

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ  
İŞARET İŞLEME VE ANALİZ DÜZENEGİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Rifat ÖCAL**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**HAZİRAN 2012**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE  
İŞARET İŞLEME VE ANALİZ DÜZENEGİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Rifat ÖCAL  
(301091058)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU**

**HAZİRAN 2012**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301091058 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Rifat ÖCAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE İŞARET İŞLEME VE ANALİZ DÜZENEGİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Lale Tükenmez ERGENE** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **04 Mayıs 2012**  
**Savunma Tarihi :** **07 Haziran 2012**



*Anneme,*





## ÖNSÖZ

Dünyada konvansiyonel yakıtların yarattığı çevresel ve ekonomik sorunlar nedeniyle güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisinin birbirinden bağımsız ve kimi zaman birbirini tamamlayıcı şekilde ters karakter gösteren iki farklı enerji kaynağı olması açısından hibrit sistemlerde de tercih edilmektedirler. Ancak iki farklı, birbirinden bağımsız ve değişken karakterli enerji kaynağı ile çalışan hibrit sistemlerin, tek başına çalışan enerji sistemlerine göre daha karmaşık sistemler olması nedeniyle kurulum yapılan bölgede hem meteorolojik şartların hem de sistem bileşenlerinin detaylı ve uzun süreli analizi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında kurulan sistem ve sistem dahilinde yapılan yazılım ile, İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin bütün verilerini gerçek zamanda, çevrim içi olarak tek bir bilgisayar üzerinde toplayan, toplanan bütün verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edip istenen değerlendirmeleri yaparak gerçek zamanda enstitü içerisindeki bir ekranda yayınlayan bir sistem kurulmuştur.

Bu çalışmam sırasında sabır, bilgi ve birikimini esirgmeden bana her zaman yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU'ya minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında bana olan anlayışlarından ötürü Özyeğin Üniversitesi'ndeki direktörüm Nergis AKBAY ile mesai arkadaşlarıma, destek ve yardımlarını asla esirgemeyen arkadaşlarım başta Esin YILMAZBAYHAN ile Cem KESKİN olmak üzere Buğra Emre BEŞEL, Bora ERBİL, Cenk GÜNGÖR, Döndü ŞAHİN, Onur ŞENTÜRK ve Petek ŞİRİN'e, dayılarım Tamer SALOR ve Tayfur SALOR ile ailelerine teşekkür ederim.

Her zaman bana inanan, destek veren ve yanımda olan anneme, kardeşime ve her zaman kalbimde olan babama teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Mehmet Rifat ÖCAL  
(Fizikçi)



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	vii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR</b> .....	xi
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xv
<b>SUMMARY</b> .....	xxi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. RÜZGAR ENERJİSİ</b> .....	5
2.1 Rüzgar Enerjisinin Kullanımının Tarihsel Gelişimi.....	5
2.2 Rüzgar Türbini Türleri .....	11
2.2.1 Düşey eksenli türbinler .....	11
2.2.2 Yatay eksenli türbinler .....	12
2.3 Rüzgar Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu .....	17
<b>3. GÜNEŞ ENERJİSİ</b> .....	21
3.1 Güneş Enerjisinin Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımının Tarihsel Gelişimi..	21
3.2 Fotovoltaik Güneş Pilleri .....	24
3.2.1 Fotovoltaik hücre .....	24
3.2.1.1 Mono-kristal silikon.....	28
3.2.1.2 Poli-kristal silikon .....	28
3.2.1.3 İnce-film.....	28
3.2.2 Hücre (cell), modül (panel) ve dizi (array) .....	29
3.3 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu .....	29
<b>4. İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ ENERJİ ÜRETİM VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ</b> 31	
4.1 İTÜ Enerji Enstitüsü Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemleri .....	32
4.1.1 İTÜ RT-1 rüzgar türbini.....	32
4.1.1.1 İTÜ RT-1 verilerinin toplanması .....	34
4.1.1.2 İTÜ RT-1 verileri toplanırken karşılaşılan sorunlar ve çözümleri.....	36
4.1.2 İTÜ RT-2 rüzgar türbini.....	37
4.2 İTÜ Enerji Enstitüsü Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri .....	38
4.2.1 İTÜ FV-1 mono-kristal silikon güneş pilleri .....	38
4.2.2 İTÜ FV-2 ve FV-3 ince-film güneş pilleri.....	39
4.2.3 İTÜ FV-4 poli-kristal silikon güneş pilleri .....	40
4.2.4 Güneş enerjisi üretim sistemleri verilerinin toplanması .....	41
4.3 İTÜ Enerji Enstitüsü Meteoroloji İstasyonu .....	42
4.3.1 Entegre sensör cihazı .....	43
4.3.2 Konsol ve kablosuz bağlantı .....	44
4.3.3 Ara yüz programı ve veri toplama sistemi .....	45
<b>5. İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VERİLERİNİN TOPLANMASI</b> .....	47
5.1 LabVIEW .....	47

5.2 LabVIEW Veri Toplama Bölümü .....	48
5.2.1 Meteoroloji istasyonu verilerinin LabVIEW ile toplanması .....	51
5.2.2 Rüzgar enerjisi üretim sistemleri verilerinin LabVIEW ile toplanması.....	53
5.2.3 Güneş enerjisi üretim sistemleri verilerinin LabVIEW ile toplanması .....	56
5.3 LABVIEW Önyüzü .....	58
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>59</b>
6.1 Yapılan Ölçüm ve Değerlendirmeler.....	59
6.1.1 Bölgenin rüzgar profili ve rüzgar enerjisi üretim profili.....	59
6.1.2 Bölgenin güneş ışınım profili ve güneş enerjisi üretim profili.....	62
6.2 Sonuç ve Öneriler .....	65
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AC</b>	: Alternative Current (alternatif akım)
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>BASIC</b>	: Beginner's All-Purpose Symbolic Instruction Code
<b>CVI</b>	: C for Virtual Instrumentation
<b>DC</b>	: Direct Current (doğru akım)
<b>EİEİ</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>GPIB</b>	: General Purpose Interface Bus
<b>IBM</b>	: International Business Machines Corporation
<b>LabVIEW</b>	: Laboratory VI Engineering Workbench
<b>LCD</b>	: Liquid Crystal Display
<b>REW</b>	: Renewable Energy World
<b>RMS</b>	: Root Mean Square
<b>UV</b>	: Ultra Violet
<b>WWEA</b>	: World Wind Energy Association



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 4.1 :</b> İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemleri .....	32
<b>Çizelge 5.1 :</b> İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemlerinden toplanan veriler.....	50





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : 2011 yılı boyunca İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu tarafından dakikalık olarak kaydedilen rüzgar hızı değerleri. ....	2
Şekil 1.2 : 2011 yılı boyunca İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu tarafından dakikalık olarak kaydedilen ışınmım değerleri .....	2
Şekil 2.1 : Hollanda yel değirmeni (galeri tipi). ....	6
Şekil 2.2 : “Eklis” dizayn Amerikan rüzgar türbini (Deutches Museum) .....	7
Şekil 2.3 : La Cour’un 1891 yılında Askov, Danimarka’da elektrik üreten ilk rüzgar türbini. ....	8
Şekil 2.4 : Düşey eksenli rüzgar türbinleri. ....	11
Şekil 2.5 : Kanat sayısına göre uç hızı oranı. ....	13
Şekil 2.6 : Tek kanatlı rüzgar türbini (NASA Mod-0) Ohio, ABD .....	14
Şekil 2.7 : İki kanatlı rüzgar türbini (NASA/DOE Mod-5B) Hawaii ABD. ....	14
Şekil 2.8 : Üç kanatlı rüzgar türbini (Goldwind S48/750) Almanya.....	15
Şekil 2.9 : Kanat sayısının rotor güç katsayısı ve optimum uç hız oranı üzerindeki etkisi .....	16
Şekil 2.10 : a-b: Rüzgar üstü türbin c: Rüzgar altı türbin .....	16
Şekil 2.11 : Dünya’daki senelere göre rüzgar enerjisi toplam kurulu güç dağılımı ..	18
Şekil 3.1 : İletken – yarıiletken – yalıtkan maddelerin enerji bantları.....	25
Şekil 3.2 : a: Düz ön gerilimleme yapılan diyot; b: Ters ön gerilimleme yapılan diyot .....	26
Şekil 3.3 : Diyot gerilim/akım grafiği .....	26
Şekil 3.4 : Temel güneş pili çeviriminin şeması.....	27
Şekil 3.5 : Foton enerjisinin elektron-deşik çift’e dönüşümü.....	27
Şekil 3.6 : Hücre – modül – dizi. ....	29
Şekil 4.1 : İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonu uydudan görünüm .....	31
Şekil 4.2 : İTÜ Enerji Enstitüsü enerji üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonu .	32
Şekil 4.3 : İTÜ RT-1 rüzgar türbini ve sökülmüş durumdaki İTÜ RT-2 parçaları. ..	33
Şekil 4.4 : İTÜ RT-1’in üretici tarafından verilen enerji ve performans grafikleri. ..	34
Şekil 4.5 : Xbee alıcı modül. ....	35
Şekil 4.6 : Skyview 2.0 arayüzü. ....	35
Şekil 4.7 : Açık havaya uygun alıcı modül (Xbee).....	36
Şekil 4.8 : Alıcı modül (Xbee) ve koruyucu çatı. ....	37
Şekil 4.9 : İTÜ RT-2.....	38
Şekil 4.10 : İTÜ Enerji Enstitüsü güneş enerjisi üretim sistemleri. ....	38
Şekil 4.11 : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-1 mono-kristal silikon güneş pilleri. ....	39
Şekil 4.12 : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-2 ince-film güneş pilleri. ....	39
Şekil 4.13 : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-3 ince-film güneş pilleri.....	40
Şekil 4.14 : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-4 poli-kristal silikon güneş pilleri.....	40

Şekil 4.15 : Akım taşıyan iletken içerisindeki elektronların manyetik alan içerisindeki hareketleri .....	41
Şekil 4.16 : Akım sensörleri. ....	42
Şekil 4.17 : İnce-Film invertörleri. ....	42
Şekil 4.18 : USB-2416 DAQ modülü .....	42
Şekil 4.19 : İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu. ....	43
Şekil 4.20 : Entegre sensör cihazı .....	44
Şekil 4.21 : Vantage Pro-2 konsolu. ....	44
Şekil 4.22 : Weatherlink yazılımı arayüzü .....	45
Şekil 5.1 : Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI blok diyagramı görünümü. ....	51
Şekil 5.2 : Weatherlink yazılımı günlük kayıt text dosyası. ....	52
Şekil 5.3 : Meteoroloji İstasyonu Verileri subVI blok diyagramı görünümü. ....	53
Şekil 5.4 : Skyview yazılımı günlük veri kayıt dosyası. ....	54
Şekil 5.5 : İTÜ RT-1 Verileri subVI blok diyagramı görünümü. ....	55
Şekil 5.6 : İTÜ RT-2 yazılımı günlük veri kayıt dosyası. ....	55
Şekil 5.7 : İTÜ RT-2 Verileri subVI blok diyagramı görünümü. ....	56
Şekil 5.8 : DAQ Veri Kayıt subVI blok diyagramı görünümü. ....	57
Şekil 5.9 : DAQ Verileri subVI blok diyagramı görünümü. ....	57
Şekil 5.10 : Veri Toplama ve Değerlendirme VI ön panel görünümü. ....	58
Şekil 6.1 : Zaman (saat) – Rüzgar hızı (m/sn). ....	59
Şekil 6.2 : Zaman (saat) – Sıcaklık (C°). ....	60
Şekil 6.3 : Zaman (saat) – Basınç (hPa). ....	60
Şekil 6.4 : Zaman (saat) – Nem (%). ....	61
Şekil 6.5 : Zaman (saat) – Rotor devir hızı (devir/dakika). ....	61
Şekil 6.6 : Zaman (saat) – güç (W). ....	62
Şekil 6.7 : Zaman (saat) – Sıcaklık (C°). ....	63
Şekil 6.8 : Zaman (saat) – Nem (%). ....	63
Şekil 6.9 : Zaman (saat) – Basınç (bar). ....	64
Şekil 6.10 : Zaman (saat) – Solar radyasyon (W/m <sup>2</sup> ). ....	64
Şekil 6.11 : Zaman (saat) - FV-1, FV-2, FV-3 Güç (W). ....	65

## SEMBOLLER

$\sigma$	: Özdirenç
$\Omega$	: Ohm
$\lambda$	: Kanat ucunun çizgisel hızı / rüzgar hızı



# İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ İŞARET İŞLEME VE ANALİZ DÜZENEGİ

## ÖZET

Güneş ve rüzgar enerji kaynakları temiz ve pratik olarak sonsuz olmalarının yanı sıra yakıtlarının ücretsiz olması nedeniyle konvansiyonel enerji kaynaklarına göre pek çok avantaja sahiptirler. Ancak bütün iyi özelliklerine karşın gerek rüzgar gerekse güneş enerjisi; değişken karakter göstermeleri ve düşük enerji yoğunlukları nedeniyle yoğun enerji kaynakları (fosil yakıtlar, fisil elementler v.b.) ile karşılaştırıldığında enerji üretim sürekliliği açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, gerekli sabit enerji talebini karşılayabilmek için her iki bağımsız sistemde de enerji depolama sistemleri gerekmektedir. Bu iki enerji kaynağının birlikte kullanıldığı hibrit sistemler tek başına kullanılmaları durumuna göre daha fazla süreklilik arz ederler ve sistemin kurulu gücünde anlamlı bir artış sağlanır. Bunun yanında birbirinden bağımsız ve kimi zaman birbirini tamamlayıcı şekilde ters karakter gösteren iki farklı enerji kaynağı kullanılması açısından, enerji depolanması gereksinimini azaltabilirler.

İki farklı enerji kaynağı ile çalışan hibrit sistemler, tek başına çalışan enerji sistemlerine göre daha karmaşık sistemlerdir ve bunları analiz etmesi çok daha zordur. Solar radyasyon ve rüzgar hızı bölgeden bölgeye değiştiği gibi zamana göre değişiklik gösterir. Bu sebeple kurulacak olan hibrit sistemlerin büyüklüğüne karar verilirken kurulum yapılacak olan bölgeye ve kullanılan sistem bileşenlerine ait değişkenlerin detaylı analizi yapılmalıdır.

Bu tez çalışmasında kullanılan 1,8 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-1 (Skystream 2.7) rüzgar türbini ve 30 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-2 (Permosan Per-WT 30000) ile 1,5 kW kurulu güce sahip Mono-Kristal Silikon İTÜ FV-1 (Energy Solutions), 1,8 kW ile 300 W kurulu güce sahip iki grup İnce-Film İTÜ FV-2 ve 3 (Kaneka G-EA060 ve G-EA105) ve 480 W kurulu güce sahip Poli-Kristal Silikon İTÜ FV-4 (Waaree WS-80) fotovoltaik modüllerden oluşan enerji üretim sistemlerinin ve meteoroloji istasyonun (Davis Vantage Pro2) kurulumları değişik zamanlarda yapılmıştır ve bu sistemlerin bir kısmının farklı formattaki verileri, ayrı bilgisayarlarda, kendi yazılımları kullanılarak toplanmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında kurulan sistem ve sistem dahilindeki LabVIEW ortamında yapılan yazılım ile bütün verileri gerçek zamanda, çevrim içi olarak tek bir bilgisayar üzerinde toplayan, toplanan bütün verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edip istenen değerlendirmeleri yaparak gerçek zamanda enstitü içerisindeki bir ekranda yayınlayan bir sistem kurulmuştur.

Böylelikle İTÜ Enerji Enstitüsü bünyesinde bulunan bütün yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin meteorolojik şartlar da dikkate alınarak ayrı ayrı ve bir arada performans değerlendirmeleri, aylık, yıllık enerji üretimleri, enerji üretim sistemlerinin yaşlanmaya bağlı degradasyon seviyeleri, sistemin kurulduğu günden beri üretilen toplam enerji miktarı ile bu enerjinin ton kömür eşdeğeri ve atmosfere atılmasına mani oldukları CO<sub>2</sub> miktarları gibi büyüklükler sürekli olarak ölçülebilmekte ve Enstitü içerisindeki ekranda yayınlanabilmektedir.

## **SIGNAL PROCESSING AND ANALYSIS SETUP OF ITU ENERGY INSTITUTE RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

### **SUMMARY**

Since solar and wind energy sources are not only clean and practically infinite but also cost effective, they have many advantages over conventional energy sources. Since the oil crisis in early 1970s, the use of solar and wind energy has increased rapidly. In particular, stand-alone photovoltaic and wind power systems are commonly used in rural areas far away from the public energy grid or in areas where installing new network lines are too expensive due to the geographical features.

Notwithstanding all these advantages, they are not persistent enough with regard to energy production compared to high density energy sources (fossil fuels, fissile materials etc.) since both solar and wind energy have hourly, daily, monthly and yearly unsteady character and low energy density. For instance, a stand-alone photovoltaic power system is not reliable on a non-sunny day. Similarly, a stand-alone wind power system cannot fulfill the constant power demand due to the fluctuations of wind speed during the day. Therefore, both independent energy sources require energy storage systems to fulfill the continuous energy demand. Hybrid systems in which solar and wind energy sources are used together are more persistent and have more installed power capacity compared to single energy source systems. Besides, the solar and wind energy used hybrid systems can reduce the energy storage demand as they use two different energy sources which display both independent and complementary characteristics.

Hybrid systems in which two different energy sources used are more complex systems compared to single energy source systems and it is more difficult to analyze them. Solar radiation and wind speed vary continuously depending on the region and time (hourly, daily, monthly and yearly). Therefore, in order to determine the hybrid system capacity, the variables of the system components and the region where the system will be installed need to be analyzed in depth.

In this thesis study, ITU Energy Institute renewable energy systems, which are ITU WT-1 (Skystream 2.7) with a rated power of 1,8 kW and ITU WT-2 (Permosan Per-WT 30000) with a rated power of 30 kW wind turbines and Mono-Crystal Silicon ITU PV-1 (Energy Solutions) with an installed capacity of 1,5 kW, two groups of Thin-Film ITU PV-2 and ITU PV-3 (Kaneka G-EA060 and G-EA105) with an installed capacity of 300 W and 1,8 kW respectively and Poli-Crystal Silicon ITU PV-4 (Waaree WS-80) with an installed capacity of 480 W photovoltaic modules and meteorology station (Davis Vantage Pro2) are used. All these systems are installed in different dates and their data are collected in different computers by their own software. In this research, however, using the system developed for this study and the software created by using LabVIEW system development environment, a new system is developed for collecting all data real-time, online in a main computer in order to analyze all the data both separately and collectively and for displaying the results on the monitor in the Institute.

ITU WT-1, ITU WT-2 and meteorology station have their own software and their data is collected in different computers by their own software in text file (.txt) format. Software of the each system creates a new text file every day at 00:00 and the files are named as the date of the day (example: 20120312.txt). Although both ITU WT-1 and ITU WT-2 software can collect data in 1 second frequency, the frequency of collecting data for all of the systems is chosen as 1 minute since the data collecting frequency of meteorology station could be maximum 1 minute.

On the other hand, the software of ITU PV-1, ITU PV-2, ITU PV-3 and ITU PV-4 are not able to collect the data of systems automatically. In this study, therefore, Hall effect current sensors (ABB EL50P1BB and EL55P2) and a DAQ card (Measurement Computing Corporation USB-2416) are used in order to collect the data of the photovoltaic energy systems. Current sensors are connected to the power lines of photovoltaic energy systems in order to measure the current produced by the photovoltaic system. The software created in this study by using LabVIEW system development environment processes the data collected by the current sensors and DAQ card. The DAQ card collects 512 data every second then calculates the mean of 30.720 data taken in a minute for ITU PV-1 as the data is taken from DC current line and RMS of 30.720 data taken in a minute for ITU PV-2 and ITU PV-3 as the data is taken from AC current line. As the power lines of the photovoltaic systems are connected to the grid, the voltage of the photovoltaic systems are measured from the grid line by a voltage divider. The necessary calculations are made in the LabVIEW system development environment.

The software developed in this study reads all these text files collected by their own software of ITU WT-1, ITU WT-2 and meteorology station and finally records them together with the data of photovoltaic systems in a common text file in 1 minute frequency. The system developed for this study collects 61 different kinds of data in total (day, month, year, hour, minute, outside temperature, highest temperature, lowest temperature, outside humidity, dew point, wind speed, wind direction, wind run, highest wind speed, highest wind direction, pressure, solar radiation, highest solar radiation, inside temperature, inside humidity, inside dew point, inside heat from meteorology station; year, month, day, hour, minute, energy, voltage, voltage DC Bus, voltage L1, current, power, line frequency, RPM, wind speed, current amplitude, T1, T2, T3, turbine status, grid status, system status from ITU WT-1; year, month, day, hour, minute, second, current, voltage, power from ITU PV-1; current, voltage, power from ITU PV-2; current, voltage, power from ITU PV-3; current, voltage, power from ITU WT-1) every minute by creating a new text file every day at 00:00 and the files are named as the date of the day. Moreover, the system records separately and collectively daily total energy production into another text file at 23:55 every night.

During this thesis study, ITU WT-2 has been temporally uninstalled due to the construction in the ITU energy Institute and ITU PV-4 is still in installation process but the software developed in this study already covers both systems and it is ready to collect data from them.



In this way, performance evaluations of all renewable energy systems in ITU Energy Institute both separately and collectively with respect to meteorological conditions, monthly and yearly energy production, degradation levels of energy production systems due to aging and the quantities such as the amount of CO<sub>2</sub> whose release into the atmosphere is hindered, total energy production since the system was installed, and finally the ton coal equivalent of the total energy produced can be continuously assessed and displayed on the monitor in ITU Energy Institute in real-time.

The analysis and evaluations in this thesis study are more realistic and accurate compared to the values given by manufacturers because the performances of system components are affected by the local meteorological conditions like air density, humidity, temperature and wind speed. According to new law regulation in Turkey dated 10.03.2012, corporations or real persons producing energy by renewable energy systems with maximum 500 kW power are exempted from having a government license and incorporate a company. In this way, these performance evaluations with respect to the local meteorological conditions could be helpful to decide the capacity of new installed systems in ITU Campus or in similar areas. Moreover, signal processing and analysis setup developed in this thesis study could be an example for existing or new installed small scaled hybrid systems and the same practice could be used for evaluating their performance.



## 1. GİRİŞ

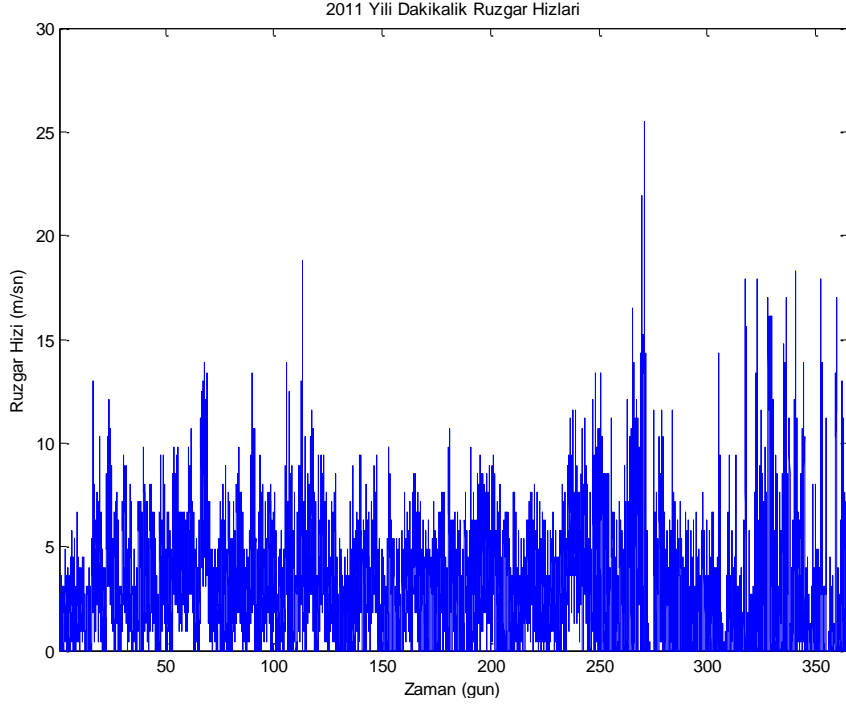
Güneş ve rüzgar enerji kaynakları temiz ve pratik olarak sonsuz olmalarının yanı sıra yakıtlarının ücretsiz olması nedeniyle konvansiyonel enerji kaynaklarına göre pek çok avantaja sahiptirler. Özellikle 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra, rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı artan bir şekilde önem kazanmıştır.

Günümüzde, şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri ve rüzgar enerjisi sistemleri dünyada gün geçtikçe daha büyük ölçeklerde kullanılmaktadır. Özellikle şebekeden uzak ya da bölge özelliklerinden ötürü şebeke hattı çekmenin ekonomik olmadığı alanlarda bağımsız güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri kullanılabilir.

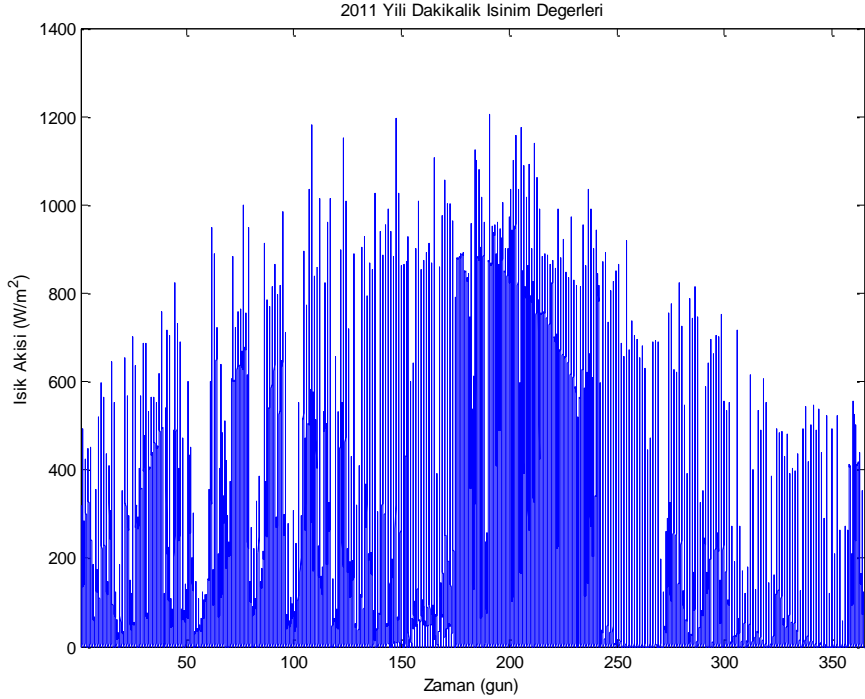
Bütün iyi özelliklerine karşın gerek rüzgar gerekse güneş enerjisi; günlük, aylık ve yıllık olarak değişken karakter göstermeleri ve düşük enerji yoğunlukları nedeniyle yoğun enerji kaynakları (fossil yakıtlar, fisil elementler v.b.) ile karşılaştırıldığında enerji üretim sürekliliği açısından yetersiz kalmaktadır. Örneğin, şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güneş enerjisi sistemi güneşli olmayan bulutlu bir günde güvenilir bir şekilde güç sağlayamaz. Benzer biçimde, şebekeden bağımsız bir rüzgar enerjisi sistemi yıl içerisindeki saatlik rüzgar hızı dalgalanmalarından dolayı sabit yük talebini karşılayamaz. Bu nedenle, gerekli sabit enerji talebini karşılayabilmek için her iki bağımsız sistemde de enerji depolama sistemleri gerekmektedir (Supriya ve Siddarthan, 2011) (Patel, 1999).

Rüzgarın enerji yoğunluğu kış aylarında, güneşinki ise yaz aylarında daha yüksek olmaktadır; diğer taraftan sadece rüzgar enerjisinin kullanımı durumunda yazın, sadece güneş enerjisinin kullanımı durumunda da kışın enerjisiz günlerin sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle bu iki enerji kaynağının birlikte kullanıldığı hibrit sistemler tek başına kullanılmaları durumuna göre daha fazla süreklilik arz ederler ayrıca sistemin kurulu gücünde anlamlı bir artış sağlanır. Bunun yanında birbirinden bağımsız ve kimi zaman birbirini tamamlayıcı şekilde ters karakter gösteren iki farklı enerji kaynağı kullanılması açısından, enerji depolanması

gereksinimini azaltabilirler. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de 2011 yılı boyunca İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına kurulmuş olan Meteoroloji İstasyonu tarafından dakikalık olarak kaydedilen rüzgar hızı ve ışıınım değerleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : 2011 yılı boyunca İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu tarafından dakikalık olarak kaydedilen rüzgar hızı değerleri.



Şekil 1.2 : 2011 yılı boyunca İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu tarafından dakikalık olarak kaydedilen ışıınım değerleri.

Ancak iki farklı enerji kaynağı ile çalışan hibrit sistemler, tek başına çalışan enerji sistemlerine göre daha karmaşık sistemlerdir ve bunları analiz etmesi daha zordur. Solar radyasyonun ve rüzgar hızının bölgeden bölgeye ve zamana göre değişiklik göstermesi sebebiyle kurulacak olan hibrit sistemlerinin büyüklüğüne karar verilirken o bölgeye ve kullanılan sistem bileşenlerine ait değişkenlerin detaylı analizi yapılmalıdır.

Bu tez çalışmasında kullanılan 1,8 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-1 (Skystream 2.7) rüzgar türbini ve 30 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-2 (Permosan Per-WT 30000) ile 1,5 kW kurulu güce sahip Mono-Kristal Silikon İTÜ FV-1 (Energy Solutions), 1,8 kW ile 300 W kurulu güce sahip iki grup İnce-Film İTÜ FV-2 ve 3 (Kaneka G-EA060 ve G-EA105) ve 480 W kurulu güce sahip Poli-Kristal Silikon İTÜ FV-4 (Waaree WS-80) fotovoltaiik modüllerden oluşan enerji üretim sistemlerinin ve meteoroloji istasyonun (Davis Vantage Pro2) kurulumları değişik zamanlarda yapılmıştır ve bu sistemlerin bir kısmının farklı formattaki verileri, ayrı bilgisayarlarda, kendi yazılımları kullanılarak toplanmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında kurulan sistem ve sistem dahilindeki LabVIEW ortamında yapılan yazılım ile bütün verileri gerçek zamanda, çevrim içi olarak tek bir bilgisayar üzerinde toplayan, toplanan bütün verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edip istenen değerlendirmeleri yaparak gerçek zamanda enstitü içerisindeki bir ekranda yayınlayan bir sistem kurulmuştur.

Böylelikle İTÜ Enerji Enstitüsü bünyesinde bulunan bütün yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin meteorolojik şartlar da dikkate alınarak ayrı ayrı ve bir arada performans değerlendirmeleri, aylık, yıllık enerji üretimleri, enerji üretim sistemlerinin yaşlanmaya bağlı degradasyon seviyeleri, atmosfere atılmasına mani oldukları CO<sub>2</sub> miktarları gibi büyüklükler sürekli olarak ölçülebilmekte ve Enstitü içerisindeki ekranda yayınlanabilmektedir.



## 2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar bedava, temiz, yenilenebilir ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin bir kısmını mekanik enerjiye çevirir. Bu mekanik enerji değirmenleri çevirmekte, su pompalamakta ve jeneratörleri çalıştırmakta kullanılabilir. Rüzgar türbinleri çalışmaları esnasında herhangi bir gaz salımı yapmazlar ve kirlilik yaratmazlar. Türbinlerin ortalama ömürleri 25 yıldır; bu değer, atmosferik nem, kararlı rüzgar yapısı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Rüzgar santralleri kurulduktan sonra az miktarda bakım gerektirmektedir ve işletme masrafları düşüktür. Konvansiyonel enerji santrallerine göre daha az yer kaplamaktadır. İhtiyaca göre çeşitli büyüklüklerde üretilen bağımsız sistemlerdir (Menteş ve Kavsaoglu, 2010).

Diğer taraftan rüzgar türbinlerinin üretim ve kurulum masrafları yüksektir. Üretimleri sırasında bir miktar gaz salımı ortaya çıkmaktadır ve kurulum esnasında çevredeki doğal hayat zarar görebilmektedir. Büyük rüzgar türbinleri ses kirliliği yaratmaktadır. Eğer yakın bölgede yerleşim varsa bu rahatsızlık verebilir, bu sebeple büyük ölçekli rüzgar santralleri yerleşim alanlarından uzakta kurulmalıdır. Ayrıca rüzgar türbinleri kuş ölümlerine sebep olabilmektedir, bu yüzden kuş göç yolları üzerinde kurulum yapılmamasına dikkat edilmelidir (Barutçu, 2010).

Rüzgar enerjisinin enerji piyasasında büyümeye açık ve önemli bir yeri vardır. WWEA (World Wind Energy Association) 2011 yılı ilk yarısı için yayınladığı raporda Dünya'daki kurulu rüzgar enerjisi potansiyelini 215 GW olarak belirtmiştir bu değer dünya elektrik ihtiyacının neredeyse % 3'ünü karşılamaktadır. 2015 yılı için 600 GW, 2020 yılı için de 1.500 GW'lık bir kapasite öngörmektedir.

### 2.1 Rüzgar Enerjisinin Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Rüzgar enerjisi, yel değirmenleri ile en az 3000 yıldır buğday öğütmekte ve su pompalamakta kullanılmaktadır. Denizcilikte ise rüzgar çok daha uzun bir süredir kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır (Burton ve diğ., 2001). Bazı yazarlar, Mısır'da İskenderiye yakınlarında 3000 yıllık olduğu sanılan taş yel değirmeni

kalıntılarının bulunduğundan bahsetmektedir. Yel değirmenlerinin varlığına değinen tarihteki ilk güvenilir belge ise M.S. 644 yılına ait Pers-Afgan sınır bölgesindeki Seistan'da bulunan yel değirmenlerinden bahseden kaynaktır (Hau, 2006).

Türkler ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı Seferleri sırasında görmüşlerdir (Hayli, 2001). İngiltere'de ilk rüzgar türbini 1191'de kayıtlara geçmiş, bunun yanında Hollanda'daki ilk mısır öğüten rüzgar değirmeni 1439'da yapılmıştır (Johnson, 2001).

Avrupa'da ilk yapılan değirmenler direklerin üzerinde yapılmakta, bu nedenle değirmen ancak bütün olarak rüzgara yüzünü dönebilmekteydi (Manwell ve diğ., 2002). 16. Yüzyılda Hollanda'da rüzgar türbinlerinde bir çok gelişmeler olmuş ve sonucunda Hollanda Yel Değirmeni (Dutch Windmill) tipi olarak bilinen, sabit çark yuvası (millhouse) bulunması sayesinde rüzgar pervanesi (windwheel) ile beraber sadece kulenin tepesi dönen, böylelikle hem uygulama alanlarının hem de dağılımının artmasına izin veren rüzgar türbinleri yapılmıştır (Şekil 2.1) (Hau, 2006). Yel değirmenleri Hollanda'da başka hiçbir yerde olmadığı kadar önem kazanmıştır, çünkü öğütme amaçlı kullanımın yanında toprak alanlarındaki suyun boşaltılması için de kullanılmıştır. Böyle kurutularak kazanılan topraklar sayesinde Hollanda 16. ve 17. yüzyıldaki güçlü ekonomik durumuna ulaşmıştır (Hau, 2006).



**Şekil 2.1** : Hollanda yel değirmeni (galeri tipi) (Hau,2006).



18. yüzyılda Hollandalı göçmenler yel değirmenlerini yeni kıta Amerika'ya taşımışlardır. Bu tarihlerde burada birçok yel değirmeni inşa edilmiş ancak sayı Avrupa'da görülen rakamlara ulaşmamıştır. Daha sonra 1800'lerin ortalarında Batı Amerika'da otlatmaya uygun, yüzey suyu bulunmayan ancak bol miktarda yer altı suyu bulunan geniş düzlüklerde olan yerleşimler, yer altı sularını çekme ihtiyacı doğurmuş, bu da yüksek başlangıç torkuna sahip, yeterli verimlilikte çalışan Amerikan çok kanatlı (American Multibladed) rüzgar türbinlerinin gelişmesini sağlamıştır (Şekil 2.2). 1880 ile 1930 yılları arasında bu türbinlerden tahmini olarak 6,5 milyon adet üretilmiştir (Johnson, 2001).

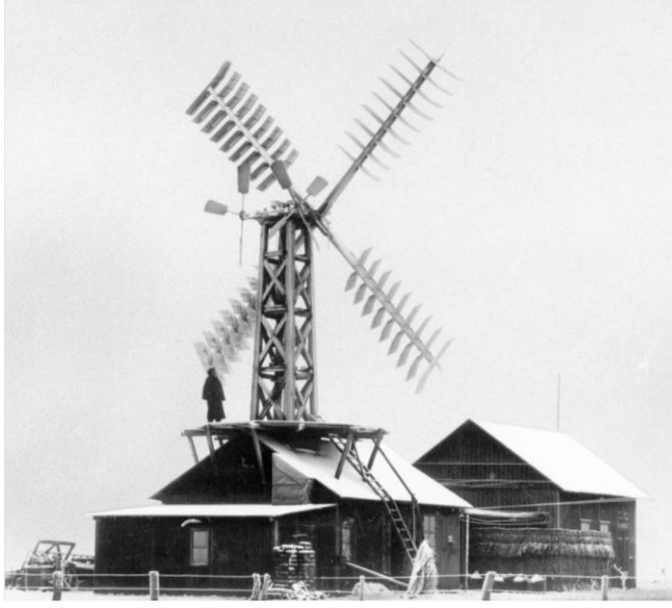


**Şekil 2.2 :** “Eklis” dizayn Amerikan rüzgar türbini (Deutches Museum) (Hau,2006).

Ancak 18. yüzyıl Sanayi devriminin en önemli gelişmelerinden birisi buharlı makinenin bulunması ile fosil yakıtlar ön plana çıkmış, istenildiği zaman istenildiği yerde enerji üretimi sağlanması ile bu dönemde rüzgar enerjisi geri planda kalmıştır. Rüzgar türbinlerine olan ilgi iki önemli teknolojinin ortaya çıkışı ve geliştirilmesi ile yeniden canlanmıştır: Birincisi, iletimi kolay elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine çok yönlü olarak dönüştürülebilmesi ve ikinci olarak da uçak yapımındaki gelişmeler kapsamında aerodinamik mühendisliğinin gelişimidir (Alyamaç, 2010).

1891 yılında rüzgar enerjisi ile elektrik üreten ilk kişi, meteoroloji eğitimi almış ve teorik formüller geliştirmek için rüzgar tüneline de ilk kez kullanan Danimarkalı Poul La Cour olmuştur (Hepbaşlı ve Özgener, 2003). La Cour, Danimarka'nın kırsal

alanlarına elektrik sağlamak için hükümetin de desteği ile bir dinamoyu çeviren deneysel bir rüzgar türbinini bu tarihte yapmıştır (Şekil 2.3). Ayrıca bu deneyde üretilen doğru akımı elektrolizde kullanıp, elde ettiği hidrojeni depolayarak enerji depolama sorununu da çözmüştür. 1903 yılında La Cour, Danimarka Rüzgar Gücü Mühendisleri Derneği'ni kurmuş ve bu dernek rüzgar elektriği ile uğraşanlara çeşitli kurslar sunmuştur (Hau, 2006).



**Şekil 2.3 :** La Cour'un 1891 yılında Askov, Danimarka'da elektrik üreten ilk rüzgar türbini (Hau,2006).

1910 yılında Danimarka'da 5 kW ila 25 kW kapasiteli, La Cour'un deneysel rüzgar türbinini model almış olan ve kırsal alana enerji sağlayan 100'e yakın rüzgar türbini bulunmaktaydı (Johnson, 2001) (Hau, 2006). Bu gelişmeler 1. Dünya Savaşı sırasındaki petrol fiyatlarındaki büyük artış nedeni ile hızlanmış ve 1918 yılına gelindiğinde Danimarka'da elektrik üreten türbin sayısı 120'ye ulaşmıştır (Hau, 2006).

1920 yılında Alman aerodinamik uzmanı Albert Betz, uçak mühendislerince yeni geliştirilen kanat tasarımları ile birlikte rüzgar türbinlerinin tasarımında kullanılacak olan rüzgar enerjisi dönüşümlerindeki fiziksel prensipleri formüle etmiştir (Hau, 2006).

1925 yılında ABD'de iki ve üç pervaneli 200 W ila 3 kW arası güç kapasitesi olan ticari rüzgar türbinleri yaygınlaşmıştır. Bu türbinler çiftliklerde radyo, ışıldak gibi küçük ev aletlerinin pillerini şarj etmekte kullanılmaktaydı. Ancak daha sonra ABD Meclisi tarafından 1936 yılında Kırsal Elektrik İdaresi kurulmuş ve çiftçilere daha

ucuz olan Şebeke elektriğinin ulaŐması sağlanmıştır. Böylece çiftliklerde rüzgar ile elektrik üretiminin sonuna gelinmiŐtir (Johnson, 2001).

Danimarka'da 1. Dünya Savaşı'nın ardından önceye göre daha ucuz olan dizel yakıt ile rüzgar gücüne olan ilgi azalmıŐ ancak 2. Dünya Savaşı'nın baŐlamasıyla birlikte yakıt fiyatları yine yükselmiŐ ve rüzgar gücüne olan ilgi tekrar uyanmıŐtır. Kapanan türbinler yeniden çalışmaya baŐlamıŐ ve birçok yeni türbin inşa edilmiştir. 2. Dünya Savaşı sırasında F. L. Smidth Şirketi, La Cour konseptinden farklı olarak 70 kW güç çıkışı olan Aeromotor adını verdikleri yeni modern dizaynları ile piyasaya giriş yapmıştır. Böylece günümüze kadar gelen Danimarka Konsepti'nin aerodinamik ve mekanik tasarımı'nın birçok tipik özelliği ortaya çıkmış oldu (Hau, 2006).

1939 yılında ABD'de elektrik üretim ücretlerini düşürmek için Smith-Putnam Rüzgar Türbinini Deneyi olarak adlandırılan enerji projesi başlatıldı. Projede 13 m/s rüzgar hızında 1.250 kW elektrik üreten rüzgar türbinini, hidro-elektrik üretim sistemli Central Vermont Public Service Corporation Şebeke ağına bağlandı. Sistemde rüzgar estiği zamanlar su saklanıyor ve daha sonra rüzgar esmediği zamanlarda kullanılıyor. 1941-1945 yılları arasında 1100 saat çalıŐtırılan türbin teknik olarak baŐarılı bulunsa da ekonomik olarak aynı görüŐ desteklenmedi ve türbin söküldü. Smith-Putnam Rüzgar Türbinini Deneyleri'nin teknik sonuçları Federal Enerji Komisyonu Mühendisi Percy H. Thomas'ı rüzgar enerjisi ile elektrik rimi konusunda 10 yıllık bir analiz çalışmasına teşvik etti ve bu çalışmaların sonucunda Thomas biri 6.500 kW'lık diğeri 7.500 kW'lık iki büyük rüzgar türbinini tasarladı. Her iki türbin rotoru birer doğru akım jeneratörünü çeviriyordu ve üretilen doğru akım DC/AC eviriciler vasıtasıyla Şebekeye bağlanıyordu. Thomas tasarladığı rüzgar türbininin toplam maliyetini kW başına 75 Dolar olarak hesapladı. Bu değer prototip üretmek için Federal Enerji Komisyonu'nun desteğini almaya uygun bir fiyat olarak görünse de Kore savaŐının baŐlaması ile proje iptal edildi. Böylece Amerikan rüzgar enerjisi araştırmaları 20 yıl sonraki petrol krizine kadar sonlanmıŐ oldu (Johnson, 2001).

Aynı dönemde, türbinlerde daha önceleri kullanılmakta olan Doğru Akım Jeneratörleri yerine, elektrik Őebekeleri için bağlantı uyumu olan Alternatif Akım Jeneratörleri de ilk olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüz modern türbinlerinin öncüsü olan tasarım, 1957 yılında La Cour'un Ğrencisi olan Mühendis Johannes Juul tarafından yapılmıştır (Alyamaç, 2010). Gedser Rüzgar Türbinini isimli, 1968

yılına kadar Danimarka şebekesine bağılı olarak çalışan tasarım 15 m/sn rüzgar hızında 200 kW elektrik üretmekteydi. Yine 1957 yılında Almanya'da Dr. Ulrich Hütter, önceki türbinlere göre daha düşük bir değer olan 8 m/sn rüzgar hızında anma hızına ulaşan 100 kW'lık bir türbin tasarlamıştır. Bu türbin 11 sene boyunca 4.000 saatten fazla çalışmış ve Dr. Hütter'in bu çalışması daha büyük çaplı rüzgar türbinlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır (Johnson, 2001).

1973 yılında petrol fiyatlarındaki ani yükseliş ve buna bağılı olarak fosil yakıtların sınırlı kaynaklar olduğunun farkına varılması bir çok ülkede enerji tasarrufunun yanı sıra alternatif enerji kaynaklarına yönelik devlet destekli araştırma ve geliştirme çalışmalarını da teşvik etmiştir (Burton ve diğ., 2001).

ABD'de NASA Ay'a insanlı yolculuğun başarılmasının ardından enerji problemini çözmek üzere görevlendirildi ve büyük endüstriyel şirketlerle bu konuda ortak çalışmalar yürüttü. 1973 yılında ABD Federal Rüzgar Enerjisi Programı kabul edildi ve 200 milyon dolar bütçe ile Federal Enerji Departmanı'na bağılandı. Avrupa'da ise özellikle Danimarka, İsveç ve Almanya başta olmak üzere bir çok ülkede rüzgar enerjisi konusunda önemli çalışmalar yapılmaya başlandı (Hau, 2006).

1974 yılında Danimarka'da uzmanlardan oluşan komisyon, Danimarka enerji ihtiyacının % 10'unun şebekede herhangi bir sorun yaşanmadan rüzgar enerjisinden elde edilebilmesi gerektiğini açıkladı. NASA ile beraber yürütölen çalışmalarının ardından Aalborg'da iki büyük deneysel rüzgar türbini dikildi. Büyük ölçekli rüzgar türbini çalışmalarının yanında, küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin kişisel kullanımı teşvik edildi. 1990'lara gelindiğinde gücü 55 kW ile 300 kW arasında değişen 2,500'den fazla rüzgar türbinini kurulu bulunmaktaydı ve bunlar toplamda 200 MW enerji üretmekteydiler. (Hau, 2006).

1980'li yıllarda Almanya, İsveç, ABD ve Danimarka'da devlet tarafından başlatılan ve devlet destekli rüzgar enerjisi teknolojisini geliştirme programları genellikle büyük ölçekli deneysel rüzgar türbinlerine odaklanmaktaydı. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi ise diğer ülkelerdeki çalışmaların aksine yatay eksenli rüzgar türbinlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaştı ve 1985 yılında Eole Projesi kapsamında 4 MW'lık bir yatay eksenli rüzgar türbini yapıldı (Hau, 2006). 1990'lı yıllara gelindiğinde başta Avrupa'da olmak üzere dünyada küresel ısınma ve nükleer enerji konusunda artan kaygılar büyük bir rüzgar enerji talebi oluşturdu (Manwell ve diğ., 2002).

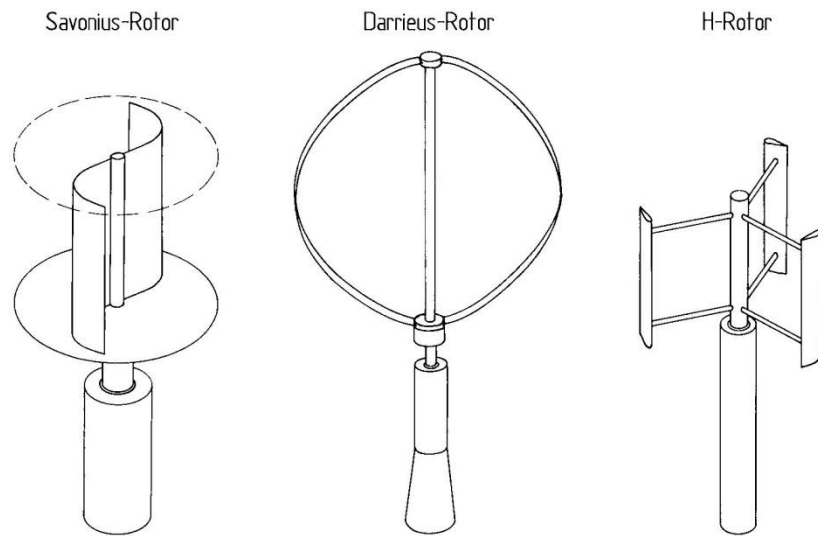
## 2.2 Rüzgar Türbini Türleri

Rüzgar türbinleri daha pratik olmasından dolayı yapısal tasarımlarına göre sınıflandırılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin göze ilk çarpan karakteristiği dönme eksenlerinin yeryüzüne göre konumlarıdır ve buna göre düşey ve yatay eksenli olmak üzere ikiye ayrılırlar (Hau, 2006).

### 2.2.1 Düşey eksenli türbinler

Tarihteki en eski rüzgar türbini tasarımları düşey eksenli rüzgar türbinleri sınıfına girmektedir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri sapma (yawing) sistemine ihtiyaç duymaması, kanatların sabit bir profile sahip olması ve kanat üretiminde alüminyum gibi daha basit malzeme kullanılabilmesi nedeniyle üretiminin kolay ve ucuz olması, redüktör, jeneratör ve dişli kutusu gibi ağır elemanların yere veya yere yakın ve sabit bir kuleye yerleştirilmesi açısından avantajlıdır. Ancak dönüşten kaynaklanan (cyclic) aerodinamik yüklerin genelde alüminyumdan üretilmiş düşey eksenli türbinlerin kanatlarında yorulmaya sebep olması, yapı ile kontrol arasındaki uyumsuzluklar, kanatların yere yakın bölgede olması nedeniyle düşük rüzgar hızlarında çalışması, genel kapasite değişkenlerinin ve veriminin yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre düşük olması ve elektrik üretimi açısından en uygun tip olan Darrieus türbinlerinin dışarıdan bir kuvvetle başlatılma gereksinimi açısından dezavantajlıdır (Barutçu, 2010) (Hau, 2006).

Düşey eksenli rüzgar türbinleri içinde en yaygın olarak bilinen üç tür Savonius türbinleri, Darrieus ( $\Phi$ ) türbinleri ve H-Darrieus türbinleridir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Düşey eksenli rüzgar türbinleri (Hau,2006).

Darrieus Türbinlerinin tasarımı 1925 yılında Fransız mühendis Georges Jean Marie Darrieus tarafından yapılmış ve patenti 1931 yılında alınmıştır. İki ve üç kanatlı olarak üretilen Darrieus türbinlerinde kanatlar elips oluşturacak bir şekilde düşey dönme eksenine bağlanmıştır. Kanatların geometrik şeklinin karmaşıklığı, üretimini zorlaştırmaktadır (Hau, 2006).

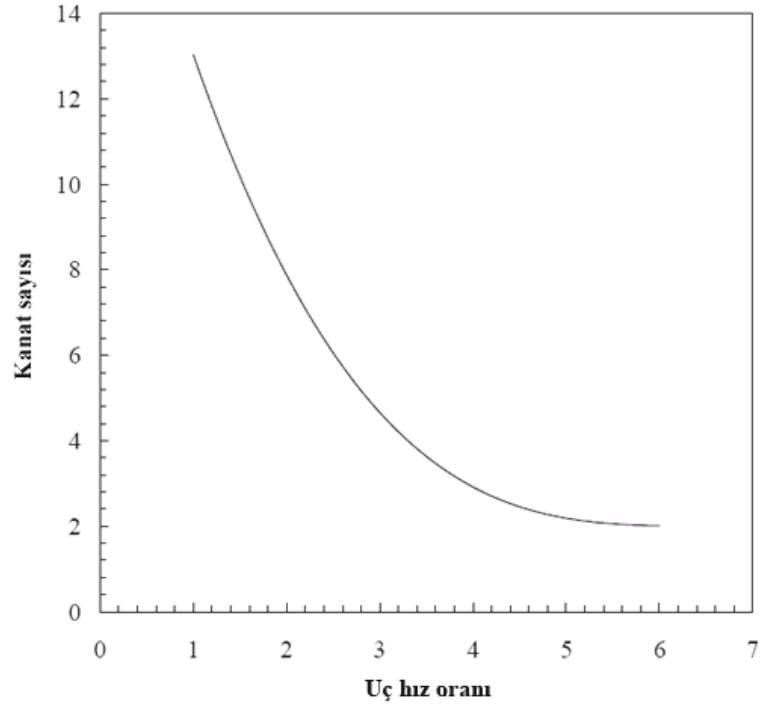
Darrieus türbinlerinin bir çeşidi olan H-Darrieus türbinlerinde, elips şekilli bükülmüş kanatlar yerine, türbin miline bağlantı destekleri kullanılarak düz kanatların bağlandığı bir tasarım söz konusudur. Bu tasarım İngiltere ve ABD tarafından kullanılmış olup, ticari olarak kullanılabilir düzeye Almanya'da getirilmiştir (Hau, 2006).

Savonius rüzgar türbini ise ilk olarak 1924 yılında Finli mühendis Sigud Savonius tarafından icat edilmiştir (Dursun ve diğ., 2005). Savonius rüzgar türbinleri düşük verimlerinden ötürü elektrik üretiminde kullanılmayıp genellikle su pompalamak için kullanılmaktadır (Hau, 2006).

### **2.2.2 Yatay eksenli türbinler**

Günümüzde rüzgar enerjisi üretiminde yaygın olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri grubu kullanılır. Dönme eksenleri yeryüzüne paralel olan bu rüzgar türbini grubu Avrupa Rüzgar Değirmenlerini, Amerikan Tipi Rüzgar Türbinlerini ve Modern Rüzgar Türbini modellerini içermektedir (Hau, 2006).

Modern yatay eksenli rüzgar türbinleri Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri, İki Kanatlı Rüzgar Türbinleri, Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri ve Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri olarak dört grupta incelenebilir. Farklı kanat sayılarına göre karşılaştırma yapılırken performans, yükler, rotor maliyetine etkisi, gürültü ve görüntü gibi faktörler kullanılabilir. Ayrıca rüzgar türbininde bulunan kanat sayısı açısız hız ve katılık (katılık: kanat alanının rotor süpürme alanına oranı) değerini etkilemektedir (Burton ve diğ., 2001). Uç hızı oranı ( $\lambda$ : Kanat ucunun çizgisel hızı / rüzgar hızı) ile katılık dolayısı ile kanat sayısı arasında ters bir orantı vardır, kanat sayısı azaldıkça uç hızı oranı artar (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5 :** Kanat sayısına göre uç hız oranı (Barutçu, 2010).

Düşük katılıkta kanat boylarının küçük olması sebebiyle kanatların yeterli güç ve sertlikte tasarlanması da zorlaşır. Verilen katılıkta rotor süpürme alanını birkaç kanada bölmek, her bir kanadın kesit alanını, büyüklüğünü ve gücünü artırır. Bu yüzden modern rüzgar türbinlerinin rotor kanatları 2 veya 3 kanatlıdır (Alyamaç, 2010).

Yatay eksenli rüzgar türbinlerin yapısal dinamik karakterlerini analiz etmek oldukça zor olduğundan, deneysel çalışmalarda kanat sayıları bire düşürülür. Tek kanatlı rüzgar türbini araştırmaları Almanya, İtalya, ABD gibi bazı ülkelerde yapılmış ve yürütülen çalışmalarda asimetrik yüklemeye bağlı dinamik yapısal sorunların tek kanat konsepti için dezavantaj oluşturduğu gözlenmiştir. Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin güç katsayıları iki ve üç kanatlılara oranla % 5 ila % 10 oranında daha azdır. Bunun yanında tek kanatlı türbinler ekonomik ve hafif olmakla beraber yüksek rotasyonel hızda çalışırlar ve gürültü, görüntü etkisi sebebiyle daha az tercih edilmektedir (Alyamaç, 2010).

Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin yüksek uç hız oranı ve düşük maliyeti avantaj oluşturmaktadır (Şekil 2.6) (Manwell ve diğ., 2002).



**Şekil 2.6 :** Tek kanatlı rüzgar türbini (NASA Mod-0) Ohio, ABD (URL-1).

İki kanatlı rüzgar türbinleri de tek kanatlı rüzgar türbinleri gibi ekonomik ve hafiftir (Şekil 2.7). İki kanatlı rüzgar türbinlerinin eylemsizlik momenti düşey konumdayken yatay konuma göre daha düşüktür. Bu yüzden bir çok iki kanatlı rüzgar türbininde tahterevalli yataklı pervane (teetering rotor) kullanılır (Manwell ve diğ., 2002).

İki ve tek kanatlı rüzgar türbinlerinin yüksek uç hızı oranlarından kaynaklanan yüksek ses tercih edilen bir durum değildir. Ayrıca bu türbinler görsel olarak da rahatsız edici bulunmaktadır (Hau, 2006).



**Şekil 2.7 :** İki kanatlı rüzgar türbini (NASA/DOE Mod-5B) Hawaii ABD (URL-1).



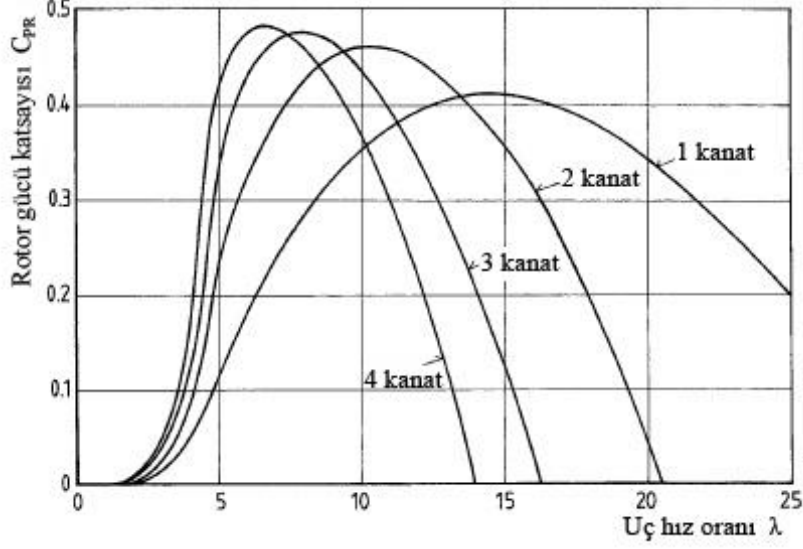
Elektrik üretimi için kullanılan modern rüzgar türbinlerinin çoğu üç kanatlıdır (Şekil 2.8). Üç kanatlı rüzgar türbinleri sabit sapma açısına göre polar eylemsizlik momenti yönünden ve rotorun azimutal pozisyonundan bağımsız olması açısından diğer türbin çeşitlerini göre avantajlıdır (Manwell ve diğ., 2002). Üç kanattan fazlası maliyeti arttırdığı için elektrik üretiminde kullanılan modern rüzgar türbinlerinde kullanılmaz.



**Şekil 2.8 :** Üç kanatlı rüzgar türbini (Goldwind S48/750) Almanya (URL-2).

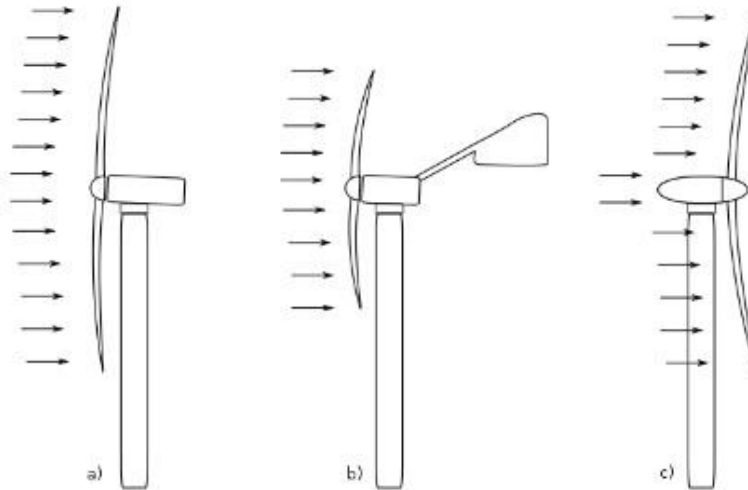
Çok kanatlı rüzgar türbinleri grubuna dört veya daha fazla kanattan oluşan dakikada 10-40 devir yapabilen klasik yel değirmenleri (Şekil 2.1) ve 12-24 kanattan oluşan genelde su pompalamak amacıyla kullanılan, 2-3 m/sn gibi hızlarda çalışabilen yüksek torka sahip türbinler sayılabilir (Şekil 2.2).

Rüzgar türbinlerinde teorik olarak kanat sayısı arttıkça güç katsayısı da artmaktadır. Ancak Amerikan tipi rüzgar türbinlerinde gözlemlendiği gibi fazla kanat sayısı güç katsayısını düşürmüştür. Rüzgar türbininin katılığı yüksek olduğunda aerodinamik akış şartları da daha karmaşık ve teorik modellerle açıklanamaz hale gelir. Kanat uç hız oranı fonksiyonunun güç katsayısı eğrisi varyasyonunda artan kanat sayısına göre, optimum uç hız oranı için kanat sayısı azalır (Şekil 2.9) (Hau, 2006).



**Şekil 2.9** : Kanat sayısının rotor güç katsayısı ve optimum uç hız oranı üzerindeki etkisi (Hau, 2006).

Yatay eksenli rüzgar türbinleri rotorlarının rüzgara göre konumlarına bağlı olarak rüzgar üstü ve rüzgar altı rüzgar türbinleri olarak ikiye ayrılırlar (Şekil 2.10). Rüzgar üstü türbinlerde kanatlar nasel'in (nacelle box) önündedir, karşı taraftan gelen rüzgar önce kanatlara ardından nasel'e doğru eser; rüzgar altı türbinlerde ise kanatlar nasel'in arkasında kalır bu yüzden gelen rüzgar nasel'den sonra kanatlara geçer (Alyamaç, 2010).



**Şekil 2.10** : a-b: Rüzgar üstü türbin c: Rüzgar altı türbin (URL-3).

Rüzgar üstü rüzgar türbinlerinde aktif sapma (yawing) sistemi vardır; rüzgar altı rüzgar türbinleri ise serbest saptmaya olanak tanır. Rüzgar altı türbinlerde kule, esen

rüzgar yönünde bir iz (wake) oluşturmaktadır ve kanat her dönüşünde bu izden geçer. İzden kaynaklanan periyodik yükler kanatlarda yorulmaya sebep olur, bu yorulma üretilen elektrik gücünü de olumsuz yönde etkiler. Ancak izin bu etkileri özel kule tasarımlarıyla azaltılabilmektedir. Bu iz aynı zamanda rüzgar altı türbinlerin kule gölgelemesi sebebiyle rüzgar üstü türbinlere göre daha fazla gürültü çıkarmasına da sebep olur (Barutçu, 2010) (Manwell ve diğ., 2002).

Rüzgar üstü çalışan türbinlerde kanat üzerinde oluşan kule gölgelemesi görülmez, bu sayede gürültü oranı daha az, kanatlardaki yorulma daha düşük ve üretilen güç daha düzgün bir profildedir (Alyamaç, 2010).

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde kanat dönüş hızı ve güç çıkışı kanat yunuslama (blade pitching) adı verilen kontrol sistemleri ile ayarlanabilir. Ayrıca bu sistem özellikle büyük ölçekli rüzgar türbinlerinde yüksek hızlı rüzgara maruz kalma durumunda kanatların aşırı hızlanmasını önleyerek türbine koruma sağlar (Hau, 2006).

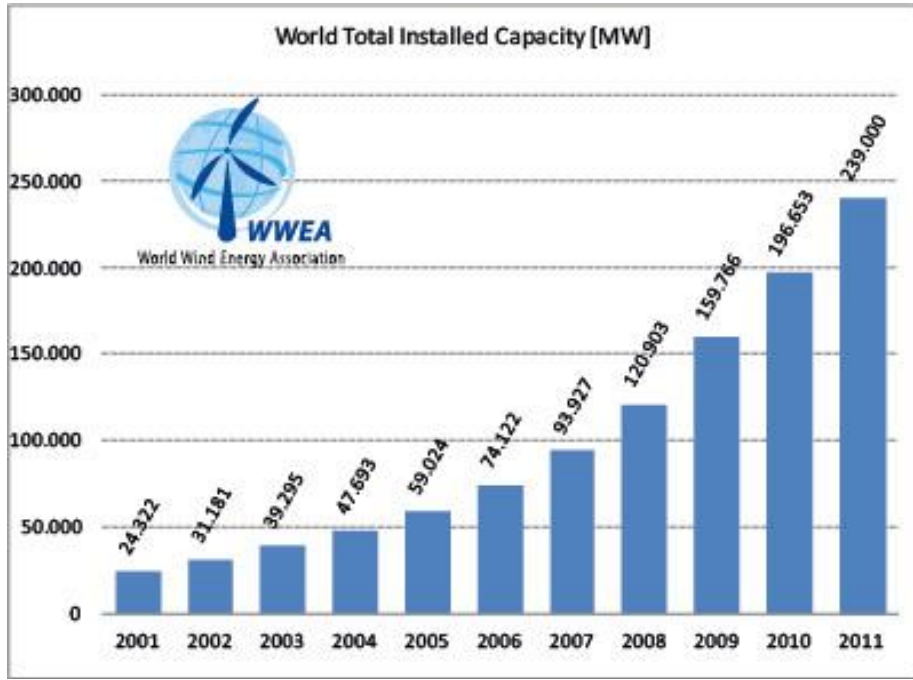
### **2.3 Rüzgar Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu**

2010 yılında Dünya'daki Kurulu rüzgar enerjisi potansiyeli 2009 yılına göre % 23,6 (39 GW) artarak 197 GW olmuştur. WWEA 2011 yılı ilk yarısı için yayınladığı raporda ise Dünya'daki kurulu rüzgar enerjisi potansiyelini % 9,3 (19 GW) artışla 215 GW olarak belirtmiştir. Dünya'da 2010 yılının sonunda kurulan tüm rüzgar türbinleri toplam 430 TWh üretim yapabilmektedir ve bu değer küresel enerji tüketiminin % 2,5'una denk gelen Dünya'nın altıncı büyük ekonomisi Britanya'nın toplam elektrik ihtiyacından fazladır. Rüzgar sektörünün 2010 yılı itibari ile toplam cirosu 40 milyar Euro olup sektörde çalışan insan sayısı 670.000'dir (WWEA, 2010).

2010 yılı boyunca 52'den fazla ülke rüzgar enerjisi kapasitesini arttırmış ve şu anda 83 ülke rüzgar enerjisini ticari olarak kullanmaktadır. Geçtiğimiz son 10 yılda yıllık rüzgar enerjisi kapasitesi artışı ortalama % 27'dir. 2010 yılında ilk kez, dünyada yeni kurulan rüzgar enerjisi kapasitesinin çoğunluğunu geliştirmekte olan ülkeler oluşturmuştur. Çin 2010 yılında 18,9 GW'lık artışla global artışın % 50'sini, 2011 yılının ilk yarısında ise 8 GW'lık artışla global artışın % 43'ünü gerçekleştirmiştir ve böylece kurulu 52 GW kapasite ile toplam kurulu güçte ilk sıraya yerleşmiştir. ABD

ise 2010 yılında 5 GW'lık, 2011 yılının ilk yarısında ise 2,2 GW'lık artışla 42,4 GW kurulu güce ulaşmıştır (REW, Eylül 2011) (WWEA, Haziran 2011).

2011 Haziran ayı itibari ile Avrupa'ya bakıldığında Almanya'da 27,9 GW, İspanya'da 21,1 GW, Fransa'da 6 GW, İngiltere'de 5,7 GW, Portekiz'de 3,9 GW kurulu rüzgar gücü bulunduğu görülmektedir (WWEA, Haziran 2011). WWEA dünya genelinde 2011 yılı için 239 GW olan kurulu rüzgar enerjisi kapasitesini 2015 yılı için 600 GW, 2020 yılı için de 1.500 GW olarak öngörmektedir (2010) (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Dünya'daki senelere göre rüzgar enerjisi toplam kurulu güç dağılımı (URL-4).

Türkiye'de rüzgar enerjisiyle ilgili ilk bilimsel çalışmalar, 1960'lerden başlayarak Ankara Üniversitesi, Ege Üniversitesi, İTÜ, ODTÜ ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından yürütülmüştür. 1981 yılında EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi) tarafından kuruluş bünyesinde Rüzgar Enerjisi Şube Müdürlüğü kurulmuş; 1992 yılında Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi açılmıştır. 1993 yılından itibaren Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 43 meteoroloji istasyonunun rüzgar değerleri, topoğrafik veriler ile genişletilerek, Türkiye Rüzgar Atlası'nın çıkarılmasına başlanmıştır (Hayli, 2001).

Türkiye'deki rüzgar enerjisi konusundaki ilk ciddi proje 21 Şubat 1998'de açılan 1,5 MW gücü olan Çeşme-Germiyan Rüzgar Santrali'dir. Bu rüzgar santrali 3 adet 500

kW'lık türbinden oluşmaktadır. 28 Kasım 1998'de üretime başlayan ikinci proje Çeşme-Alaçatı Rüzgar Santrali ise 600 kW gücünde 12 adet türbinden oluşmak üzere toplam 7,2 MW kurulu güce sahiptir (Hayli, 2001).

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin Mart 2011'de verdiği değerlere göre Türkiye'de işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi 1414 MW, inşa halinde olan rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi ise 749 MW'dır (URL-5). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının bildirdiğine göre Türkiye'nin kurulma imkanı olan toplam rüzgar enerjisi kapasitesi 131.756,40 MW'dır.

WWEA 2010 raporunda Türkiye, rüzgar sektöründe 2009 yılı için % 138,9 , 2010 yılı için % 59,9'luk büyüme oranı ile dünyada en çok büyüme gösteren ilk 10 ülke arasında girmiştir.



### **3. GÜNEŞ ENERJİSİ**

Güneş, kütlesi sıcak gazlardan oluşan, çevresine ısı ve ışık yayan bir yıldızdır. Güneşte hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında (füzyon) büyük bir enerji ortaya çıkar. Antik çağlarda güneşe hayat kaynağı olarak tapılmıştır. Daha sonra bilim ve endüstri geliştikçe güneşin bir enerji kaynağı olduğunun farkına varılmıştır (Chaara ve diğ., 2011). Tüm yenilenebilir enerji kaynakları içinde en bitip tükenmezi ve en temiz güneş enerjisidir. Güneşten dünyaya gelen enerji dünyanın şu anki enerji tüketiminden çok daha fazladır (Paridaa ve diğ., 2011).

Fotovoltaik pil teknolojisi güneş enerjisini değerlendirme yollarından biridir. Fotovoltaik dönüşüm güneş enerjisini herhangi bir ısı makinasının araya girmesine gerek kalmadan doğrudan elektriğe çevirir. Fotovoltaik dönüştürücüler dayanıklı, çok az bakım gerektiren ve basit tasarımları olan cihazlardır. Mekanik olarak hareket eden parçaları yoktur ve ses yapmazlar. Fotovoltaikler herhangi bir salım yapmadıkları ve kirlilik yaratmadıkları gibi uzun kullanım ömrüne sahiptirler. En büyük avantajları ise mikrowatt değerlerinden megawatt değerlerine kadar güçlerde dizayn edilebilen bağımsız sistemler olmalarıdır. Ancak etkin ve verimli bir sistem kurulabilmesi için geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır (Paridaa ve diğ., 2011) (Goetzberger ve Hoffmann, 2005).

Kullanım alanları çok çeşitli olduğu için fotovoltaik teknolojisine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. 2010 yılında dünyada 100 den fazla ülke, toplamda 17 GW kapasiteli fotovoltaik sistem kurulumu yapmış ve küresel toplam kapasite böylece 40 GW seviyesine yaklaşmıştır (REW, Eylül 2011).

#### **3.1 Güneş Enerjisinin Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımının Tarihsel Gelişimi**

1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Bequerel sıvı elektrolitlerde fotogalvanik etkiyi gözlemlediğinde ilk kez güneş enerjisinin elektriğe çevrilebileceğini keşfetti. 1873'de ise İngiliz elektrik mühendisi Willoughby Smith katı Se (Selenyum) elementinin fotokondüktivite özelliğini buldu. 1876 yılında, İngiliz William Grylls Adams ve öğrencisi Richard Evans Day selenyum tüplerinin

ışığa tutulduğunda fotovoltaik özellik göstererek elektrik ürettiğini gözlemlediler. Selenyum güneş hücreleri  $5 \text{ W/m}^2$  enerji ürettikleri için yalnızca % 0,5 verime sahipti. 1883 yılında ise, Amerikalı Charles Fritts selenyum maddesini altın ile kaplayarak % 1 verimli ilk güneş hücresini üretti (Luque ve Hegedus, 2011).

1954 yılında ABD’de, Bell Laboratuvarları’nda rastlantı sonucu P-N Diyotları’nın odada ışık olduğunda voltaj ürettiğinin keşfedilmesi ile fotovoltaiklerin modern çağı başladı ve takip eden sene içerisinde % 6 verimli silikon elementinin güneş hücresi üretildi. Uzay araçlarına güç kaynağı gerekmesi ve güneş pillerinin bakım gerektirmeden uzun süre çalışabilmesi fotovoltaikler konusundaki çalışmaların devam etmesine olanak sağladı. 1958 yılında NASA, Vanguard Uydusu’nu silikon güneş hücresi yedeklemesi ile gönderdi ve bu uzaya fırlatılan ilk güneş enerjisi destekli uydu oldu. Uyduda bulunan güneş hücreleri beklenenden çok daha iyi performans sergileyerek uyduya çok daha uzun süreli güç sağladı. 1959 yılında ise Amerikalı Hoffmann Electronics şirketi % 10 verimli silikon fotovoltaik güneş hücrelerini piyasaya sundu. Küçük çaplı endüstriyel üretimler fiyatları düşürdü ve mütevazı miktarlarda yeryüzü uygulamaları oldu ancak uzay uygulamaları daha en az 10 yıl boyunca daha asli kullanım alanı olarak kaldı (Luque ve Hegedus, 2011) (Goetzberger ve Hoffmann, 2005).

1970 yılında Sovyetler Birliğindeki Ioffe Enstitüsü’nde, Nobel ödüllü fizikçi Zhores Ivanoviç Alferov tarafından yönetilen grup ilk kez farklı-yapılı (heterostructure) GaAlAs (Galyum Alüminyum Arsenid) / GaAs (Galyum Arsenid) güneş hücrelerini üretti. Bu yapı GaAs hücrelerde karşılaşılan sorunları çözdü ve yeni teknolojilerin önünü açtı. GaAs yapılar yüksek verimleri ve uzayda oluşan iyonlaşmaya olan dirençleri nedeniyle ilgi çekmekteydi (Luque ve Hegedus, 2011).

1973 yılı fotovoltaik teknolojisi için her açıdan çok önemli bir yıl oldu. Silikon güneş hücrelerinde kısa dalga ışınlarına verilen tepki sonucundaki verim artışına bağlı önemli bir performans gelişimi oldu. Aynı yıl ABD’de IBM de GaAs farklı-yapılı yapı % 13 verimliğe ulaşan güneş hücreleri geliştirdi. ABD New Jersey’de Cherry Hill Konferansı’nda fotovoltaik araştırmacıları ve Amerikan Devlet Bilimsel Kolları başkanları bir araya gelerek fotovoltaik teknolojinin potansiyelini ve bilimsel değerini değerlendirdiler. Sonuç olarak, fotovoltaik teknolojinin devlet desteği almayı hak ettiğine karar verildi ve ABD Enerji Araştırma ve Geliştirme Ajansı kuruldu. Yenilenebilir enerji araştırmalarını teşvik etmek üzere kurulan dünyadaki



ilk devlet ajansı daha sonra ABD Enerji Bakanlığı'na dönüştü (Luque ve Hegedus, 2011).

Basra Körfezindeki petrol üreticileri tarafından 1973 yılının Kasım ayında petrol ambargosu başlatıldı. Endüstriyelmiş tüm dünya ülkelerindeki uzmanlar artık zor bulunan ve pahalı olan petrole alternatif aramaya başladılar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş enerjisinin fosil yakıtlara bir seçenek olabileceğine karar verdiler. Birçok devlet yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek için programlar başlattı. Amerika, Avrupa ve Asya'da 70'li yıllarda yeni kurulan enstitülerde amaç güneş pillerinin yanında bütün sistemi ve sistem parçalarını geliştirmenin yanında fotovoltaik enerjinin fiyatını düşürmek oldu (Luque ve Hegedus, 2011) (Goetzberger ve Hoffmann, 2005).

1980'li yıllarda fotovoltaik endüstrisi özellikle üretimde ve fiyatlarda olmak üzere olgunlaştı. Amerika, Japonya ve Avrupa'da güneş pilleri üretecek üretim tesisleri kuruldu. ABD Kaliforniya'da 1982'de 1 MW ölçekli fotovoltaik enerji santrali kuruldu; 1984'de ise 6 MW'lık bir kurulum yapıldı. Endüstride, Devlet ve Üniversite laboratuvarlarında yeni teknolojiler geliştirilmeye başlandı. İnce-film fotovoltaik teknolojisini genişletmek için şirketler girişimlerde bulunmaya başladı ve % 10 civarı verimlilikle çalışan güneş pilleri geliştirildi. 1986 yılında ilk ticari ince-film modülü ABD'de üretildi. 1987 yılında Avustralya'da yapılan Dünya Güneş Enerjili Otomobil Yarışında, güneş enerjisi ile çalışan 14 araç toplam 3.200 km yol yaptı (Luque ve Hegedus, 2011).

1990 yılında Almanya, dünyadaki ilk yenilenebilir enerji elektrik tarifesini yürürlüğe koydu. Yasaya göre devlet fotovoltaik sistemlerden elde edilen elektriği perakende elektrik fiyatının en az % 90'ı oranındaki fiyattan almak durumundaydı. 1995 yılında ise 1.000 Çatı Programı'nı yürürlüğe koyarak fotovoltaik marketinin gelişimini destekledi. Almanya'daki bu gelişmeler Japonya başta olmak üzere diğer ülkelerdeki fotovoltaik yasal düzenlemelerine öncülük etti. 1997 yılına gelindiğinde dünyadaki toplam fotovoltaik enerji üretimi 100 MW değerine ulaşmıştı. 1999 yılında ise Almanya bu kez 100.000 Çatı Programı'nı başlattı. Program kurulum tarihinden itibaren 10 yıl süre ile sıfır faiz kredi desteği sağlamaktaydı. Destek ile 1999 yılı sonuna kadar toplamda 10 MW kapasiteli 4.000 sistem kurulumu gerçekleşti (Luque ve Hegedus, 2011).

Daha iyi nitelikte güneş pillerinin üretilmesi, güneş enerjisini tanıtım programlarının hazırlanması, elektrik şebekesine bağlı fotovoltaik sistemler için piyasa desteği oluşturulması ve birçok Avrupa ülkesi ile Japonya'da çıkarılan alım yasaları sayesinde güneş enerjisinde ucuzlama sağlandı (Goetzberger ve Hoffmann, 2005). 2002 yılına gelindiğinde dünyadaki toplam kurulu fotovoltaik kapasite 2.000 MW değerine ulaştı (Luque ve Hegedus, 2011).

### 3.2 Fotovoltaik Güneş Pilleri

#### 3.2.1 Fotovoltaik hücre

Maddeler iletkenliklerine göre üçe ayrılırlar;

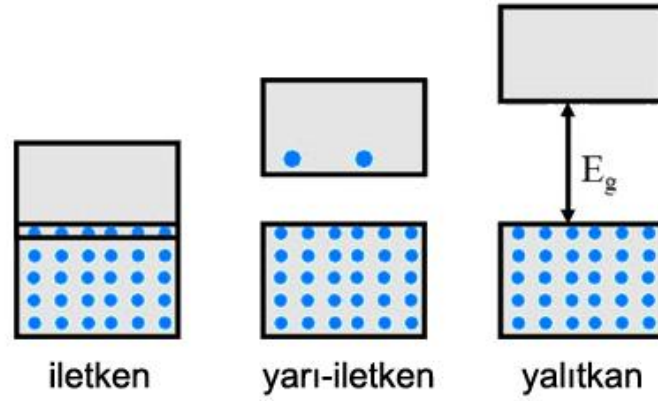
$$\text{İletkenler: } \sigma > 10^4 (\Omega \text{ cm})^{-1}$$

$$\text{Yarıiletkenler: } 10^4 > \sigma > 10^{-8} (\Omega \text{ cm})^{-1}$$

$$\text{Yalıtkanlar: } \sigma < 10^{-8} (\Omega \text{ cm})^{-1}$$

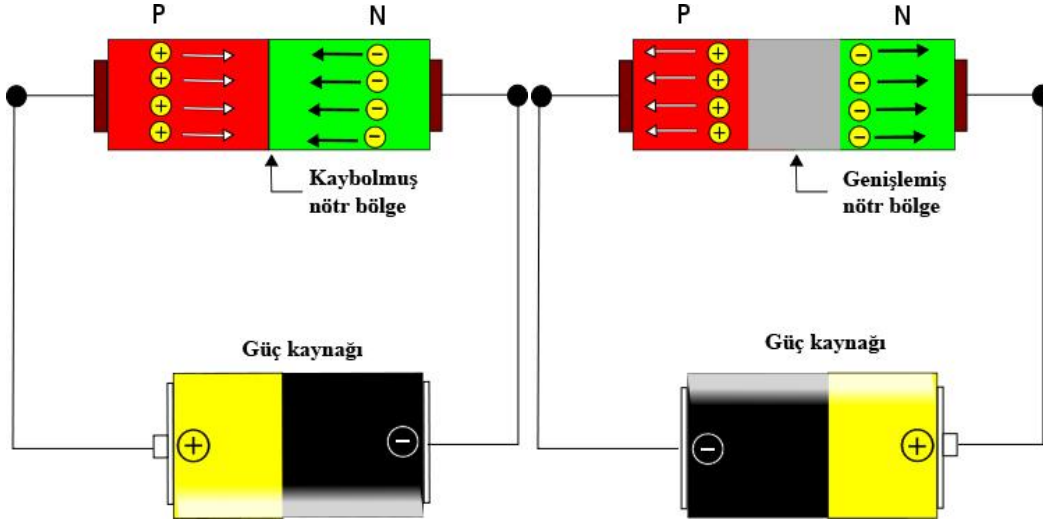
Yarıiletkenler, elektriksel iletkenlikleri hareket edebilen elektronlara (metallerde olduğu gibi) veya deşiklere bağlı olan katılardır. Yarıiletkenleri iletkenlerden ayıran temel farklılık ise iletkenlerin iletkenlikleri sıcaklık artışı ile azalırken, yarıiletkenlerin iletkenliklerinin artmasıdır (Goetzberger ve Hoffmann, 2005).

Katı bir malzemede bulunan bir elektronun enerjisi sadece belirli bir enerji bandı aralığında olabilir. Katı malzemelerdeki bu enerji bantları, iletken malzemelerde üst üste olduğundan elektron geçişi kolaylıkla sağlanırken; yalıtkan malzemelerde bu bantların tamamen ayrışık olması sebebiyle elektron geçişi gerçekleşemez. Yarıiletken malzemelerde ise sahip oldukları enerji bant geçişi yapamayan elektronlar dışarıdan enerji tatbiki ile bu özelliği kazanarak elektrik akımını iletebilirler (Şekil 3.1) (Beiser, 2003). Örneğin bir diyotta oluşan elektrik alanının sağladığı enerji ile taşıyıcı transferi gerçekleşirken; bir güneş pilinde ise foton aracılığı ile aktarılan güneş enerjisi sayesinde bu transfer gerçekleşir.

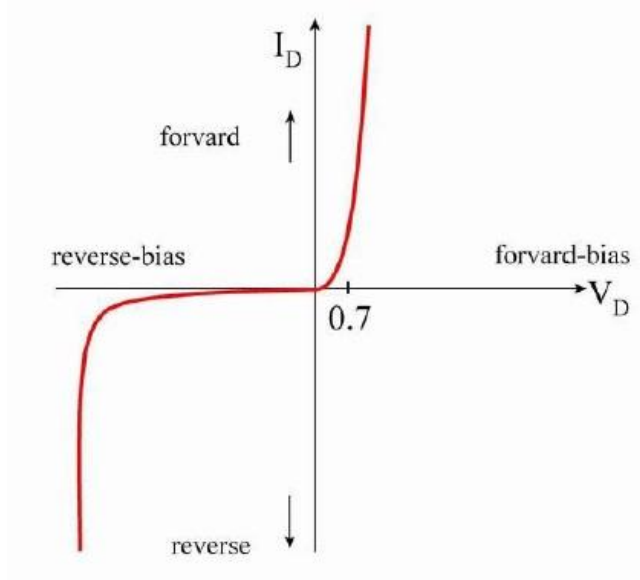


**Şekil 3.1 :** İletken – yarıiletken – yalıtkan maddelerin enerji bantları (Barutçu, 2010).

Yarıiletken malzemelerin içerisine sistematik olarak yerleştirilen safsızlıklar ile elektriksel iletkenliklerinin belirli ölçüde artırılması işlemine katkılama (doping) denir. Elektrik akımının taşıyıcıları (carrier) olan elektron ve deşiklerin (hole) artırıldığı bu işlem n-tipi ve p-tipi olmak üzere iki şekilde yapılır. N-tipi yarıiletkenler, son yörüngelerinde içine katkılanı yarıiletkenden daha fazla elektrona sahip atomlarla (fosfor, silikon gibi) katkılanmış materyallerdir. P-tipi yarıiletkenler ise daha az elektrona sahip atomlarla katkılanmışlardır. Katkılama işlemi ile elde edilmiş p-tipi ve n-tipi malzemelerin bir araya getirilmesi ile bir pn eklemi (pn junction) oluşturulur ve böylece diyot elde edilir. nn eklemi oluşturulduğunda n bölgesinin kaybettiği elektronlar, elektriksel bir denge oluşturuncaya kadar bu eklem üzerinden p bölgesine nüfuz ederler. Bir diyotun n bölgesi – (eksi) ve p bölgesi + (artı) gerilim kaynağına bağlanarak elde edilen ileri gerilimleme (forward bias) altında n bölgesindeki elektronlar p bölgesine doğru akarlar; ters öngerilimleme (reverse bias) altında p bölgesindeki elektronlar n bölgesine akarlar (Şekil 3.2). Düz ön gerilimlemede bu akış 0,7 V mertebesinde gerçekleşirken (normal mod); ters ön gerilimlemede ise ancak belirli bir delinme gerilimine (breakdown voltage) ulaşıldığında iletim gerçekleşir (normal olmayan mod) (Şekil 3.3) (Floyd, 2005).

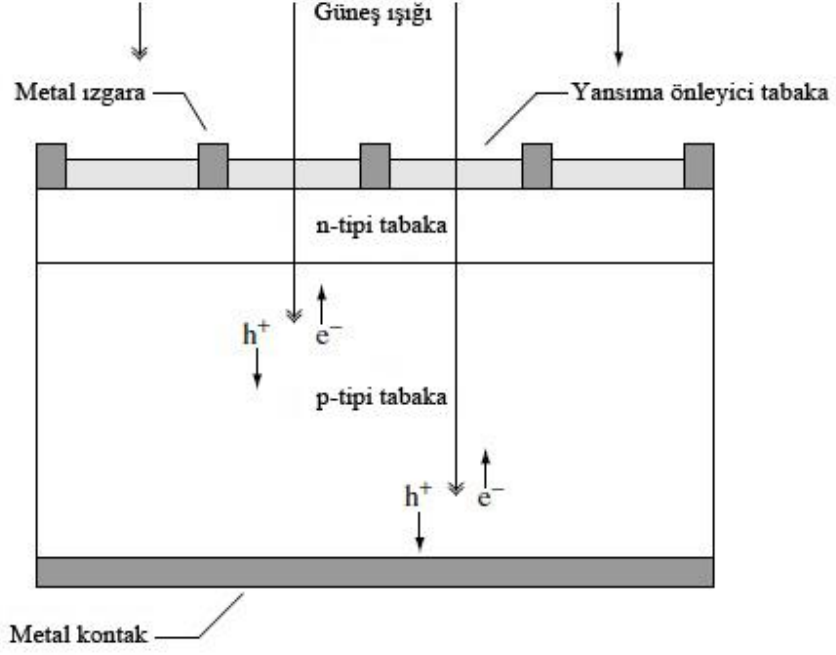


Şekil 3.2 : a: Düz ön gerilimleme yapılan diyot; b: Ters ön gerilimleme yapılan diyot (URL-6).



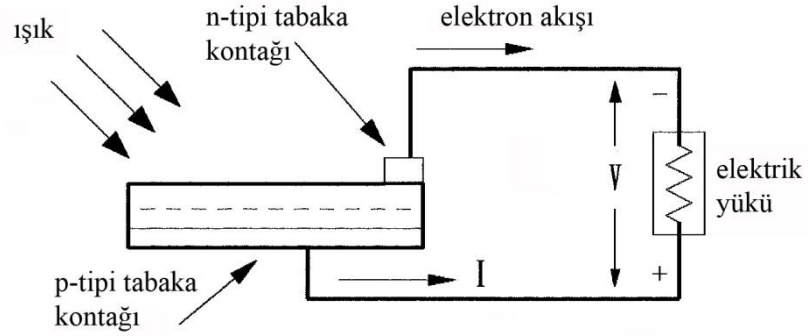
Şekil 3.3 : Diyot gerilim/akım grafiği (Barutçu, 2010).

Güneş pili de yarıiletken bir diyottur ve güneşten gelen ışık enerjisini verimli bir şekilde soğurarak elektrik enerjisine çevirmesi için uygun şekilde tasarlanarak üretilmiştir. Basit bir fotovoltaik güneş pilinin yapısı Şekil 3.4'de tasvir edilmiştir. Güneş ışığı güneş pilinin ön yüzeyine tepeden gelir. Güneş ışığı, diyotun elektriksel temaslarından birisini sağlayan metal ızgara plakanın arasından geçer ve yarıiletken malzeme tarafından soğurularak elektrik akımının oluşmasını sağlar. Diyot'un diğer elektriksel bağlantısını ise güneş pilinin arkasına yerleştirilen metal tabaka sağlar. Metal plaka bağlantıları arasında bulunan yansıma önleyici tabaka yarıiletken tabakaya iletilen ışık miktarını arttırmaktadır (Luque ve Hegedus, 2011).



**Şekil 3.4 :** Temel güneş pili çeviriminin şeması (Luque ve Hegedus, 2011).

Güneş pillerinde güneş ışığının soğurulması ile oluşan elektron-deşik çiftleri, kavşak bölgesinde potansiyel fark (potential gradient) oluşturarak yarattıkları elektrik alan içerisinde ivmelenirler ve harici devre üzerinden akarak çevrimlerini tamamlarlar. Bu işlemde foton enerjisinin bir kısmı elektron-deşik çift oluşturmak için kullanılırken geri kalanı ısı enerjisi olarak güneş pilinin bünyesine aktarılır (Şekil 3.5) (Patel, 1999).



**Şekil 3.5 :** Foton enerjisinin elektron-deşik çift'e dönüşümü (Patel, 1999).

Farklı yarıiletken malzemeler kullanılarak üretilebilen güneş pilleri için en çok tercih edilen malzeme Silikon olup; kristal, polikristal veya amorf yapıda olabilir. GaAs, GaInP (galyum indiyum fosfid), Cu(InGa)Se<sub>2</sub> (bakır indiyum galyum diselenid), ve CdTe (kadmiyum telürür) gibi malzemelerle de güneş pili üretilebilmektedir. Güneş pilleri için kullanılacak malzemeler, genellikle güneş ışığı tayfı (spectrum) ile eşleşmesine bağlı olan soğurma özelliklerine ve üretim giderlerine göre seçilmektedir.

Güneş pillerinde, güneş ışığı tayfı ile oldukça uygun biçimde eşleşen soğurma karakteri ve yarıiletken elektronik endüstrisindeki yaygın kullanımından ötürü ileri üretim teknolojisi mevcut olan Silikon tercih edilmektedir (Luque ve Hegedus, 2011).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan üç malzeme mono-kristal silikon, poli-kristal silikon ve ince-film teknolojileridir.

### **3.2.1.1 Mono-kristal silikon**

Mono-kristal silikon malzemeleri elde etmenin en yaygın yönteminde, öncelikli olarak silikon hammaddesi bir pota içerisinde eritilip saflaştırılır. Ardından bir tohum kristal silikon sıvısı içerisine yerleştirildikten sonra yavaş ve sabit bir hızla çevrilerek çekilir. Sonuç olarak silindir şeklinde katı bir mono-kristal külçe elde edilir. Bu üretim yöntemi yavaş ve enerji isteyen bir süreçtir. Silindir külçe, elmas testereler yardımıyla, 200-400 µm arasında değişen kalınlıklarda dilimlenir. Daha sonra bu yuvarlak dilimler (wafer), panel üzerine yerleştirilecek hücre sayısını maksimize etmek için sekizgen veya dörtgen şeklinde kesilir. Fakat bu yöntem ile üretim yapıldığında, oldukça pahalı bir malzeme olan silikon külçenin önemli bir kısmı dilimlenirken ve kare şekli verilirken israf edilir. İsrafı azaltmak için külçelerin dilimlenmesi ile elde edilen hücreler yuvarlak şekilde kullanılabilir. Bu uygulama panel alanının öncelikli olmadığı durumlarda ekonomik olabilir (Patel, 1999).

### **3.2.1.2 Poli-kristal silikon**

Kalın kristal hücreler elde etmenin görece daha hızlı ve ekonomik bir yöntemi de poli-kristal hücreler üretmektir. Mono-kristal yapı içerisinde tohumun çekilmesi yerine, eritilen silikon külçe içerisine dökülür ve bu şekilde multi-kristal yapı elde edilir. Verimliliği düşük olan bu tür hücreler daha ekonomik olup birim güç başına maliyeti oldukça düşürür (Patel, 1999).

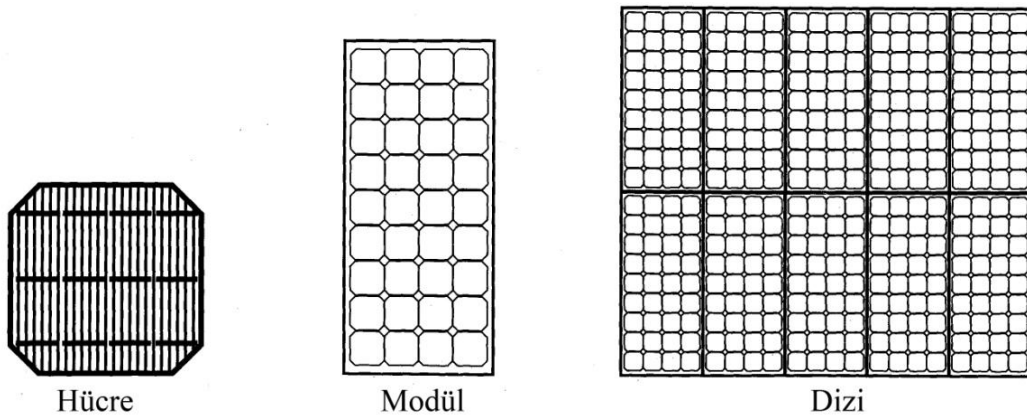
### **3.2.1.3 İnce-film**

Piyasaya görece daha geç giren fotovoltaik teknolojilerinden bir tanesi ince-filmelerdir. Doğrudan cam, paslanmaz çelik, seramik veya benzer malzemeler üzerine birkaç µm veya daha az kalınlıktaki CuInSe<sub>2</sub>, CdTe veya GaAs malzemelerinin çökeltilmesi ile elde edilir. Hücre üretiminde birim alanda kullanılan malzeme

miktarının oldukça azaldığı bu yöntemde birim güç başına düşen maliyet de azalır (Patel, 1999).

### 3.2.2 Hücre (cell), modül (panel) ve dizi (array)

Oldukça küçük yer kaplayan güneş pili hücreleri yaklaşık 1 W değerinde güç üretir. Daha büyük güç değerleri üretebilmek için çok sayıda hücre seri ve paralel devreler halinde birkaç metrekare büyüklüğündeki paneller üzerinde bağlanır. Bir güneş paneli gerekli akım ve gerilimi üretmek için farklı seri ve paralel devre düzenleri ile bağlanmış birkaç modülün grup haline gelmesi ile oluşur (Şekil 3.6) (Patel, 1999).



Şekil 3.6 : Hücre – modül – dizi (Patel, 1999).

### 3.3 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu

Günümüzde güneş enerjisi pazarı yılda % 40-50 oranlarında artış göstermektedir. 2010 yılında dünyada 100 den fazla ülke, toplamda 17 GW kapasiteli fotovoltaiik sistem kurulumu yapmış ve küresel toplam kapasite böylece 40 GW seviyesine yaklaşmıştır. Bu değer 2009 yılına göre % 72 daha büyük ve 2005-2010 periyodunda ortalama yıllık küresel kapasite büyümesi % 49 seviyesindedir. Bu artışın başlıca nedenleri arasında fiyatların ucuzlaması, yeni uygulama alanlarının geliştirilmesi, yatırımcıların ilgi artışı, bazı ülkelerdeki devlet desteği ve yenilenebilir enerji tarife politikaları olarak gösterilebilir (REW, Eylül 2011). Özellikle kırsal alandaki fotovoltaiik uygulamalar yeni yatırımların büyük kısmını kapsamakta, endüstriyel alandaki uygulamalar ise kırsal uygulamalardan sonra en büyük ikinci yatırım alanını oluşturmaktadır (Razykov ve diğ., 2011).

2010 yılında yeni kurulan fotovoltaik sistem kapasitesinin % 80'ini Almanya ve İtalya'nın öncülüğünde 13,2 GW yeni kurulumla AB gerçekleştirmiştir. 2010 yılında Almanya 7,4 GW yeni kurulumla bir önceki yılın küresel kurulum toplamından fazlasını yaparak 17,3 GW fotovoltaik enerji kapasitesine, İtalya ise 2,3 GW yeni kurulum yaparak 3,5 GW toplam kapasiteye ulaşmıştır. Çek Cumhuriyeti'nde ise 2008 yılında mevcut kurulu fotovoltaik sistemi bulunmazken, yüksek oranlı yenilenebilir enerji tarifeleri ve sistem bileşenlerinin fiyat ucuzlaması ile 2010 yılında 2 GW kurulu güneş enerjisi kapasitesine ulaşılmıştır. Avrupa dışına bakıldığında Japonya ve ABD bir önceki yıla göre kurulu kapasitelerini iki katına çıkararak 2010 yılında 3,6 GW ve 2,5 GW değerlerine ulaşmışlardır. Bunun dışında İspanya başta olmak üzere Kuzey Afrika ve Orta Doğu ülkeleri, ayrıca Hindistan ve Çin'de fotovoltaik güneş sistemlerine ilgi giderek artmaktadır (REW, Eylül 2011).

Türkiye'de henüz kayda değer bir fotovoltaik enerji üretim potansiyeli söz konusu değildir.



#### 4. İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ ENERJİ ÜRETİM VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Bu tez çalışmasında kullanılan 1,8 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-1 (Skystream 2.7) rüzgar türbini ve 30 kW anma gücüne sahip İTÜ RT-2 (Permosan Per-WT 30000) ile 1,5 kW kurulu güce sahip Mono-Kristal Silikon İTÜ FV-1 (Energy Solutions), 1,8 kW ile 300 W kurulu güce sahip iki grup İnce-Film İTÜ FV-2 ve 3 (Kaneka G-EA060 ve G-EA105) ve 480 W kurulu güce sahip Poli-Kristal Silikon İTÜ FV-4 (Waaree WS-80) fotovoltaik modüllerden oluşan enerji üretim sistemlerinin ve meteoroloji istasyonunun (Davis Vantage Pro2) kurulumları değişik zamanlarda yapılmıştır ve bu sistemlerin bir kısmının farklı formattaki verileri, ayrı bilgisayarlarda, kendi yazılımları kullanılarak toplanmaktadır (Şekil 4.1) (Çizelge 4.1).



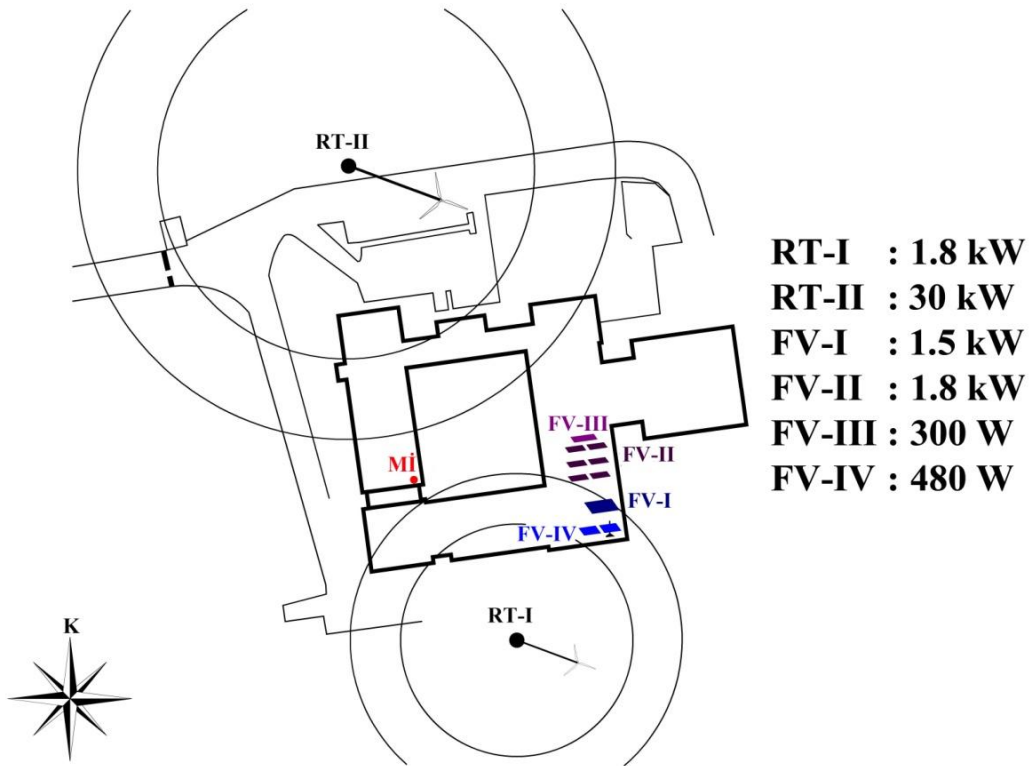
**Şekil 4.1 :** İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonu uydudan görünüm (URL-7).

**Çizelge 4.1 :** İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemleri.

Enerji Üretim Sistemi Adı	Modeli	Kurulu Gücü
RT-1	Skytream 2.7	1,8 kW
RT-2	Permosan Per-WT 30000	30 kW
FV-1 Mono-Kristal Silikon	Energy Solutions	1,5 kW
FV-2 İnce-Film	Kaneka G-EA105	1,8 kW
FV-3 İnce-Film	Kaneka G-EA060	300 W
FV-4 Poli-Kristal Silikon	Waaree WS-80	480 W
TOPLAM		36 kW

#### 4.1 İTÜ Enerji Enstitüsü Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemleri

Bu tez çalışmasında kullanılan enerji üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonu İTÜ Enerji Enstitüsü bahçesine ve çatısına yerleştirilmiştir. Rüzgar Enerjisi üretim sistemleri İTÜ RT-1 ve İTÜ RT-2, oluşturdukları rüzgar izinden birbirlerini ve Meteoroloji İstasyonunu etkilemeyecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2 :** İTÜ Enerji Enstitüsü enerji üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonu (Numaralandırma kurulum sıralarına göre yapılmıştır).

##### 4.1.1 İTÜ RT-1 rüzgar türbini

Verileri toplanan ilk enerji üretim sistemi 12.02.2008 tarihinde İTÜ Enerji Enstitüsü bahçesinde kurulumu yapılan Southwest Windpower şirketinin ürettiği Skystream 3.7 model, 2,5 kW pik güce, 1,8 kW anma gücüne sahip, 77 kg ağırlığında, 3,72 m

rotor çaplı, 10,87 m<sup>2</sup> rotor süpürme alanı olan ve kulesi 6 m'lik 4 parçadan oluşturulmuş, tübüler çelik gergilerle bağlanmış, toplam yüksekliği 24 m olan türbini İTÜ RT-1'dir (Şekil 4.3). Rüzgar altı çalışan, sapma kontrolü (yaw) pasif olan türbinin elektronik stall ayarına dayalı geçiş kontrollü frenleme sistemi vardır. Sistemde sabit mıknatıslı senkron jeneratör kullanılmaktadır. Şebeke beslemesi 110/240 VAC, 50-60 Hz ve 120/208 VAC, 60 Hz'dir. Türbinin pervane kanatlarında kompozitle güçlendirilmiş fiberglas kullanılmıştır.



**Şekil 4.3 :** İTÜ RT-1 rüzgar türbini ve sökülmiş durumdaki İTÜ RT-2 parçaları.

İTÜ RT-1 3,5 m/sn rüzgar hızında enerji üretmeye başlar ve devreye giriş (cut-in) hızındayken kanatlar ortalama 120 devir/dakika hızında döner. Enerji üretimi başladıktan sonra, 80 devir/dakika ve 3 m/sn rüzgar hızı alt seviyesine kadar çalışmaya ve enerji üretmeye devam eder. Rüzgar hızı 9 m/sn değerine ulaştığında kanatların açılma hızı 330 devir/dakika'dır ve bu hız İTÜ RT-1'in anma hızıdır. Rüzgar hızı 9 m/sn'yi aştığında ise kanat hızının 330 devir/dakika'da sabitlenmesi gereklidir. Rotor açılma hızı 360 devir/dakika'yı aştığı bir durum gerçekleşirse, İTÜ RT-1 yaklaşık 10 dakika devreden çıkar ve ardından bir arıza tespit edilmediği takdirde normal çalışmasına devam eder. Rüzgar hızı 25 m/sn hızı geçtiğinde İTÜ RT-1 bir saat boyunca devreden çıkar ve ardından normal çalışmasına geri döner. Devreden çıkış hızı (cut-off) 25 m/sn ve/veya 370 devir/dakikadır.

İTÜ RT-1, rüzgar koşullarına göre çalışma durumunu ayarlamasının yanında kullandığı elektrik şebekesini ve içerdiği parçalarının durumunu da kontrol eder. Kullanılan şebeke gerilimi ya da frekansı farklılık arz ettiğinde, İTÜ RT-1 şebekeden ayrılır ve frenleme moduna (braked mode) geçer. Bu halde, kullanılan şebeke gözlenmekte iken kanatlar sabit konumda kalır. Şebeke normal haline döndüğünde, türbin şebekeye tekrar bağlanır. Dahili sistemde benzer farklılık oluştuğunda, aynı döngü gerçekleşir. Ayrıca, İTÜ RT-1 dahili bir hata tespit ettiğinde acil durum kapanışı (emergency shutdown – an E-stop) gerçekleştirir. Acil durum kapanışı ancak dahili parçalara servis sağlanması gereken durumlarda gerçekleşir. Bu nedenle acil durum kapanışı gerçekleştiğinde sadece dahili sistemden tekrar çalıştırılabilir, yerden tekrar çalıştırılması mümkün değildir (Skystream Owners Manual EU Edition, 2010).

Üreticinin verdiği enerji ve performans ölçüm grafikleri Texas, Bushland'daki USDA-ARS araştırma laboratuvarları tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4 :** İTÜ RT-1'in üretici tarafından verilen enerji ve performans grafikleri.

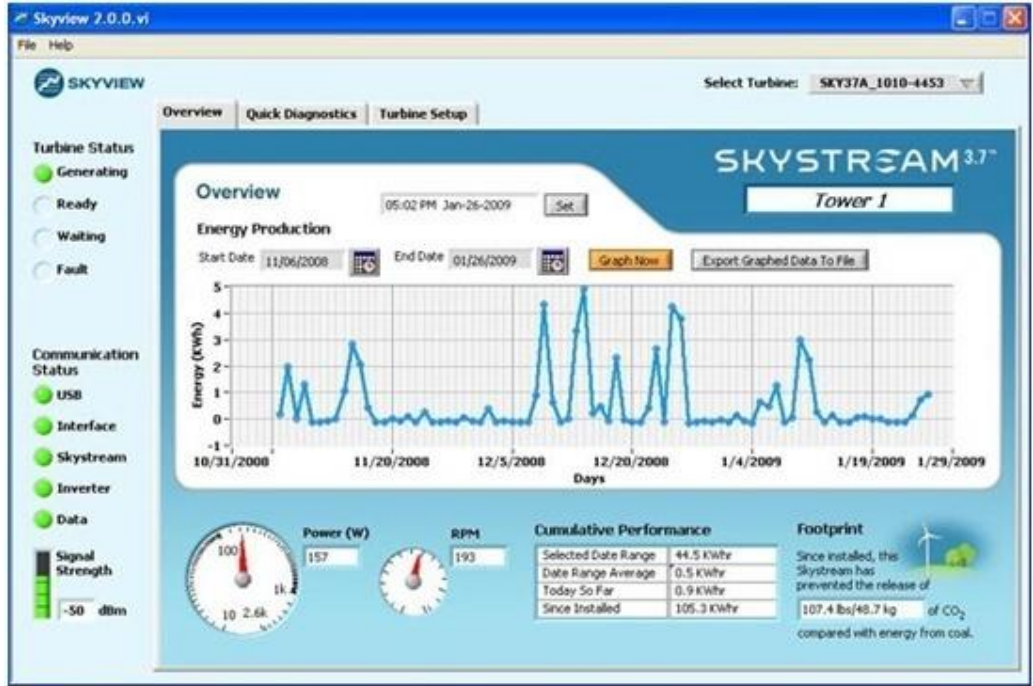
#### 4.1.1.1 İTÜ RT-1 verilerinin toplanması

İTÜ RT-1 verilerinin kablosuz olarak gözlemlenebilmesi için üreticiden Xbee marka radyo modülü ile gelir. Alıcı modül bilgisayara USB bağlantısı ile bağlanır. Alıcı modülün radyo dalgası aralığı 250 kbps - 115 kbps'dir ve yapı içinde en fazla 100 m, açık havada en fazla 1,6 km uzaklığa kadar veri aktarımı yapar. Ancak alıcı modülün dış koruması kapalı mekanlar için yapılmış olup açık havaya bırakılmaya uygun değildir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Xbee alıcı modül.

İTÜ RT-1 verilerini toplamak için üretici firmanın verdiği Skyview 2.0 yazılımını kullanır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Skyview 2.0 arayüzü.

Yazılım, 60 s örnekleme periyoduyla, türbinin ürettiği enerji, jeneratör akımı, aktif güç, güç faktörü, şebeke gerilimi, frekansı, jeneratör devir hızı, jeneratör ve kontrol sistemi sıcaklıkları, akü gerilimi, türbinin çalışma durumu ve arıza işaretlerini kaydetmektedir. Program toplanan bilgileri belirlenen bir dosyaya günlük olarak tarih ve saat bilgisi ile beraber text (.txt) dokümanı olarak kaydetmektedir. Program her gece yarısı o günün tarih bilgilerini içeren yeni bir text dokümanı oluşturur.

#### 4.1.1.2 İTÜ RT-1 verileri toplanırken karşılaşılan sorunlar ve çözümleri

İTÜ RT-1 verileri İTÜ Enerji Enstitüsü İşaret İşleme Laboratuvarında bulunan bir bilgisayar ile Skyview 2.0 yazılımı kullanılarak alınmaktadır. Ancak yapı içinde kablosuz bağlantı mesafesi 100 m olarak verilen Alıcı Modül, maalesef birbirlerine 20 m uzaklıkta bulunan İTÜ Enerji Enstitüsü İşaret İşleme Laboratuvarı ile İTÜ RT-1 arasında çalışmamaktadır. Bu nedenle modülün dış korumasının kapalı mekanlar için yapılmış olduğu da göz önünde bulundurularak, İTÜ RT-1'e en yakın mesafede bulunan İTÜ Enerji Enstitüsü odasına alıcı modül yerleştirilmiş ve beslemeli USB/Ethernet çevirici kullanılarak, veriler CAD 5 ethernet kablosu ile İşaret İşleme Laboratuvarında bulunan bilgisayara aktarılacak istenmiştir. Ancak bu kurulum istenilen sonucu vermemiş, veri akışı sürekliliği sağlanamamıştır. Skyview 2.0 yazılımı veri akışında oluşan dalgalanmalarda İTÜ RT-1 ile olan bağlantısını tekrar bağlanmamak üzere kaybetmektedir. Bu durumun ardından yapılan testlerde alıcı modül ile İTÜ RT-1 arasında beton duvar/cam gibi engelleyici maddeler bulunduğunda istenilen düzeyde veri aktarımı sürekliliğini (kesintisiz 1 hafta) sağlayamadığı, ancak açık havada yapılan denemelerde kesintisiz olarak veri aktarımı sağlandığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada alıcı modül, açık havaya uygun dış koruması (Şekil 4.7) sağlandıktan sonra İTÜ RT-1'i doğrudan göreceğ ve İşaret İşleme Laboratuvarı'nın üzerine gelecek şekilde İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına yerleştirilmiştir (Şekil 4.8). İşaret İşleme Laboratuvarında bulunan bilgisayar ile bağlantısı alıcı modüle bağlanan kuvvetlendirici destekli 10 m uzunluğundaki USB uzatma kablosu ile veri aktarımı sürekliliği sağlanarak yapılmıştır.



Şekil 4.7 : Açık havaya uygun alıcı modül (Xbee).



Şekil 4.8 : Alıcı modül (Xbee) ve koruyucu çatı.

#### 4.1.2 İTÜ RT-2 rüzgar türbini

İTÜ RT-2 rüzgar türbini 24.11.2009 tarihinde İTÜ Enerji Enstitüsü ön bahçesinde işletmeye alınmıştır. Permosan Per-WT 30000 model 30 kW anma gücüne sahip, 1.400 kg ağırlıklı, 6 m rotor yarıçaplı, 6 m'lik 3 parça konik boru ve 1 m yüksekliğinde taban flanşından oluşan 19 m kule yüksekliği olan türbindir. Rüzgar üstü çalışan, otomatik sapma kontrolü (aktif yaw) sistemi olan türbin elektronik ayarlı frenleme yapar. Türbinin üzerinde kendi anemometre ve rüzgar gülü vardır ve pervane kanatlarında kompozitle güçlendirilmiş fiberglas kullanılmıştır. Türbinin çıkış gerilimi 380 V / 3-faz 50 Hz'dir.

İTÜ RT-2 pervane kanatları 2,5 m/sn rüzgar hızında dönmeye başlar ve 3,0 m/sn rüzgar hızında devreye girer. 12,5 m/sn rüzgar hızı İTÜ RT-2'nin anma hızıdır ve sistem bu hızda nominal güce ulaşır. 20 m/sn rüzgar hızında sistem devreden çıkar, 40 m/sn'de ise sistem güvenlik için türbin kanatlarını fren ile durdurur (Şekil 4.9).

Bu tez çalışması sırasında İTÜ RT-2'nin de verilerinin toplanması ve analiz edilerek diğer enerji üretim sistemleri ile birlikte değerlendirilmesi planlanmıştır. Ancak İTÜ RT-2 bulunduğu konuma yeni bir binanın yapılacak olması nedeniyle, başka bir yere taşınmak üzere 09.08.2011 tarihinde sökülüştür.

Bu tez çalışması sırasında İTÜ RT-2 henüz çalışmaktayken LabVIEW ile yapılan programda verilerinin alınması sağlanmıştır. Tez çalışmasının bittiği tarihte türbin henüz yeni yerine dikilmediği için bu tez çalışmasında verileri yer almamıştır ancak bağlantıları yapıldığında program değerlendirilmeleri yapılmaya hazırdır.



**Şekil 4.9 : İTÜ RT-2.**

## **4.2 İTÜ Enerji Enstitüsü Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri**

İTÜ Enerji Enstitüsünde mono-kristal silikon, poli-kristal silikon ve ince-film olmak üzere üç çeşit güneş pili bulunmakta ve bunların verileri toplanmaktadır (Şekil 4.10).



**Şekil 4.10 : İTÜ Enerji Enstitüsü güneş enerjisi üretim sistemleri.**

### **4.2.1 İTÜ FV-1 mono-kristal silikon güneş pilleri**

İTÜ FV-1 güneş pilleri İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına 12.02.2008 tarihinde yerleştirilmiştir. Energy Solutions firmasının ürettiği ES120 Wp model mono-kristal silikon güneş pilleri grubu 12 adet 126,9 W gücünde modülden oluşmaktadır. Toplam 1,522 kW kurulu güce sahip bu modelin dönüşüm verimliliği % 16'dır (Şekil 4.11).





**Şekil 4.11** : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-1 mono-kristal silikon güneş pilleri.

#### **4.2.2 İTÜ FV-2 ve FV-3 ince-film güneş pilleri**

İTÜ FV-2 ve FV-3 güneş pilleri İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına 25.03.2010 tarihinde yerleştirilmiştir ve Kaneka firmasının ürettiği iki farklı modelden oluşmaktadır. İlk grupta K105 model 105 W gücünde 18 adet modül bulunmaktadır. Toplam 1,890 kW kurulu güce sahiptirler ve her bir modülün dönüşüm verimliliği % 8,6'dır (Şekil 4.12).

İkinci grupta ise K060 model 60 W gücünde 5 adet modül bulunmaktadır. Toplam 300 W kurulu güce sahiptirler ve her bir modülün dönüşüm verimliliği % 6,3'dür. Bu gruptaki paneller açısı istenilen her değere ayarlanabilen özel olarak tasarlanmış bir taşıyıcı sistem üzerinde durmaktadır (Şekil 4.13).



**Şekil 4.12** : İTÜ Enerji Enstitüsü FV-2 ince-film güneş pilleri.



**Şekil 4.13 :** İTÜ Enerji Enstitüsü FV-3 ince-film güneş pilleri.

#### **4.2.3 İTÜ FV-4 poli-kristal silikon güneş pilleri**

İTÜ Enerji Enstitüsünde kurulum aşamasında WAAREE firmasının ürettiği WS-80 model 6 adet 80 W gücünde poli-kristal silikon modül bulunmaktadır. Bu modüllerden toplam 240 W gücünde olan 3 tanesi tek eksenli güneş izleyici (single axis sun tracker) sistemi üzerine yerleştirilmiş, 240 W gücündeki diğer üç tanesi ise sabit tutulmuştur, böylece güneş izleyici sistemlerin verimleri incelenebilecektir. (Şekil 4.14). Kurulum aşamasında bulunan toplam 480 W gücündeki poli-kristal silikon güneş pilleri grubunun bağlantıları henüz yapılmamış olduğundan bu tez çalışmasında verileri yer almamıştır ancak bağlantıları yapıldığında sistem değerlendirilmeleri yapılmaya hazırdır.

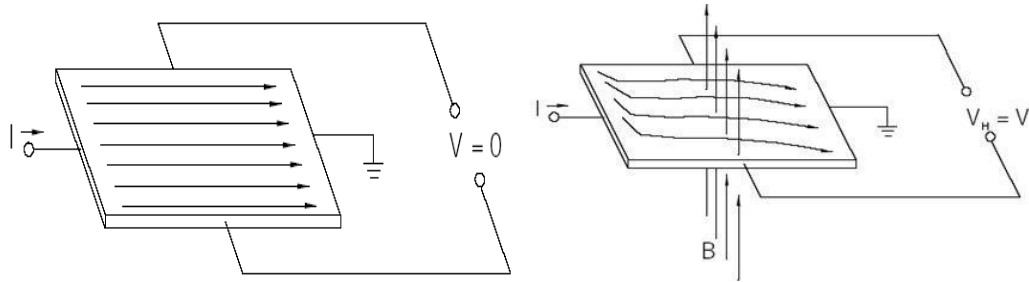


**Şekil 4.14 :** İTÜ Enerji Enstitüsü FV-4 poli-kristal silikon güneş pilleri.

#### 4.2.4 Güneş enerjisi üretim sistemleri verilerinin toplanması

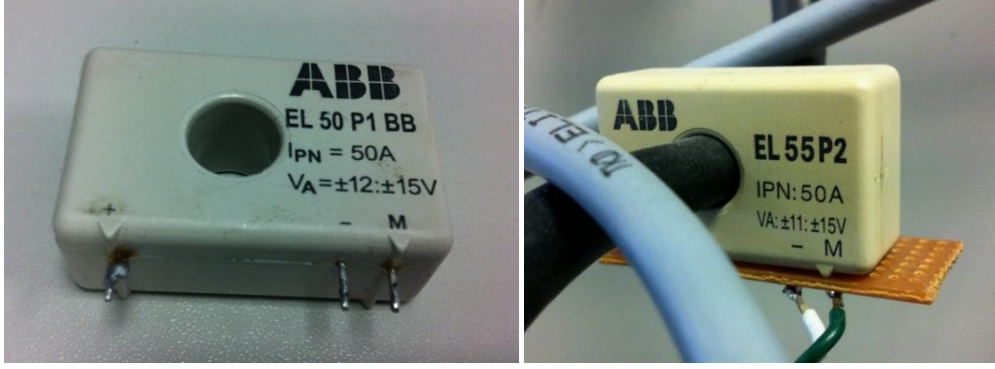
İTÜ Enerji Enstitüsü güneş enerjisi üretim sistemlerinin üretici firma tarafından gönderilen gözlemlene yazılımları sürekli bir veri aktarımı sağlamamaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin güç üretim verilerinin sürekli olarak toplanabilmesi için Hall etkisi ile çalışan akım sensörü ve bu sensörle gelen verilerin okunabilmesi için bir DAQ (Data acquisition – veri toplama) modülü kullanılmıştır.

Hall etkisi, manyetik alan içerisinde akım taşıyan bir iletken boyunca gerilim oluşmasıdır. Akım taşıyan iletken manyetik alan içerisine girdiğinde, manyetik alan iletkenin içinde hareket eden yüklere dik olarak bir kuvvet uygular. Bu kuvvetin etkisi ile elektronlar iletkenin bir tarafına daha yakın hareket etmeye başlarlar ve böylece iletkenin iki tarafı arasında bir potansiyel farkı oluşur (Şekil 4.15). Bu oluşum manyetik alana ters yönlü bir elektrik alanı oluşturur ve elektrik alanı büyüklüğü manyetik alan büyüklüğüne eşit olup dengeleninceye kadar devam eder. İletken üzerinden akım geçmeye devam ettiği sürece sabit bir potansiyel fark oluşacaktır (Giancoli, 2000).



**Şekil 4.15** : Akım taşıyan iletken içerisindeki elektronların manyetik alan içerisindeki hareketleri (URL-8).

Kullanılan ABB firmasının ürettiği EL55P2 ve EL50P1 BB akım sensörleri (Şekil 4.16) bu temellere dayanarak çalışmaktadır. Enerji Enstitüsü laboratuvarlarında bulunan İTÜ FV-1 mono-kristal silikon ve İTÜ FV-2 ve 3 ince-film (Şekil 4.17) enerji üretim sistemleri güç üretim kablolarına bağlanmıştır. Sensör yardımıyla alınan veriler Measurement Computing Corporation firmasının ürettiği USB-2416 model DAQ modülüne aktarılmaktadır (Şekil 4.18). DAQ modülü yardımı ile bilgisayara iletilen veriler ileride anlatılacak olan LabVIEW yazılımı ile değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, İTÜ FV-4 poli-kristal silikon enerji üretim sistemi devreye girdiğinde benzer bağlantılar yapılarak verilerinin toplanması için alt yapı ve program hazırlanmıştır.



Şekil 4.16 : Akım sensörleri.



Şekil 4.17 : İnce-Film invertörleri.



Şekil 4.18 : USB-2416 DAQ modülü (URL-9).

### 4.3 İTÜ Enerji Enstitüsü Meteoroloji İstasyonu

Enerji üretim sistemleri verileri ile beraber meteoroloji verilerinin gözlemlenmesi için İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına 17.02.2010 tarihinde yerleştirilen Davis Instruments şirketinin ürettiği kablosuz bağlantılı Vantage Pro 2 model meteoroloji

istasyonu kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonu; verilerin alındığı entegre sensör cihazı ve bu cihazdan alınan verilerin kablosuz bağlantı ile ulaştığı konsol olmak üzere iki kısımdan oluşur. Konsola gelen veriler yine Davis Instruments şirketinin ürettiği arayüz programı olan Weatherlink 5.8.2 programı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Entegre sensör cihazı ile alıcı konsol arasında engellere (duvar, çatı, cam v.b.) bağlı olarak 300 m'ye kadar veri aktarılabilir. Meteoroloji istasyonu, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde türbinlerin izlerinden etkilenmeyecek bir noktada yerden 19 m yüksekliğe kurulmuştur (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19 :** İTÜ Enerji Enstitüsü meteoroloji istasyonu.

#### **4.3.1 Entegre sensör cihazı**

Entegre sensör cihazı içinde güneş enerjisi ile şarj olan bir pil bulunur ve cihaz güç kaynağı olarak bu pili kullanmaktadır (Şekil 4.20). Ayrıca cihaz içerisinde, yağış miktarını ölçmek için bir yağmur toplayıcısı (rain collector), sıcaklık, nem ile basınç sensörleri, rüzgar hızını ölçmek için manyetik indüksiyonlu kepçe anemometre, rüzgar yönünü ölçmek için rüzgar güllü bir potensiyometre ve solar radyasyonu ölçmek için sensör bulunmaktadır (URL-10).



Şekil 4.20 : Entegre sensör cihazı (URL-11).

#### 4.3.2 Konsol ve kablosuz bağlantı

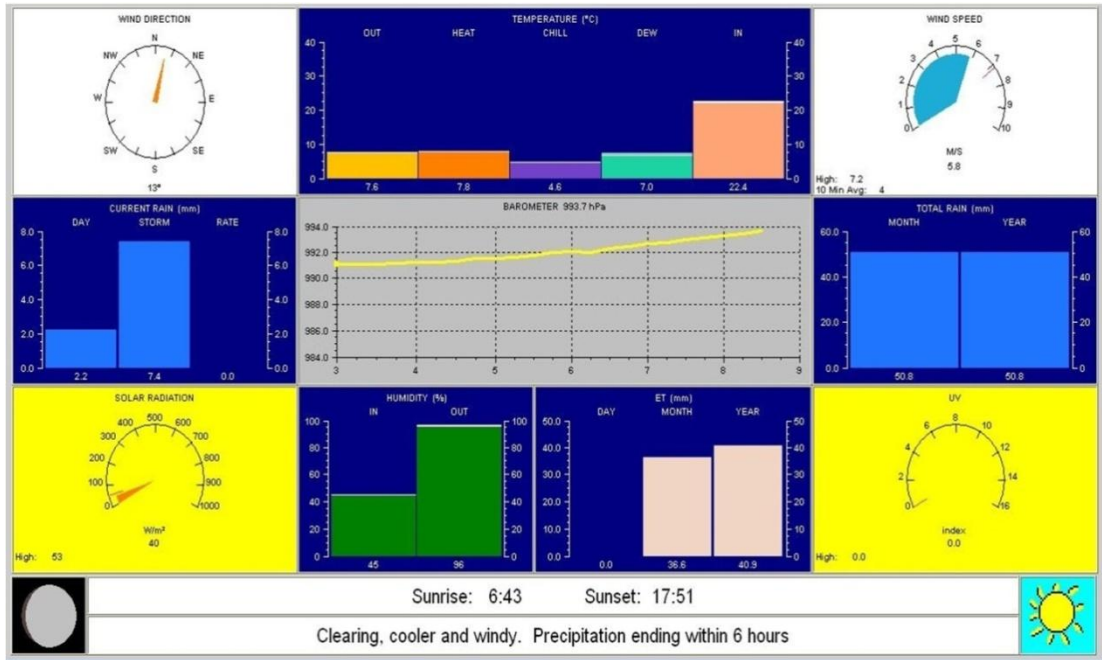
Veriler, entegre sensör cihazından kablosuz bağlantı ile Vantage Pro-2 konsoluna aktarılır. Konsol üstünde bulunan 6x15 cm LCD ekranda veriler görüntülenmektedir. Konsol, gelen verileri 2,5 saniyelik yenileme hızı ile göstermekte, hesaplamalar ve grafik ile gösterim yapabilmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : Vantage Pro-2 konsolu (URL-11).

### 4.3.3 Ara yüz programı ve veri toplama sistemi

Vantage Pro-2 konsoluna gelen veriler Davis şirketinin geliştirdiği Weatherlink yazılımı ile bilgisayarda gösterilebilmektedir. Yazılım, rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, yağış, solar radyasyon ve basınç değerlerini grafik olarak göstermektedir. Ayrıca verilerin zamana göre dağılımını ve seçilen verilerin 3 – 30 günlük değişimini grafik üzerinde göstermektedir. Veriler aylık olarak hafızada tutulabilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 : Weatherlink yazılımı arayüzü.

60 saniye örnekleme periyoduyla, sıcaklık, en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, en yüksek rüzgar şiddeti, ortalama yön, basınç, yağmur, solar radyasyon, en yüksek solar radyasyon ve UV dozu işaretleri günlük olarak bir text (.txt) dökümanında kaydedilmektedir.





## **5. İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VERİLERİNİN TOPLANMASI**

İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin bir kısmının verileri ayrı bilgisayarlarda, kendi yazılımları kullanılarak toplanmaktadır. Bu bölümde anlatılacak olan LabVIEW programlama dili yardımı ile yapılan yazılım kullanılarak bütün verileri tek bir bilgisayar üzerinde toplayan, toplanan verileri ayrı ayrı ve birlikte analiz edip istenen değerlendirmeleri yapmaya olanak sağlayan bir sistem kurulmuştur.

### **5.1 LabVIEW**

LabVIEW, modern C veya BASIC programlama ortamları ve National Instruments LabWindows/CVI benzeri bir program geliştirme ortamıdır ve National Instruments şirketi tarafından üretilmektedir. Ancak LabVIEW önemli bir açıdan bu uygulamalardan ayrılmaktadır. Diğer programlama sistemleri, kod satırları oluşturmak için metin tabanlı (text-based) programlama dilleri kullanırken, LabVIEW, “G” adı verilen grafiksel programlama dilini kullanır ve programları Blok Diyagramı formunda ikonlar kullanarak oluşturur.

LabVIEW, C ve BASIC programlama sistemleri gibi her türlü programlama amacına yönelik çok çeşitli ve kapsamlı fonksiyon kütüphaneleri içermektedir. LabVIEW kütüphanelerinde veri toplama, GPIB ve seri bağlantı ile araç kontrolü, veri analizi, veri sunumu ve veri kaydetme için fonksiyonlar bulunmaktadır. LabVIEW aynı zamanda konvansiyonel program geliştirme araçlarını da içermektedir. Böylece durma noktaları (breakpoint) atanabilir, verinin program içindeki ilerleyişinin görülebileceği şekilde uygulama anime edilebilir ve programda adım adım ilerleme sağlanarak hata ayıklama (debugging) ve program geliştirme kolaylaştırılır.

LabVIEW genel amaçlı bir programlama sistemi olmasının yanında veri toplamak ve cihaz kontrol etmek için tasarlanmış araçlar ile fonksiyonlar içeren kütüphaneye sahiptir. LabVIEW programları Görsel Araç (virtual instrument) yani VI olarak isimlendirilir çünkü bu programların görünüşleri ve işleyişleri gerçek araçları

andırmaktadır. Buna rağmen, VI'ların işlevleri geleneksel programlama dilleri ile benzeşmektedir.

VI'lar interaktif kullanıcı ara yüzü, kaynak kodlarını (source code) çalıştıran veri akışı diyagramları ve diğer VI'lar ile bağlantıyı sağlayan ikon bağlantılarını içermektedir. VI'lar şu şekilde yapılandırılmışlardır:

- Kullanıcı ara yüzüne Ön Panel (Front Panel) adı verilir çünkü fiziksel bir araç panelini temsil etmektedir. Ön panel; basılabilir ve ayarlanabilir düğmeler, grafikler ile her çeşit kontrol ve göstergeleri içermektedir.
- VI, talimatlarını G programlama dili ile yapılandırılan Blok Diyagram'dan alır. Blok Diyagram, programlama probleminin resimsel olarak çözümüdür. Blok Diyagram aynı zamanda VI için kullanılan kaynak kodlardır.
- VI'lar hiyerarşik ve modüler yapılardır. Diğer programlar için alt program veya ana program olarak çalışabilirler. Diğer programlar için alt program olarak çalışan VI'lar subVI olarak adlandırılır. VI'ın ikon ve konektör'ü grafiksel parametre listesi gibi çalışır böylece VI'lar subVI'lara veri aktarımı yapabilirler.

Tüm bu özelliklerin yanında LabVIEW, Modüler Programlama (modular programming) kavramını destekler ve buna uygun olarak çalışır. Bir uygulama görev serilerine ayrılabilir, böylece karmaşık bir uygulama daha basit alt görevler haline gelene kadar defalarca bölünebilir. Bu sayede her bir alt görevi gerçekleştirecek olan VI oluşturulduktan sonra, başka bir Blok Diyagram üzerinde bu VI'lar birleştirilerek asıl görevi tamamlayacak uygulama yapılmış olur. Sonuç olarak, yapılması istenilen işlemi yapan subVI'lar derlemesi uygulama VI'nı oluşturur.

SubVI'lar bütün uygulamadan ayrı olarak tek başına çalıştırılabildikleri için hata ayıklama daha kolay yapılabilir. Bunun yanında, subVI'lar farklı birçok uygulamada benzer işlemleri gerçekleştirebilirler, böylece sık yapılan uygulamalara uygun özel subVI dizileri hazırlanabilir (LabVIEW User Manual, 1998).

## **5.2 LabVIEW Veri Toplama Bölümü**

Bu tez çalışmasında kullanılan İTÜ RT-1 rüzgar türbini, İTÜ FV-1, FV-2 ve 3 güneş enerjisi üretim sistemleri ve meteoroloji istasyonunun farklı formatlarda, ayrı bilgisayarlarda, kendi yazılımları kullanılarak toplanan veya sensörler aracılığıyla

alınan verileri, bu bölümde tanıtılan LabVIEW program geliştirme ortamı kullanılarak hazırlanmış bir program ile toplanmaktadır. Hazırlanan program ile farklı bilgisayarlarda toplanan ve farklı sensörlerle alınan İTÜ RT-1 rüzgar türbini, İTÜ FV-1 mono-kristal silikon ve İTÜ FV-2 ve FV-3 ince-film güneş enerjisi üretim sistemleri ile meteoroloji istasyonunun verileri tek bir bilgisayar üzerinde toplanması sağlanmıştır. Geçici olarak sökülmüş olan ve yakında yeni yerine dikilerek devreye girecek olan İTÜ RT-2 rüzgar türbini ve kurulum aşamasında olan İTÜ FV-4 polikristal silikon güneş pilleri de hazırlanan programa dahildir. Kurulumları tamamlandığında diğer sistemlerle birlikte verileri tek bilgisayarda toplanacaktır.

Hazırlanan programa İTÜ Enerji Enstitüsü Veri Toplama ve Değerlendirme Programı adı verilmiş olup, bu VI altında çalışan çeşitli subVI'lerden oluşmuştur.

Hazırlanan program blok diyagramında her bir enerji üretim sistemine ve meteoroloji istasyona ait subVI'lerden (Meteoroloji İstasyonu Verileri SubVI, İTÜ RT-1 Verileri SubVI, İTÜ RT-2 Verileri SubVI ve DAQ Verileri SubVI) istenilen ortak formata getirilmiş veriler toplanmakta ve bir araya getirilmektedir. Veriler daha sonra belirlenen yerde <yılaygun>.txt (örnek: 20120320.txt) adı ile tarihe göre isimlendirilmiş olarak günlük dosyalar halinde kaydedilmektedir. Kaydedilen dosyada tüm sistemlerden dakikalık olarak gelen toplam 61 farklı veri kaydedilmektedir (Çizelge 5.1). Bunun dışında günlük olarak sistemin ürettiği toplam enerji her gün akşam ayrı ayrı ve toplam olarak saat 23:55'de energy.txt dosyası adı altında kaydedilmektedir. Böylelikle bu iki dosyada bulunan veriler kullanılarak, sistemlerinin meteorolojik şartlar da dikkate alınarak ayrı ayrı ve bir arada performans değerlendirmeleri, aylık, yıllık enerji üretimleri, enerji üretim sistemlerinin yaşlanmaya bağlı degradasyon seviyeleri, atmosfere atılmasına mani oldukları CO<sub>2</sub> miktarları gibi büyüklükler sürekli olarak ölçülebilmekte veya hesaplanabilmektedir.

**Çizelge 5.1 :** İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemlerinden toplanan veriler.

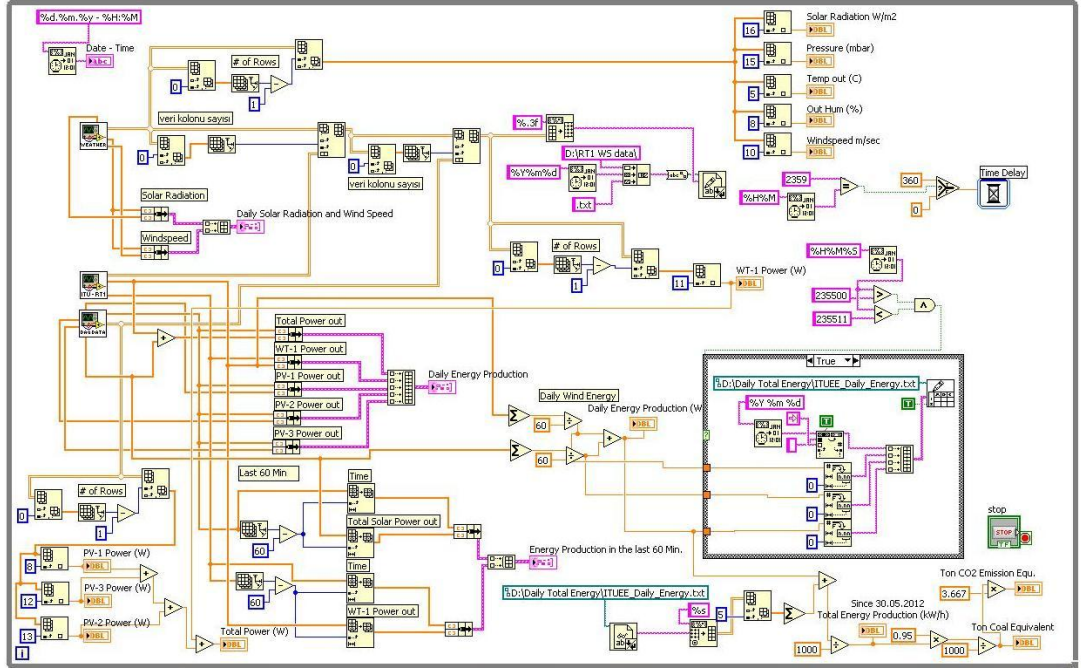
No	Veri adı	No	Veri adı	No	Veri adı
1	Mİ Gün	22	Mİ İç işba noktası	43	RT-1 Şebeke durumu
2	Mİ Ay	23	Mİ İç ısı	44	RT-1 Sistem durumu
3	Mİ Yıl	24	RT-1 Yıl	45	FV Yıl
4	Mİ Saat	25	RT-1 Ay	46	FV Ay
5	Mİ Dakika	26	RT-1 Gün	47	FV Gün
6	Mİ Dış Sıcaklık	27	RT-1 Saat	48	FV Saat
7	Mİ En. yük. sıc.	28	RT-1 Dakika	49	FV Dakika
8	Mİ En düş. sıc	29	RT-1 Enerji	50	FV Saniye
9	Mİ Dış nem.	30	RT-1 Gerilim	51	FV-1 Akım
10	Mİ İşba noktası (Dew point)	31	RT-1 DC bara gerilimi	52	FV-1 Gerilim
11	Mİ Rüzgar hızı	32	RT-1 Faz-toprak gerilimi	53	FV-1 Güç
12	Mİ Rüzgar yönü	33	RT-1 Akım	54	FV-2 Akım
13	Mİ Rüzgar miktarı	34	RT-1 Güç	55	FV-3 Akım
14	Mİ En yüksek hız	35	RT-1 Şebeke frekansı	56	FV Voltaj
15	Mİ En yük. yön	36	RT-1 Devir/dakika	57	FV-2 Güç
16	Mİ Basınç	37	RT-1 Rüzgar hızı(ref)	58	FV-3 Güç
17	Mİ Solar ışınım	38	RT-1 Akım	59	RT-1 Akım
18	Mİ Solar enerji	39	RT-1 T1	60	RT-1 Gerilim
19	Mİ En yüksek solar enerji	40	RT-1 T2	61	RT-1 Güç
20	Mİ İç sıcaklık	41	RT-1 T3		
21	Mİ İç nem	42	RT-1 Türbin durumu		

Ön panelde gösterilmesi istenen meteoroloji istasyonundan gelen anlık Solar Radiation (solar radyasyon), Pressure (basınç), Temp out (dış ortam sıcaklığı), Hum out (dış ortam nem oranı), Wind speed (rüzgar hızı) ve İTÜ RT-1 ile İTÜ FV-1, FV-2, FV-3'den gelen ayrı ayrı ve toplam anlık güç verileri ayıklanarak ön panele gönderilmektedir.

Günlük üretilen toplam enerji miktarı sürekli olarak hesaplanmakta ve ön panelde anlık olarak gösterilmektedir. Ayrıca kaydedilen günlük toplam enerji miktarı kullanılarak, sistemin kurulduğu günden beri ürettiği toplam enerji ve buna bağlı olarak sistemin atmosfere atılmasına mani olduğu CO<sub>2</sub> miktarı ile sistemde üretilen enerjinin ton kömür eşdeğeri hesaplanmakta ve anlık olarak gösterilmek üzere ön panele gönderilmektedir.

Ön panel'de günlük olarak değişimlerinin grafiklendirilmesini sağlamak üzere İTÜ RT-1 Verileri SubVI'dan gönderilen günlük İTÜ RT-1 güç verisi serisi ve DAQ Veri

Kayıt subVI gönderilen günlük İTÜ FV-1, FV-2 ve FV-3 güç verisi serisi ön panele gönderilmektedir. Bu serilerdeki son 60 veri ayıklanarak sistemlerdeki son 60 dakikalık değişimin gösterilmesini sağlamak için ayrıca ön panele gönderilmektedir. Meteoroloji İstasyonu Verileri SubVI'ından gönderilen günlük Solar Radiation, Wind Speed veri serileri de birlikte grafiklendirilmek üzere ön panele gönderilmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI blok diyagramı görünümü.

### 5.2.1 Meteoroloji istasyonu verilerinin LabVIEW ile toplanması

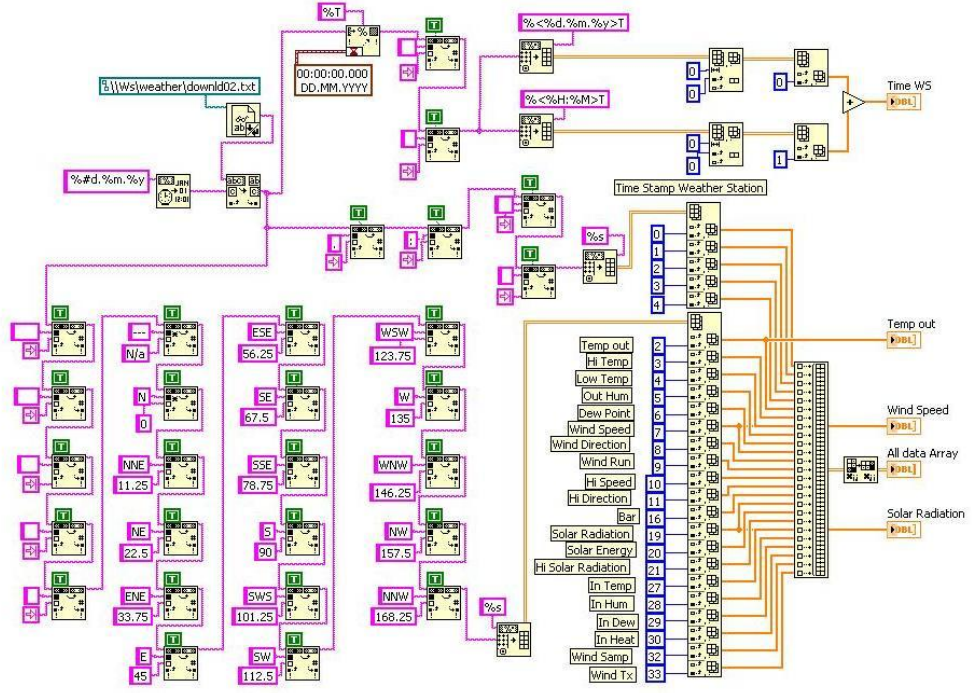
Weatherlink yazılımı ile Vantage Pro-2 konsoluna gelen veriler bilgisayara aktarılıp text dosyası olarak kaydedilmektedir (Şekil 5.2). Weatherlink yazılımı 60 saniye örnekleme periyoduyla, sıcaklık, en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, en yüksek rüzgar şiddeti, ortalama yön, basınç, yağmur, solar radyasyon, en yüksek solar radyasyon ve UV indeksi işaretlerini dosyaya kaydetmektedir. Dosya son 48 saatlik verileri içermektedir.

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	wind Dir	wind Run	Hi Speed	Hi Dir	wind Chll	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Inde
5.03.12	0:01	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	SW	0.00	1.8	SW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:02	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.3	WSW	0.08	6.3	WSW	1.2	2.3	1.2	-0.9	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:03	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	SW	0.05	4.9	SW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:04	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	SW	0.05	5.8	SW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:05	2.4	2.4	2.4	91	1.1	2.2	SW	0.13	6.3	SW	0.1	2.3	0.0	-2.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:06	2.4	2.4	2.4	91	1.1	3.1	SW	0.19	6.3	SW	-0.7	2.3	-0.8	-2.8	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:07	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	WSW	0.05	4.9	WSW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:08	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.3	WSW	0.08	6.3	WSW	1.2	2.3	1.2	-0.9	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:09	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	WSW	0.05	3.6	WSW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:10	2.4	2.4	2.4	91	1.1	2.2	WSW	0.13	5.4	WSW	0.1	2.3	0.0	-2.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:11	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.8	WSW	0.11	6.7	WSW	0.6	2.3	0.5	-1.6	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:12	2.3	2.4	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	6.9	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:13	2.3	2.3	2.3	91	1.0	1.8	WSW	0.11	4.9	WSW	0.5	2.3	0.4	-1.7	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:14	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.4	WSW	0.03	3.1	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:15	2.3	2.3	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	6.8	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:16	2.3	2.3	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	8.0	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:17	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	WSW	0.00	1.3	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:18	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.2	2.2	0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:19	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:20	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:21	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:22	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:23	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:24	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:25	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.4	WSW	0.03	8.0	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:26	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:27	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.4	WSW	0.03	4.5	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:28	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.4	WSW	0.03	4.5	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:29	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	2.7	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:30	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	2.2	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:31	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:32	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:33	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:34	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:35	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:36	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:37	2.5	2.5	2.4	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:38	2.5	2.5	2.4	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:39	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:40	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:41	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:42	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:43	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.1	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:44	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:45	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:46	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:47	2.5	2.5	2.5	90	1.0	2.2	WSW	0.13	6.6	WSW	0.2	2.4	0.2	-1.9	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:48	2.5	2.5	2.5	90	1.0	1.8	WSW	0.11	4.9	WSW	0.7	2.4	0.7	-1.4	1006.0	0.20	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:49	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	1.8	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:50	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.
5.03.12	0:51	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.

Şekil 5.2 : Weatherlink yazılımı günlük kayıt text dosyası.

Bu kaydedilen text dosyası Meteoroloji İstasyonu Verileri subVI (Şekil 5.3) bölümünde okunmaktadır. Program, dosyayı okuduktan sonra, ilk olarak son 48 saatlik veriler içinden o güne ait olan verileri ayıklamaktadır. Dosyadaki veriler içerisinde rüzgar yön adlarına göre verilen rüzgar yönü bilgisi derece olarak çevrildikten sonra dosya içerisindeki tüm verilerden gerekli olanları seçilmektedir. Seçilen tüm verilerin bulunduğu dizi, bütün sistemlerin verilerinin toplandığı Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI'na gönderilmek üzere Meteoroloji İstasyonu subVI çıkışına yollanmaktadır.

Günlük veriler içinde bulunan tarih ve saat verileri daha sonra Ana VI ön panelindeki grafiklendirmelerde kullanılmak üzere LabVIEW'in kullandığı zaman formatına çevrilmekte ve Temp out (dış sıcaklık), Wind Speed (rüzgar hızı) ve Solar Radiation (solar ışınım) bilgileri ile birlikte tüm verilerin toplandığı Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI'na gönderilmek üzere Meteoroloji İstasyonu Verileri subVI çıkışına yollanmaktadır.



Şekil 5.3 : Meteoroloji İstasyonu Verileri subVI blok diyagramı görünümü.

### 5.2.2 Rüzgar enerjisi üretim sistemleri verilerinin LabVIEW ile toplanması

Skyview yazılımı ile İTÜ RT-1'den gelen veriler bilgisayara aktarılarak <yılaygün>.txt (örnek: 20120320.txt) dosyası adı altında kaydedilmektedir ve dosya her gece saat 00:00'da yenilenmektedir. Skyview yazılımı 60 saniye örnekleme periyoduyla, güç, voltaj, akım, RPM, rüzgar hızı, şebeke frekansı işaretlerini dosyaya kaydetmektedir (Şekil 5.4).

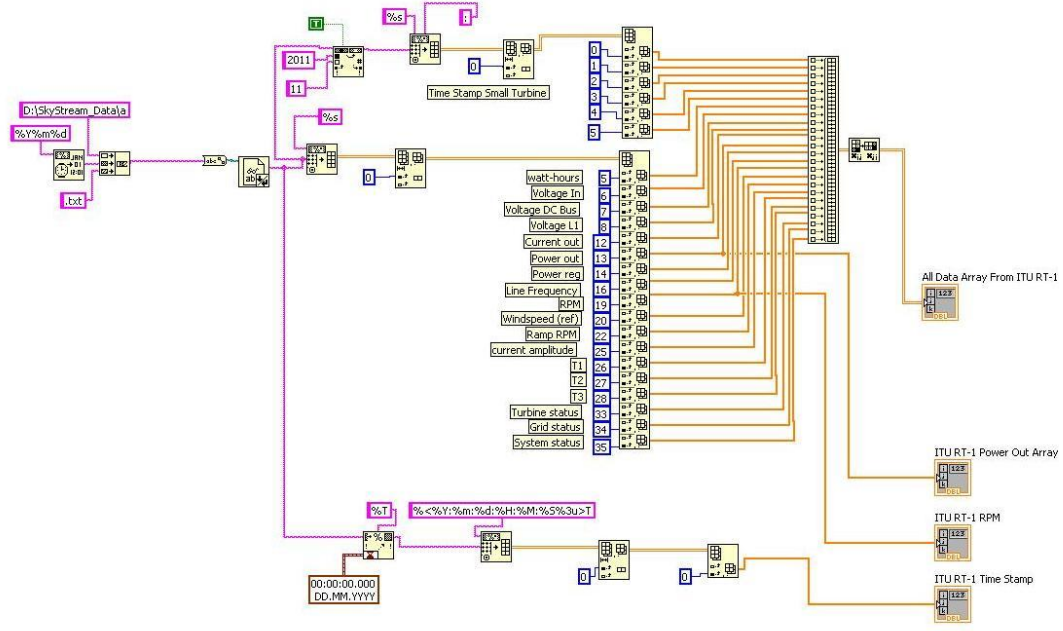
Log Time	SN#	Software rev	opverson	Inv Time	watt-hours	Voltage In	Voltage DC Bus	voltage L1	Voltage L2	volta				
2011.11.25:00:00:26.500	10104418.00		202.00	300.00	1322146420.00	1960716.00	225.90	372.60	230.40	0.00	152.00	3.70	832.00	829.0
2011.11.25:00:01:26.781	10104418.00		202.00	300.00	1322146480.00	1960720.00	225.90	371.10	227.30	0.00	144.00	1.63	357.00	364.0
2011.11.25:00:02:26.890	10104418.00		202.00	300.00	1322146540.00	1960724.00	160.40	364.00	223.30	0.00	107.00	1.35	287.00	293.0
2011.11.25:00:03:27.331	10104418.00		202.00	300.00	1322146601.00	1960728.00	95.90	362.60	221.90	0.00	62.00	0.47	27.00	26.00
2011.11.25:00:04:27.671	10104418.00		202.00	300.00	1322146661.00	1960734.00	125.30	367.50	224.00	0.00	82.00	0.68	129.00	122.0
2011.11.25:00:05:27.718	10104418.00		202.00	300.00	1322146721.00	1960734.00	56.00	307.50	222.20	0.00	25.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:06:27.843	10104418.00		202.00	300.00	1322146781.00	1960736.00	206.90	368.60	226.40	0.00	138.00	2.81	618.00	627.0
2011.11.25:00:07:28.171	10104418.00		202.00	300.00	1322146841.00	1960742.00	221.40	371.10	232.00	0.00	150.00	3.50	792.00	790.0
2011.11.25:00:08:28.390	10104418.00		202.00	300.00	1322146902.00	1960748.00	106.00	372.00	227.50	0.00	69.00	0.50	49.00	53.00
2011.11.25:00:09:28.734	10104418.00		202.00	300.00	1322146962.00	1960749.00	124.30	370.10	227.80	0.00	79.00	0.48	41.00	48.00
2011.11.25:00:10:29.343	10104418.00		202.00	300.00	1322147022.00	1960751.00	65.10	371.20	225.10	0.00	42.00	0.49	0.00	0.00
2011.11.25:00:11:29.437	10104418.00		202.00	300.00	1322147083.00	1960753.00	166.80	368.00	225.50	0.00	110.00	1.43	308.00	307.0
2011.11.25:00:12:29.718	10104418.00		202.00	300.00	1322147143.00	1960754.00	116.00	362.10	223.30	0.00	72.00	0.47	27.00	32.00
2011.11.25:00:13:29.984	10104418.00		202.00	300.00	1322147203.00	1960757.00	56.10	314.70	221.50	0.00	25.00	0.04	0.00	0.00
2011.11.25:00:14:30.000	10104418.00		202.00	300.00	1322147263.00	1960757.00	52.80	306.90	221.50	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:15:30.031	10104418.00		202.00	300.00	1322147323.00	1960757.00	49.60	306.30	221.30	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
2011.11.25:00:16:30.375	10104418.00		202.00	300.00	1322147384.00	1960759.00	276.50	368.90	237.80	0.00	196.00	10.74	2486.00	2627.0
2011.11.25:00:17:30.812	10104418.00		202.00	300.00	1322147444.00	1960777.00	205.00	372.10	228.40	0.00	138.00	3.03	674.00	669.0
2011.11.25:00:18:30.875	10104418.00		202.00	300.00	1322147504.00	1960777.00	69.40	308.40	222.80	0.00	36.00	0.10	0.00	0.00
2011.11.25:00:19:30.921	10104418.00		202.00	300.00	1322147564.00	1960783.00	203.80	367.50	226.00	0.00	135.00	2.57	565.00	580.0
2011.11.25:00:20:31.437	10104418.00		202.00	300.00	1322147625.00	1960793.00	120.50	373.30	228.70	0.00	78.00	0.58	94.00	102.0
2011.11.25:00:21:32.000	10104418.00		202.00	300.00	1322147685.00	1960794.00	72.80	372.30	228.90	0.00	45.00	0.50	0.00	0.00
2011.11.25:00:22:32.390	10104418.00		202.00	300.00	1322147746.00	1960797.00	156.40	374.30	230.00	0.00	103.00	1.10	240.00	247.0
2011.11.25:00:23:32.593	10104418.00		202.00	300.00	1322147806.00	1960801.00	99.10	365.50	223.70	0.00	65.00	0.49	34.00	34.00
2011.11.25:00:24:33.171	10104418.00		202.00	300.00	1322147866.00	1960803.00	110.00	368.20	223.70	0.00	72.00	0.52	71.00	68.00
2011.11.25:00:25:33.656	10104418.00		202.00	300.00	1322147927.00	1960803.00	53.60	308.50	222.80	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:26:34.031	10104418.00		202.00	300.00	1322147987.00	1960803.00	49.20	307.70	222.40	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:27:34.296	10104418.00		202.00	300.00	1322148047.00	1960803.00	70.00	309.30	223.50	0.00	26.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:28:34.421	10104418.00		202.00	300.00	1322148108.00	1960806.00	133.40	367.20	224.60	0.00	87.00	0.77	153.00	150.0
2011.11.25:00:29:34.531	10104418.00		202.00	300.00	1322148168.00	1960812.00	165.00	368.10	226.00	0.00	110.00	1.43	309.00	306.0
2011.11.25:00:30:34.578	10104418.00		202.00	300.00	1322148228.00	1960815.00	137.70	363.90	223.50	0.00	91.00	0.90	186.00	177.0
2011.11.25:00:31:34.843	10104418.00		202.00	300.00	1322148288.00	1960816.00	56.40	308.00	222.40	0.00	26.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:32:35.171	10104418.00		202.00	300.00	1322148348.00	1960816.00	66.20	309.10	223.10	0.00	40.00	0.11	0.00	0.00
2011.11.25:00:33:35.562	10104418.00		202.00	300.00	1322148409.00	1960816.00	48.20	316.60	228.70	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:34:35.578	10104418.00		202.00	300.00	1322148469.00	1960816.00	46.00	317.00	229.30	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:35:35.796	10104418.00		202.00	300.00	1322148529.00	1960816.00	66.20	316.80	229.10	0.00	40.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:36:36.171	10104418.00		202.00	300.00	1322148589.00	1960816.00	120.40	325.60	223.50	0.00	75.00	0.08	4.00	82.00
2011.11.25:00:37:36.421	10104418.00		202.00	300.00	1322148650.00	1960818.00	180.60	365.70	226.00	0.00	120.00	1.91	417.00	415.0
2011.11.25:00:38:36.531	10104418.00		202.00	300.00	1322148710.00	1960824.00	56.00	310.30	224.00	0.00	27.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:39:36.994	10104418.00		202.00	300.00	1322148770.00	1960824.00	52.40	310.60	224.40	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
2011.11.25:00:40:37.078	10104418.00		202.00	300.00	1322148830.00	1960824.00	48.30	310.00	224.40	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:41:37.203	10104418.00		202.00	300.00	1322148890.00	1960824.00	46.00	308.90	223.10	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
2011.11.25:00:42:37.500	10104418.00		202.00	300.00	1322148951.00	1960824.00	44.70	308.70	223.10	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
2011.11.25:00:43:37.796	10104418.00		202.00	300.00	1322149011.00	1960824.00	43.80	310.30	224.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
2011.11.25:00:44:38.343	10104418.00		202.00	300.00	1322149072.00	1960824.00	43.50	310.20	224.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
2011.11.25:00:45:38.671	10104418.00		202.00	300.00	1322149132.00	1960824.00	43.30	310.60	224.20	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:46:39.234	10104418.00		202.00	300.00	1322149192.00	1960824.00	43.30	317.40	229.50	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:47:39.375	10104418.00		202.00	300.00	1322149253.00	1960824.00	44.70	316.70	229.10	0.00	17.00	0.09	0.00	0.00
2011.11.25:00:48:39.718	10104418.00		202.00	300.00	1322149313.00	1960827.00	204.00	378.60	233.80	0.00	137.00	2.69	611.00	612.0
2011.11.25:00:49:34.000	10104418.00		202.00	300.00	1322149373.00	1960833.00	155.80	372.40	227.50	0.00	103.00	1.19	259.00	252.0
2011.11.25:00:50:40.218	10104418.00		202.00	300.00	1322149433.00	1960834.00	58.50	311.20	224.60	0.00	27.00	0.08	0.00	0.00
2011.11.25:00:51:40.640	10104418.00		202.00	300.00	1322149494.00	1960835.00	57.30	310.70	224.60	0.00	33.00	0.12	0.00	0.00
2011.11.25:00:52:40.843	10104418.00		202.00	300.00	1322149554.00	1960840.00	215.20	369.80	228.40	0.00	144.00	3.22	718.00	713.0

Şekil 5.4 : Skyview yazılımı günlük veri kayıt dosyası.

Bu kaydedilen text dosyası İTÜ RT-1 Verileri subVI (Şekil 5.5) bölümünde okunmakta ve daha sonra dosya içerisindeki tüm verilerden gerekli olanları seçilmektedir. Seçilen tüm verilerin bulunduğu dizi, bütün sistemlerin verilerinin toplandığı Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI'na gönderilmek üzere İTÜ RT-1 Verileri subVI çıkışına yollanmaktadır.

Günlük veriler içinde bulunan tarih ve saat verileri daha sonra Ana VI ön panelindeki grafiklendirmelerde kullanılmak üzere LabVIEW'in kullandığı zaman formatına çevrilmekte ve Power out (üretilen enerji) ve RPM (devir hızı) bilgileri ile birlikte tüm verilerin toplandığı Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI'na gönderilmek üzere İTÜ RT-1 Verileri subVI çıkışına yollanmaktadır.





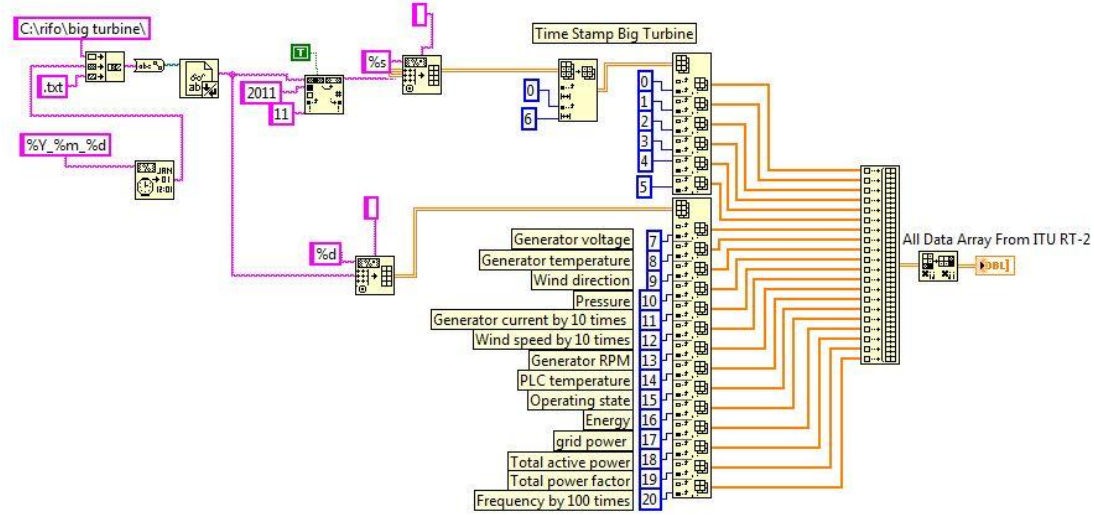
Şekil 5.5 : İTÜ RT-1 Verileri subVI blok diyagramı görünümü.

İTÜ RT-2 ise geçici olarak sökülmiş durumdadır. Tekrar kurulumu yapıldığında, sökülmeden önce olduğu gibi kendi yazılımını kullanarak verilerini bilgisayara aktarabilecek olup, <yılaygün>.txt (örnek: 20120320.txt) dosyası adı altında kaydedilebilecektir ve yazılım çalıştığında dosya her gece saat 00.00'da yenilenmektedir. Yazılımı 60 saniye örnekleme periyoduyla, güç, voltaj, akım, RPM, rüzgar hızı işaretlerini dosyaya kaydetmektedir (Şekil 5.6).

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind CH11	Heat Index	Thw Index	THSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	Solar Inde	UV Inde
5.03.12	0:01	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	SW	0.00	1.8	SW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:02	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.8	SW	0.11	3.6	SW	2.7	2.4	0.6	-1.5	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:03	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	SW	0.05	4.9	SW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:04	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	SW	0.05	5.8	SW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:05	2.4	2.4	2.4	91	1.1	2.2	SW	0.13	6.3	SW	0.1	2.3	0.0	-2.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:06	2.4	2.4	2.4	91	1.1	3.1	SW	0.19	6.3	SW	-0.7	2.3	-0.8	-2.8	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:07	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	WSW	0.05	4.9	WSW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:08	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.3	WSW	0.08	6.3	WSW	1.2	2.3	1.2	-0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:09	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.9	WSW	0.05	3.6	WSW	2.1	2.3	2.0	-0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:10	2.4	2.4	2.4	91	1.1	2.2	WSW	0.13	5.4	WSW	0.1	2.3	0.0	-2.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:11	2.4	2.4	2.4	91	1.1	1.8	WSW	0.11	6.7	WSW	0.6	2.3	0.5	-1.6	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:12	2.3	2.3	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	8.9	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:13	2.3	2.3	2.3	91	1.0	1.8	WSW	0.11	4.9	WSW	0.5	2.3	0.4	-1.7	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:14	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.4	WSW	0.03	3.1	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:15	2.3	2.3	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	5.8	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:16	2.3	2.3	2.3	91	1.0	2.2	WSW	0.13	8.0	WSW	0.0	2.3	-0.1	-2.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:17	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	WSW	0.00	1.3	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:18	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.2	0.1	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:19	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:20	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:21	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:22	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:23	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:24	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	SW	0.00	0.0	SW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:25	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.4	WSW	0.03	8.0	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:26	2.3	2.3	2.3	91	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.3	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:27	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.4	WSW	0.03	4.5	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:28	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.4	WSW	0.03	4.5	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:29	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	2.7	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:30	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	2.2	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:31	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:32	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.3	2.3	0.2	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:33	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:34	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:35	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1005.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:36	2.4	2.4	2.4	91	1.1	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.4	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:37	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:38	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:39	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:40	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:41	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:42	2.5	2.5	2.5	91	1.2	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:43	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.1	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:44	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:45	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:46	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:47	2.5	2.5	2.5	90	1.0	2.2	WSW	0.13	7.6	WSW	0.2	2.4	0.2	-1.9	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:48	2.5	2.5	2.5	90	1.0	1.8	WSW	0.11	4.9	WSW	0.7	2.4	0.7	-1.4	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:49	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	1.8	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:50	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	
5.03.12	0:51	2.5	2.5	2.5	90	1.0	0.0	WSW	0.00	0.0	WSW	2.5	2.4	2.4	0.3	1006.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	

Şekil 5.6 : İTÜ RT-2 yazılımı günlük veri kayıt dosyası.

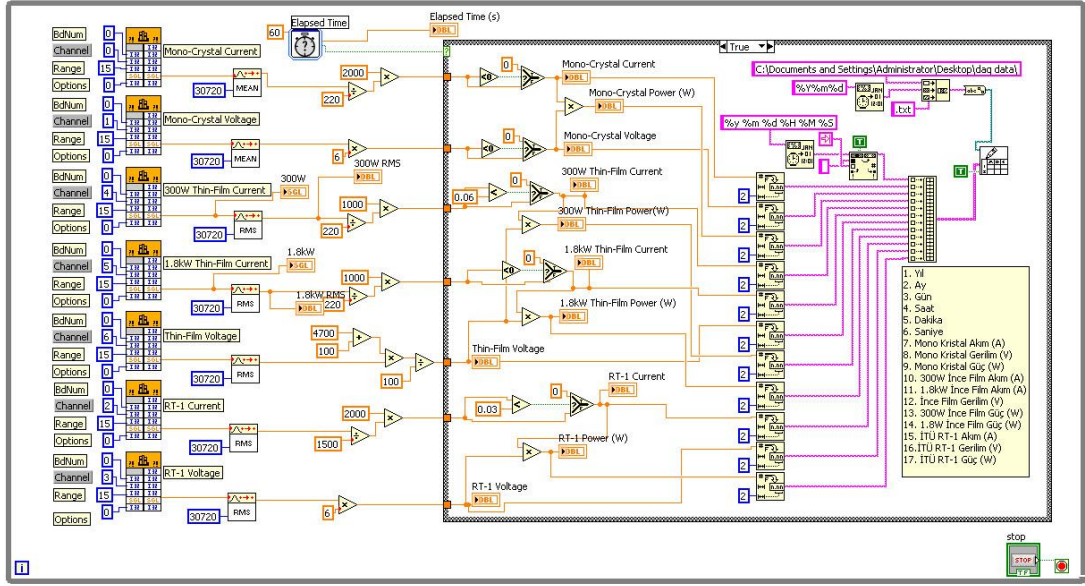
Bu kaydedilen text dosyası İTÜ RT-2 Verileri subVI bölümünde okunmaktadır. Günlük veriler içinde bulunan tarih ve saat verileri daha sonra Ana VI ön panelinde grafiklendirmelerde kullanılmak üzere LabVIEW'in kullandığı zaman formatına çevrilmekte ve dosyada bulunan tüm veriler içerisinde seçilen verilerin bulunduğu dizi ile birlikte bütün toplandığı Veri Toplama ve Değerlendirme Programı VI'na gönderilmek üzere İTÜ RT-2 Verileri subVI çıkışına yollanmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : İTÜ RT-2 Verileri subVI blok diyagramı görünümü.

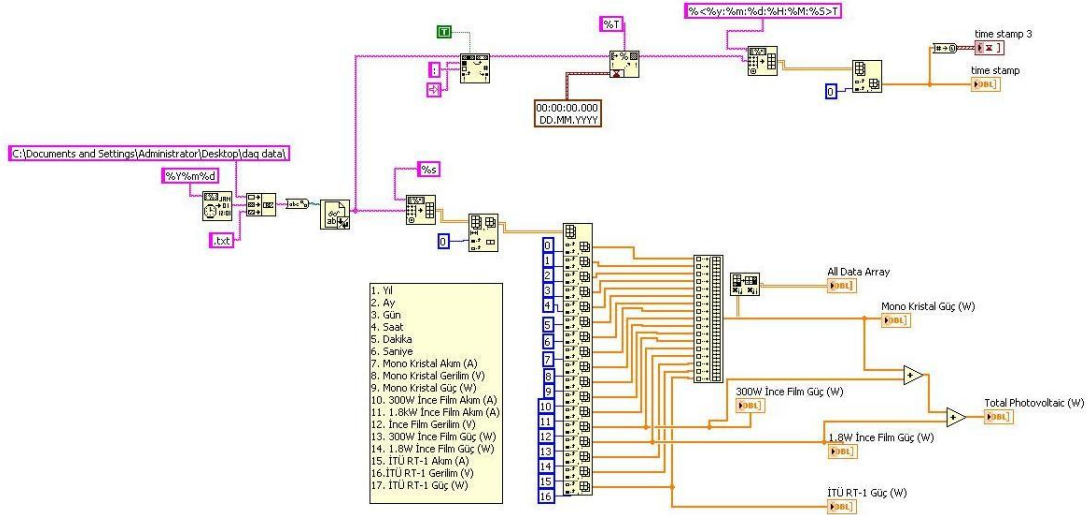
### 5.2.3 Güneş enerjisi üretim sistemleri verilerinin LabVIEW ile toplanması

Enerji Enstitüsü laboratuvarlarında bulunan mono-kristal silikon, ince-film ve ek olarak İTÜ RT-1 enerji üretim sistemleri güç üretim kablolarına bağlanmış olan akım sensörleri yardımıyla alınan veriler DAQ modülüne aktarılmaktadır. DAQ modülü yardımı ile bilgisayara iletilen veriler LabVIEW yazılımı ile değerlendirilmektedir. DAQ Veri Kayıt VI adı verilen program yardımı ile İTÜ FV-1 mono-kristal silikon, İTÜ FV-2 ve 3 ince-film ve İTÜ RT-1 rüzgar türbini enerji üretim sistemlerinin dakikalık olarak akım, gerilim ve güç değerleri gerekli çevrimler yapıldıktan sonra 60 saniye periyodu ile günlük olarak <yılaygün>.txt (örnek: 20120320.txt) dosyası adı altında kaydedilmektedir. Saniye'de 512 veri alacak şekilde ayarlanan sistem, 60 saniye içerisinde aldığı 30,720 verinin eğer verilen alternatif akım taşıyadan kablodan alınmışsa RMS'ini alarak, doğru akım taşıyan bir kablodan alınmışsa ortalamasını alarak dakikada bir kayıt yapacak olan blok'a aktarır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : DAQ Veri Kayıt subVI blok diyagramı görünümü.

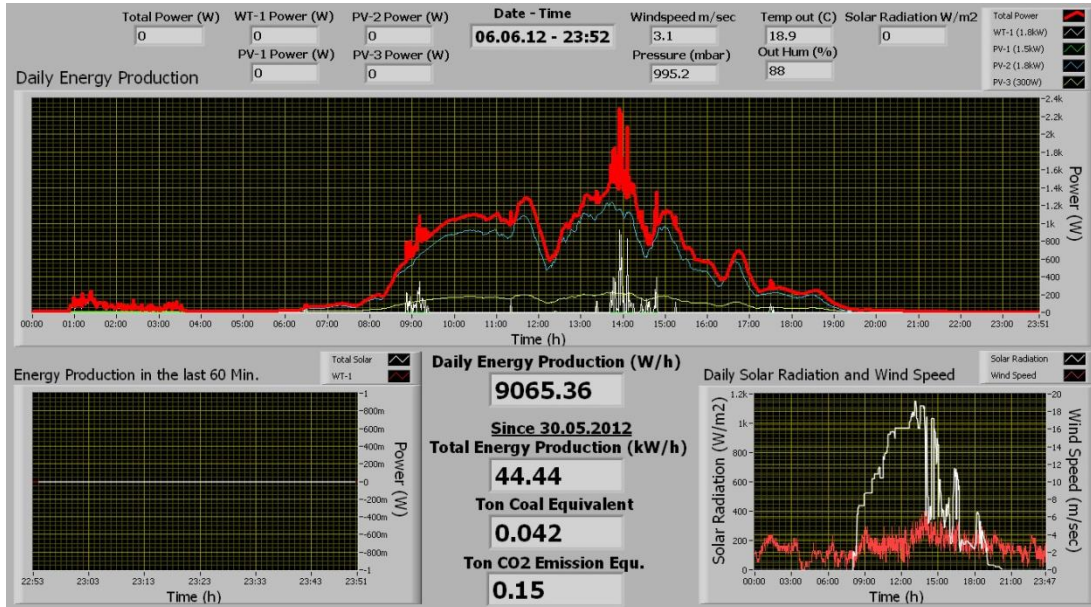
DAQ Veri Kayıt VI tarafından kaydedilen veriler, Veri Toplama ve Değerlendirme VI içerisinde bulunan DAQ Verileri SubVI tarafından okunmaktadır. Günlük veriler içinde bulunan tarih ve saat verileri daha sonra Ana VI ön panelindeki grafiklendirmelerde kullanılmak üzere LabVIEW'in kullandığı zaman formatına çevrilmekte ve okunan tüm verilerin bulunduğu dizi ile birlikte Veri Toplama ve Değerlendirme VI'na gönderilmek üzere DAQ Verileri SubVI çıkışına yollanmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : DAQ Verileri subVI blok diyagramı görünümü.

### 5.3 LABVIEW Önyüzü

Hazırlanan Veri Toplama ve Değerlendirme VI programının ön panelinde sistemin topladığı verilerden; günlük üretilen enerji miktarı (Daily Energy Production), sistemin kurulduğu günden beri üretilen toplam enerji miktarı (Total Energy Production), sistemin kurulduğu günden beri üretilen toplam enerji miktarının ton kömür eşdeğeri (Ton Coal Equivalent), sistemin kurulduğu günden beri üretilen enerjinin atmosfere atılmasına mani olduğu CO<sub>2</sub> miktarı eşdeğeri (Ton CO<sub>2</sub> Equivalent), dış sıcaklık (Temp Out), dış nem (Out Hum), basınç (Pressure), solar radyasyon (Solar Radiation), rüzgar hızı (Wind Speed), İTÜ RT-1, PV-1, PV-2, PV-3 üretilen güç miktarı (WT-1 Power, PV-1 Power, PV-2 Power, PV-3 Power), sistemin ürettiği toplam güç miktarı (Total Power) ve tarih ile saat (Date - Time) anlık olarak gösterilmektedir. Bununla beraber İTÜ RT-1, PV-1, PV-2, PV-3 güç miktarı ile toplam güç miktarının gün içerisindeki değişimleri bir grafikte birlikte çizilmektedir (Daily Energy Production). Son bir saat içerisindeki rüzgar enerji üretim sisteminden ve güneş enerjisi üretim sistemlerinden üretilen güç miktarları başka bir grafikte birlikte çizdirilmektedir (Energy Production in the last 60 minutes). Ayrıca günlük rüzgar hızı ve solar radyasyon verileri ayrı bir grafikte birlikte çizdirilmektedir (Daily Solar Radiation and Wind Speed) (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Veri Toplama ve Değerlendirme VI ön panel görünümü.

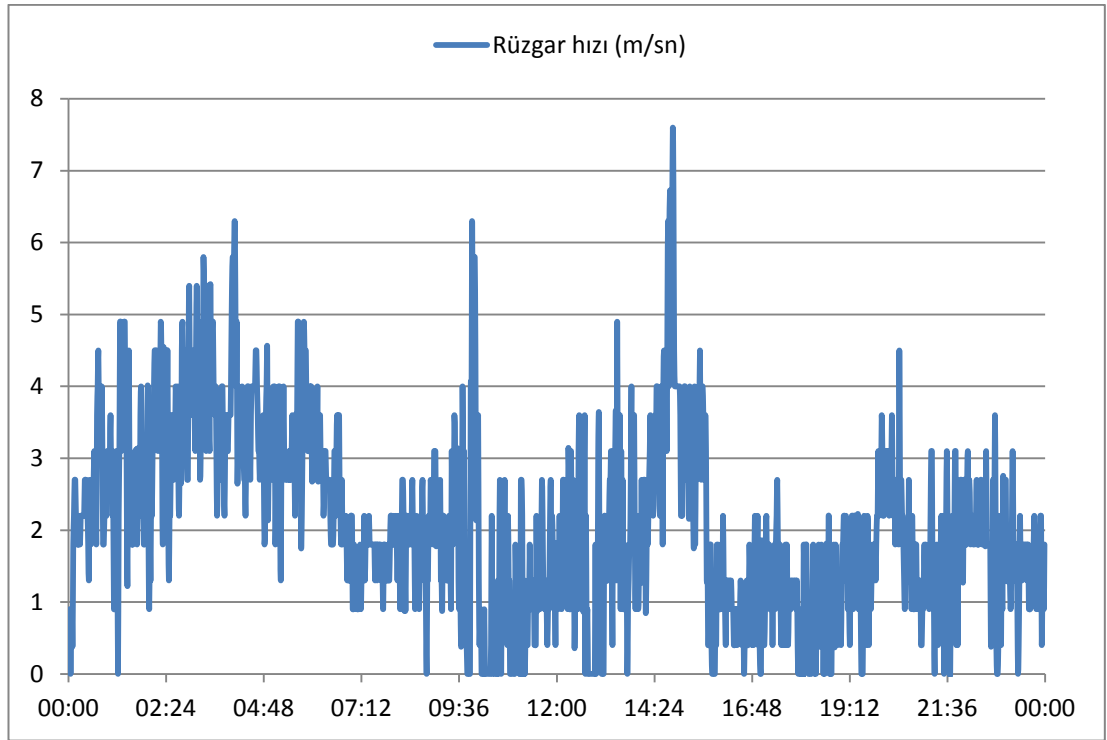
## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Yapılan Ölçüm ve Değerlendirmeler

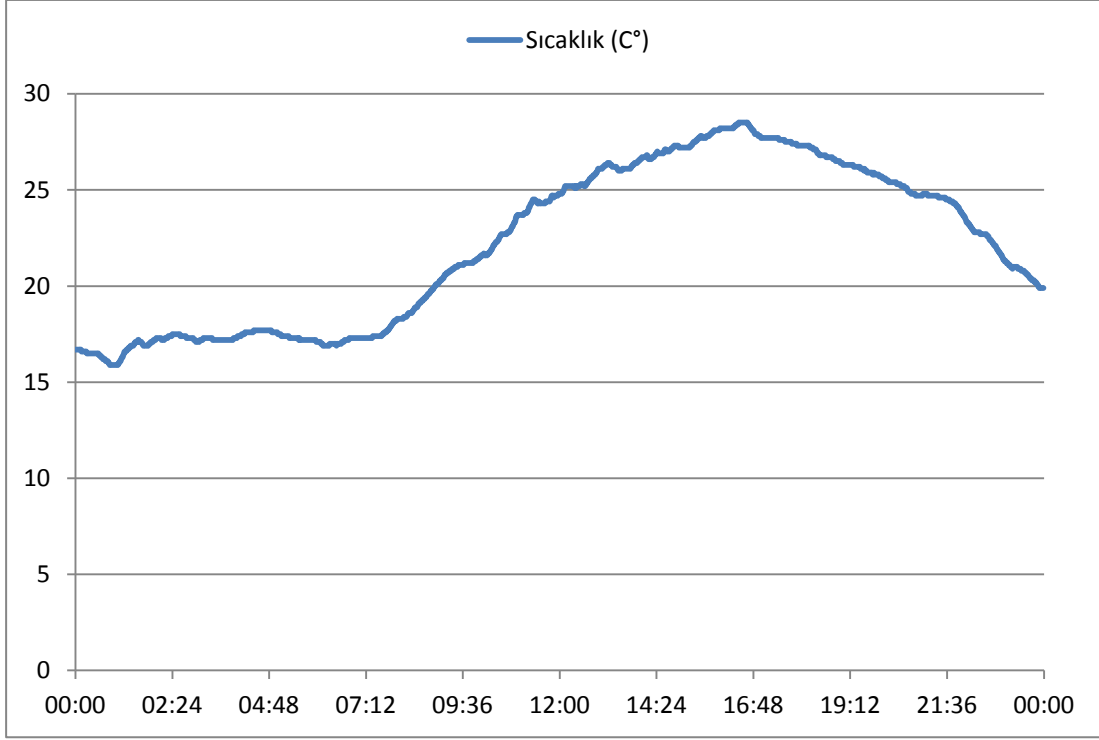
Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan veri toplama sisteminin çalışmaya başladığı 11.04.2012 tarihi ile 06.06.2012 tarihi arasında yapılan ölçümlerde İTÜ RT-1, PV-1, PV-2, PV-3 ve Meteoroloji istasyonundan bir dakikalık ortalamalarla alınan verilerin değerlendirmeleri yapılmıştır.

#### 6.1.1 Bölgenin rüzgar profili ve rüzgar enerjisi üretim profili

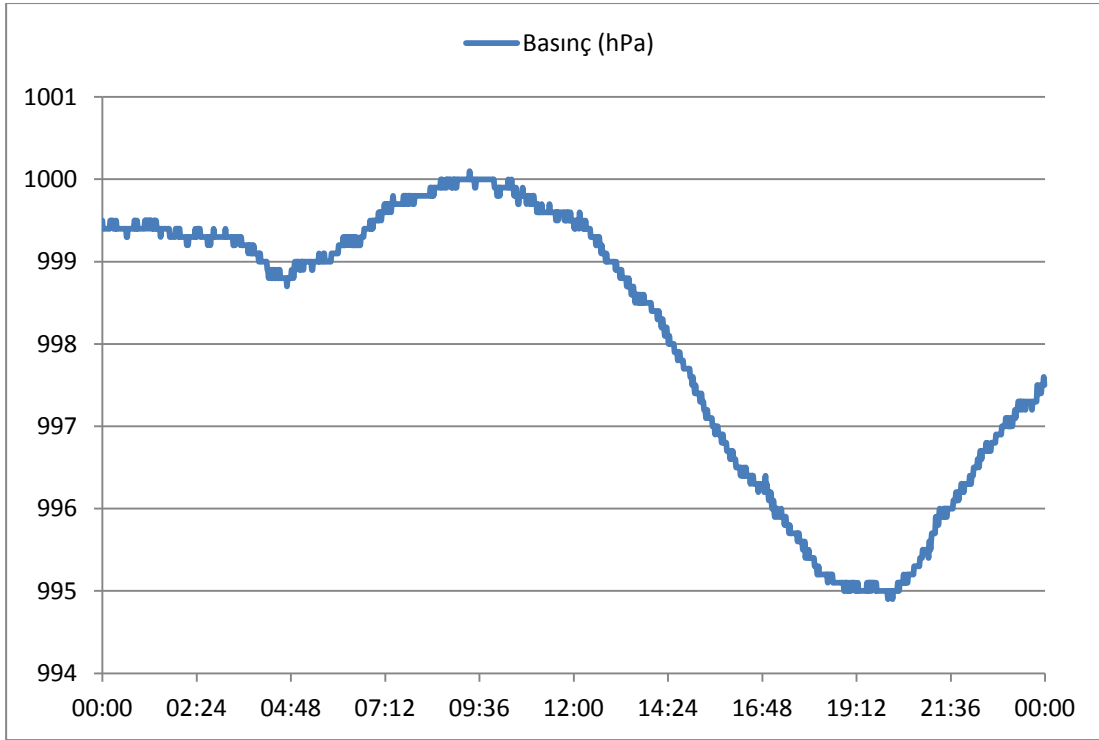
Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilerin toplanmaya başladığı 11.04.2012 tarihinden sonra rastgele seçilmiş 25.04.2012 tarihine ait sistemin meteoroloji istasyonundan aldığı rüzgar hızı, sıcaklık, basınç, nem ve buna bağlı olarak İTÜ RT-1'den alınan rotor devir hızı ve anlık güç verileri grafiklendirilmiştir.



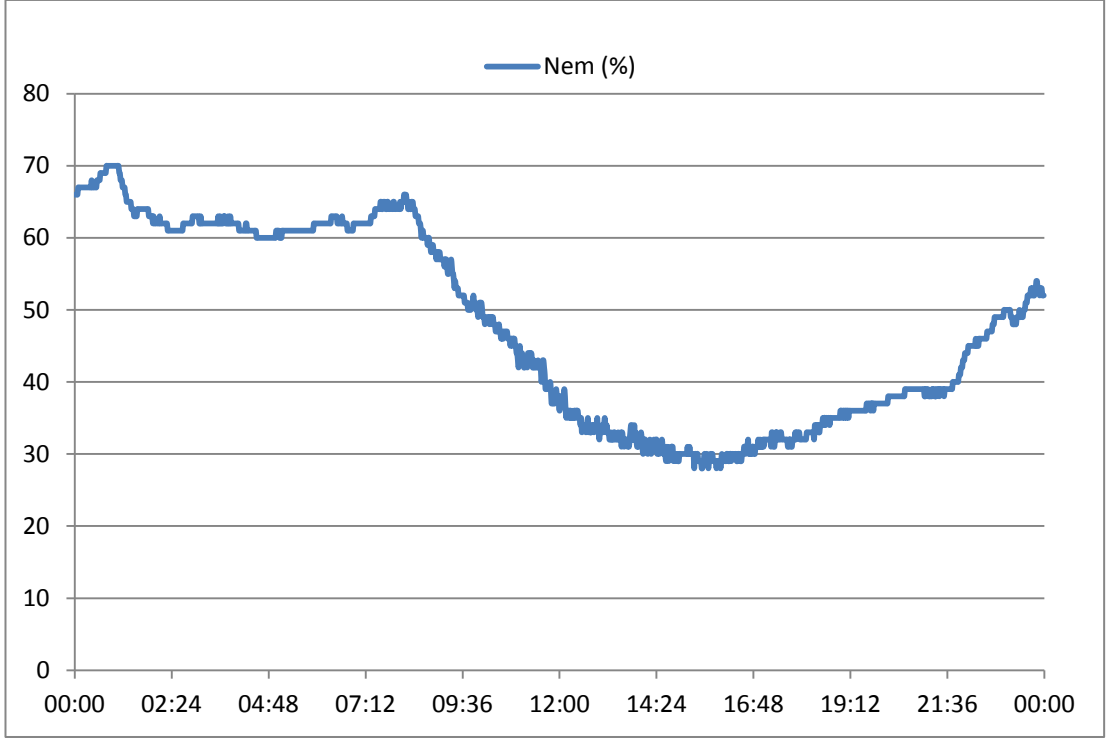
Şekil 6.1 : Zaman (saat) – Rüzgar hızı (m/sn).



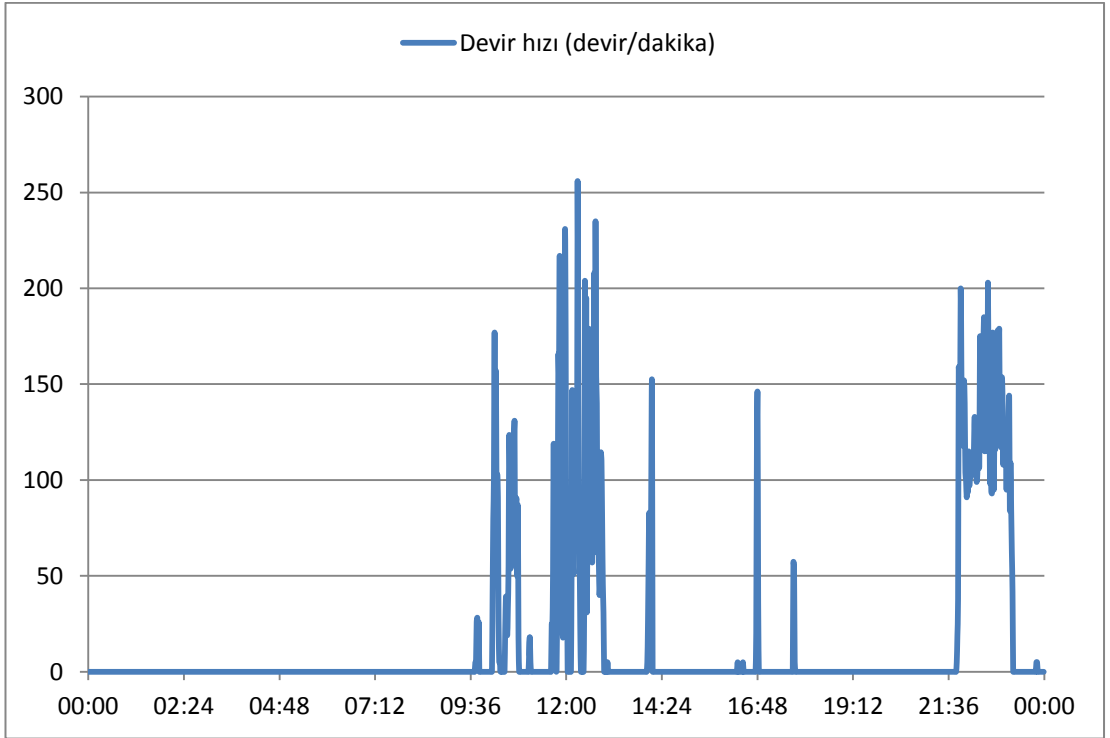
Şekil 6.2: Zaman (saat) – Sıcaklık (C°).



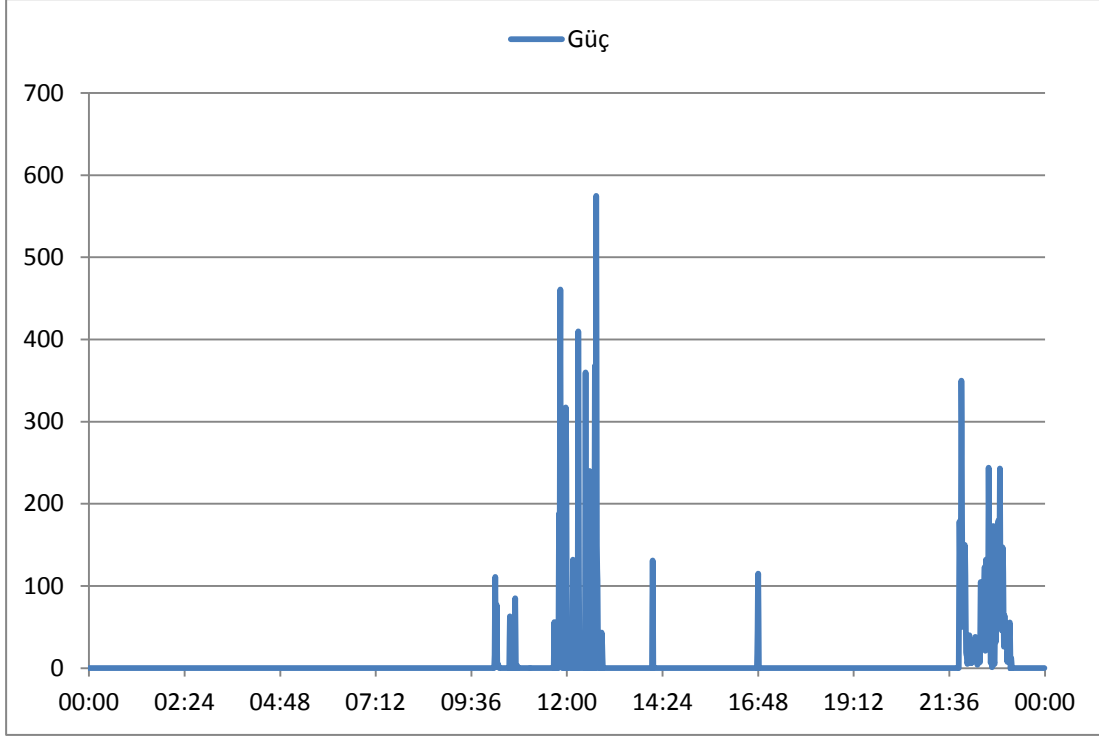
Şekil 6.3: Zaman (saat) – Basınç (hPa).



Şekil 6.4: Zaman (saat) – Nem (%).



Şekil 6.5 : Zaman (saat) – Rotor devir hızı (devir/dakika).

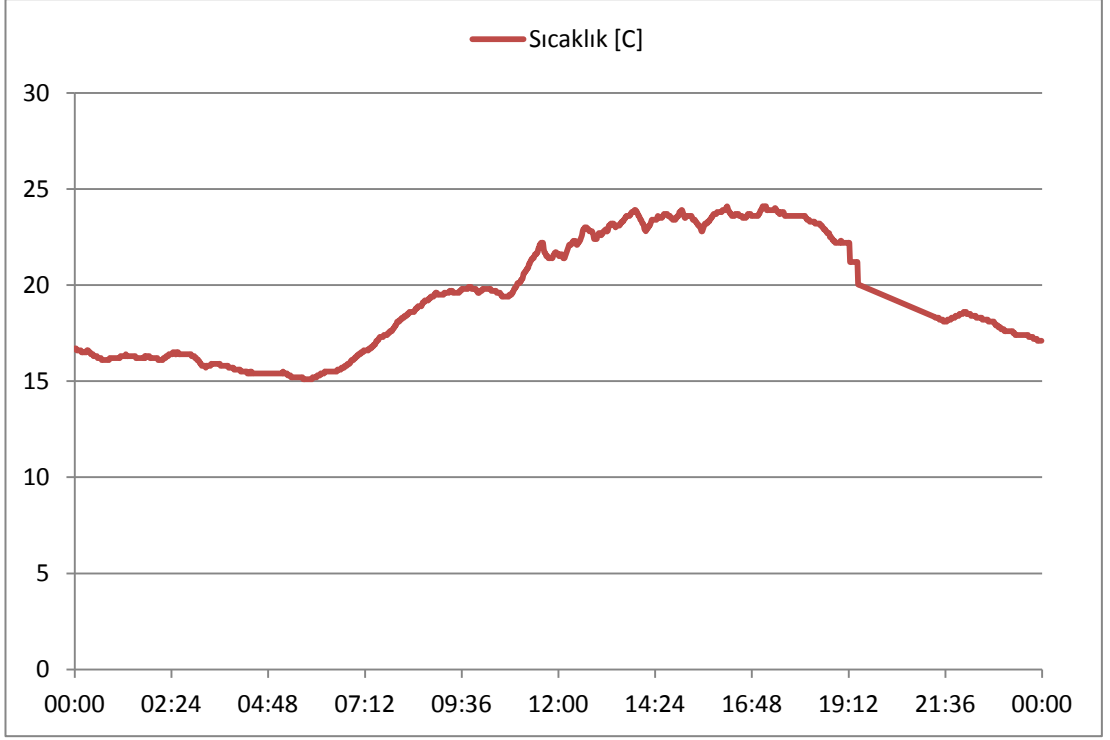


Şekil 6.6 : Zaman (saat) – güç (W).

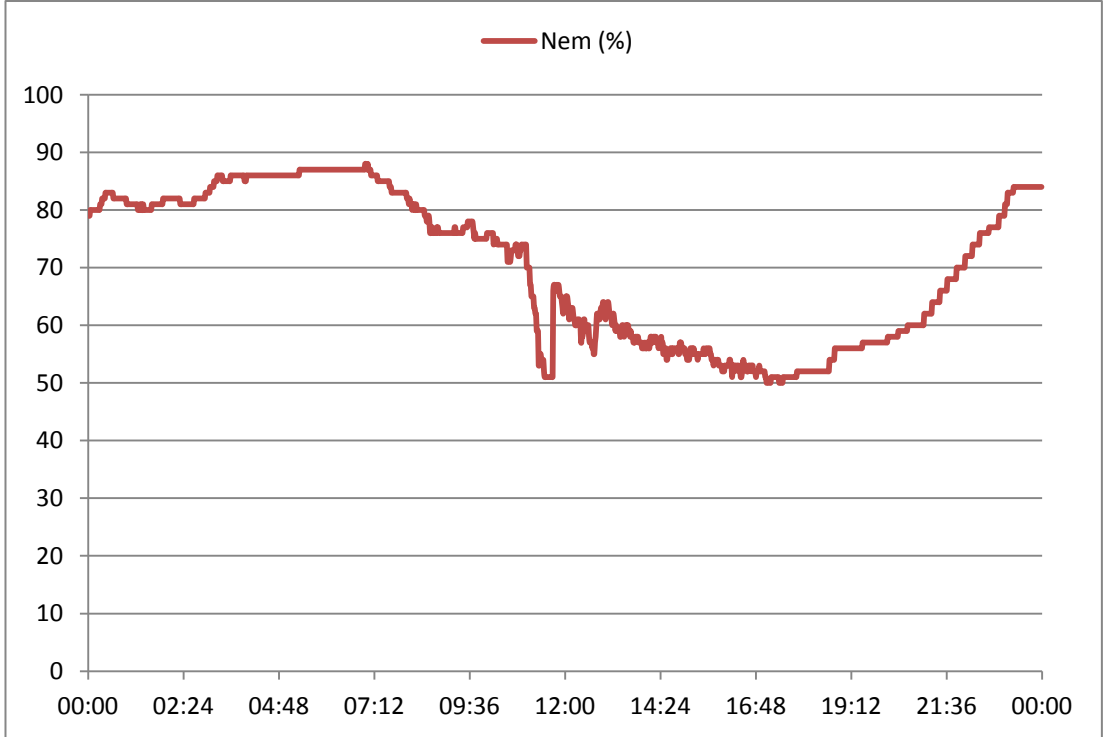
### 6.1.2 Bölgenin güneş ışıınım profili ve güneş enerjisi üretim profili

Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilerin toplanmaya başladığı 11.04.2012 tarihinden sonra rastgele seçilmiş 30.05.2012 tarihine ait sistemin meteoroloji istasyonundan aldığı sıcaklık, nem, basınç, solar radyasyon ve buna bağlı olarak İTÜ FV-1, FV-2 ve FV-3’den alınan anlık güç verileri grafikleştirilmiştir.

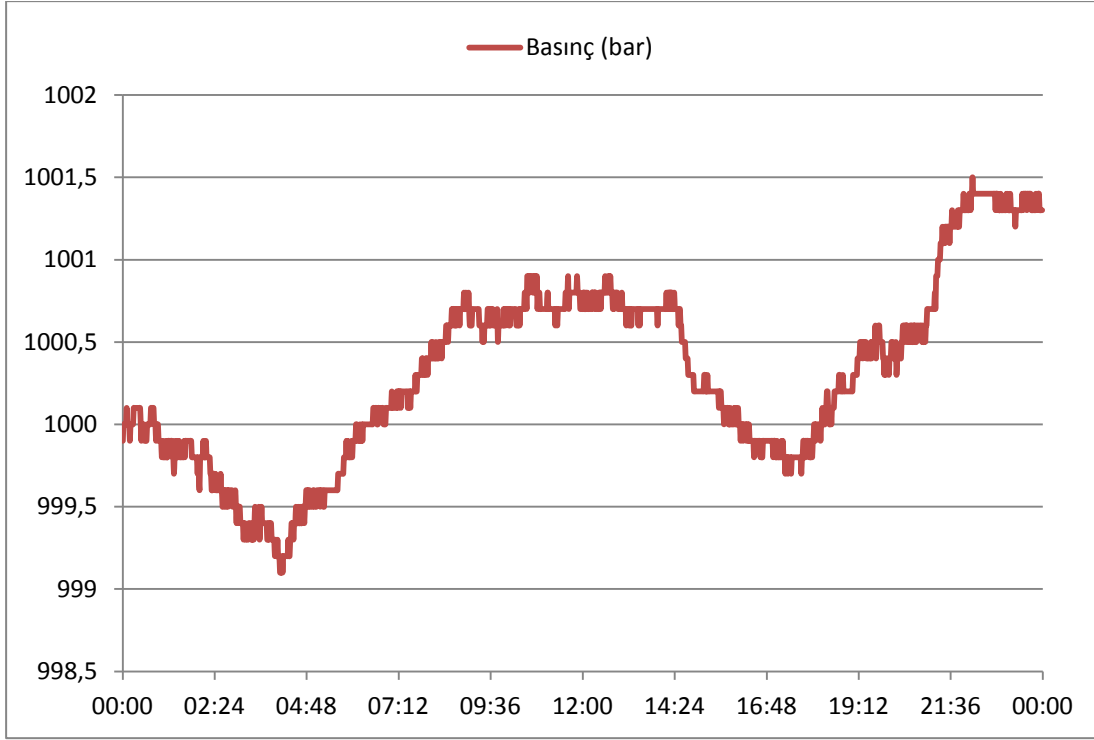




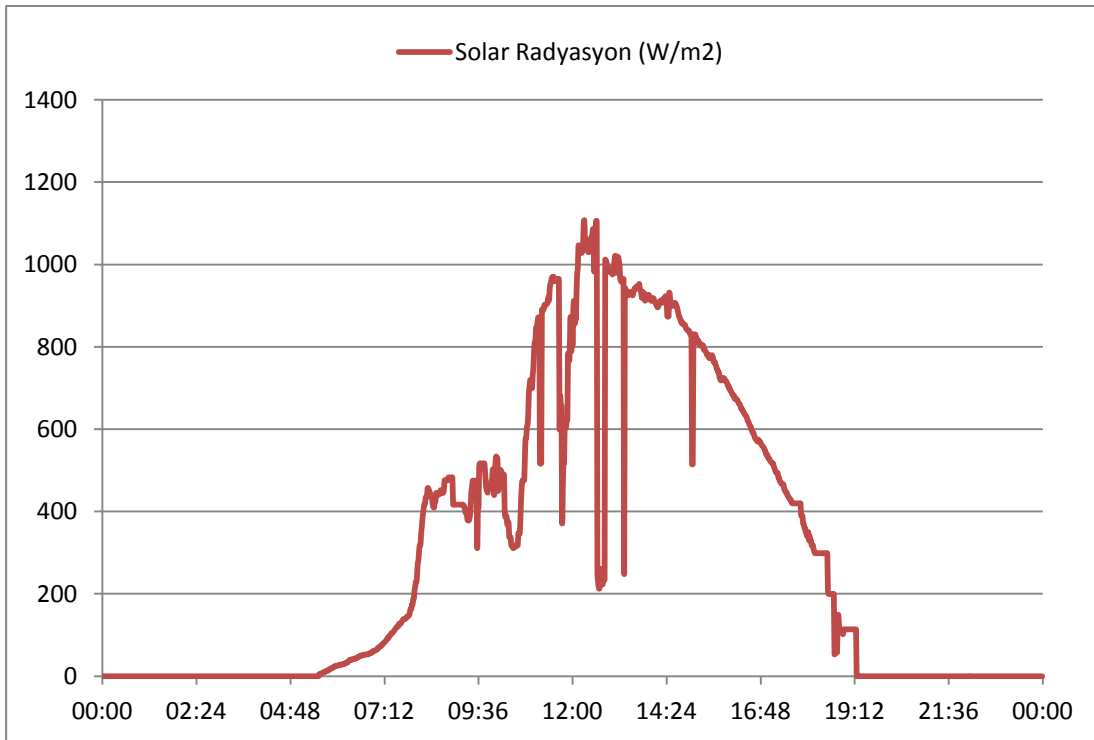
Şekil 6.7: Zaman (saat) – Sıcaklık (C°).



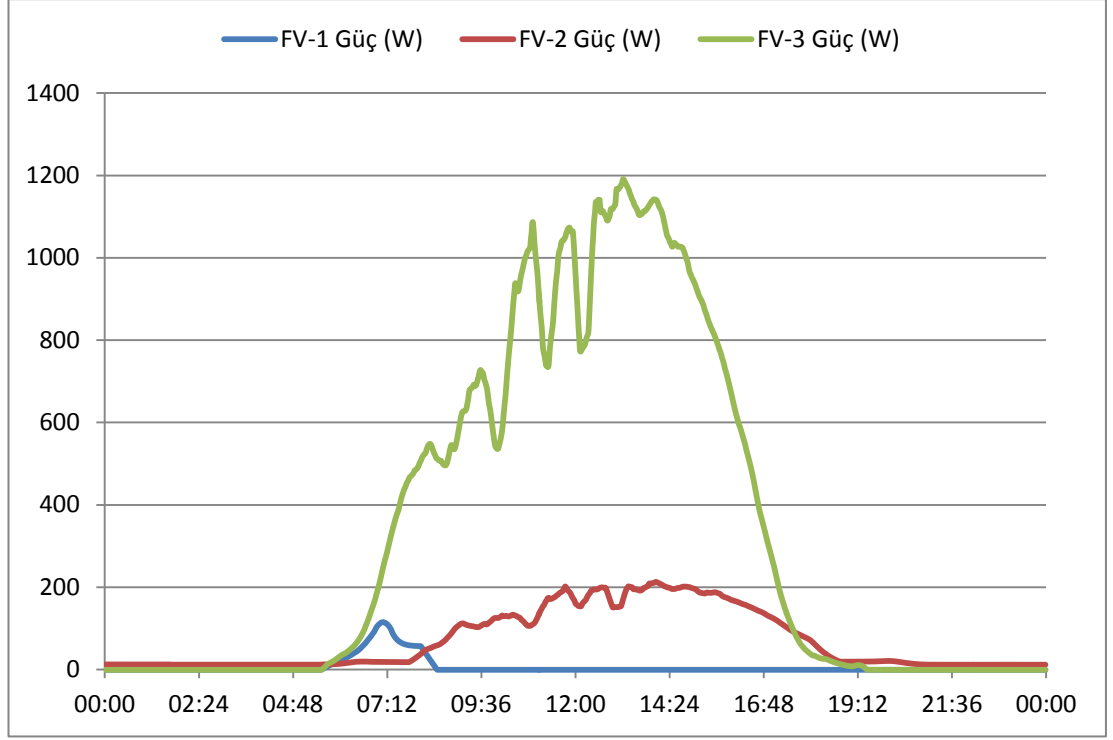
Şekil 6.8: Zaman (saat) – Nem (%).



Şekil 6.9: Zaman (saat) – Basiñç (bar).



Şekil 6.10 : Zaman (saat) – Solar radyasyon (W/m<sup>2</sup>).



**Şekil 6.11** : Zaman (saat) - FV-1, FV-2, FV-3 Güç (W).

## 6.2 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kurulan sistem ile meteorolojik verilere bağlı olarak İTÜ Enerji Enstitüsü yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin ayrı ayrı ve bir arada analizleri yapılabilmektedir. Bu analiz sonuçları ve değerlendirmeler üreticilerin verdiği değerler yanında daha gerçekçi ve mühendislik açısından daha doğrudur. Çünkü sistem bileşenlerinin performansları buldukları yerdeki havanın yoğunluğu, nemi, sıcaklığı ve rüzgar profili gibi meteorolojik şartlardan etkilenmektedir.

Hibrit sistemlerin tek başına çalışan enerji sistemlerine göre daha karmaşık sistemler olması nedeniyle, hibrit sistem yatırımının en verimli olacağı dahilindeki sistem bileşen büyüklüklerine, büyüklüklerinin birbirlerine oranına karar verilirken, o bölgeye ait ve kullanılacak olan bileşenlerden alınmış gerçek verilerin detaylı analizi gerekmektedir. Böylelikle İTÜ Kampüsünde veya benzer alanlarda kurulumu yapılacak olan yeni sistemlerin büyüklüğüne karar verilirken bu çalışmada toplanan meteorolojik değişkenlere bağlı performans verilerinin yardımı olacaktır.

10.03.2012 tarihinde yayınlanan yeni yasa uyarınca; kurulu gücü azami 500 kW olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretim yapacak gerçek veya tüzel kişiler lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf

tutulmuştur (URL-12). Buna bağlı olarak ülkemizde yeni kurulacak olan veya halihazırda kurulumu yapılmış olan benzer küçük ölçekli hibrit sistemler için bu çalışmada kurulan sistem örnek teşkil edecektir. Bununla beraber bu çalışmada kullanılan yöntem benzer sistemlerin performanslarını değerlendirmede kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Alyamaç, D.** (2010). *İTÜ RT-1 Rüzgar Türbini Performans Analizi*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.
- Barutçu, B.** (2010). *Wind Energy & Conversion Technology Lecture Notes*.
- Beiser, A.** (2003). *Concepts of Modern Physics*, 6th ed., New York, USA, 0-07-244848-2.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins N. ve Bossanyi, E.** (2001). *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons Ltd, England, 0-471-48997-2.
- El Chaar, L., Iamont, L., A. ve El Zein, N.** (2011). Review of Photovoltaic Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011) 2165-2175.
- Floyd, T., L.** (2005). *Electronic Devices Electron Flow Version, 5th ed.*, Pearson, New Jersey, USA, 0-13-114136-8.
- Giancoli, D., C.** (2000). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 0-13-021517-1.
- Goetzberger, A. ve Hoffmann, V., U.** (2005). *Photovoltaic Solar Energy Generation*, Springer, Berlin, Germany, 3-540-23676-7.
- Hau, E.** (2006). *Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 2nd ed, Springer, Berlin, Germany, 10 3-540-24240-6.
- Hayli, S.** (2001). Rüzgar Enerjisinin Önemi, Dünya’da ve Türkiye’deki Durumu, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 1, Sayfa: 1-26, Elazığ.
- Hepbaşlı, A. ve Ozgener, O.** (2003). A Review on the Development of Wind Energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (2004) 257-276.
- Johnson, G. L.** (2001). *Wind Energy Systems*, Electronic Edition, Manhattan, USA.
- National Instruments** (1998). *LabVIEW User Manual*, Austin, Texas, USA, 320999B-01.
- Luque, A. ve Hegedus, S.** (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, 2nd ed, Wiley, Chichester, West Sussex, United Kingdom 978-0-470-72169-8.
- Manwell, J., F., McGowan, J., G. ve Rogers A.L.** (2002). *Wind Energy Explained, Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons, Ltd, University of Massachusetts, Amherst, USA, 0-470-84612-7.
- Menteş, Ş. S. ve Kavsaoğlu M. Ş.** (2010). *Rüzgar Enerjisi ve Sistemleri Ders Notları*.

**Patel, M.R.** (1999). *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press, USA, 0-8493-1605-7.

**Parida B., Iniyar, S. ve Goic, R.** (2010). A Review of Solar Photovoltaic Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011) 1625-1636.

**Razykov, T., M., Ferekides, C., S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H., S. ve Upadhyaya, H., M.** (2011). Solar Photovoltaic Electricity: Current Status and Future Prospects, *Solar Energy*, 85 (2011) 1580-1608.

**REW**, (2011) Renewable Growth Global Status Report, *Renewable Energy World Magazine*, September-October 2011, Vol:14, Num: 5.

**Supriya, C., S. ve Siddharthan, M.** (2011). Optimization and Sizing of a Grid-Connected Hybrid PV-Wind Energy System, *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol.3, No. 5.

**WWEA** (2011) *World Wind Energy Association Report 2010*, WWEA Head Office, Bonn, Germany

**WWEA** (2011) *World Wind Energy Association Report Half-year Report 2011*, WWEA Head Office, Bonn, Germany

**Url-1** <[http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_design)>, alındığı tarih: 14.04.2012.

**Url-2** <<http://www.mywindpowersystem.com/marketplace/ads/80-brand-new-goldwind-s48-750-wind-turbines-for-sale-immediately-available/>>, alındığı tarih: 14.04.2012.

**Url-3** <<http://www.wwindea.org/home/index.php>>, alındığı tarih: 25.04.2012.

**Url-4** <[http://en.wikipedia.org/wiki/Yaw\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Yaw_system)>, alındığı tarih: 21.01.2012.

**Url-5**

<[http://en.wikibooks.org/wiki/Semiconductor\\_Electronics/Diode/Construction\\_and\\_Operation](http://en.wikibooks.org/wiki/Semiconductor_Electronics/Diode/Construction_and_Operation)>, alındığı tarih: 07.04.2012.

**Url-6**

<[http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=57&Itemid=69](http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=57&Itemid=69)>, alındığı tarih: 10.01.2012.

**Url-7** <<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr/map.aspx>>, alındığı tarih: 24.01.2012.

**Url-8** <<http://320volt.com/akim-ve-gerilim-sensorleri-bilgiler-hesaplamalar/>>, alındığı tarih: 10.01.2012

**Url-9** <<http://320volt.com/akim-ve-gerilim-sensorleri-bilgiler-hesaplamalar/>>, alındığı tarih: 10.01.2012

**Url-10**

<[http://www.davisnet.com/weather/products/weather\\_product.asp?pnum=06152](http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06152)>, alındığı tarih: 21.01.2012.

**Url-11** <<http://fidalgoweather.blogspot.com/2010/09/its-about-weather.html>>, alındığı tarih: 21.01.2012.

**Url-12** <<http://www.epdk.gov.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/146>>, alındığı tarih: 20.04.2012.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Mehmet Rifat Öcal  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Ankara, 1984  
**E-Posta:** rifatocal@gmail.com  
**Lisans:** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik