5.2	5.8	6.3	6.4	6.4	5.9	4.2	4.2	4.2	3.7	3.7
2.7	1.6	1.6	1	1.6	1.6	1.6	2.2	2.6	3.2	2.7	2.2
2.7	2.7	2.7	2.2	1.5	1.5	1.5	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
2.1	3.1	3.2	2.6	3.1	3.1	5	4.3	4.7	5	5.6	6.1
5.8	7.3	6.8	6.6	6.3	5.2	5.8	4.7	4.2	3.7	3.7	4.2

4.7	7.4	7.9	5.3	6.4	6.3	5.6	5.3	7.1	8.7	9.3	9.9
8.7	8.7	7.7	7.8	4.2	4.7	3.7	3.2	3.8	4.3	2.2	2.2
3.4	5	3.9	4.4	5	3.3	4.4	6.6	7.1	8.1	7.1	7.3
10	6	9.2	9.5	9.8	10.4	10.4	9.2	7.6	8.7	8.1	8.1
7.1	6.6	6.6	5.4	4.9	6	6.3	5.2	4.2	5.2	5.8	5.8
5.3	5.3	4.2	4.3	2.7	1.6	2.7	2.2	2.1	2.7	3.2	3.2
1.5	2.1	2.6	3.6	4.1	4.1	4.3	4.9	9.2	10.5	9.5	8.9
9.5	7.8	7.3	5.9	4.7	3.2	3.2	2.2	2.2	3.2	2.2	1.6
1.5	1.5	1.5	2.6	2.1	1	1.6	3.3	3.7	5.3	5.3	5.9
6.4	7.4	7.9	7.9	7.9	8	6.9	8.5	8.5	6.9	7.4	8
6.4	3.2	4.8	5.2	4.8	7.4	8.5	8.5	8	7.9	9.6	9
8.5	8.5	9.5	8	8.5	8	8	4.8	5.3	5.9	5.9	6.4
7.3	6.3	5.9	6.4	6.3	8.3	7.8	8.3	7.8	8.3	8.8	8.3
8.1	8.3	7.6	6.1	6.1	5	4.7	4.2	5.8	5.2	5	6.1
6.1	4.5	4.5	3.6	3.6	3.7	3.6	4.7	5.3	7.1	5.4	7.9
7.1	3.2	6.6	6.7	5.4	6.2	5	4.9	5	4.4	3.8	4.4
4.3	4.3	4.3	6.3	6.8	6.8	8.9	9.5	9.5	7.8	9.5	8.9
8.1	8.1	9.5	10	8.9	8.7	8.7	6.6	6.6	6.8	6.3	5.2
3.7	4.2	3.7	3.7	4.7	4.2	4.7	5.9	5.8	5.2	5.2	5.3
5.3	5.3	5.8	5.2	4.7	4.2	3.8	2.2	2.8	1.6	2.8	3.8
3.8	3.9	4.4	4.4	4.4	5.4	5.5	5.2	5.8	6.6	7.1	8.1
9.5	10	10.9	9.8	9.2	7.6	6.6	7.1	7.1	7.6	5.4	4.9
3.9	2.8	2.2	2.7	1.6	2.2	8.1	7.9	7.6	6.8	8.4	9.5
8.7	8.1	6.3	6.8	5.2	3.7	3.2	1.5	2.7	2.1	1	1
1	1.5	1	1	1	3.2	4.2	5.3	5.9	5.3	5.9	5.9
6.4	5.2	5.2	4.7	4.7	4.7	4.7	3.4	3.3	3.3	4.3	4.9
6.1	7.2	6.7	7.2	8.9	9.8	10.9	10.4	10	9.6	8.4	7.9
6.4	5.3	5.8	6.8	5.8	4.7	3.2	2.7	2.2	2.7	3.3	4.9
7.9	5.3	8.4	8.4	8.4	8.5	9	7.9	7.9	7.9	9	7.9
7.9	8.4	9	9	8.5	6.9	7.4	6.4	6.4	5.9	5.9	6.4
6.5	5.9	4.8	5.9	7	5.9	5.9	6.5	8	8.5	8	7.4
7.4	6.4	6.9	6.5	6.9	7	5.3	5.9	4.8	3.8	2.7	1
0.5	1	1	0.5	1	1.5	5.9	5.9	5.3	6.5	7.5	7
7	8	9.1	8.5	7.9	7.4	7.9	7.4	6.9	6.9	5.4	3.7
4.2	3.8	5.4	6.5	7	6	6.5	7	7.4	7.9	8	8
7.4	7.4	8	9	9	8.5	8	8.5	7.4	5.9	5.3	5.9
5.3	4.3	3.7	4.2	5.3	6.9	5.9	6.9	7.4	8.4	8.6	8.5
9.6	10.1	10.6	10.6	10.1	9	9.2	7.4	7.4	6.4	5.9	5.9
4.2	5.2	4.2	4.2	3.7	3.2	3.2	3.3	4.3	4.2	5.9	6.9
6.9	6.9	8	7.9	8.5	8	3.7	4.2	5.9	4.7	4.7	5.2
6.4	6.4	4.8	4.2	4.2	4.8	3.7	4.8	4.8	5.3	5.9	6.4
6.4	5.9	6.4	6.9	7.4	7.4	5.9	6.4	5.9	5.3	3.7	3.7
2.7	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	3.2	3.7	3.1	3.2	3.7	5.2
5.3	4.7	5.3	4.7	4.7	3.7	2.7	2.6	2.2	3.2	2.7	3.2
3.7	2.7	2.7	2.2	2.1	2.6	2.7	3.8	2.7	3.2	4.2	5.3
5.3	5.3	5.3	3.7	2.7	2.2	2.6	2.2	3.7	2.1	2.2	2.6
2.1	1.5	1.5	1.6	3.2	3.7	4.2	3.2	3.7	3.7	4.2	5.3
4.2	3.7	4.7	4.8	4.8	4.3	4.2	5.3	5.9	5.9	5.9	4.8
5.3	5.9	5.9	5.3	5.4	6	5.9	5.9	5.3	4.7	4.8	6.4
8.1	7.4	7.4	6.9	7.6	7	6.5	5.4	4.2	4.2	3.3	2.2

2.2	1.5	1.5	2.7	2.2	1.5	1	0.5	3.2	2.6	5.3	4.2
5.3	5.3	5.3	4.7	3.7	3.2	2.7	3.7	4.2	4.7	4.7	4.2
4.7	3.7	5.3	5.3	5.3	5.9	6.4	6.3	7.3	7.9	7.4	6.9
6.9	7.4	8	9.1	9.6	9.7	9.1	8.5	7.5	6.5	4.2	2.6
3.7	5.2	7.3	8.4	8.9	9.5	8.4	7.9	7.9	6.9	6.8	6.8
7.3	8.4	7.8	7.8	7.3	6.8	6.8	6.8	7.1	6.6	6.3	5.8
5.2	4.7	4.9	5.4	5.4	6.2	7.1	9.5	10	10.5	10	9.5
8.9	8.4	8.9	9.5	10.9	10.4	8.7	8.7	8.1	8.1	9.2	7.9
7.9	7.3	5.8	4.7	5.2	4.7	4.7	5.8	5.2	4.2	4.2	4.2
5.3	4.2	3.7	3.7	4.2	4.7	6.9	6.4	5.9	5.9	5.3	4.8
4.7	4.2	3.2	4.3	6	6.4	6.4	6.5	6.5	7	6.5	5.3
4.7	4.7	4.2	5.8	4.2	4.2	3.3	2.7	1.6	1.6	2.7	3.3
3.8	4.3	4.3	3.3	4.4	4.4	5.4	6.2	6.7	8.1	9.2	9.2
9.8	10	7.6	5.4	5.2	5.2	4.2	3.2	2.2	1	1	0.5
0.5	1	1	1	1.6	2.1	3.3	4.2	4.7	4.7	4.7	5.2
5.2	4.2	3.7	3.7	3.7	2.7	2.1	1.5	2.1	2.2	1.6	1.5
1.5	1	2.1	1	1.1	1.5	1.5	2.7	3.3	2.7	3.2	4.2
4.2	4.7	5.3	5.3	4.7	5.3	5.4	4.3	2.7	1	2.7	2.7
3.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.7	2.2	2.2	2.7	2.7	2.2	3.3
3.3	2.8	3.8	3.3	4.4	4.9	4.9	4.4	4.9	5.4	6.7	6.7
6.7	5	4.4	4.4	4.9	5	5	3.3	3.4	4.4	3.8	4.4
4.9	6	6.1	6.6	7.1	7.1	8.2	8.1	6.5	6.5	7.1	7.7
6.6	7.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.6	5.5	6.2	6.7	6.7
5.4	6.2	6.6	7.1	6.6	6.6	7.7	7.1	7.7	7.7	8.3	11
10.1	10.6	10.6	10.4	10.6	11.7	12.2	11.7	12.2	11.1	10.6	6.7
7.2	5.5	4.4	3.3	3.4	3.4	2.8	3.4	4.3	4.4	4.9	6
6.2	5.4	3.8	3.8	5.4	5.5	6.1	6.6	8.2	8.2	6.5	7.6
7.1	7.6	9.8	8.7	10.4	10.4	10.4	12.2	14.2	15.7	16.3	16.7
16.8	16.8	16.3	16.3	16.8	16.8	15.7	15.7	14.2	14.7	15.2	17.4
14.7	14.7	15.6	16.7	16.7	13.1	14.3	17.2	18.5	19	17.8	17.8
17.8	17.3	16.2	14.2	13.7	12	12	8.4	8.4	6.8	4.4	6.2
5.4	7.1	6.6	7.1	6.5	8.1	9.3	9.8	14.2	15.2	14.2	13.2
13	14.7	13	13	14.2	14.7	15.7	16.8	18.5	17.4	19	18
15.7	16.3	16.8	16.3	16.1	15.6	15.6	16.1	15.6	15	15.6	15
16.1	15.6	15	13.7	12.2	12.2	10.6	8.5	7.3	8.9	8.4	10
11	11	11	10.5	11	10.5	11	11.5	11.5	12.5	12.5	13
11.4	11.4	11.4	11.4	10.4	12.5	12.2	12.5	11.7	12.2	12.8	13.6
11.9	11	10	9	7.9	8.4	7.9	8.4	9.6	9.6	8.4	8.4
8.4	7.8	6.3	6.3	6.3	6.3	7.1	7.1	7.2	8.3	10.1	10.6
10.6	10.6	10.4	11.1	11.7	12.8	13	12.8	14	13.6	13	13
12.5	11.5	10	9.5	7.3	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.4	7.8
8.4	7.3	6.8	6.8	6.8	7.3	8.4	7.1	7.6	8.7	10.4	10.9
11.5	10.9	10.9	11.4	11.4	11.4	12.5	11.9	11	10.9	10.9	10.4
10.9	10.4	10.4	10	9.5	9.5	9.2	7.1	6.7	6.7	6.7	7.2
7.2	7.2	6.7	4.9	6.6	6.6	7.1	7.2	8.3	8.7	8.3	7.8
9.2	7.7	7.8	8.3	9.3	9.3	9.9	10.4	9.9	9.3	9.3	8.3
8.9	9.4	9.9	8.7	9.3	9.9	10.1	10.6	10.6	10.6	11.5	12
13.1	13.1	12	11.5	10.4	13.1	13.1	13.1	14	13.3	12.2	10.5
11	11	11.5	12	11	11.6	12.2	11.1	12.7	12.7	12.2	11
11.5	11.5	11.5	11.5	11	11.5	11.5	11.4	13	11.5	13.7	14.3

14	10.6	13.8	14.8	15.9	14.3	13.8	12.7	12.2	12.2	12.2	12.2
13.8	13.3	12.7	12.7	13.3	12.7	12.2	10.6	11.1	10.1	10.1	9.6
10.1	10.6	11.1	11.6	11.6	11.6	12.7	12.2	12.5	13.3	13.3	13.8
12.7	13.3	12.7	12.2	11.6	11.1	10.6	10.1	10.6	10.6	10.5	10
10.1	10	10	10	10	10	10	11.5	10.5	10.5	11.5	12
10.5	11.5	11.5	11.5	11	12	11.5	10.5	11	12	12	12.5
11	11	11	10.5	10.5	13.6	15.2	15.2	14.2	14.7	13.6	13.6
14.7	16.3	16.8	18.4	17.5	16.4	14.8	14.3	14.3	14.7	15.2	15.2
15.2	14.7	15.2	14.8	15.2	15.2	17.8	17.3	18	17	16.4	15.9
15.9	14.8	14.8	13.3	13.8	13.3	13.3	13.4	12.3	12.3	15.9	16
15	15.5	16	15.4	15.9	13.9	13.8	10.7	11.7	11.7	12.3	11.8
11.2	10.7	10.7	9.6	7.9	7.5	8.5	7.9	7.4	7.9	8.9	10
7.3	10.5	10.5	11	10.5	11	11.5	11.5	11	11	11	11
10.5	11	11.5	13.1	11.5	11.5	12	12	12.5	12	11.5	11.5
11	10.5	11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5	7.8	8.9	7.8
7.8	7.3	7.3	6.3	6.3	6.3	6.8	6.8	6.8	6.3	5.2	4.7
4.2	6.3	4.7	4.2	4.7	5.2	4.2	4.3	4.3	3.9	3.2	4.3
4.4	4.4	3.7	4.3	3.4	2.7	2.7	2.7	2.7	3.3	4.9	4.7
4.3	4.3	4.2	3.6	3.6	4.1	4.1	4.2	4.7	3.7	3.7	3.2
3.7	3.7	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7	3.8	4.9	5.4	6.5	5.3
6	7.1	8.2	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	9.9	8.7
7.8	7.2	6.7	6.2	6.1	5.2	3.9	5	4.4	5.5	5.5	5
5.5	8.1	8.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	10.4	9.8	9.8	9.8
9.8	9.2	8.7	8.7	8.1	8.1	7.1	7.1	7.6	8.1	7.3	7.3
7.3	7.6	6.6	8.1	9.8	9.8	9.2	10.4	11.1	13	13.3	14.7
15	14.7	15.2	16.3	16.8	16.3	16.8	17.4	16.8	15.2	15.2	15.7
15.2	15.2	13.7	14.2	13.7	11.5	11.5	12	12	12	10.5	11
10	10.5	11	10	10	11	10	10.5	10.9	11.9	13.6	14.2
14.2	15.7	15.7	14.7	13	15.2	16.3	16.3	15.7	15.7	15.7	16.3
16.3	15.2	14.2	14.2	12	13.7	12.5	12	11	11.5	12	12
12	12	12.5	11.5	10.5	10.9	10.4	10	9.5	7.9	8.7	7.1
7.6	8.7	9.2	10.4	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	11.4	11.9	12.5
15.9	12.5	16.2	16.8	16.2	16.2	13.2	14.7	16.4	17	17.5	16.4
17	16.4	15.3	14.3	13.3	11.6	8.9	9.5	8.4	7.3	8.1	8.7
10.4	11	10.3	10.9	11.1	12.4	10.4	10.1	14.7	16.3	16.3	16.8
17.4	18.5	19	19	16.3	14.2	16.3	16.3	17.3	18.9	18.9	19.9
19.9	21.5	21	23.5	21.5	18.9	18.3	17.3	17.8	18.5	17.5	17
16.4	22.3	17.5	18	18.5	18	18	17	15.4	13.8	13.3	12.7
11.6	10.6	7.9	5.8	6	6	6.6	6.2	6.6	8.3	9.5	11
10.5	10.5	10.1	10.1	8.9	9.5	10.6	10.6	10.1	8.4	10.7	11.8
10.7	10.2	10.6	10.6	10.1	10.6	9.6	10.1	9	7.9	8	6.9
6.9	6.4	4.7	4.2	4.7	4.8	4.3	2.1	3.7	4.2	3.7	3.7
4.7	5.8	6.8	7.1	4.4	4.9	7.1	7.1	8.2	9.9	10.4	12.6
13.1	12.6	13.1	12.6	13.7	13.1	11.4	11.1	11.1	12.5	13.1	13.1
12	12.5	12.5	11.5	11.5	11.5	11	11.5	11	12	12	8.9
8.4	5.8	3.7	2.3	2.8	4.7	1.5	2.2	1.6	3.2	2.7	4.8
6.9	5.4	6.5	6.5	6.9	6.5	4.7	4.8	5.4	4.8	5.4	4.8
5.4	5.4	5.4	4.3	6	5.4	5.4	6.5	8	8	8.5	8.5
8.5	8.5	9	8.5	6.9	6.9	6.5	6.5	6.5	8	9.6	9.6
8.5	8.5	9	8.5	8	8	9	9	10.1	8.5	10.1	10.1

10.1	9.6	10.1	10.1	9	8	7.6	7.6	6.5	5.4	4.8	5.3
6.4	5.9	5.3	4.2	4.8	5.3	4.8	3.7	4.3	4.8	5.3	4.8
4.4	5	6.2	7.6	7.1	8.7	8.1	8.9	10.9	10	9.2	9.8
10.4	10.4	9.8	9.8	8.7	7.6	6.6	6	5.4	6	4.9	6
5.4	5.4	5.4	4.7	4.3	4.2	5.2	4.7	4.3	3.9	5.4	5.2
5.2	5.2	5.2	5.2	4.7	3.2	2.7	1.5	4.2	2.7	2.7	2.2
1.5	1.5	1	1.6	2.7	2.7	2.7	3.2	4.2	4.2	3.7	3.6
3.6	3.2	2.7	3.7	3.7	5.3	5.3	4.2	4.2	3.2	4.2	5.3
4.2	3.7	3.7	3.7	3.7	4.2	5.9	4.7	6.4	5.8	6.4	6.9
6.4	5.9	6.9	6.9	6.4	5.2	5.2	5.2	5.2	6.4	6.4	5.9
4.2	3.2	2.2	2.1	2.6	3.6	3.8	6.6	9.2	8.4	8.9	7.3
6.3	5.8	5.9	5.3	4.7	3.2	2.2	2.2	1.6	2.7	2.1	2.2
3.7	5.3	3.2	3.7	3.1	3.2	5.2	4.1	3.1	3.1	2.6	3.7
4.2	3.2	3.7	3.2	2.2	2.2	1.5	1.5	0.5	1	1	0.5
1.5	2.1	1.5	1	1	1	1	1	1.5	2.2	2.6	2.6
4.7	3.7	4.7	4.7	4.9	3.8	3.3	1.6	1	1.6	2.7	1.5
1.1	1	1	1.5	1.5	2.7	2.2	2.2	2.7	3.8	3.8	3.7
4.8	6.5	6.4	6.4	6.4	6.5	5.4	3.8	3.3	3.2	3.2	3.8
4.3	5.3	4.8	4.8	5.9	5.2	5.2	5.9	6.4	7	7.6	8.5
6.9	8.6	8.6	9.2	8	7.4	6	5.4	6	5.9	4.8	4.3
4.3	4.8	4.3	5.4	5.4	3.8	4.8	6.4	6.4	6.4	5.9	6
6.9	6.4	6.9	7.4	6.4	6.4	6.9	6.9	6.9	6.4	6.9	6.9
6.4	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	8	7.9	7.4	7.4	8	7.4
7.4	6.4	7.9	7.9	7.4	6.9	5.9	5.9	4.3	3.8	3.8	3.8
3.3	2.2	1.1	0.5	1	1	0.5	1.5	2.7	2.7	3.7	4.3
4.8	4.7	5.9	6.5	6	6	4.8	4.2	3.7	5.4	5.4	5.4
4.8	2.2	2.7	3.2	3.2	2.2	2.2	2.7	3.7	6.9	8.5	8
8.5	8	9	9	8	6.9	6.9	6.9	6	5.3	4.2	3.8
4.2	5.3	4.8	4.8	3.8	3.8	4.2	4.8	5.9	5.9	6.5	5.9
4.8	5.9	6.9	6.9	5.9	5.3	5.3	4.2	4.8	3.8	3.3	2.7
2.2	2.2	1.6	2.2	1.6	2.7	2.7	4.2	4.2	5.3	4.7	4.8
5.3	4.2	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7	5.3	4.8	4.8	2.2	2.2
2.2	2.7	2.2	2.2	2.2	2.7	2.7	3.2	3.2	3.2	3.7	3.6
4.1	4.7	3.7	3.7	3.7	2.7	2.7	2.7	1.5	1.5	1.5	2.2
2.2	1.6	2.1	1.5	3.6	3.1	3.9	4.4	3.3	3.3	3.3	3.2
4.9	4.3	3.4	6.2	6.2	4.3	3.3	2.8	3.3	2.7	2.8	2.2
3.8	4.4	3.8	3.8	5.4	5.4	4.9	5.4	6.6	8.2	9.3	10.3
11	10.3	10.9	11	10.9	10.3	9.2	10.3	11.4	12.2	11	12
12.6	12.6	14	14.3	14.3	15	14.8	15.3	15	14.5	11.1	11.9
12.5	12.5	14.2	13.7	13.2	13.2	12	12	14.2	12.5	12.5	12
12	11.5	10.5	10	9.5	8.9	9.5	9.5	10.5	9.8	10.1	9.3
8.7	10.6	11.1	10.4	11.5	10.4	10.4	11.1	12.5	13	13	12.5
12.5	13.2	13.2	13.7	14.2	13.2	14.7	15.7	15.2	14.7	13.7	13.1
13.1	11.5	10	9.5	7.8	5.8	5.2	4.7	3.3	2.8	1.6	1.6
1.1	3.2	6.4	6.3	6.8	7.3	7.4	7.4	11	10.1	9.6	10.1
9.6	9.6	9.6	9	8.4	9.5	10.2	9	10.2	10.6	10.1	9
9.6	9.6	7.9	9	8.4	8.4	7.9	9	8.4	7.9	7.9	8.4
8.4	8.9	8.4	7.9	7.9	7.9	6.4	5.3	4.2	2.2	1.5	2.2
2.7	4.1	4.1	3.7	4.4	4.9	4.9	5.4	6.6	7.1	7.1	8.1
8.1	7.4	7.9	6.9	6.4	6.4	6.4	6	7.1	7.1	4.9	3.8

5.5	5.4	7.2	8.1	8.1	7.6	7.6	8.7	10.4	10.9	10.9	10.4
10	9.8	9.2	9.8	9.4	8.3	6.7	5.4	4.9	3.8	3.2	3.2
3.6	5	4.5	4.9	4.9	5.4	6.1	8.7	10.1	10.6	8.2	8.7
11	11.9	7.1	9.4	10.1	9.3	8.2	8.7	8.7	8.9	8.3	8.7
7.1	7.1	8.2	8.7	8.7	9.3	9.3	8.1	7.7	6.1	6.6	5.8
9.8	9.8	8.7	7.1	5	10.6	12	13.1	12.7	11.6	13.1	14.8
13.3	13.8	14.3	16.2	12	10.1	10.6	11.1	11.1	10.1	10.6	10
9	9.6	11.1	10.6	10.1	11.6	12.2	11.1	11.6	10.6	10.5	9.5
9.6	9.6	8.4	6.8	8.9	8.9	8.4	8.4	8.4	9.5	8.9	7.9
8.1	8.1	7.6	7.2	7.2	6.7	6.6	6.5	5.9	6.9	7.1	8.3
8.3	8.4	9.2	9.8	8.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.8	7.8	8.1
7.7	7.7	7.2	8.2	7.1	8.2	8.2	9.3	9.3	9.3	8.7	9.2
9.3	9.9	8.7	8.7	8.7	8.1	7.7	4.3	6.1	7.2	9.8	11.1
12.5	12.5	13.3	13	11.9	10.6	9.4	5.5	10.4	8.9	9.3	9.9
10.4	10.1	11	11.1	10.6	10.6	12.2	12	12.2	12.6	11.7	12.2
13.3	12.6	9.4	8.3	7.2	8.9	8.3	8.9	8.7	7.1	7.1	6.6
4.4	6.3	6.3	4.4	5.4	6.2	6.1	5.4	6.1	6.1	8.9	10.5
10.5	10	8.4	7.9	7.3	5.8	3.9	4.7	7.8	7.3	5	4.3
4.9	4.9	4.9	7.1	7.7	9.3	9.9	9.2	10.3	9.8	8.7	9.9
9.9	10.4	9.9	10.4	10.4	11.5	11.1	9.8	10.1	7.8	6.2	7.8
6.7	5.4	4.9	4.9	5.4	6.1	6.1	7.8	8.3	8.3	9.8	10.4
10.9	12.2	11.9	12.2	9.8	9.4	8.9	7.8	4.9	4.9	6.2	8.7
8.9	7.8	7.8	6.3	5.8	7.3	6.8	7.1	8.4	8.9	8.4	8.9
8.9	8.7	8.7	7.8	5.5	3.9	2.8	2.8	2.2	2.7	3.3	3.3
3.8	3.2	3.8	4.3	3.7	4.2	3.6	3.2	3.6	4.5	5	5.6
6.6	7.1	7.6	7.6	7.4	7.1	6.5	5.4	8.3	9.8	9.6	11.1
13.4	11.1	10.6	11.1	9	9	9	8.4	7.9	7.4	5.8	6.4
5.3	4.7	4.7	3.7	3.2	2.1	1	1	0.5	1	1.5	2.1
2.6	2.6	3.1	2.1	3.6	3.6	3.6	4.2	4.1	5.6	5.6	6.1
7.1	7.6	7.6	6.1	4.5	4.7	4.1	4.1	3.1	4.1	4.5	4.2
3.7	2.6	4.2	4.3	3.7	4.3	3.8	6.2	9.2	10.9	9.2	10.5
5.5	6.3	6.8	5.8	5.3	5.2	5.9	6.4	8.1	8.6	7.6	5.3
3.2	3.7	2.2	2.2	1	2.2	0.5	1.5	2.7	2.6	2.1	2.2
3.2	3.2	2.7	2.7	2.7	2.6	2.2	1.6	1.6	1.6	1.6	2.2
2.2	2.7	2.7	2.7	2.7	1.5	2.2	2.7	3.4	4.4	4.4	4.4
4.4	4.4	4.3	2.7	3.3	2.2	1.6	1.6	2.7	3.3	2.7	1
2.2	2.2	1.5	1.6	2.1	1.5	1.1	1	2.2	2.1	2.7	3.7
2.6	2.7	2.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	2.2	2.2	2.7
3.2	3.2	4.7	5.3	5.3	5.3	4.8	4.2	4.7	5.3	6.4	6.9
6.9	6.9	6.4	6.4	5.9	4.2	4.8	4.8	4.7	5.3	4.7	4.7
4.7	4.5	2.6	2.1	2.7	2.1	2.1	2.6	2.2	1.5	1	2.7
4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	3.2	3.2	3.2	3.7	4.7	3.2	2.2
2.2	2.7	3.2	3.2	3.2	3.7	4.7	5.9	6.4	8	7.9	7.9
7.4	7.4	6.9	6.9	6.4	4.7	5.9	6.4	6.9	6.4	6.4	6.4
6.4	6.4	6.9	6.4	6.9	6.9	6.4	6.3	7.3	7.3	7.8	7.6
7.1	6.1	6.6	7.1	5.9	5.3	3.7	2.7	3.3	2.7	2.7	2.7
4.4	3.8	4.4	5.4	5	6.6	8.1	7.6	6.8	6.8	7.9	7.3
7.3	7.3	7.1	6.6	4.9	4.3	3.3	3.4	6.6	5.4	5.5	5.5
5.4	5.5	5	4.3	5.4	7.2	9.2	9.2	10.4	10.1	10.1	11.4
11.4	10.9	10.9	9.2	9.8	9.2	8.4	6.6	6	4.3	2.2	2.7

2.7	3.8	3.7	4.3	4.3	5.4	5.4	6.1	7.7	8.1	8.2	7.7
8.7	8.7	8.7	8.2	7.7	6.6	7.6	9.8	10.4	9.2	10.4	12.8
9.8	11.4	10.4	10.4	10.4	11	11.5	11.5	11.5	12.5	13.2	13
12.5	12	12.5	11.4	10.9	10.9	10.4	10.9	10.9	11	11	12
11.5	12	11.5	10.5	10.6	10.1	9	9	8.4	7.8	8.9	9.5
7.8	7.8	7.8	6.8	6.8	6.8	4.3	6	6.6	6	5.4	6.2
4.4	7.6	7.6	8.1	8.7	8.4	10.4	10.9	11.4	10.9	10.6	10.9
11.9	11.4	11.9	10.4	9.8	10.4	9.6	8.5	7.4	6.9	9	6.9
9.6	8.9	9.5	10	10.5	10	10	10.5	10	10	11	11
11	11.5	11.5	11.9	12	12	12.5	14.7	15.7	15.7	15.7	15.2
14.3	13.3	13.3	10.2	9.6	7.9	7	5.3	4.2	4.2	4.7	4.7
4.9	6.2	6.6	5.4	5.4	6.5	5.4	6.8	8.4	8.1	8.7	9.8
9.2	10.4	10.4	10.4	10.4	9.2	11.9	10.6	10.6	10.6	10.6	11.1
11.1	11.1	11.5	9.8	8.7	10.4	10.4	10.4	8.9	11	10.5	10.5
10.5	11.5	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	12.5	12	11.5	12.5
12.5	13.7	12.7	12.2	12	12.5	12	13.1	13.7	12.7	11.6	11.6
10.6	10	8.9	7.8	8.9	9.5	8.9	8.9	9.8	9.8	8.3	9.4
8.9	8.3	8.9	10.1	10.1	9.4	10.1	9.4	9.4	8.9	8.2	7.7
8.2	7.7	7.7	7.7	8.1	7.1	6.5	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
7.6	6.9	8.1	6.4	5.9	6	7.1	9.4	12.2	12.2	11.4	11.9
9.2	8.3	8.3	8.3	7.8	7.7	8.2	8.7	10.6	10.4	10.1	11.4
10.1	11.1	9.3	7.7	6.1	4.9	4.3	3.2	3.2	4.2	3.7	4.1
4.1	4.5	4.2	4.3	6.1	8.9	8.2	9.4	9.3	11.1	13.1	13.7
12	13.1	14.8	13	14.1	15.2	15.3	15.9	16.2	15.2	15.7	10.4
11.4	9.4	10.1	11	11.5	12	12.6	13.7	12.6	13.3	14	15
15.6	13.3	12.5	13.3	12.2	12.2	11.1	10.6	11.9	13.6	13	13
13.2	13.2	15.2	15.7	15.7	13.1	14.2	14.2	13.1	13.7	13.1	12.5
13.7	13.1	12.5	12.5	12	11	10.5	10	10.5	10	8.9	7.3
6.6	6.1	6.1	7.1	8.2	6.6	6.6	6.6	6.6	7.8	9.8	10.9
11.9	13	13	14.2	14.2	13.6	13	13	13	13.6	13.6	14
14.7	13.6	13	13	13	10.6	10.5	10	10.5	11	11	11.5
10.5	10.6	10	10.5	11.1	8.4	6.9	7.8	8.4	9	8.4	8.4
6.9	6.9	6.9	6.4	5.9	5.2	6.4	5.8	7.3	8.4	7.8	9
8.4	6.9	6.4	7.4	6.9	7.5	5.9	5.3	5.3	3.2	1.6	1.5
1	2.7	3.1	3.7	2.2	2.2	1.6	2.2	1.5	3.3	4.2	4.8
4.2	4.3	3.7	4.2	4.2	2.7	1.5	1	1	0.5	0.5	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.7	2.2	1.5
1.5	1	1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1	1	1.5	1.5
2.1	2.6	1.5	2.1	2.6	3.1	2.2	2.2	2.2	2.7	4.2	3.8
3.3	3.8	3.3	3.3	2.7	2.8	2.2	2.7	2.7	2.2	1.5	1.5
2.2	1.6	2.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	4.3	5.4	6.9	5.9
6.4	6.9	6.4	5.9	5.3	4.2	3.2	1.5	1	1	0.5	1
1	1	1	1	1	1	1	1.1	2.2	3.8	4.9	5
5.5	6	6.2	6	6.2	6.6	7.2	7.1	9.2	9.5	9.5	8.4
8.4	6.8	6.3	6.3	6.3	5.2	5.8	5.8	5.8	5.8	6.3	6.8
6.3	6.6	6.6	6	5	3.4	3.9	3.9	3.9	3.4	3.9	4.4
3.9	4.4	4.4	3.8	4.9	3.8	3.4	3.3	3.3	3.3	5	5
5.5	6.2	8.1	8.1	7.6	7.1	8.1	8.9	8.4	8.4	7.8	7.3
7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.9	7.4	6.9	7.9	7.9	8	6.9
5.3	6.6	5.9	5.3	5.9	9.2	4.8	4.2	6.9	4.8	5.4	4.7

3.8	5.9	3.7	2.2	2.2	3.2	3.8	3.7	3.3	4.8	5.9	7
6.4	7	6.5	4.8	3.3	2.7	3.3	1.6	1.6	1.5	1	1
1	1	1.5	1.6	1	1.5	2.2	3.8	4.4	5.4	6.6	9.2
9.8	9.8	9.2	9.8	10.4	9.2	9.8	10.5	10.5	11	10	10.5
10.5	11	11.1	11.1	11.1	10.1	10.6	9.6	9	8.5	7.9	7.9
7.4	6.4	4.7	4.2	5.9	5.3	5.9	5.9	5.3	3.7	3.8	3.4
3.3	3.3	4.7	5.8	6.6	5.5	5.5	6.7	7.2	8.4	7.6	8.1
9.8	10.9	8.7	9.2	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	6.8	7.3	6.8
5.8	4.2	2.6	2.2	1.5	1	1	0.5	1	2.7	3.2	3.2
3.2	4.5	4.1	3.6	3.2	4.7	5.2	5	4.5	5	4.7	3.7
4.5	4.7	5	6.1	6.1	5	4.1	4.1	4.9	3.9	3.2	3.7
4.4	4.4	3.8	3.8	2.7	2.7	2.7	2.2	3.3	3.3	2.7	2.2
2.2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.2	1.5	2.2	2.1	2.1	2.3
3.3	4.7	4.7	2.8	1.6	1.5	1.5	1	1	1	1.5	0.5
0.5	1.5	2.1	2.2	1.5	1.5	1.5	2.1	2.6	1	1.5	2.2
1.5	1.5	1.5	2.1	2.1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1
1	1	1	2.7	2.8	1.6	2.2	2.7	3.8	3.8	3.8	4.2
4.3	4.3	3.3	3.3	3.2	2.7	3.7	4.7	4.5	3.1	4.1	4.5
4.1	3.6	3.7	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	5.2	4.2	6.1	4.5
4.5	4.1	3.6	4.2	3.1	3.6	4.1	3.1	2.6	2.1	2.6	2.7
2.6	2.6	4.1	3.1	2.6	4.1	3.1	3.1	3.2	2.6	4.3	4.3
5.3	3.6	4.1	4.5	3.2	1.5	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7
2.7	2.7	2.7	1.6	2.1	2.7	1.6	1	1.5	3.1	2.7	1.5
1.5	3.2	3.2	2.7	2.7	2.2	3.2	3.7	2.7	3.7	3.7	4.2
3.2	4.2	3.7	2.7	2.2	2.2	2.7	2.7	2.2	2.7	3.7	3.7
3.7	3.2	2.7	3.2	3.2	3.7	3.2	2.7	3.2	3.2	2.2	3.7
5.2	5.2	4.8	5.3	5.9	6.9	6.4	6.9	7.4	7.4	7.4	7.9
7.4	7.9	7.4	8.5	5.9	5.3	4.8	5.9	6.4	7.4	7.4	6.9
6.9	7.9	7.4	6.9	6.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.8	7.3	6.8
5.8	6.4	5.8	4.2	2.7	3.2	3.7	3.2	2.7	2.2	3.2	2.7
2.7	2.7	4.7	3.7	4.2	4.2	4.2	4.8	4.7	4.2	4.8	5.9
6.4	7.4	7.4	5.9	6.9	6.9	7.4	8.5	8	8.5	9	9
8.5	8	6.9	6.9	8	6.9	6.4	5.9	6.9	6.9	6.9	6.9
6.4	6.4	5.3	3.2	3.7	3.2	3.2	2.7	1.5	1	1	1.5
2.2	2.8	3.4	3.9	5.2	7.8	9.6	10.6	10.1	10.6	8.5	7.4
6.4	7.5	7.5	5.3	6.5	6.5	8	6.5	6.4	5.3	2.7	3.7
5.9	6.4	7	5.9	6.9	6.9	6.4	5.9	7.4	6	7.6	4.2
5.9	4.8	4.3	3.7	4.3	3.2	6	5.3	5.9	6.4	2.7	4.2
3.7	2.7	2.7	3.2	2.2	3.3	3.3	3.2	2.7	4.7	4.8	6.4
5.9	6.9	6.9	4.8	3.7	2.7	2.7	2.7	3.2	2.7	3.2	1.6
2.7	2.7	1.5	1.1	0.5	1	1	1.5	1	1.6	1.6	3.4
3.3	5.8	3.6	3.7	3.2	1.5	2.7	1.6	3.7	4.2	1.5	2.1
1.6	1.6	1.5	1.5	1	2.1	1.5	1.5	2.2	2.7	2.2	3.3
2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	4.2	6.3	6.8	7.9	10	11.5
11.5	8.9	8.9	9.5	9.5	10	8.9	7.8	8.4	7.8	7.8	7.8
8.4	8.5	6.9	5.9	6.9	5.9	5.3	4.3	4.8	4.8	1.5	6.3
8	5.3	10.7	6.5	8.5	8.5	8.5	9	9	9.6	9.7	9
9.1	9.7	9.7	8.5	9.2	6.5	6.9	6.9	6.9	4.2	2.6	2.2
2.8	2.7	3.8	2.7	4.2	4.2	3.8	1	1	1	1.1	2.7
3.7	4.2	4.2	2.8	2.2	2.7	3.7	2.1	2.8	3.7	4.7	5.3

Özge	6.9	6.4	6.8	6.4	5.9	5.8	5.2	4.2	4.2	4.7	5.8	5.8
	5.2	5.2	4.3	3.3	1.6	2.7	1.6	1.6	2.2	2.7	2.7	2.2
Dogan	1.5	2.2	2.6	3.2	2.6	3.1	4.2	4.5	4.7	5.6	4.5	5
	5.6	4.2	5.4	4.2	5.9	6	4.9	7.1	7.7	7.1	6.6	6.1
Değer	6.6	7.2	7.2	6.2	8.1	8.7	8.9	8.7	9.3	8.7	9.4	11.4
	11.9	12.5	12.5	11.1	11.7	11.1	13	15	13.3	14	17.9	17.4
Live	17.4	16.3	16.8	15.7	15.7	17.4	17.4	15.2	14.2	13.7	13.6	12
	12	11.9	11.9	10.6	10.1	10.1	8.9	6	3.7	4.1	7.1	7.4
Liz	9.2	11.4	17.6	22.3	22.3	22.3	25.6	24.7	22	18.9	15.3	16.4
	14.8	13.3	12.2	11.7	11.7	12.2	10.6	10.1	10.2	9.7	8.5	8.5
	7.5	7.5	7	7	5.3	3.7	3.2	1.5	1.6	1.6	4.2	9
Yüksel	9.6	11.1	12.2	10.6	10.6	10.6	10.6	9.6	10.6	9.6	9	9
	8.4	8.4	7.9	7.9	6.9	6.3	7.4	5.9	5.2	6.4	8	7
	9.1	10.2	10.7	9.1	7.9	7.4	7.4	7	7	7.5	7.5	5.9
	8	8.5	9.7	6.5	5.3	8.5	7.4	8	9	8.5	9.1	8.5
Çalışkan	9.1	7.9	5.9	4.3	3.7	4.2	5.3	4.8	3.7	3.2	4.2	5.3
	4.7	4.2	3.1	3.2	2.2	3.7	4.2	3.7	3.7	4.2	4.5	5
	4.1	3.6	3.6	3.6	4.1	4.2	4.1	2.6	3.1	2.2	3.1	4.1
	4.2	2.6	4.1	2.7	3.6	3.6	3.6	3.7	2.6	2.7	4.1	3.6
	4.5	4.5	3.6	4.1	4.5	4.1	3.6	3.6	3.7	2.1	3.6	4.1
	4.1	4.5	4.1	4.1	3.1	3.6	3.1	3.2	2.2	3.2	3.7	3.3
	2.7	2.7	3.2	2.7	1	2.8	2.7	2.7	2.7	3.3	2.7	2.7
	2.8	3.8	3.3	2.2	3.3	2.8	3.3	3.3	3.3	3.8	3.8	4.4
	3.8	3.8	3.8	4.4	5.4	5.4	5	4.4	3.8	4.4	4.4	4.4
	4.9	5	5.5	4.4	4.9	5.5	5	5.5	6.2	6.7	6.2	6.7
	8.1	8.9	7.6	7.2	5.4	4.4	3.9	3.8	4.2	3.7	3.2	3.7
	4.8	6.4	6.5	5.3	5.9	4.8	5.3	8.5	5.9	5.9	6.5	8.5
	7.5	9.1	8.5	8	8.1	6.9	7.9	6.5	5.4	3.7	8.5	8.5
	4.8	6.4	6.9	6.5	7	6	4.3	4.7	5.3	9.7	8.5	8.5
	7.5	7.5	7	7	5.3	3.7	3.2	1.5	1.6	1.6	4.2	9
	9.6	11.1	12.2	10.6	10.6	10.6	10.6	9.6	10.6	9.6	9	9
	8.4	8.4	7.9	7.9	6.9	6.3	7.4	9	8.4	8.4	7.9	7.9];

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 16.04.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-2000 Kocaeli Anadolu Lisesi

Lisans 2000-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Tesisler Programı

Çalıştığı kurum

2005-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

