



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA İLİ İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGÂR
ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ VE
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

NECİP UYSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Necip UYSAL tarafından hazırlanan “Konya İli İçin Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Kullanımının Araştırılması” adlı tez çalışması 14/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan (Danışman)

Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN


Üye

Yrd.Doç. Dr. Faruk KÖSE

Üye

Yrd.Doç. Dr. Murat CİNİVİZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi B.A.P Koordinatörlüğü tarafından 10201030 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Necip UYSAL
Tarih: 14.07.2011

ÖZET

KONYA İLİ İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ VE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Necip UYSAL

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2011, 109 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN
Yrd.Doç.Dr. Faruk KÖSE
Yrd.Doç.Dr. Murat CİNİVİZ**

Bu çalışmada, Konya ili sınırları içinde Selçuk Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde, rüzgâr ve güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin analizi yapılmıştır. Model bir konutta olabilecek buzdolabı, televizyon, bilgisayar, aydınlatma ve klima gibi tüketim cihazlarının kapasitesi belirlenmiş ve bu cihazlar için ihtiyaç olan elektrik enerjisini karşılama performansı araştırılmıştır. Tüketim cihazlarının elektrik tüketimleri ölçülerek analizler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Aynı bölgede daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen rüzgâr ve güneş verileri de bulunduğundan bu datalarda çalışmada kullanılmış ve analizler yapılmıştır. Model konutta kullanılan tüketim cihazları ise 24 Mayıs 2011 17:00 ile 25 Mayıs 2011 18:00 saatleri arasında çalıştırılarak günlük tüketimlerinin 1733 W olduğu tespit edilmiştir. Aynı zaman aralığında ise fotovoltaik panellerden 3394 W, rüzgar türbininden ise 93 W olmak üzere toplamda 3487 W'lık bir güç üretilmiştir. Toplamda üretilen enerjinin % 97.4'ü PV panellerden, %2.6' sının ise rüzgar türbininden karşılandığı sonucuna varılmıştır. Değerlerden görüldüğü üzere rüzgar türbinin ürettiği gücün çok az olduğu, bu tarihler arasındaki rüzgar hızının 2.83 m/s gibi bir değer olması dolayısıyla rüzgar türbininden yeteri kadar bir fayda sağlanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, Konya Teknokent alanında bulunan rüzgar türbini sonuçları da değerlendirilmiş olup, ticari olarak üretilen bu türbinden üretilen gücün rüzgar hızına göre verim değerinin ise %37 civarında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit sistem, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF ELECTRICITY PRODUCTION AND USAGE FROM WIND AND SOLAR ENERGY SOURCES FOR KONYA PROVINCE

Necip UYSAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2011, 109 Pages

Jury

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Assist. Prof.Dr. Faruk Köse

Assist. Prof.Dr. Murat Ciniviz

In this study, an electric energy production and consumption performance of a hybrid system consisting of solar and wind energy that was located in Selcuk University Campus region at Konya province was examined. The electricity meeting ratios of production to consumption ratio of a model office including devices such as television computer, illumination, air-conditioning and refrigerator were determined. Electricity consumption amounts of the mentioned devices were measured and then the obtained results were evaluated. In addition, long term recorded data of the wind and solar energy potential for campus region were used to predict the electricity production and consumption amounts. Consumption amounts of the aforementioned devices in the model office for the time range covering between at 17:00 PM on May 24 2011 and at 18:00 on May 25 2011 were determined as 1733W. For the same time period, electricity production amounts of the photovoltaic panels and wind turbine were respectively 3394W and 93W, which was found to be 97.4% from photovoltaic panels and only 2.6% from wind turbine. The reason of this low percent from wind energy was that time averaged wind speed occurred as 2.83 m/s during the measurement time period and thus wind turbine did not produce generally electricity due to the low wind speed. Moreover, the power production results of a commercial wind turbine established in the Konya Teknokent land were evaluated and the wind turbine efficiency according to the wind speed and power production amount was found to be around 37%.

Keywords: Hybrid system, renewable energy, solar energy, wind energy.

ÖNSÖZ

Hızla gelişen teknoloji ve dünya nüfusu ile birlikte enerji tüketimi sürekli olarak artmakta bu da enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı diğer fosil kaynaklara göre her ne kadar küçük de olsa fosil yakıtların sınırlı rezervlerinin olması, çevreye verdikleri olumsuzluklar, ülkelerin dışa bağımlılıklarını artırması yenilenebilir enerji sektöründe hızlı bir büyümeyi beraberinde getirmektedir. Dünyada her geçen gün kullanımı artan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere, biyokütle jeotermal, hidrolik gibi kaynaklar gelmektedir. Türkiye'nin coğrafi konumu ve mevcut potansiyeli ele alındığında öncelikli kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgâr ve güneş enerjisi gelmektedir. Nitekim de bu alanda son yıllarda ülkemizde büyük yatırımlar da devreye girerek ülkemizde önemli bir konuma gelmeye başlamıştır.

Bu çalışmada, Konya ilinde Selçuk Üniversitesi Kampüs alanında bulunan Teknik Eğitim Fakültesi Binasının çatısında güneş ve rüzgar enerjisinden oluşan hibrit elektrik üretim sistemi kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Hibrit enerji sisteminin kurulu güç kapasitesi (rüzgâr türbini 600 W ve fotovoltaik panelleri ise 2 adet 175 W), elektrik enerjisi üretimi, sistem yapısı ve maliyeti ile tüketim cihazlarının kapasiteleri dikkate alınarak, sistem bileşenlerinden invertör, hibrit şarj kontrol ünitesi, batarya grubu, rüzgar türbini ve güneş paneli seçimi yapılmıştır. Bölgede daha önceden rüzgar ve güneş enerjisi verileri ile ilgili çalışmalar ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından Konya ili için temin edilen verilerde kullanılarak analizler yapılmıştır.

Deney düzeneğinin kurulması, analizlerin yapılması ve değerlendirilmesi esnasında yardımcı olan Efe Can Gürkan'a, Ahmet Faruk Şen'e, Bünyamin Küçükokka'ya, Arş.Gör. Özgür Solmaz'a, Arş.Gör. Muharrem Hilmi Aksoy'a, Yrd.Doç. Dr. Ali Kahraman'a ve Yrd.Doç. Dr. Faruk Köse'ye teşekkür ederim. Ayrıca tezimin hazırlanmasında beni yönlendiren ve destekleyen danışmanım Doç.Dr. Muammer Özgören'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde ve yetişmemde büyük emekleri olan Anneme ve Babama, çalışmalarım esnasında beni sabır ve anlayışla sürekli destekleyen değerli eşim Neslihan Uysal'a ve biricik oğluma ayrıca teşekkür ederim.

Necip UYSAL
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Türkiye'nin Enerji Görünümü	15
3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	20
3.3. Rüzgâr Enerjisi	23
3.3.1. Rüzgâr türbinleri	28
3.3.2. Rüzgâr türbini hesaplamaları	31
3.3.3. Rüzgâr türbini ile elektrik üretme sistem elemanları.....	32
3.4. Güneş Enerjisi.....	34
3.4.1. Fotovoltaik paneller	39
3.4.2. Fotovoltaik hücrelerin yapısı	39
3.4.2. Güneş pili ile elektrik üretme sistem elemanları	46
3.5. Deneysel Düzenekleri	49
3.5.1. Güneş ışınım şiddeti ölçümü.....	49
3.5.2. Rüzgâr hızı ölçüm istasyonu	51
3.5.3. 600 W RT- 340 W PV hibrit sistem elemanları.....	52
3.5.4. 1500 W RT- 480 W PV hibrit sistem elemanları.....	57
3.5.5. Tüketim cihazları ve ölçüm sistemi	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	69
4.1. Meteorolojik Verilerin Teorik Analizi.....	69
4.2. Fotovoltaik Panel Eğim Açısının Tayin Edilmesi	72
4.3. Deneysel Verilerin Analizi	76
4.3.1. Güneş ışınımı verileri.....	76
4.3.2. Rüzgar hızı verileri	77
4.3.3. 600 W RT - 340 W PV hibrit sistem verileri.....	78
4.3.4. 1500 W RT- 480 W PV hibrit sistem verileri.....	82
4.3.5. Tüketim cihazları verileri.....	85

4.4. Model Konutun Günlük Elektrik Tüketiminin Yaklaşık Hesaplanması.....	89
4.5 Belirsizlik Analizi	90
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	93
5.1. Sonuçlar	93
5.2. Öneriler	96
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ	:Hava yoğunluğu (kg/m ³)
η_{sRT}	:Rüzgâr türbini sistem verimi
I_{pv}	:Fotovoltaik panelin akımı
P_g	:Rüzgar türbininden üretilen güç
P_r	:Rüzgar gücü
V_{pv}	:Fotovoltaik panelin gerilimi
η_{rt}	:Rüzgar türbini verim
ρ	:Hava yoğunluğu (kg/m ³)
A_{PV}	:Fotovoltaik panel alanı (m ²)
A_{RT}	: Rüzgar türbini kanadı süpürme alanı (m ²)
C_p	:Havanın özgül ısısı (J/kgK)
H_1	:Referans yükseklik (m/s)
H_2	:Rüzgâr hızı hesaplanacak olan yükseklik (m)
I	:Güneş ışınımı (W/m ²)
I_{rt}	:Rüzgar türbininin akımı
P_{RT}	:Rüzgar türbini gücü (W)
V	:Rüzgâr hızı (m/s)
V_1	:Referans hızı (m/s)
V_2	:İstenilen yükseklikteki hız (m/s)
V_{rt}	: Rüzgar türbininin gerilimi
μ	:Hellman katsayısı
η_{sPV}	:Fotovoltaik panel sistem verimi

Kısaltmalar

BTEP	:Bin ton eşdeğer petrol
EİEİ	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	:Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
kWh	:KiloWattsaat
Mtep	:Milyon ton eşdeğer petrol
MW	:MegaWatt
PV	:Fotovoltaik
Tep	:Ton eşdeğer petrol
TÜREB	:Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
YEKAB	:Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Araştırma Birimi

1. GİRİŞ

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan yaşamında tartışmasız bir önceliğe sahiptir. Her geçen gün teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji tüketimi artarak devam etmektedir. Kişi başına tüketilen elektrik enerji miktarı değeri toplumların gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Elektrik enerjisi, kullanım ve iletim avantajlarından dolayı tüketilen enerji biçimlerinin başında gelmektedir. Elektrik enerjisini üretmek için kullanılan yöntemlerin birçoğu, tükenebilen ve çevreye zarar veren fosil yakıtlar ve benzeri kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Özellikle, Kyoto protokolü sonrasında dünya devletleri sera gazı etkisine sahip olan bu kaynakların kullanılmasında dünya habitatına verdiği zararlar nedeniyle ciddi sınırlandırmalar getirmiştir. Son zamanlarda, Avrupa Birliği, çevreye dost ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması için yeni enerji politikaları üretmekte ve bu yönde bazı kanuni zorunluluklar getirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli coğrafik ve meteorolojik şartlara göre değişmektedir. Bundan dolayı, sadece rüzgâr veya sadece güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda hem rüzgâr ve hem de güneş enerjisini birlikte kullanılarak elektrik üretimi yapan hibrit sistemler üzerinde araştırmalar artarak devam etmektedir. Hibrit sistemler birbirini dengeleyen ve destekleyen sistemler olup, sürekli olarak elektrik üretimi gerçekleştirebilmektedirler. Bu alanda yapılan teknolojik gelişmeler sonucunda, güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan fotovoltaik panellerin (PV) verimi %42,8 seviyelerine kadar çıkmıştır (Anonim, 2008). Rüzgâr türbinlerinin verimleri ise %30-%50 arasında değişmektedir. Özellikle coğrafik olarak elektrik dağıtımının çok zor olduğu bölgelere gün boyunca birbirini destekleyen PV ve/veya rüzgâr hibrit sistemler kurularak elektrik ihtiyacının karşılanması ekonomik açıdan daha avantajlı olmaktadır.

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık günümüzde halen kullanmakta olduğumuz fosil yakıt rezervleri de hızlı bir şekilde tükenmektedir. Ayrıca; fosil yakıtların çevreye vermiş oldukları zararlar, birçok ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Enerjisiz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse olası değildir. Gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir. Türkiye'nin enerji tüketimi 2007 yılında 107,6

Mtep'e ulaşmış, 2008'de ise 106.273 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretimi 2008 yılında 198,3 milyar kWh'ye varmıştır. Elektrik üretim kapasitesi ise, 2007 yılında (40836 MW), bir önceki yıla göre kayda değer bir artış göstermemiş, 2008'de ise 912 MW'lik (%2.23) bir artışla 41748 MW'ye ulaşmıştır. Kasım 2009 itibariyle kurulu güç 44 600 MW'ye ulaşmıştır (Türkyılmaz, 2010).

En önemli alternatif enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerjisi hibrit sistemlerde birleştirilerek sürekli bir enerji üretilmesi istenmektedir. Fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük rüzgâr türbinlerinin iklim koşullarına göre elektrik enerjisi üretimi değişir. Bu yüzden tek başlarına çok zengin bir enerji üretim kaynağı değildirler. Sistemleri birleştirme (rüzgâr ve güneş) daha çok elektrik enerjisi üretiminde etkilidir. Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgâr hızı düşüktür. Daha az güneş enerjisinin bulunduğu kış aylarında ise rüzgâr hızı yüksek olabilmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji üretimi, günün ve yılın değişik zamanlarında farklılık gösterir. Diğer bir değişle rüzgâr hızının yetersiz veya verimsiz olduğu günlerde alternatif olarak güneş enerjisinden istifade edilebilir. Böylece sistemde enerji üretiminin devamlılığı sağlanmış olur. Hibrit "rüzgâr ve güneş enerjisi" sistemlerin olumsuz tarafı ise; güneş panelleri veya rüzgâr türbinlerinin tekil kullanıldığı sistemlerin maliyetinden daha fazla olmasıdır. Fakat aradaki bu fark çok azdır. Çünkü kullanılan bileşenler rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleriyle (Pil, İnvörtör, kontrol ve güvenlik birimleri gibi temel bileşenler) aynıdır. Hibrit sistem kullanımı sayesinde yıl boyunca yeterli enerji sağlanacaktır. Sistem güneş enerjisi veya rüzgâr enerjisinin çalışma sistemiyle tamamen aynıdır. Sadece sisteme ek yapılmaktadır. Proje gereksinimlerine göre şebekeye paralel (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebeke destekli (green-line) olarak tasarlanabilir.

Kullanım kolaylığı ve temizliği nedeniyle diğer enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisinin enerji tüketimi içerisindeki payı her geçen yıl artmaktadır. Elektrik enerjisinin dezavantajı bireysel depolama maliyetlerinin (akü maliyetlerinin) yüksek olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle mutlaka etkin bir planlama yapılarak; proje, tesis ve dağıtım safhaları koordineli olarak düzenlenmelidir. Planlama yapılırken enerjinin ucuzluğu, talebi karşılması, üretimin güvenilir olması, sürekli ve kaliteli olması gerekmektedir (Çolak ve ark., 2004).

Rüzgâr ve güneş Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamada büyük beklentilere cevap verebilecek durumdadır. Doğada bolca bulunmaları, temiz ve çevre dostu olmaları sahip oldukları avantajlardan birkaçıdır. Ancak, her iki enerji kaynağında da

tek başına kullanıldığında depolama sıkıntıları ve süreksiz olmaları gibi zorluklar görülmektedir. Bu sorunlar hibrit sistem kullanılarak çözümlenmeye çalışılmıştır.

Çağımızın en önemli sorunlarının başında; doğal enerji kaynaklarının, verimli ve çevreyi kirlilemeyecek bir şekilde kullanılması gelmektedir. İnsanlığın gerek bugünü, gerekse yarınları için vazgeçemeyeceği iki faktör olan enerji ve çevrenin birbirleri ile çelişmesi, enerji üretimi ve tüketimi arttıkça çevre kirliliğinin de artması, her iki konunun birlikte ele alınarak sorunların çözümlenmesini zorunlu kılmaktadır (Özgür, 2006). Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli coğrafik ve meteorolojik şartlara göre değişmektedir. Bundan dolayı, sadece rüzgâr veya sadece güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda hem rüzgâr ve hem de güneş enerjisini birlikte kullanarak elektrik üretimi yapan hibrit sistemler üzerinde araştırmalar artarak devam etmektedir. Tek başına kullanılan güneş enerjisi sistemleri periyodik olmayan saatler ve kış mevsiminde güneş ışınım yoğunluğunun düşük olduğundan dolayı sürekli bir güç kaynağı sağlayamamaktadır. Benzer durum gün ve yıl boyunca rüzgâr hızlarının büyüklüğünün önemli dalgalanmalardan dolayı tek başına rüzgâr enerji sistemlerinde sabit güç üretememektedir. Bu yüzden bu çalışmada elektrik üretmek için hibrit bir sistemin denenmesi ihtiyacı hâsıl olmuştur.

Bu tez çalışmasının amacı Konya ilinde bulunan model bir konutun elektrik ihtiyacını PV/RT hibrit sistem aracılığıyla karşılanabilirliğinin belirlenmesidir. Çalışmada öncelikle PV/Rüzgar hibrit sistemleri hakkında detaylı bir kaynak araştırması yapılmış ve ikinci bölümde derlenmiştir. Materyal ve yöntem bölümünün başında Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının genel durumu hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca Türkiye’nin enerji üretimi ve tüketimi ile ilgili ayrıntılı rakamlardan bahsedilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan meteorolojik dataların ölçülmesi, temin edilmesi ve proses edilmesi, model bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacının hesaplanması, fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbininden elde edilen elektriğin hesaplanmasında kullanılan formüller de materyal ve yöntem bölümünde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar yılın çeşitli günlerinde oluşan kritik elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik panel ve rüzgar türbini bileşiminden oluşan hibrit sistemlerin karakteristikleri, araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde detaylı olarak değerlendirilmiştir. Model bir konutun elektrik ihtiyacının ölçülen datalar kullanılarak Konya şartlarında rüzgâr ve güneş enerjisi ile karşılanmasının araştırılması da teorik olarak yapılmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde elde edilen sonuçlar, Konya ili için

karşılaştırılmış ve gelecekte yapılması gereken çalışmalar için önerilerde bulunarak tez çalışması tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma için yapılan kaynak araştırmasında genellikle konutların elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılan hibrit (fotovoltaik/rüzgâr) enerji sistemlerine rastlanılmamıştır. Sadece güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi destekli elektrik enerjisi üretimi ve evsel ihtiyaçların karşılanması üzerine yapılan birçok çalışma yer almaktadır. Ayrıca, hibrit enerji dönüşüm sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ise sistem optimizasyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Güneş ve/veya rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ve bunun evin ihtiyaçlarında kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Literatür özeti hazırlanırken özellikle son yıllarda yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak tarih sırasına göre aşağıda verilmiştir.

Aksoy (2011), tarafından yapılan çalışmada, güneş ve rüzgar enerjisinden eş zamanlı elektrik üretimi yapan bir yenilenebilir enerji sisteminin teorik ve deneysel araştırması yapılmıştır. Selçuk Üniversitesi Konya Teknokent bahçesine kurulan 1500 W kapasiteli rüzgâr türbini ve toplam 480 W kapasiteli 4 adet fotovoltaik panellerden üretilen elektrik, şarj kontrol cihazlarında regüle edilerek toplam kapasitesi 9600 Ah olan 4 adet aküde depolanmıştır. Üretilen elektrik ile yeraltında bulunan sulama deposuna kurulan 300 W kapasiteli DC sürücülü dalgıç pompa tahrik edilmiştir. 21 Mayıs 2011- 10 Temmuz 2011 süresince ortalama rüzgâr hızı 3,84 m/s, 31 Mayıs 10 Temmuz tarihleri arasında yatayla 12° açı ile güneşe yönlendirilmiş piranometre ile günlük toplam ışınım değeri ise 6833 W/m² olarak ölçülmüştür. Ölçüm süresi boyunca güneş panellerinden günlük ortalama 2454 W elektrik üretilmiştir. Rüzgâr türbini verimi saatlik ortalamalar için %31,5, fotovoltaik panel verimleri ise %10,04 olarak bulunmuştur. Kullanılan pompa ile günlük ortalama 43,4 m³ su çıkarılmıştır.

Türkay ve Telli (2011) yaptıkları çalışmada pilot bölge olarak seçilen İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesinde şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız yenilenebilir kaynaklarının kullanımını ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Kullanılacak enerji kaynağı seçimi, optimum boyutlandırma ve hibrit sistemlerin işletme stratejisi için farklı senaryolar incelenmiştir. Sistemin simülasyonu, teknik ve ekonomik parametreleri hesaplamak için, bir güç optimizasyon programı olan Homer (NREL, ABD) kullanılmıştır. Araştırma sonuçları şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemlerin bağımsız sistemlere göre daha avantajlı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu çalışma yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile üretilen enerjinin kullanımda kesintiye uğramaması için sistem boyutlarının büyük olması

gerektiğini göstermiştir. Çalışmada aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti, bölgenin rüzgar enerjisi kapasitesi ve ekipman maliyetleri değerlendirildiğinde PV, hidrojen ve şebeke bağlantısı ile oluşturulan hibrit sistemin en iyi çözüm olduğu görülmüştür. Bu sistemin birim elektrik maliyeti 0,307 \$ / kWh olarak bulunmuştur (Türkay, 2011).

Üç parçada sunulan bir diğer çalışmada (Gupta ve ark. 2011), elektrik şebekesinin olmadığı dokuz köyde elektrik ihtiyacının batarya depolama türünde hibrit sistemlerin optimal boyutlandırma, tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır. Analizde en ekonomik çözüm kWh başına 1.45 Hindistan Rubisi (Rs) ile mikro-hidro sistem bulunmuştur. En pahalı sistem tek başına fotovoltaik sistem (15,68 Rs/kWh) olmuştur.

Chen ve ark. (2010), rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemlerini açıklamış ve başarı kriterlerini geliştirmeye çalışmışlardır. Uygun bir güneş-rüzgâr enerji üretim projesi seçimi için, faydaları, fırsatları, maliyetleri ve riskleri ile birlikte analitik hiyerarşi sürecini oluşturmuşlardır.

Zhou ve ark.(2010), şebekeden bağımsız batarya depolamalı rüzgar ve güneş enerjisinden oluşan hibrit enerji üretim sistemi simülasyonunu, optimizasyonunu ve kontrol teknolojilerinin mevcut durumunu incelemişlerdir. Bu alanda devam etmekte olan araştırmalara ve gelişmelere, sistem performansının geliştirilmesinde, çıktı tahmin tekniklerinin oluşturulmasında ve bu kriterlerin diğer enerji kaynaklarıyla veya geleneksel enerji kaynaklarıyla bir bütün haline getirilmesinde ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır.

Dursun ve ark. (2010), Ege bölgesindeki iller için fotovoltaik, rüzgâr türbini ve yakıt pili güç üretim sistemlerinin performansını araştırmışlardır. Güneş ve rüzgar enerjisinin tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları olduğunu vurgulamışlardır. Hesaplamalarında NASA'nın atmosferik data merkezinden aldıkları rüzgar hızlarını kullanmışlardır. Rüzgâr ve Güneş enerjisi sistemlerinin meteorolojik şartlara bağlı yaygın olarak kullanılabileceğini, yakıt pilinin ise iyi bir destek sistemi olduğunu belirtmişlerdir.

Nema ve ark. (2010), telefon baz istasyonları için hibrit sistemin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. İşletme ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında hibrit sistemin geri ödeme süresinin 2–4 yıl kadar çok kısa süre olacağını belirlemişlerdir. Dizel sisteme göre hibrit sistemin daha az işletme ve bakım maliyetlerinin olduğu ve bunun yanı sıra hibrit sistemin çevre dostu olduğunu vurgulamışlardır.

Aksoy ve ark. (2010), Konya ilinde sulama amaçlı hibrit güç üretim sisteminin uygulanabilirliğini teorik olarak araştırmışlardır. Hesaplamalarında iki yıl boyunca oluşan 10 metre yükseklikteki rüzgar hızlarını ve uzun yıllar boyunca ölçülen güneş ışınlam verilerini kullanmışlardır. hibrit sistemin yıllık 4080 kWh/yıl elektrik üretimi sağlayacağını hesaplamışlardır. Üretilen elektriğin derin kuyudan su pompalama amacıyla kullanılmasını değerlendirilmiş haziran, temmuz ve ağustos aylarında günlük ortalama sırası ile 64,9 m³, 81,3 m³ ve 63,9 m³ suyun 50 metre derinlikten çıkarılabileceğini belirlemişlerdir. Güneş-rüzgâr enerjisi bazlı hibrit sistemin yüksek maliyetlerine sahip olmasına rağmen düşük bakım maliyetine sahip, çevre dostu olduğunu belirtmişlerdir.

Bekele ve Palm (2010), Etiyopya'da elektrik şebekesi olmayan yerleşim yerlerine güneş ve rüzgardan oluşan bir hibrit sistemden elektrik enerjisi tedarik etmenin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Addis Ababa şehri için sonuçları ayrıntılı şekilde verip, diğer şehirler için diyagramlar kullanmışlardır. Toplamda 1000 kişiyi kapsayan, 200 ailelik bir toplum modeline enerjiyi nasıl sağlanacağını değerlendirmişlerdir. Elektrik enerjisi, aydınlatma, su pompalama, radyo alıcıları ve bazı ekipmanlarında kullanılmıştır. Analiz için, hibrit sistemlerin simulasyonunda HOMER yazılımı kullanmışlardır. Analiz sonuçları, net bugünkü değer yöntemine göre sınıflandırılmış olası enerji arz sistemleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. En optimum çözümde rüzgâr hızlarının etkisini gösteren hassas diyagramlar, PV maliyetleri ve dizel fiyatları verilmiştir.

Erdoğan (2010), yüksek lisans tez çalışmasında örnek bir binanın ışınlam zaman serileri metoduna göre saatlik olarak dinamik ısı kazancı değerleri hesaplamıştır. Binanın ısı kazancı hesaplanırken Antalya, Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa gibi güneş alma kapasitesi yüksek olan illere ait meteorolojiden temin edilen (1997-2008 yılları arasında) sıcaklık, rüzgar hızı ve ışınlam şiddeti datalarını kullanmıştır. Binanın soğutma ihtiyacını karşılamak için Türkiye'nin çeşitli iklim şartlarında buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimine göre çalışan hava-hava ısı pompası sistemin termodinamik analizini yapmıştır. Kompresörün elektrik ihtiyacının temiz enerji kaynağı olan güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi ile karşılanması durumları farklı fotovoltaiik ve rüzgâr türbin verimleri kabul ederek değerlendirmiştir. Saatlik kompresör gücü, soğutma tesir katsayıları ve diğer parametrelerin hesabı geliştirdiği MATLAB programı ile yapmıştır. Seçilen iller için meteorolojik veriler kullanılarak, farklı soğutucu akışkanlar (R134a, R410a ve R407), değişik buharlaşma (-5°C, 0°C ve 5°C) ve yoğuşma

sıcaklıklarının dış ortam sıcaklığından (10°C, 15°C ve 20°C) yüksek olması durumları, izentropik verim, 5°C aşırı ısıtma, 5°C aşırı soğutma, buharlaştırıcıdaki ve yoğuşturucudaki basınç kayıpları da dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır. Aynı zamanda Selçuk Üniversitesinde kurulan veri ölçüm sistemi ile sıcaklık ve güneş ışınımı veri ölçümleri yapılarak da analizler gerçekleştirilmiştir. Örnek konutun kısmen soğutulması durumunda elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji ile karşılanması durumu da araştırmıştır. Soğutma sistemi için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacının sadece elektrik hattından, güneş enerjisinden (PV), rüzgâr enerjisinden veya bunların birbirini destekleyen farklı kombinasyonlarından karşılanması durumları değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda %17-20 PV verimi ve %30 rüzgâr türbin verimi olduğunu kabul etmiş ve elde edilen sonuçlardan seçilen beş il için sistemin kullanılabilirliği görülmüştür. Bu tez çalışması sonuçlarını Özgören, Erdoğan ve ark. (2009a, 2009b, 2010a ve 2010b) ile yayımlayarak değerlendirmiştir.

Kenfack ve ark. (2009), Kamerun'da bir köyde, enerji ihtiyacını karşılamak için, PV ve küçük hidroelektrik santrali kullanarak bir hibrit sistem oluşturmuşlar. Ayrıca, bu sisteme dizel jeneratör ve akü grubu da eklemişler. Sonuçta elde edilen sistemin NPC değeri 70042 \$ ve bir değere getirilmiş enerji maliyetini de (levelized cost of energy) 0,278\$/kWh olarak bulmuşlardır.

Sopian ve ark. (2009), hidrojen üretiminde PV-rüzgâr enerjisi hibrit sistemin performansının deneysel araştırmasını yapmışlardır. Konvansiyonel elektroliz işlemi ve fotovoltaiik-rüzgâr hibrit sistemin karşılaştırmasını yapmışlar ve her iki sisteminde birbirine yakın sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Hibrit sistemin hidrojen üretiminde uygulanmasının herhangi bir sorun teşkil etmediğini deney sonuçlarına dayanarak belirtmişlerdir. Fakat elektrolizer sisteminin daha gelişmiş teknoloji olduğunu ve daha güvenli işletim teknolojisinin içerdiği ifade etmişlerdir.

Hibrit sistemlerin kullanımı ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada (Dalton ve ark., 2011) elektrik şebeke bağlantılı 100 yatak kapasiteli bir otelde elektrik ihtiyacını karşılamada yalnız şebeke, yalnız rüzgâr enerjisi ve ikisinin birleşmesi ile oluşturulan hibrit sistemin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Optimum hibrit 1.8MW kapasiteli rüzgâr enerjisi şebeke bağlantılı sistem olarak bulunmuştur. Herhangi bir invertör veya akünün kullanılmadığı Bu çözümde yenilenebilir enerjinin kullanım oranı %73 olarak bulunmuştur. Analizi yapılan sistem ile yıllık toplam 3800 ton CO2 salınımının önüne geçileceği belirtilmiştir. Sistemin basit geri ödeme süresi ise 14 yıl

olarak bulunmuştur. PV içeren çözümlerin ekonomik olabilmesi için fiyatların bugünkü değerlerinden yaklaşık %10 daha ucuz olması gerektiği de belirtilmiştir.

Karaghoulı ve ark. (2009), Arap bölgelerinde su arıtma işlemleri için güneş ve rüzgâr enerjisi olanaklarını araştırmışlardır. Güneş enerjisi uygulamasını içme suyu arıtılması için en uygun enerji olarak belirlemişlerdir. Küçük kapasiteli arıtma tesislerinde güneş enerjisinin teknik ve ekonomik olarak uygulanabileceğini vurgulamışlardır.

Liu ve Wang (2009), Çin'in enerji yapısının mevcut durumunu değerlendirdikleri çalışmalarında Çin'deki rüzgâr ve güneş enerjisi uygulamalarını tanımlamışlardır. Merkezi ve yerel yönetim politikalarının karşılaştıkları engelleri açıklamışlardır. Sadece güneş veya rüzgâr enerjisi sağlanmasının hava ve iklim koşullarındaki değişimlerin doğru olarak tahmin edilemediğinden dolayı elektrik enerjisi üretiminin doğru olarak hesap edilemediğini belirtmişlerdir. Güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit sistemlerin yol aydınlatması ve sulama için pompalama enerjisinin sağlanması uygulamalarını analiz etmişlerdir.

Setiawan ve ark. (2009), (07.00-16.00) saatleri arasında güç talebi fazla olan, bir içme suyu tuz giderme tesisinin ihtiyacını karşılamak için, hibrit bir sistem tasarlamayı düşünmüşler. Fotovoltaik/rüzgar türbini/dizel/akü içeren konfigürasyonlar arasında bu bölge için rüzgar türbini ve dizel jeneratörden oluşan sistem en optimum sistem olarak bulunmuş. Buradaki inceleme sonucunda rüzgar türbini/dizel jeneratörden oluşan sistemin COE değeri 0,437\$/kWh bulunmuş. Bu sistemde, üretilen enerjinin %80'ninin dizel jeneratörden ve %20'sinin ise rüzgar türbininden karşılandığı belirlenmiştir. Ayrıca geri ödeme süresi de (simple payback time-SPBT) 11 yıl olarak bulunmuştur.

Koussa ve ark. (2009) Cezayir'in kırsal bölgelerinde elektrik ihtiyacını karşılamak için şebeke bağlantısı olmayan rüzgâr, güneş ve dizel jeneratör ile elektrik ihtiyacının karşılanabilirliğini incelemişlerdir. Sistemin optimizasyonu için Matlab programını kullanmışlardır. Değişik kapasitelerde üretim için yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerji kaynağının kalitesi arttıkça sistem veriminin arttığını ve birim enerji maliyetinin düştüğünü belirtmişlerdir. Rüzgâr hızı yüksek olan yerlerde enerji ihtiyacının yarısından fazlasının rüzgâr türbini ile karşılanabileceği sonucuna da ulaşılmıştır.

Paska ve ark. (2009) Varşova Teknoloji Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Enstitüsünde yaptıkları araştırmada hibrit elektrik üretim sistemlerinin birincil enerji kaynakları ile birlikte kullanımın en optimum çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yenilenebilir enerji sistemlerini kullanımındaki en büyük problemin yerel elektrik şebekesinin bu sistemler ile entegrasyonu olduğunu belirlemişlerdir. Denenen farklı hibrit uygulamalarda (PV-rüzgar, PV- fuel cell, rüzgar-akü, şebeke-jeneratör) en ekonomik çözümün jeneratör destekli şebeke sistemi olduğunu bulmuşlardır. Ancak, Yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyetlerinde önemli bir azalma ve teknolojilerinde hızlı bir gelişim olduğunu, bunun da hibrit sistemlerin ekonomikliğinin ilerleyen yıllarda artacağını ifade etmişlerdir.

Ekren ve ark. (2009), İzmir'in Urla ilçesinde batarya depolama, başa baş noktası analizi ve iletim hattının uzunluğunu dikkate alarak bir fotovoltaik- rüzgâr hibrit enerji sisteminin optimum boyutlandırma işlemini göstermişlerdir. Hibrit enerji sistemi ve iletim hattının uzunluğu konularının ekonomik açıdan değerlendirilmesi için net bugünkü değer yöntemini kullanmışlardır. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüs alanındaki mobil iletişim baz istasyonu için elektrik ihtiyacını sağlamak amacıyla çalışmalarını yapmış olup tasarım parametreleriyle birlikte istatistik ve matematiksel metotların birleşimini kullanarak fotovoltaik-rüzgâr hibrit enerji sistemini optimize etmişlerdir. Sonuç olarak optimum fotovoltaik alanı, rüzgâr türbinin süpürdüğü alanı ve batarya kapasitesini sırasıyla 3,95 m², 29,4 m² ve 31,92 kWh bulmuşlardır. Hibrit sistem maliyetini ise 37.034 Amerikan Doları olarak hesaplamışlardır. Eğer mobil iletişim baz istasyonu ile enterkonnekte şebeke arasındaki uzaklık 4817 metreden fazla olursa, hibrit enerji sisteminin kurulmasının elektrik ağından daha ekonomik olduğunu göstermişlerdir.

Setiawan ve ark. (2009) saat 07.00-16.00 arasında güç talebi fazla olan, bir içme suyu tuz arıtma tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için, hibrit bir sistem tasarlamayı düşünmüşler. PV/rüzgar türbini/dizel/akü içeren konfigürasyonlar arasında bu bölge için rüzgar türbini ve dizel jeneratörden oluşan sistem en optimum sistem olarak bulunmuş. Buradaki inceleme sonucunda rüzgar türbini/dizel jeneratörden oluşan sistemin birim enerji maliyetini 0,437\$/kWh bulunmuş. Bu sistemde, üretilen enerjinin %80'ninin dizel jeneratörden ve %20'sinin ise rüzgar türbininden karşılandığı belirlenmiş. Ayrıca geri ödeme süresi de 11 yıl olarak bulunmuş [43].

Nandi ve Ghosh (2009), ortalama toplam günlük tüketimi 169kWh olan 120 köy evinin bulunduğu bir bölgenin talebini, şebekeden bağımsız hibrit bir sistem ile karşılamayı düşünmüşlerdir. Rüzgar türbini/PV/akü, rüzgar türbini/akü ve PV/akü sistemleri arasında, net bugünkü değer (NPV) ve enerji maliyeti değerlerine göre karşılaştırma yapılmış ve optimum sistem, en düşük NPV 319,132\$ değerine sahip olan,

RT/PV/akü olarak bulunmuş. Ayrıca birim enerji maliyeti de 0,363\$/kWh olarak belirlemişlerdir. Bu değerlere en yakın sistem ise 461,600\$ ve 0,525 \$/kWh değerleri ile PV/akü grubu olarak hesaplanmıştır.

Diaf ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmada Corsica adası için bir fotovoltaiik/rüzgâr hibrit elektrik üretim sisteminin tasarım boyutlarını ve teknolojik optimum şartlarını yaptıkları benzeşimle belirlemişlerdir. Corsica adasında 5 farklı bölgede inceleme yapmışlardır. Benzeşim sonuçlarının yaptıkları çalışma alanında hibrit sistemin en iyi yöntem olduğunu göstermişlerdir. Benzeşimi yapılan hibrit sistem performansının, sadece rüzgâr veya güneş enerjili sisteme göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde üretilen toplam gücün %40'nın, rüzgâr enerjisinin potansiyelinin düşük olduğu bölgelerde ise %20'sinin rüzgâr enerjisinden sağlandığını belirlemişlerdir.

Hongxing ve ark. (2008), Çin'in güneydoğu bölgesinde telekomünikasyon istasyonu için PV/rüzgâr hibrit elektrik üretim sistemi modelinin uygulanması üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada bir yıllık saatlik veri ölçümü gerçekleştirmişler, PV ve rüzgâr türbininin aylık enerji üretimine katkılarını, batarya çalışma durumunu ve enerji dengesini incelemişlerdir. PV ve rüzgâr türbininin olduğunu fakat PV ve rüzgâr türbininin birbirini tamamlayıcı özellik göstermesinden dolayı aylık enerji üretiminin sadece PV veya rüzgâr enerjisine göre çok daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Himri ve ark. (2008), Cezayir'in güneybatısında şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin teknolojik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. HOMER (Optimization Model for Electric Renewables) ile enerji üretimini, ekonomik ömür maliyetini, sera gaz emisyonlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu senaryoda rüzgâr hızının 5 m/s'den az olduğunda simülasyonda kullanılan mevcut dizel fiyatlarıyla uygun bulmuşlardır. Rüzgâr hızı 5,48 m/s'den ve yakıt fiyatları 0,162 \$/lt'den daha fazla olduğunda rüzgâr-dizel hibrit enerji sisteminin uygun hale geldiğini tespit etmişlerdir.

Mahmoudi ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının birleştiren sistemlerin kullanımının artan bir şekilde devam ettiğini belirtmişlerdir. Bu sistemlerin petrolden üretilen enerjinin yerine yaygın olarak kullanımı ile küresel ısınmayı minimize etmede yardımcı olacağını belirtmişlerdir. Hibrit sistemin en büyük avantajının, güneş ve rüzgâr enerjisinin birlikte kullanımı ile sistemin güvenilirliğinin arttığını vurgulamışlardır. Oman körfezinde rüzgâr ve güneş enerjisini saatlik olarak ölçebilecek bir istasyon kurmuşlardır. Sera için

gerekli su ihtiyacının deniz suyunu arıtarak karşılandığı sistemin ihtiyacı olan güç için güneş ve rüzgâr enerjisinden üretilen gücün kullanılabilmesinin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Sistemin çalışması esnasında toplanan verilerin incelenmesinden, deniz suyu arıtma tesisini çalıştırmak için gerekli olan enerjinin yenilenebilir enerjiden karşılanmasının teknik olarak mümkün ve avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Rüzgâr/güneş enerjisi, fosil yakıt enerjisine ihtiyaç duymaksızın temiz su üretimi için gerekli gücü üretebileceğini görmüşlerdir. Ölçüm yaptıkları sera boyutları 16 m genişliğinde ve 60 m uzunluğunda ve günlük su kullanımı 297 litredir. Seranın saat 9:00–17:00 arasında toplam kullandığı suyun %98’ini kullandığını belirtmişler ve bu zaman aralığının rüzgâr ve güneş ışınımının yoğun ve verimli olduğu sürelerle karşılık geldiğini ifade etmişlerdir.

Gökçöl ve ark. (2008), bir evin elektrik ihtiyacının sadece rüzgârdan karşılanması rüzgârın süreksizliğinden dolayı mümkün olmadığını vurgulamış ve yapılan çalışmada ele alınan rüzgâr batarya hibrit sisteminin bu problemin üstesinden gelmek ve sürekli enerji sağlamak için kullanıldığını belirtmişlerdir. Fakat ele alınan bölgenin rüzgâr potansiyeli düşük olduğundan dolayı bu hibrit sistem ekonomik olmadığını, 2.5kW’lık Proven 2.5 rüzgâr türbini evin ihtiyacı olan enerjiyi en düşük fiyat olan 0.57\$/kWh’de üretebildiğini belirlemişlerdir. Elektrik enerjisi üretim maliyeti 0.57\$/kWh’lık fiyat enerji birim fiyatları arasında en düşük değer olmasına rağmen, elektriğin şebekeden geliş fiyatının maksimum değeri olan 0.32\$/kWh’ın yaklaşık iki katı kadar daha pahalı olduğunu vurgulamışlardır.

Özgöçmen (2007), “Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi” konulu yüksek lisans çalışmasında 6 hücreli güneş enerjisi paneli ile gerilim üretmiş ve şarj devresine sabitleyerek akünün şarj akımlarını ölçmüştür. Hem oda içerisinde hem de açık havada ölçüm yapmıştır. Açık havada güneş panelinin yeterli verime ulaştığını belirlemiştir. Ayrıca, sistem için maliyet hesabı yapmıştır. Elde ettiği sonuçlardan yatırım maliyetinin yüksek, fakat işletme maliyetinin düşük olduğunu vurgulamıştır.

Uğuz (2005), rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi üzerine yaptığı çalışmada bir evin ihtiyacını karşılayabilecek gerçek boyutlarda bir rüzgâr türbini imal etmiş ve sistemin deneysel sonuçlarını değerlendirmiştir. Rüzgâr türbininin elemanlarını türbin verimi, işletme ve yatırım maliyetleri üzerine etkilerini incelemiştir. Yurtdışında üretilen ve yurtiçinde satılan türbinler ile kendi imal ettiği türbin arasında fiyat karşılaştırması yapmıştır ve yaklaşık yarı fiyatı kadar daha ucuza imal edileceğini

göstermiştir. Fakat imal edilen türbinin daha düşük verimle çalıştığını ve kullanım ömrünün az olacağını vurgulamıştır.

Engin ve Çolak (2005), Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından 4 yıl süreyle ölçülen güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda güneş ve rüzgârdan elde edilebilecek enerjilerin birbirlerini tamamlayıcı özellik gösterdiklerini belirlemişlerdir. Bu sonuçtan yola çıkarak Enstitü binasının gece güvenlik aydınlatmasını yapabilecek boyutta bir güneş-rüzgâr hibrit enerji üretim sistemini tasarlamışlardır. Kurulan sistemde, bir yıl süreyle temel değişkenlerin onar dakikalık aralıklarla ortalama değerlerini alarak değerlendirmişlerdir.

Köse ve Özgören (2005) Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü bölgesinde kurulan ölçüm istasyonunda yapılan ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilerek, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. Uluslararası standartlara uygun olarak yapılan ölçümler 2003-2005 yılları arasında 21 aylık periyodu kapsamakta olup, yerden 10 m ve 20 m yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr hızını ve 20 m yükseklikteki rüzgâr yönü değerlerini içermektedir. Ölçülen değerler ve yerli imalat faktörleri göz önüne alınarak kapasite, yatırım maliyeti ve basit geri ödeme süreleri hesaplamışlardır. Bölgeye kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için minimum maliyet ve geri ödeme süresi verecek şekilde uygun türbin tipi seçmişlerdir. Yapılacak yatırımın, ilk yatırım maliyetini 6 yıldan daha az sürede karşılayacağını bulmuşlar ve bu değer rüzgâr türbinlerinin literatürde verilen kullanım sürelerine göre oldukça kısa olduğunu belirtmişlerdir.

Elhadily ve Shaahid (2003), yıllık ortalama enerji ihtiyacı 620 MWh olan iş merkezinin enerji ihtiyacını hibrit bir enerji üretim sistemi ile karşılamayı düşünmüşlerdir. Yapılan araştırmada o bölge için, 30 adet 10kW RT, 150m² lik PV, 3 günlük ihtiyacı karşılayacak akü grubu, toplam ihtiyacın %17'lik kısmını karşılayacak dizel jeneratör optimum sistem olarak bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmada akü grubunun sistemden çıkarılmasının dizel kullanımına etkileri de araştırılmış ve dizel kullanımının %38'lere ulaştığı görülmüştür.

Habib ve ark. (1999), hibrit fotovoltaik/rüzgâr enerji sisteminin optimizasyon işlemi, verilen herhangi bir yük dağılımının gereksinimi karşılamak için kullanılabilmesi durumunu araştırmışlardır. Offshore platformun katodik koruması için gerekli olan 5 kW'lık sabit bir yükü sağlamak için önerdiği analiz yöntemini uygulamıştır. Minimum maliyetle optimum rüzgâr/ güneş enerjisi güç üretim oranının %70 olabileceğini göstermişlerdir.

Elhadidy ve Shaahid (1999) Suudi Arabistanın doğusunda Basra körfezine kıyısı olan Zahran şehrinde rüzgâr-güneş-dizel hibrit sisteminin yıllık 41.500 kWh elektrik üretebilmesi için gerekli fotovoltaik kurulu gücünü, rüzgâr türbini sayısını ve batarya depolama kapasitesini belirlemişlerdir. Buna göre, iki adet 10 kW rüzgâr türbini, 30 m² alana sahip güneş paneli ve yük talebinin %23 karşılamak zorunda olan dizel sistemden oluştuğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte batarya depolama çıkarılacak olursa, yükün %48'inin dizel sistemden sağlanması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasından güneş ve rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisi ile televizyon, klima, bilgisayar, aydınlatma ve buzdolabı cihazlarının elektrik enerjisi tüketimlerinin anlık olarak ölçülerek değerlendirilmesine ilişkin Konya ili şartlarında yapılan herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu tez kapsamında bu boşluğun giderilmesine çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Dünyada teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır. Günümüzde enerji talebi artarken özellikle fosil kaynaklı mevcut enerji türlerinin rezervleri de hızla azalmaktadır. Bu nedenle, yoğun bir şekilde çevreye zararları az olan ve uzun ömürlü olabilecek alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Bu enerji kaynaklarından en önemli ve kolay bir şekilde faydalı enerjiye dönüştürülebilecek olanları rüzgar ve güneş enerjisidir. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimine yönelik çalışma ve uygulamalar artmaktadır.

Güneş enerjisinin pozitif özelliklerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmaktadır. Tükenmez, ücretsiz ve çevre dostu olması bunlardan sadece bir kaçıdır. Bu yüzden güneş enerjisi dünyada olduğu gibi Türkiye'de de büyük bir hızla önem kazanmaktadır. Bununla birlikte güneş enerjisi uygulamaları alanında teknoloji gelişimi tetiklenmektedir. Türkiye'de bu yarışta kendine yer bulmak isteyen ülkeler arasındadır.

Yeryüzünün ihtiyaç duyduğu enerjinin tümü güneş'ten alınır. Güneş, yeryüzüne her saat 10¹⁷ kWh'lik enerji yayar. Güneş'ten gelen enerjinin yaklaşık % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Yani rüzgar enerjisi, hız enerjisine (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisidir denilebilir (Karadeli, 2001). Rüzgâr enerjisi de güneş enerjisi gibi,

çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu yüzden de rüzgâr türbinlerin kullanımı günümüzde çok büyük önem kazanmıştır. Ülkelere yavaş yavaş fosil yakıtlardan enerji üretmeyi azaltmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler.

Türkiye kullandığı enerjinin büyük bir bölümünü ithal etmektedir. Bu da ülkemizin bağımsızlığını kısıtlamakta ve herhangi bir savaş durumunda büyük tehlike arz etmektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji Türkiye için büyük bir şanstır. Çünkü ülkemiz konumu itibariyle güneş ve rüzgârdan yararlanma olanakları açısından çok elverişlidir. Türkiye coğrafi konumu ve hüküm süren iklim koşulları itibarı ile rüzgar enerjisi kaynakları bakımından, teorik olarak elektrik enerjisinin tamamını karşılayabilecek seviyededir. Ülkemiz; toplamı 8000 km' yi bulan ve bunun büyük bir kısmında rüzgar enerjisini kullanılabilecek durumda bulunan sahil şeridine sahiptir. Türkiye'nin teorik olarak hesaplanan rüzgar enerjisi potansiyeli 83.000 MW'dır.

3.1. Türkiye'nin Enerji Görünümü

Türkiye, yaklaşık 74 milyon nüfusu ve %1,7'lik büyüme oranı ile Avrupa ülkeleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Artan nüfus ve ekonomik hareketlilik gibi faktörler nedeniyle enerji talebi de artan Türkiye'nin yıllara göre birincil kaynaklardan yapılan genel enerji arzı Çizelge 3.1.'de, bu kaynakların paylara göre dağılımları da Çizelge 3.2'de verilmiştir (Anonim, 2006a). Çizelge 3.2. incelendiğinde, 1990'da toplam genel enerji arzında % 6,16 paya sahip olan doğalgazın 2005 yılına gelindiğinde % 24,07 pay ile toplam arzın yaklaşık dörtte birini oluşturduğu görülmektedir. 1990-2005 yılları arasında 15 yıllık bir sürede yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken büyüklükteki yatırımların yapılmadığı görülmektedir.

Ocak 2006'da yaşanan Türkiye ile Rusya arasındaki doğalgaz krizi ve ardından Türkiye'ye günde 20 milyon m³ doğalgaz vermesi gereken İran'ın, teknik arıza gerekçesiyle, bu miktarı 6 milyon m³'e düşürmesi, enerjide dışa bağımlı olan Türkiye'yi yeni bir durum değerlendirmesine itmiştir. Doğalgaz ithalinde yaklaşık % 90'lık bir pay ile Rusya ve İran'a bağlı olan Türkiye, 2005 yılı sonu itibariyle aldığı toplam 27.167 milyon m³'lük doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgazın (LNG), 17.826 milyon m³'ünü yani % 65,6'sını Rusya'dan sağlamıştır. Alınan doğalgazın 15.435 milyon m³'ü elektrik sektöründe, 5.843 milyon m³'ü konut sektöründe, 4.993 milyon m³'ü sanayi sektöründe ve 594 milyon m³'ü gübre sektöründe kullanılmıştır (Anonim, 2010a). Elektrik

sektöründe kullanılan 15.435 milyon m³ doğalgaz göstermektedir ki alınan doğalgazın % 56,8'lik miktarı yani ithal edilen doğalgazın yarısından fazlası elektrik üretimi için kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Türkiye'nin Yıllara Göre Birincil Kaynaklardan Yapılan Genel Enerji Arzı (Anonim, 2006a)

Kaynaklar	Birimi	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Taşkömürü	Bin Ton	8.191	8.548	15.393	11.039	13.756	17.535	18.904	23.116
Linyit	Bin Ton	45.891	52.405	64.384	61.010	52.039	46.051	44.823	60.941
Asfaltit	Bin Ton	287	66	22	31	5	336	722	700
Petrol	Bin Ton	22.700	27.918	31.072	29.661	29.776	30.669	31.729	33.595
Doğalgaz	Milyon m ³	3.418	6.937	15.086	16.339	17.694	21.374	22.446	24.714
Hidrolik	GWh	23.148	35.541	30.879	24.010	33.684	35.330	46.084	41.889
Jeotermal Elektrik	GWh	80	86	76	90	105	89	93	122
Jeotermal Isı	Bin Tep	364	437	648	687	730	784	811	976
Rüzgâr	GWh	-	-	33	62	48	61	58	56
Güneş	Bin Tep	28	143	262	287	318	350	375	409
Odun	Bin Ton	17.870	18.374	16.938	16.263	15.614	14.991	14.393	13.819
Hayvan ve Bitki Artıkları	Bin Ton	8.030	6.765	5.981	5.790	5.609	5.439	5.278	5.127

Elektrik üretim kapasitesi ise, 2007 yılında (40.836 MW), bir önceki yıla göre kayda değer bir artış göstermemiş, 2008'de ise 912 MW'lik (%2,23) bir artışla 41.748 MW'ye ulaşmıştır. Kasım 2009 itibariyle kurulu güç 44.600 MW'ye varmıştır.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin Yıllara Göre Birincil Kaynaklardan Yapılan Genel Enerji Arzının Paylara Göre Yüzde Dağılımı (Anonim, 2006a)

Kaynaklar	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Taşkömürü	10,11	8,66	12,37	9,79	11,40	13,51	13,93	15,42
Linyit	15,20	14,25	13,90	2,95	11,57	9,52	8,87	10,92
Asfaltit	0,26	0,05	0,01	0,01	0,00	0,19	0,38	0,34
Petrol	48,39	48,86	43,17	59,04	42,65	40,82	40,40	38,73
Doğalgaz	6,16	10,26	17,70	20,45	21,41	24,03	24,13	24,07
Hidrolik	4,12	5,19	3,58	3,70	4,03	3,93	4,90	4,03
Jeotermal Elektrik	0,14	0,13	0,09	0,10	0,13	0,10	0,10	0,12
Jeotermal Isı	0,75	0,62	0,49	0,65	0,51	0,47	0,45	0,41
Rüzgâr	-	-	0,004	0,0004	0,01	0,01	0,01	0,01
Güneş	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Odun	11,10	9,37	6,85	2,73	6,51	5,81	5,34	4,64
Hayvan ve Bitki Artıkları	3,71	2,56	1,80	0,53	1,74	1,57	1,46	1,28
Toplam(%)	100	100	100	100	100	100	100	100

Çizelge 3.3. Türkiye'de Yıllara Göre Yerli ve İthal Kaynaklardan Yapılan Genel Enerji Arzının Paylara Göre Dağılımı (Anonim, 2006a)

Kaynaklar	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Toplam Enerji Arzı (Bin Tep)	52,99	63,68	81,25	75,95	78,71	83,97	87,82	93,30
Yerli Üretimin Toplam Arzdaki Payı (%)	48,09	41,95	33,06	33,14	31,42	28,55	27,79	28,82
İthal Edilen Enerjinin Toplam Arzdaki Payı (%)	51,91	58,05	66,94	66,86	68,58	71,45	72,21	71,18

Çizelge 3.3.'den görüleceği üzere 1990 yılında toplam enerji arzının % 48,09'unu karşılayabilen ülkemiz 2005 yılına gelindiğinde toplam 93.302 Bin Tep enerji arzının sadece % 28,82'lik bölümünü karşılayabilmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi genel enerji arzında büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye'nin, özellikle 1985 yılından sonra doğalgaz güç çevrim santrallerinin sisteme girmesi ile elektrik üretiminde kullandığı kaynaklarda ithalat oranı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde 2005 yılı sonu itibariyle toplam elektrik üretimi 161.504,8 GWh'e ulaşmış olup, Çizelge 3.4.'den görüleceği üzere, 2005 yılı sonuna gelindiğinde toplam 38.819,9 MW kurulu gücün %66,6'sını termik, %33,2'sini hidrolik ve yaklaşık %0,1'ini jeotermal ile rüzgâr santralleri oluşturmaktadır (Anonim, 2006b).

2007 verileriyle 1.525 kgep gibi oldukça düşük bir değer olan kişi başına birincil enerji tüketimi, 2008'de kriz nedeniyle daha da azalmış ve 1.495 kgep olarak gerçekleşmiştir. Dünya ortalamasının 1.820 kgep olduğu göz önüne alındığında, Türkiye'de kişi başına birincil enerji tüketiminin düşük olduğu görülür. Aynı şekilde kişi başına elektrik enerjisi tüketimi de 2.791 kWh (brüt) seviyesinde olup, bu değer 8.900 kWh'lik gelişmiş ülkeler ortalamasının üçte birinin altındadır.

Çizelge 3.4. Türkiye Kurulu Güç ve Elektrik Üretiminin Yıllar İtibariyle Gelişimi (Anonim, 2006b)

Yıllar	Kurulu Güç (MW)				Üretim (GWh)			
	Termik	Hidrolik	Jeotermal+ Rüzgâr	Toplam	Termik	Hidrolik	Jeotermal+ Rüzgâr	Toplam
1970	1.509,5	725,4	-	2.234,9	5.590,2	3.032,8	-	8.623,0
1975	2.407,0	1.779,6	-	4.186,6	9.719,2	5.903,6	-	15.622,8
1980	2.987,9	2.130,8	-	5.118,7	11.927,2	11.348,2	-	23.275,4
1984	4.569,3	3.874,8	20,4	8.464,5	17.165,1	13.426,3	22,1	30.613,5
1985	5.229,3	3.874,8	20,4	9.124,5	22.168,0	12.044,9	6,0	34.218,9
1990	9.535,8	6.764,3	20,4	16.320,5	34.314,9	23.148,0	80,1	57.543,0
1995	11.074,0	9.862,8	20,4	20.957,2	50.620,5	35.540,9	86,0	86.247,4
2000	16.052,5	11.175,2	39,3	27.267,0	93.934,2	30.878,5	108,9	124.921,6
2001	16.623,1	11.672,9	39,3	28.335,3	98.562,8	24.009,9	152,0	122.724,7
2002	19.568,5	12.240,9	39,3	31.848,7	95.563,1	33.638,8	152,6	129.399,5
2003	22.974,4	12.578,7	40,5	35.593,6	10.5101,0	35.329,5	150,0	140.580,5
2004	24.144,7	12.645,4	40,5	36.830,6	10.3518,6	46.034,8	148,1	149.608,3
2005	25.873,4	12.906,0	40,5	38.819,9	12.1787,5	39.572,0	145,3	161.504,8

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 arasındaki dönemde yüzde 40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama yüzde 1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007'deki 12 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar tep düzeyine ulaşacaktır. Referans senaryoya göre fosil yakıtlar, 2007 ve 2030 arasındaki dönemde enerji tüketimindeki artışın dörtte üçünden fazlasına karşılık gelerek birincil enerjide söz sahibi kaynaklar olarak kalmaya devam edecektir (Türkyılmaz, 2010).

Enerjiyi kesintisiz, güvenilir, ucuz, temiz ve çeşitlendirilmiş kaynaklardan sağlayabilmek ve verimli kullanmak önemlidir. Ne var ki bu güne kadar kullandığımız birçok enerji dönüştürme yönteminin çevreye ve insanlara verdiği zarar artık ciddi boyutlara ulaşmıştır. Özellikle yirminci yüzyılın acımasız ve neye mal olursa olsun daha fazla üretim, daha fazla kar güdüsünün, gerek çevreye, gerekse canlılara onarılamaz derecede zarar vermesi, enerji gereksiniminin insana daha yakışır biçimde nasıl karşılanabileceği sorusunu ve araştırmasını beraberinde getirmiştir. Ülkelerin, kendi yurttaşlarına ve dünya halklarına daha güzel bir dünya sunabilmek için, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla enerji üretmeye yönelmeleri kaçınılmazdır. Bu noktada doğanın dünya ölçeği dağılımında daha adil ve eşitlikçi davrandığı rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları da, tüm insanlığın hizmetinde olacaktır.

3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Tarihi insanlık tarihinin başlangıcına kadar uzanan enerjinin, ilk çağlardan beri kullanılmakta olan türleri arasında güneş ve rüzgâr enerjisinin de bulunduğu belirtilmiştir. “Enerji üretim ve kullanımında çevre dostu teknolojiler” olarak adlandırılan bu kategorideki enerji kaynaklarına son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin sonucunda jeotermal, fotovoltaik, solar hidrojen türleri de dâhil olmuştur. Tüm bu enerji kaynaklarının yeni olarak adlandırılmasının sebebi, üretim imkânları, maliyetleri ve kullanım yaygınlığı açısından fosil enerji kaynaklarına göre çok sonradan ekonomilere dâhil olmasındandır.

Dünyada hızlı endüstrileşme sonucunda kullanım miktarları giderek artan ve doğada yenilenemez şekilde var olan fosil yakıtların tükeneceği beklentisi, özellikle 1970'li yıllarda yaşanan iki petrol krizi ile birleşince, ekonomik ve ekolojik alternatif enerji kaynaklarıyla ısı ve elektrik enerjisi elde etme ihtiyacı giderek artmış, sonuçta bu tür enerji kaynakları için yapılan bilimsel-teknolojik araştırmalara büyük hız verilmiştir. Gelişmeler sonucu, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemlerinin kapladığı alanların giderek daraltılması, ilgili sektörlerin yüksek istihdam imkânları yaratması ve rekabet edebilir maliyetler, 21. yüzyılın alternatif enerji kaynaklarının çağı olacağı yorumlarına sebep olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları kategorisi içerisinde yer alan biokütle enerjisi, insanlığın ısınma ve pişirme için binlerce yıldır kullandığı bitki ve hayvan artıklarının yakılmasıyla elde edilmektedir. 18 yüzyılda dünya genelinde giderek artan odun kıtlığı diğer enerji türlerinin etkinlik kazanmasıyla 19. yüzyılda ortadan kalkmıştır. Endüstrileşmiş ülkelerde terk edilen bu yöntem, gelişmekte olan ülkelerde yaygın bir şekilde sürmektedir. 20.yüzyılın sonlarında endüstrileşmiş ülkelerin önem verdiği yöntem, artık enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıklarının ve kentsel atıkların biyogaz ve çöp santralleri ile enerji üretiminde kullanılmasıdır.

Dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakası delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkiler, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı kaşıya bırakmıştır. Bu koşullar, dünyayı giderek artan bir enerji gereksinimini karşılamak, çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu kaynakların başında güneş ve rüzgâr enerjisi yer almaktadır. Güneş, yüzyıllardır dünyadaki bütün yaşamın kaynağıdır. Bugün, güneş ve rüzgâr enerjisi dünyamızı bir çevre felaketinin eşiğine getiren fosil yakıtlara alternatif olacak güce ulaşmıştır. Günümüzde enerji üretmek için kullanılan petrol ve kömür gibi yakıtlar, içinde bulunduğumuz yüzyıl sona ermeden tükenecektir. Bu yakıtlara alternatif olabilecek kaynaklar ise yenilenebilir enerjilerdir.

Halen dünya enerji ihtiyacının %95 gibi bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar (petrol, doğal gaz, kömür, linyit, asfaltit), su gücü (hidrolik) ve nükleer enerji çağımızın geleneksel enerji kaynakları olmuştur. Bu kadar yüksek kullanım oranına rağmen kaynakların sınırlı olması (fosil yakıtlar), çevreye olumsuz etkileri (fosil yakıtlar, nükleer enerji, hidrolik) nedeniyle sürekli daha güvenli, yenilenebilir, kaynak tüketmeyen, çevre ve canlı yaşamı olumsuz etkilemeyecek enerji kaynaklarından

yararlanma zorunluluğu ve isteği doğmuştur. Bu klasik enerji kaynakları dışındaki kaynaklar alternatif enerji kaynakları olarak adlandırılır. İlke olarak görünür görünmez her enerjisi olan, enerji oluşturabilecek, ya da enerji yayan kaynaktan yararlanma yolları araştırılmaktadır. Söz konusu kaynaklar rüzgâr, jeotermal ve yerküre ısısı, güneş, biokütle (bitkisel ve hayvansal atık), deniz dalgası ve gel-git olayı, deniz suyu sıcaklığı, deniz akıntısı ve füzyon enerjileridir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerji de dünya potansiyelinin %8' ine sahiptir. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük ölçüde güneş enerjisi almaktadır. Türkiye hidrolik enerji potansiyeli açısından da dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 160 TWh olarak tahmin edilmektedir (Dönmez, 2005). Ülkemiz, coğrafi konumu sebebiyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.640 saat (günlük toplam ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri verilmiştir.

Türkiye'de 2005 yılında üretim ve tüketimi birbirine eşit olmak üzere, bir önceki yıla göre yenilenebilir kaynaklardan hidrolik enerjide %1,7 azalma, jeotermal enerjide %10,5 artış, güneş enerjisinde aynı duruma koruma, hayvan ve bitki artıklarında %1,4 azalma görülmüştür. Odun üretim ve tüketimi de aynı düzeyini korumuştur. 2005 yılında rüzgâr enerjisi üretim ve tüketimi yoktur. Sıralanan yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerji, toplam enerji arzı içinde %38,7'lik pay kapsamaktadır. Özellikle tezeğe dayalı hayvan ve bitki artıkları değerlendirme dışı tutulacak olursa, yenilenebilir enerjinin toplam enerji arzı içindeki payı % 33,2 düzeyindedir. Hidrolik enerjinin tek başına yerli üretimdeki payı %12,4 iken, klasik biokütle (odun+hayvan ve bitki artıkları) payı %25,4'dür.

2005 verilerine göre, yenilenebilir enerjinin Türkiye'nin genel enerji tüketimindeki payı ise %15 kadardır. Hayvan ve bitki artıkları değerlendirme dışı tutulduğunda bu pay %12,9 düşmektedir. Hidrolik, jeotermal ve güneş enerjisinin tüketimdeki toplam payı %5,2 olmuştur. Hidrolik kaynaktan sağlanan enerji ise, güneş ve jeotermalden sağlananın 13 katıdır.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilen alternatif kaynaklardan yararlanılması; hidrolik enerji dışında, teknolojik gelişmelerinin yeniliği

ve geleneksel kaynaklarla ekonomik açıdan rekabet edebilme güçlükleri nedeniyle, bugüne kadar arzulanan düzeye ulaşamamıştır. Bununla birlikte, jeotermal, güneş, rüzgâr ve modern biyokütle enerjisi teknolojileri, bu gün dünya enerji pazarlarında yer almaya başlamışlardır. Enerji bitkileri, fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Yeraltında ısıl enerji depolaması özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girerken, hidrojen enerjisi teknolojisinde yoğun araştırmaların sürdüğü görülmektedir.

Türkiye'nin hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz dalgı enerjisi ve biyokütle enerji potansiyelleri üzerinde durulmalı, kullanım düzeyleri açıklanmalı, bu kaynaklara ilişkin kullanılabilir potansiyellerin geliştirilme olanakları irdelenmelidir.

3.3. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisinin ana kaynağı güneş olarak bilinmektedir. Güneş dünya etrafındaki havayı ısıtarak bazı alanların daha fazla, bazılarının daha az ısınmasına sebep olmaktadır. Isınan hava bir alçak basınç, soğuk hava da bir yüksek basınç alanı meydana getirmektedir. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru bir hava akımı meydana gelir ve bu hava akımı rüzgâr olarak bilinmektedir. Yeryüzünde esen rüzgârların tamamı alçak ve yüksek basınç alanlarının oluşması sonucu meydana gelmektedir.

Bu hava hareketinin hızına göre hafif veya kuvvetli rüzgârlar oluşmaktadır. Rüzgârın esme şiddetine göre hızı da değişik değerler almaktadır. Rüzgârın esmesi en hafif şiddette olduğu gibi fırtına ve daha güçlü akımlar halinde de olabilmektedir. Örneğin; rüzgârın 118 m/h'ten daha fazla esmesi ile kasırgalar oluşmaktadır. Rüzgârın hızı rüzgârın esmesi sonucu çalışan bazı aletlerin yardımı ile ölçülmektedir. Rüzgâr hızını ölçen aletlerin pervanelerinin dönmesiyle oluşan devir sayıları rüzgârın şiddetini belirlemektedir.

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir, kullanılabilir ve çevre bakımından temiz olan bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisi teknolojisi, diğer güç kaynaklarına oranla daha ekonomiktir. Taşıma sorunu bulunmaz ve aynı zamanda kullanımı da yüksek bir teknoloji gerektirmez. Buna göre rüzgâr gücü yoğunluğu iyi olan yerlerde rüzgâr enerji sistemleri kurularak büyük ekonomik yararlar sağlanır. Rüzgâr enerjisinin bazı özellikleri şu şekilde sıralanır.

- Rüzgâr enerjisi, Betz teoremine göre rüzgâr hızının üçüncü kuvveti ile doğru orantılı olarak değişmektedir.
- Rüzgâr enerjisinin yoğunluğu değişik derecededir.
- Rüzgâr enerjisinden yararlanmak için başka bir enerji türüne dönüştürülmesi lazımdır.
- Çevre kirliliği yapmadan temiz bir enerji kaynağı olarak yararlanılabilir.
- Atmosferde bol ve serbest olarak bulunmaktadır.
- Elde edilmesi kolay ve masrafsızdır.
- Güneş ve dünya var olduğu müddetçe rüzgâr enerjisinden yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak faydalanılabilir.

Yenilenebilir kaynaklar içinde özellikle elektrik enerjisi üretiminde öne çıkan bir enerji türü rüzgâr enerjisidir. Herhangi bir atık üretmemesi, taşınma maliyetinin olmaması, yerli enerji kaynağı olması, rüzgâr türbinlerinin basit bir teknoloji ile inşaatına başlandıktan yaklaşık 3 ay sonra ticari üretime geçmesi, atmosfere ve yakındaki nehir ve denizlere ısı emisyollarının bulunmaması, rüzgâr gücünün üstünlükleridir. Bu enerji kaynağının etkin kullanımı ülkelerin rüzgâr potansiyeline bağlıdır. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgârdan sağlanacak enerji, hızıyla orantılıdır. Rüzgârın hızı, yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı biçimde artmaktadır.

Rüzgârdan elektrik üretimi 100 yıl önce başlamıştır. 1950 yılı öncesinde daha çok 20-100kW'lık makinalar üzerinde durulmuş olmakla birlikte, 1250 kW'lık türbinler de yapılmıştır. 1974-1978 yapay petrol krizine kadar 100-800 kW'lık rüzgâr türbinleri üzerinde durulduğu görülmektedir. 1980'li yıllarda yeni teknoloji ve malzemelerle yeniden gelişerek dizayn edilen ve maliyetleri düşürülen rüzgâr türbinleri rüzgâr elektriği için çağ açmıştır.

Rüzgârla elektrik üretimi, ilk kez 1890 yılında Danimarka'da yapılmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek bir ülke olan ve sektörde 12 bin kişiye istihdam imkânı yaratan Danimarka, 1918 yılında 20-35 kW'lık türbinlerle 120 kırsal merkezin elektrifikasyonunu sağlayacak bir program başlatmıştır. Günümüzde bu teknolojilerin en ileri düzeyde olduğu ABD'de rüzgâr ve güneş gibi alternatif enerji santralleri teknolojilerinin gelişimi, 1978 yılında Birleşik Devletler Kongresi'nden geçen, Kamu Yararlarını Düzenleme Politikaları Yasası (PURPA) sayesinde olmuştur. Rusya, İngiltere ve ABD'nin uzun süredir yürütülmekte olan deneysel çalışmalara hız vermesi

sonucu, 1991 yılında 5 MW'lık kurulu güce sahip rüzgâr santralleri kurulabilecek duruma gelinmiştir.

Son 15 yıldır ABD'de kamu ve özel yatırımların katkıları ile ve çıkarılan çevre yasaları ile dünyanın en büyük rüzgâr endüstrisi olan Amerikan rüzgâr endüstrisi yaratılmıştır. 1982-1992 arasında Kaliforniya'da yaklaşık 15 bin rüzgâr türbini kurulmuş, 1993 yılında buralardan 3 milyar kWh elektrik üretilmiştir. Bugün dünyanın en büyük rüzgâr çiftliği 370 MW gücü ile ABD'de bulunan KENETECH Windpower'ın Altamount Pass Rüzgâr Tesisi'dir. Bu çiftlikte 100 kW'lık 3500 adet ve 300-405 kW'lık 40 adet türbin bulunmaktadır.

Dünya genelinde rüzgâr enerjisinin kurulu gücü, her yıl %20 oranında artmaktadır. 1990 yılında dünyada rüzgâr santrali kurulu gücü 2160 MW iken 1996 yılında 6097 MW'ye çıkmıştır. Bu kurulu gücün %57,5'i Avrupa'da, %98'i ABD'de olmak üzere %26,4'ü Kuzey Amerika'da, %14,7'si Asya'dadır. Yapılan projeksiyonlarda 2000'lerin başında yalnız Avrupa'nın kurulu gücünün bugünkü dünya kurulu gücüne yaklaşacağı hesaplanmıştır. 2000'li yılların Avrupa'sında en büyük kapasitenin 2000 MW ile Almanya'da olması, bu ülkeyi 1000 MW'lık güçlerle Danimarka, İngiltere ve İspanya'nın izlemesi beklenmektedir. ABD'nin beklentisi önümüzdeki 10-12 yılda rüzgârdan üretilecek elektriğin diğer tüm kaynaklardan daha ucuz olacaktır. Gelecek 10 yılsonunda ABD elektrik üretiminin %20'sini rüzgârdan üretmeyi planlamaktadır. Avrupa Birliği 2006 yılında birincil enerjinin %8'ini ve elektriğin %20'sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedefleyerek elektrik üretiminde rüzgâra %2'lik bir pay ayırmıştır. 2006 yılında Avrupa'da kurulu rüzgâr kapasitesi 12.000 MW olacaktır. 2030'da Avrupa için planlanan kurulu kapasite 100.000 MW'dir. Bu da Avrupa Birliği'nin mevcut elektrik talebinin %10'una eşittir.

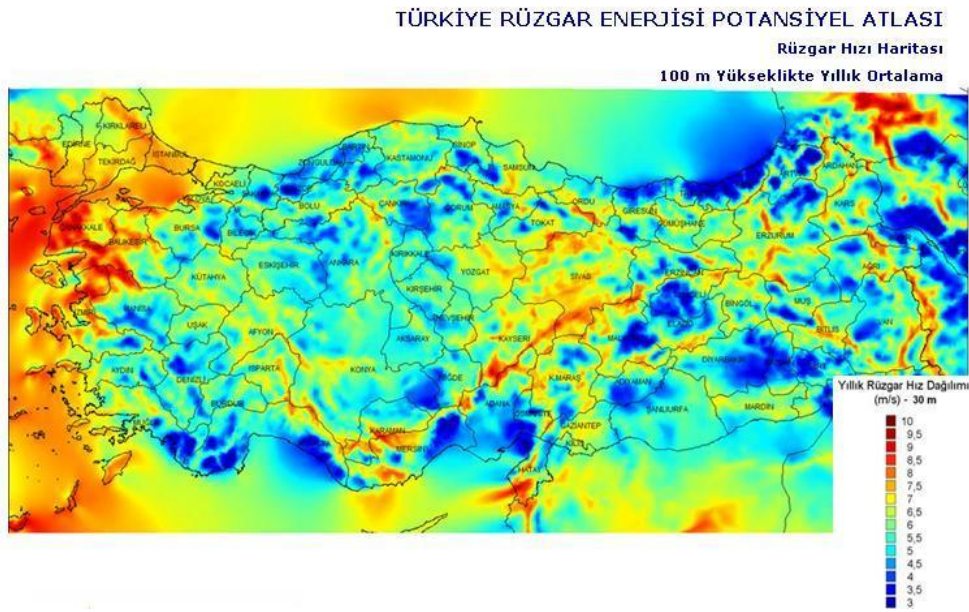
Rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan teorik çalışmalara göre, Türkiye'nin karasal alanlarında 400 milyar kWh/yıl brüt potansiyel ve 120 milyar kWh/yıl teknik potansiyel olduğu hesaplanmıştır. Brüt potansiyel 160.000 MW, teknik potansiyel de 48.000 MW rüzgâr gücüne karşılıktır. Ancak, Türkiye'nin ekonomik rüzgâr potansiyelinin 50 milyar kWh/yıl olduğu kestirilmektedir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi için gereken kurulu rüzgâr gücü ise 20.000 MW'dır.

Söz konusu karasal potansiyellerin dışında Türkiye deniz alanlarında rüzgâr teknik potansiyelinin 60.000 MW düzeyini aşkın olduğu tahmin edilmektedir. Ancak, bunun teknik ve ekonomik bölüntüsü ile ilgili hiçbir etüt bulunmamaktadır.

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeline ilişkin sağlıklı ölçüm sonuçlarına ve çıkarılmış rüzgâr atlasına dayalı kesin verileri yoktur. Meteoroloji istasyonları tarafından uzun yıllardır yapılan rüzgâr ölçümleri iklim amaçlıdır. Enerji amaçlı rüzgâr ölçüm verilerinin azlığı kesin potansiyel hesaplanmasına imkân tanımamaktadır.

Havanın kütlesi az olduğundan rüzgârdan sağlanacak enerji hızına bağlıdır. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü hızının küpü ile orantılı biçimde artar. Sağlayacağı enerji gücüne ve esme saat sayısına göre değişir. Özgül rüzgâr gücü, hava akımına dik birim yüzeye düşen güçtür. Türkiye'de yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı yıllık ortalaması, Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarında 4,5-5,6 m/s, iç kesimlerde 3,4-4,6 m/s arasındadır. 10 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 4-5 m/s olan yörelerimizde, türbin kurulması açısından önemli olan 50 m yükseklikteki güç yoğunluğu çoğu kez yıllık ortalama olarak 500 W/m^2 düzeyini aşmaktadır.

Türkiye'de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İstasyonlarında yapılan iklim amaçlı rüzgâr ölçümleri, rüzgâr santrallerinin kurulacağı yerlerin karakteristiklerini temsil etmekten çok uzaktır. Bu nedenle, rüzgâr potansiyeli önemli görülen ve rüzgâr santrali kurulması düşünülen yörelerde, Elektrik İşleri Etüd İdaresi ve özel sektör kuruluşları tarafından enerji amaçlı ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerden alınan bazı sonuçlara göre, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi haritası çıkarılmıştır.



Şekil 3.1. Türkiye'nin rüzgar haritası (Anonim, 2007).

Uydu ile uzaktan algılama verilerine dayalı biçimde yapılmış hesaplamalar çoğunluğu batıda olmak üzere Türkiye kıyı alanlarında kullanılabilir 8.200 MW'lık bir potansiyelin varlığını göstermektedir. Bugün Türkiye'de ölçümlerle kanıtlanmış güvenilir 12,4 milyar kWh/yıl rüzgâr potansiyeli, yaklaşık 5.000 MW kurulu güçle değerlendirilmeyi beklemektedir. Rüzgâr enerjisi zenginliği sırasıyla Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz kıyı alanlarında bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da rüzgârca zengin yörelerin var olduğu bilinmektedir.

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kaynakları teorik olarak Türkiye'nin elektriğinin tamamını karşılayabilecek yeterliliktedir. Fakat rüzgâr enerjisinin sisteme girişinin tutarlı bir biçiminde gerçekleşmesini kolaylaştırmak üzere gerekli altyapı tasarımlanmalıdır.

Türkiye'nin Anadolu ve Rumeli kısımlarına dengeli bir dağılımla seçilen 20 meteorolojik istasyon çevresinde Türkiye Rüzgâr Atlası çalışmaları Dr. Tanay Sıdkı Uyar ve çalışma ark. tarafından 1989 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışma meteoroloji istasyonlarında toplanan verilerin rüzgâr enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılacak çalışmalarda kullanılacak düzeyde temsili olmadığını kanıtlamıştır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği TÜREB' in kuruluşundan sonra yatırımcılar, akademisyenler, imalatçılar ve diğerleri Türkiye'de rüzgâr enerjisi gelişimini desteklemek üzere bir araya geldiler.

Son yıllarda, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin çabaları ve ETKB ile Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİEİ) TÜREB çalışmalarına katılımı sonrası Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli kabul görmeye başlamıştır.

Türkiye'de rüzgâr enerjisinin gelişiminin önündeki sorunları belirlemek üzere Kocaeli Üniversitesi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Araştırma Birimi(YEKAB) tarafından 3 adet Uluslararası Rüzgâr Enerjisi atölye çalışması düzenlenmiştir. Bu atölye çalışmalarına katılanlar daha sonra uzun süreli ortaklıklar kurmuş ve Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımı çalışmaları yaygınlaşmıştır.

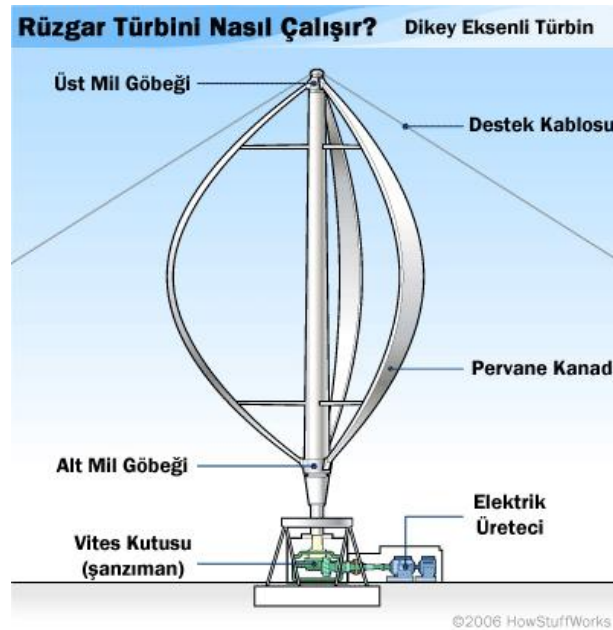
Kocaeli Üniversitesi YEKAB birimi tarafından İstanbul'da koordinasyonu ve tasarımı yapılan 2 adet uluslararası enerji teknolojileri fuarı kamuoyu ve karar vericilere modern rüzgâr türbinlerinin gelişmişliğini göstermiştir.

Rüzgâr türbinine bağlı elektrik üretici, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2-3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlayabilmektedir. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgârdan

sağlanacak enerji rüzgâr hızına bağlıdır. Rüzgâr hızı yükseklikle, gücü ise hızının kübü ile orantılı biçimde artar. Rüzgârın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme saati sayısına bağlıdır. Özgül rüzgâr gücü, hava debisine dik birim yüzeye düşen güçtür. Topoğrafik koşullara göre yerden 50 m yükseklikte özgül güç, hız 3,5m/s den küçük iken 50W/m^2 den az olabileceği gibi hız 11,5m/s den büyük iken 1800W/m^2 den çok olabilir. Ortalama rüzgâr hızı yıldan yıla değişebilir. Rüzgâr hızının değişkenliğinden dolayı, rüzgâr enerjisi potansiyelinden elde edilecek enerji, yıllık ortalama hız değerinden hesaplanan enerjiden daha fazla olmaktadır. Bu yüzden belli bir bölgede rüzgâr türbinleri ile üretilebilecek elektrik enerjisi üretim miktarının hesabında, yıllık ortalama rüzgâr hızından çok, gözlemlenen dağılım veya Weibull dağılımı ile hesap edilmiş rüzgâr hızı sıklık dağılımı kullanılmaktadır. Türbin tarafından üretilen enerjinin miktarı, rüzgâr hızı dağılımına bağlıdır. Rüzgâr hızları, frekans dağılımına bağlı olarak, aynı ortalama rüzgâr hızına sahip farklı yerlerde iki kata varabilecek güç yoğunluğu farklılıkları olabilir. Bu durum küp çarpanından kaynaklanmaktadır.

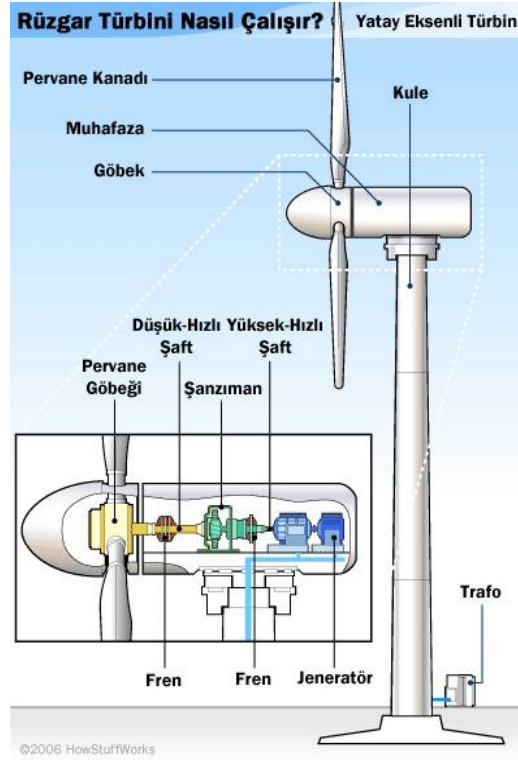
3.3.1. Rüzgâr türbinleri

Şekil 3.8 ' de dikey eksenli rüzgâr türbini gösterilmiştir. Dönme eksenini rüzgâr yönüne göre dik ve düşey yöndedir. Kanatların yüzeylerine gelen itme kuvvetinin farkından dolayı dönme hareketi oluşur.



Şekil 3.8. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini (Erdoğan, 2010)

Şekil 3.9 'da yatay eksenli Rüzgâr türbini gösterilmiştir. Dönme eksenini Rüzgâr yönüne paralel ve kanatları Rüzgâr yönüne dik olarak geliştirilmiştir. Günümüzde genellikle bu tip Rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisini maksimum güce çevirmek için dönme eksenini daima rüzgâr yönünde olmalıdır.



Şekil.3.9. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini (Erdoğan, 2010)

Rüzgâr Türbini yapısında aşağıdaki elemanlar bulunur.

- Kanatlar
- Gövde
- Dişli Kutusu
- Jeneratör
- Elektronik Kontrol Sistemi
- Kule

Kanatlar; türbin kanatları rüzgâr türbininin en önemli bileşenleridir ve yüksek yoğunluklu ahşap veya camfiber ve epoksi kompozitlerinden yapılır. Modern Rüzgâr

türbinleri 2 veya 3 kanatlı olarak imal edilirler. Rüzgârın itme kuvvetini mil vasıtası ile gövdeye dairesel hareket olarak aktarırlar.

Gövde; rüzgâr türbinin temel parçalarını bir arada tutan elemandır. Gövdenin uç kısmında kanatlar ve göbekten oluşan rotor bulunur.

Dişli Kutusu; dişli kutusu döndürme kuvvetini düşük hız milinden yüksek hız miline aktarılmasını sağlayan dişlilerden oluşur. Yüksek hız mili ile düşük hız mili arasında genelde yaklaşık 50 kat fark vardır.

Jeneratör; rüzgâr türbinin mekanik gücünü elektrik gücüne dönüştüren elemandır. Senkron veya asenkron motora sahip olabilirler.

Elektronik Kontrol Sistemi; elektronik kontrol sistemi, Rüzgâr türbinin durumunu sürekli izleyen bir sistemdir. Yön mekanizmasını kontrol eder. Herhangi bir arıza oluşması durumunda Rüzgâr türbinini otomatik olarak durdurur ve operatöre uyarı gönderir.

Kule; kule, gövde ve rotoru taşır. Yerden yükseldikçe Rüzgâr hızlarının artmasından dolayı kulenin yüksek olması bir avantajdır. Kuleler, dairesel ve kafes biçiminde olabilirler. Dairesel kulelerde türbin gövdesine ulaşmak için bir iç merdiven bulunur.

19. yüzyıl ve öncesinde mekanik güç üretmek amacıyla kullanılan rüzgâr türbinleri artık çoğunlukla elektrik üretimi için imal edilmektedir. Modern türbinler kullanma amacına göre 4 grupta incelenebilir. Bunlar: su pompalama sistemi, hacim veya su ısıtılmasında kullanılan sistem, uzak bölgelerde enerji üretimi için kullanılan şebekesiz sistem ve şebekeye bağlantılı olarak kullanılan sistemlerdir. Su pompalama sistemleri, çok kanatlı, düşük rüzgâr hızında yüksek moment sağlayabilen, su pompası ile bağlantılı olarak çalışan sistemlerdir. Uzak yörelerde, pompaj derinliği az olan küçük çapta sulama ve sulu tarım için kullanılmaktadır. Bu amaçla genellikle 3-5 kW'lık türbinler kullanılmaktadır. Hacim veya su ısıtılmasında kullanılan sistemler aynı şekilde uzak bölgelerde ya da rüzgâr enerjisinin daha ekonomik olabildiği bölgelerde su ısıtılmasında ya da sera gibi büyük hacimlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan türbin kapasitesi 5-10 kW arasındadır. Şebekesiz sistemler akülü veya uzak yerlerde emniyetli sistemler şeklinde iki gruba ayrılabilirler. Akülü sistemlerin çoğu, küçük, ucuz rüzgâr türbinleri olup bireysel veya konutlar içindir. Uzak yerlerde emniyetli sistemler küçük, tek başına, uzak yerler için güvenilir güç üretirler. Bu sistemlerde de depolama ünitesi olarak akü bulunmalı ve mutlaka diğer kaynaklarla beraber kullanılmalıdır. Tipik kullanımları deniz fenerleri ve telekomünikasyon uygulamalarıdır. Rüzgâr türbinleri bir yerleşim yerinin elektrik yükünü karşılayabilir.

Burada, türbin elektrik yükünün yakınında ve yük ayrıca şebeke ile bağlantılıdır. Bu türbinler 10-100 kW arasında güce sahip türbinlerdir. Ayrıca, merkezî yerde çok sayıda tesis edilmiş türbinlerle rüzgâr tarlaları da oluşturulabilir. Burada da asıl amaç şebekeye enerji temin etmektir. Bu türbinlerin güçleri 50- 500 kW' tır (Taşgetiren, 1998).

3.3.2. Rüzgâr türbini hesaplamaları

Rüzgâr türbinleri rüzgâr hızını mekanik bir sistemle elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere 2'ye ayrılır. Rüzgâr türbini sistem verimleri %10 ile %35 arasında değişmektedir. Betz kanununa göre türbin verimi en fazla %59,3 olabilir. Rüzgâr türbini güç hesaplamaları aşağıdaki formül ile yapılmıştır.

$$P_{RT}=0,5 \cdot \rho \cdot A_{RT} \cdot V^3 \cdot \eta_{sRT} \quad (3.1)$$

Burada ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), A_{RT} rüzgar türbini süpürme alanını (m^2), V rüzgar hızını (m/s) ve η_{sRT} rüzgar elektrik üretme sistemi genel verimini göstermektedir. Genelde evlerde kullanılan bireysel rüzgâr türbinlerinin 2 m/s ile 15 m/s Rüzgâr hızları arasında çalışmasından dolayı analizler bu iki hız değeri arasındaki rüzgar hızları için yapılmıştır. Hesaplamalarda rüzgâr türbin çapına göre ölçülen Rüzgâr hızı değerlerindeki değişime atmosferik sınır tabakanın etkisi eşitlik 3.2'ye göre dikkate alınmıştır. Rüzgâr türbini hesaplamaları yükseklik etkisi dikkate alınarak 10 m ve 20 m yükseklikteki hızlar için aşağıdaki formül kullanılarak yapılmıştır (Patel,1999).

$$V_2=V_1 \cdot (H_2/H_1)^\mu \quad (3.2)$$

Burada V_2 istenilen yükseklikteki hızı (m/s), V_1 referans hızı (m/s), H_2 rüzgar hızı hesaplanacak olan yüksekliği (m), H_1 referans yüksekliği (m) ve μ ise Hellman katsayısını göstermekte olup yaklaşık 0,25 olarak alınabilir (Patel, 1999).

3.3.3.Rüzgâr türbini ile elektrik üretme sistem elemanları

3.3.3.1. Akü grubu

Bataryalar, güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak üretilen elektriğin depolanmasını sağlar. Güneş veya rüzgâr enerjisi ile üretilen elektrik daha sonra kullanılmak üzere bataryalarda depolanır. Bataryalar seri veya paralel bağlanarak istenilen kapasiteye ulaşılabilir ve bu kapasite de istenilen otonomi süresine göre ayarlanır. Farklı kullanım ihtiyaçlarına göre birçok batarya çeşidi vardır. Güneş ve rüzgâr enerji sistemlerinde en avantaj sağlayan bataryalar özel elektrolitler kullanılan tam bakımsız jel tip bataryalardır. Bu bataryalar uzun deşarjlarda mükemmel performans verir. Yüksek sıcaklık uygulamalarına toleranslıdır. Pozitif plakaları koruyan, dolayısıyla çevrimsel ömrü uzatan bir dizaynı vardır. Paslanmayı önleyen daha kalın plakalara sahip olması da uzun ömür sağlayan bir özelliktir. Düşük iç dirençten dolayı yüksek performans sağlar. Batarya tamamen şarj edilmemiş olsa bile bataryayı tamamen deşarj edebilir.

3.3.3.2. İnvörtör

İnvörtörler, DC voltajı AC voltaja çeviren cihazlardır. Akülerde toplanan DC voltaj invörtörler sayesinde istediğimiz elektriğe dönüşürler (220 Volt 50-60 Hz).

Günlük hayatımızda pillerde kullandığımız ve depolanabilir akıma doğru akım (DC) denir. Voltaj olarak en yaygın 12 veya 24 Volt'luk sistemler kullanılır. Çamaşır makinesi, buzdolabı, televizyon gibi elektrikli ev aletleri ise depolanması mümkün olmayan alternatif akım (AC) ile çalışır. İnvörtörler doğru akımı 220V alternatif akıma çevirmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Harici invörtörler 12V, 24V veya 48V'luk bir batarya deposundan aldıkları doğru akımı 220V alternatif akıma çevirerek her türlü elektrikli cihazı sorunsuz çalıştırırlar.

İnvörtörler kendi aralarında Modifiye Sinüs (Kare Dalga) ve Full Sinüs (Tam Dalga) Şeklinde ikiye ayrılır.

Modifiye sinüs (Kare Dalga) invörtörler piyasada çokça bulunabilen ve ekonomik aletlerdir. Full Sinüs (Tam Dalga) İnvörtörler ise her yerde bulunan aletler değildir. Fiyatları daha pahalı olup karakteristik özellikleri ve güçleriyle orantılıdır. Evlerde kullanılan motorlu yüklerde (Buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi,

dalgıç pompalar) kesinlikle Full Sinüs İvertör kullanılmalıdır. Ayrıca, invertörlerde dikkat edilmesi gereken aşırı yük, aşırı ısı, yüksek ve alçak voltajlarda koruma sınıflarının mutlaka olmasıdır. Birçok motorlu alet ilk çalışma anında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çektiği için kullanılan invertör kısa süreler için bu güçte (Surge Kapasitesi/Anlık Çekim Gücü) çalışma özelliğine sahip olmalıdır. Bu tip invertörler özellikle çok hassas elektronik cihazları (örneğin lazer yazıcı, bilgisayar vb.) çalıştırmak için kullanılabilir.

3.3.3.3.Şarj regülatörü

Şarj regülatörü, güneş paneli ve rüzgâr tribünü ile üretilen gerilim değerini dengelemek ve batarya şarj işlemlerini kontrol etmek için kullanılan ekipmandır. Bir regülatör seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, regülatörün gerekli olan maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Seçilen regülatörün, kullanılan batarya voltajı ile uyumlu olmasına da dikkat edilmelidir. Dijital şarj kontrol üniteleri birçok avantajlı özelliğe sahiptir. Isı kontrollü mükemmel bir PWM regülasyon sisteminin yanı sıra, güvenli ve programlanabilir özellikler de kullanıcıya rahatlık sağlamaktadır. Bataryanın şarj durumu, bir gösterge sayesinde net olarak algılanmaktadır. Aynı şekilde batarya ve bataryadan olan enerji akışı da gözlenebilmektedir. Derin deşarj koruması farklı şekillerde programlanabilmektedir.

3.3.3.4.Rüzgâr türbini güvenlik ekipmanları

Rüzgâr türbinlerinde güvenlik ekipmanları olarak adlandırılan parçalar, türbinin olağanüstü hallerde kendi güvenliğini ve kullanıcılarının güvenliğini kontrol altında tutmaya yarar. Bu ekipmanlar rüzgârın aşırı estiği anlarda, iklim koşullarının olumsuz olduğu zamanlarda (yıldırım düşmesi vb.) devreye girer. Türbinin bahsi geçen parçaları mekanik aksama direk bağlı olabildiği gibi aynı zamanda da dijital ortamda yani yazılım olarak da bulunabilir. Yukarıda anlatılan rüzgâr türbini güvenlik ekipmanlarını genel olarak aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- **Fren Sistemi:** Rüzgâr hızının belli bir limiti aştıktan sonra aşırı voltaj yükselmesini ve aynı zamanda türbinin kanatlarına zarar gelmemesi için dönme hızının sınırlandırılmasını sağlayan ekipmandır. Günümüz teknolojisi bu problemin çözümünde çeşitli yöntemler geliştirmiştir.

Kaldırma kuvvetine dayalı çözümde, türbinlerde hız kontrol sistemlerinin ilkidir. Bu sistemde türbin kanatlarının aerodinamik yapısı türbin belli bir hıza ulaştığında hızı sabit bir değerde tutacak pasif bir sürtünme oluşturur. Frenleme olayı herhangi bir yan ekipman kullanılmadan gerçekleştirildiği için basit ve kullanışlı bir yöntem olmuştur. Fakat türbin kapasitelerinin zamanla yükselmesi, 1,5 MW'ın üzerinde güce sahip türbinlerde bu yöntemin bazı sakıncalar doğurmasıyla sonuçlanmıştır. Bu nedenden ötürü günümüzde az kullanılan bir yöntemdir.

Değişken Hızlı Rotor çözümünde ise, yaygın olarak kullanılan türbin teknolojisi budur. Maksimum üretim seviyesine ulaşıldığında türbin kanatlarının eğimi değiştirilerek hızın belirli bir değerin üzerine çıkması engellenmiş olur. Büyük kapasiteli türbinlerde de kullanılabilirliği için günümüzde yaygın olan sistemdir. Rüzgâr türbini teknolojilerinin başlangıcından bu yana bahsedilen iki yöntem temel alınmak üzere pek çok varyasyon denenmiştir.

- **Paratoner:** Bilindiği üzere yüksek yerlerin en üst noktalarına yıldırım topraklayan bir güvenlik elemanı olarak görev yapan paratoner rüzgâr türbinlerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle büyük çaplı rüzgâr türbinlerinde (kule boyu 30m,40m olan) en önemli güvenlik ekipmanlarından birisidir.

3.4. Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2010b)

Türkiye güneş kuşağı adı verilen 40° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin yüksek olmasına karşılık düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Sanayinin toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinden yalnızca % 0,1 oranında faydalanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları ağırlıklı olarak, güneş

toplayıcıları vasıtasıyla düşük sıcaklıkta sıcak su ve sıcak hava üretimi ile sınırlı kalmıştır. Güneş enerjisi uygulamaları; sıcak su üretimi, bitkisel ürünlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, deniz suyunun damıtılması, elektrik üretimi, hacim ısıtılması ve soğutulması, sulama suyunun pompalanması, endüstriyel işlem ısı üretme, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinin üstünlükleri şunlardır: yakıt masrafının olmaması, işletme maliyetinin düşük olması, proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, enerji kaynağının tükenmez oluşu ve en önemlisi çevreyi kirletmemesidir. Dezavantajları ise; geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması, kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olmasıdır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için gerekli teknolojiler üzerinde bilimsel çalışmalar devam etmektedir.

Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılan fotovoltaik panellerin kurulu gücü yaklaşık olarak 3 MWp civarındadır ve daha çok iletişim baz istasyonları, aydınlatma sistemleri, şebekeden uzak ada sistemleri gibi elektrik şebekesinden bağımsız otonom sistemlerde kullanılmaktadır. Bu kurulu güçten elde edilen yıllık enerji miktarı, yıllık elektrik tüketiminin ancak % 0,01 miktarına karşılık gelmektedir (Anonim, 2009; Erdoğan, 2010).

Türkiye'de bu konudaki çalışmalar 1980'li yıllarda başlamıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından da 1983 yılından itibaren başlatılan çalışmalar sonucunda ilk güneş pilleri ile çalışan laboratuvar ölçekli güç santrali Didim'deki Araştırma Laboratuvarında 1998 yılı Haziran'ında tesis edilmiştir. 1990'ların sonuna doğru bu yöndeki çalışmalar artarak devam etmiş ve dört adet güneş pilleri ile çalışan ve yaklaşık olarak toplam kurulu gücü 50 kWp olan sistemler telekomünikasyon amaçlı olarak Afyonkarahisar, Göcek, Uşak ve Kahramanmaraş'a kurulmuştur (Anonim, 2009; Erdoğan, 2010). Güneydoğu Anadolu bölgesinde toplam kapasitesi 100 kWp kurulu güce erişmiş olan fotovoltaik panel güç ünitesi Berke Barajı'nda bazı ünitelerin ilk enerji taleplerini karşılamak için kurulmuştur.

Güneş pillerinin uygulanmasına yönelik özel sektör çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca güneş pili ile çalışan araçlar, aydınlatmalar, trafik ışıkları şeklinde de uygulamalar mevcuttur.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeni ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi potansiyeli yönünden oldukça iyi seviyededir. Ülkemizde güneş

enerjisinden faydalanarak sıcak su ihtiyacını gideren ev örnekleri, güney sahillerinde bol miktarda mevcuttur. Güneş enerjisi ile konut ısıtması, konut soğutması, sıcak su temini, sera ısıtması, elektrik enerjisi üretimi, yüzme havuzu ısıtması ve endüstrinin sıcak su gereksinimi karşılanabilmektedir (Anonim, 2009).

Çizelge 3.5. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (Anonim, 2007)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi(Saat/ay)
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

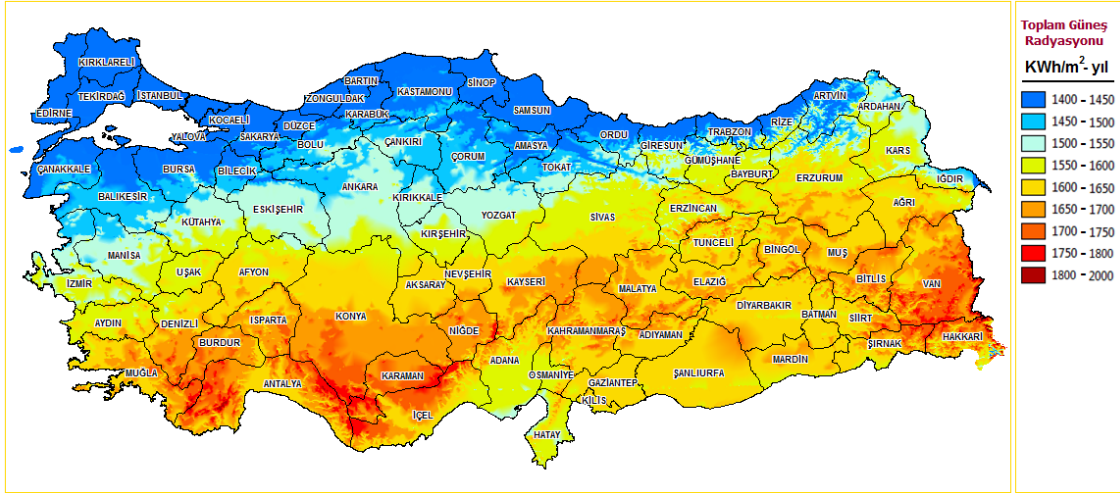
Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgesel dağılımı ise çizelge 3.6'da görülmektedir.

Çizelge 3.6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (Anonim, 2007; Erdoğan, 2010)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.640 saattir ve bu günlük toplam 7,2 saate karşılık gelmektedir. Yılda metre kareye ortalama 1.311 kWh ışınım şiddeti düşen ülkemizde güneş kaynaklı bu enerjinin kullanım alanlarının yaygınlaşmasını sağlayacak yerli ve yeni teknolojilerin ülkemizde üretimi ve kullanımının sağlanması mümkündür. Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli 87,5 milyon TEP olarak belirtilmektedir. Bunun 26,5 milyon TEP'i ısı üretimine 8,75 milyon TEP'i ise elektrik enerji üretimine elverişli miktarlar olarak belirtilmektedir. Ancak ETKB verilerine göre Güneş enerjisi kullanımını 2007' de 420 BTEP iken 2008 de 418 BTEP olmuştur. 2008 deki 28,3 MTEP yerli kaynak üretimimiz içinde % 1,5 un altında pay almıştır. 107 MTEP enerji tüketimimiz içinde ise bahse değer bir payı zaten yoktur.

Şekil 4.4.'de Türkiye'nin güneş haritası verilmiştir (Anonim, 2007). Bu haritaya göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini 3 bölgeye ayırmak mümkündür. Türkiye'nin güney kısımları ile iç Anadolu bölgesinin ve Ege Bölgesinin orta kısımları ile beraber Doğu Anadolu bölgesinin üst kısımlarına kadar olan bölge 1. bölge, Karadeniz bölgesi ile Marmara bölgesinin güney kısımları ile 1. Bölge arası kısım 2. bölge, diğer kısımlar ise 3. bölge olarak nitelendirilebilir.



Şekil 3.4. Türkiye'nin güneş haritası (Anonim, 2007).

Türkiye'ye gelen güneş ışınımının sadece yüz binde ikisinden yararlanılmaktadır. Ülkemizde şu anda yalnızca 22 milyon konut içinde yalnızca 3,5–4 milyon konutta güneş enerjili sıcak su sistemi bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu sistemlerin ülkemize enerji getirisi yaklaşık olarak 500–600 milyon dolardır. Oysa bu sistemlerin yaygınlaştırılmasıyla yalnızca bu alandan 3–3,5 milyar dolar daha ısı enerjisi katkısı gerçekleştirilebilir.

Türkiye'nin güneş enerjisi gücü ilk kez 1970 yılında, bir bilimsel araştırma kapsamında yapılmıştır. Belirlenen olgulara göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2.608,8 saat olup, maksimum değer 361,8 saat ile Temmuz ayında ve minimum değer 97,8 saat ile Aralık ayında görülmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge yılda 3.015,8 ile Güneydoğu Anadolu'dur (Anonim, 2007).

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da verilmiştir. Ancak, bu değerlerin Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. Bu durumun nedenleri arasında, öncelikle DMİ'nin güneş enerjisi ölçümlerini, enerji amaçlı değil tarımsal klimatoloji amaçlı ölçmüş olması, kullanılan cihazların hassasiyetinin düşük olması ve zamanla istasyonların şehir içinde kalması yer almaktadır (Anonim, 2007).

3.4.1. Fotovoltaik paneller

Bu panellerin temelini, yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahip fotovoltaik hücre denen yarıiletken maddeler oluşturur. Fotovoltaik hücreleri, birbirlerine seri ya da paralel olarak bağlanmış ve bir yüzey üzerine monte edilmiş olarak kullanıma sunulur. Fotovoltaik panel denilen bu yapılar fotovoltaik sistemlerin temel elemanıdır. Fotovoltaik sistemler elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilirler. Uygulamaya bağlı olarak sistemde akümülatörler, invertörler, denetim cihazları ve çeşitli elektronik destek birimleri kullanılır. Bu sistemler ya şebekeden bağımsız olarak özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde kullanılırlar; ya da şebeke bağlantılı olarak çalıştırılırlar. Fotovoltaik sistemler haberleşme aktarıcı istasyonlar, aydınlatma, sinyalizasyon ve alarm sistemleri, deniz fenerleri, petrol boru hatlarının katodik koruması, ilaç ve aşuların soğutulması, hidrojen üretimi, bahçe aydınlatma setleri, kırsal yörelerde su pompalamada kullanılmakla birlikte son yıllarda şebekeye bağlı uygulamaların kullanımını da hızla yaygınlaştırmaktadır.

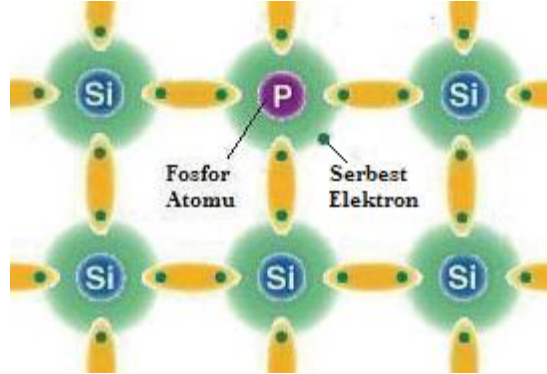
Fotovoltaik kelimesi Yunancada ışık anlamına gelen “phos” ve ünlü İtalyan bilim adamı Allesandro Volta’nın soyadı “volta” kelimelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Güneş ışığından elektrik üreten bir malzemedir. Hücreler halinde üretilir, yine hücreler halinde veya değişik oranlarda birleştirilerek modüller halinde getirilerek kullanılırlar. Hücreler 0,2-0,4 mm kalınlığında üretilirler.

3.4.2. Fotovoltaik hücrelerin yapısı

Fotovoltaik kelimesi Yunancada ışık anlamına gelen “phos” ve ünlü İtalyan bilim adamı Allesandro Volta’nın soyadı “volta” kelimelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Güneş ışığından elektrik üreten bir malzemedir. Hücreler halinde üretilir, yine hücreler halinde veya değişik oranlarda birleştirilerek modüller halinde getirilerek kullanılırlar. Hücreler 0,2-0,4 mm kalınlığında üretilirler.

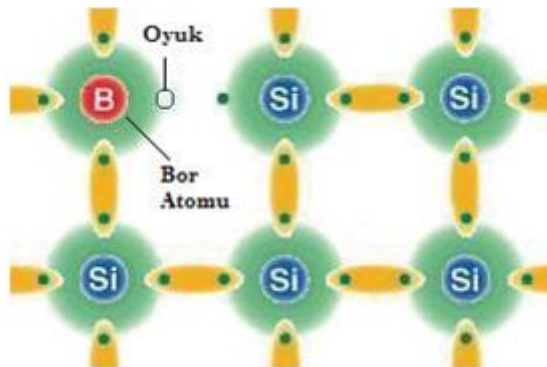
Yarı-iletken maddelerin fotovoltaik hücre olarak kullanılabilmesi için “n” ya da “p” tipi katkıları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın fotovoltaik hücre maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum içerisine periyodik

cevvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir (Anonim,2011a).



Şekil 3.5. Silisyum Yarı İletkenine Fosfor Eklenerek "n" Tipi Madde Elde Edilmesi

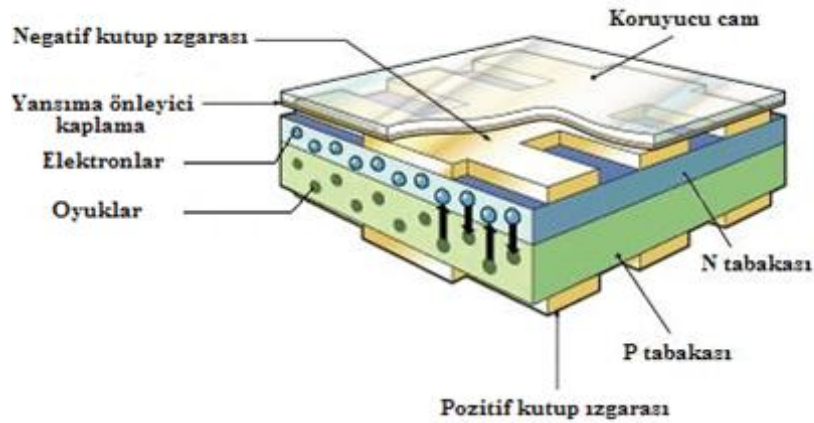
P tipi silisyum elde etmek için ise, 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna oyuk ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir. P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende oyuklar çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile oyuk sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. (Anonim,2011a)



Şekil 3.6. Silisyum Yarı İletkenine Bor Eklenerek "p" Tipi Madde Elde Edilmesi

PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam

eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-oyuk çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Elektronların ayrılması P ve N bölgesi arasında elektriksel potansiyel farkı ifade eder.



Şekil 3.7. Fotovoltaiik Hücrenin Detaylı Yapısı

Fotovoltaiik paneller pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen mono-kristal silisyum bloklardan üretilen fotovoltaiik hücrelerde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen poli-kristal silisyum fotovoltaiik hücre ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır (Anonim,2011b).

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs hücrelerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs fotovoltaiik hücreler uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır (Anonim, 2011b).

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu silisyum hücrelerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum fotovoltaik hücreler bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2011b).

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Poli-kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile fotovoltaik hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir (Anonim, 2011b).

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu poli-kristal hücrelerde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir (Anonim, 2011b).

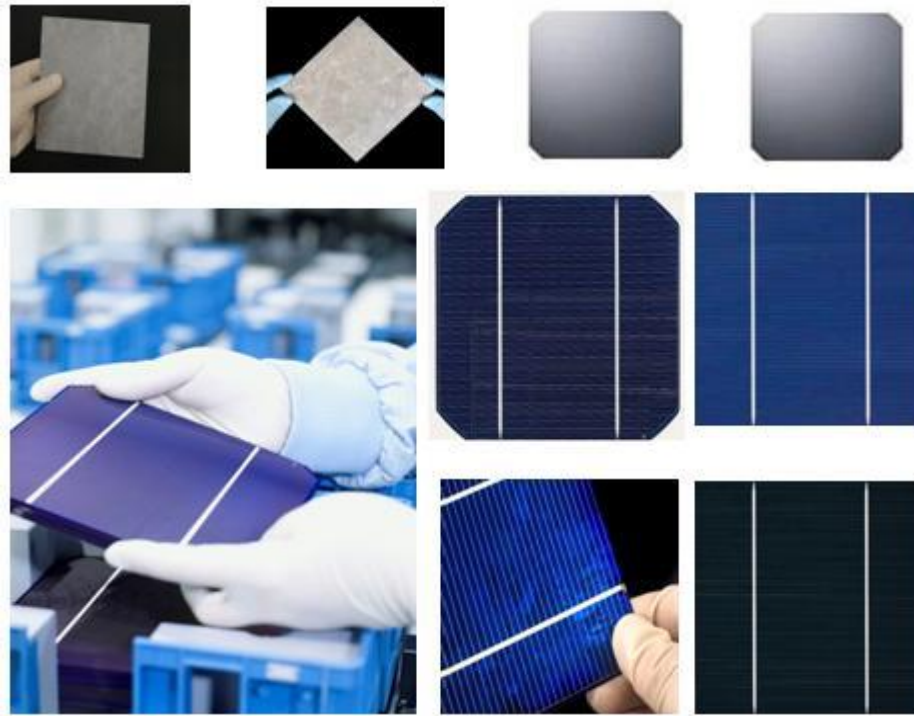
Optik Yoğunlaştırıcı Hücresel: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır. 1980'li yılların ortalarından evvel, fotovoltaik hücre güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteleri ve kapsülleri (modül) bazı dayanıklılık problemleri göstermiş olmalarına rağmen, bu sıkıntılar genellikle aşılmıştır ve bunların büyük çoğunluğu şimdi memnun edici bir şekilde görevini yapmaktadır. İtibarlı üreticiler ürettikleri kapsüllerin şimdi 1-20 yıl ömürlü olmalarına güvenebilmektedir. Birçok üretici en az on yıllık bir garanti vermektedir. Buna karşın, amorf güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteler için garanti genellikle 2-3 yıl arasındadır (Anonim, 2011b).

Silikon güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteler ilk piyasaya çıktığında, 1970'lerdeki son derece yüksek seviyede olan, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ünitelerin fiyatları sürekli aşağıya düşmüştür. Şu anda, oldukça büyük kristalli silikon kapsülleri siparişleri için fabrika dışı fiyat yaklaşık 4.00 – 5.00 ABD\$/Wp'dir. Gelişmekte olan ülkelerin kırsal alanlarından gelen küçük siparişler için, fiyatlar muhtemelen 10.00 ABD\$/Wp'in üzerinde ayarlanacaktır. Gereken temel bakım, yüzeyi temiz tutmak olacaktır. Yüzeyin çok az tozlanması bile toplam elektrik akımının azami çıkış gücünü önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, hücrelerin üzerine düşebilen kuş pislikleri ve yaprak gibi küçük nesnelere ortadan kaldırılması da önemlidir. Söz konusu nesnelere sadece bazı güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteleri

gölgelemekle kalmaz, aynı zamanda üniteler diğer güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ünitelerin sağladığı enerji ile aşırı ısınmış hale gelebilir ve bu durum her zaman için zarar verebilir. Yine hücrenin tamamen bir şeylerle karartılmamış olduğundan emin olmak esastır. Küçük bir karartılmış alan bile elektrik akımının azami çıkış gücünü %50'ye kadar azaltabilir (Anonim, 2011c).

Mono-kristalli silisyum fotovoltaik hücrenin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Hücrenin üst yüzeyinde, hücre tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıma özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışımının üçte birine yakın kısmını yansıtmaktadır. Bu kaplama tabakası, hücre yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, hücrenin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve hücrenin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, hücrenin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, P-N kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Hücrenin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır.

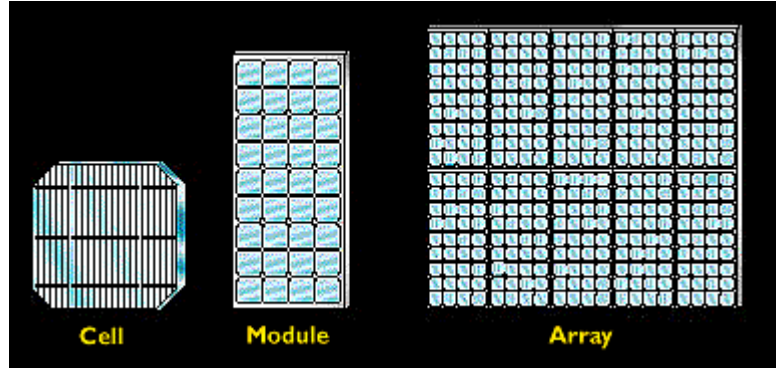
Üretilen hücreler, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı 25 °C ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m² ve hava-kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda, bu oran 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışınımın oranına bağlı olarak, hücrenin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden, bu oran önemli bir parametredir.



Şekil 3.8. Tipik Bir Silisyum Güneş Pili'nin Ön Yüzü (Archer, 2001)

Tipik bir silisyum fotovoltaik hücre, 0,5 volt kadar elektrik üretebilir. Hücreleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır. Genellikle, 30-36 adet fotovoltaik hücre, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir ki bu voltaj değeri de, 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde fotovoltaik hücreler bulmak olasıdır. Silisyum hücrelerin seri bağlanması ile modüller, modüllerin birbirine bağlanması ile örgüler oluşur. Her modül, paralel veya seri bağlanabilmesine olanak verecek şekilde, bağlantı kutusuyla birlikte dizayn edilir.

Fotovoltaik hücrenin kolayca kırılabilmesi ve ürettiği gerilimin çok düşük olması gibi, sakıncalarının giderilmesi gerekir. Hücrelerin birbirlerine bağlanması ile oluşan modüller koruyucu bir çerçeve içine alınmışlardır ve kullanılacak düzeyde gerilim üretirler. Modülde bulunan hücre sayısı, çıkış gücünü belirler. Genellikle, 12 voltluk aküleri şarj etmek için 30-36 adet silisyum fotovoltaik hücrenin bağlanması ile bir modül oluşsa bile, daha yüksek çıkış güçleri için daha büyük modüller yapılabilir. En basit sistem, bir modül ve buna bağlı bir akü veya elektrik motorundan oluşmuş bir sistemdir.



Şekil 3.9. Pillerden Modül ve Örgülerin Yapılması (Archer, 2001)

Modüllerin fiziksel ve elektriksel olarak bir araya getirilmesi ile oluşan yapıya panel adı verilir. Bir modülden elde edilen gücü arttırmak için başvurulan bir yapılanma biçimidir. Bu şekilde, çıkış gücü, 12V ,24V,48V veya daha yüksek olabilir. Birden fazla panelin kullanıldığı bir sistemde, paneller, kontrol cihazına veya akü grubuna, birlikte bağlanabilecekleri gibi, her panel tek olarak da bağlanabilir. Bu durumda, bakım kolaylığı olacaktır.

Sistemde kullanılan, fotovoltaik panellerin tümünün oluşturduğu yapıya ise örgü denilmektedir. Örgünün çok büyük olduğu uygulamalarda, daha kolay yerleştirme ve çıkış kontrolü için sistem, alt-örgü gruplarına ayrılabilir. Örgü, bir modülden oluşabileceği gibi 100.000 veya daha fazla modülden de oluşabilir.

Elektrik üretimi için pek çok yöntem olmasına karşılık, fotovoltaik hücreler ile elektrik üretiminin bazı yararları vardır. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- Mevcut sistemlerden farklı olarak en büyük yararı, herhangi bir fosil yakıt veya bağlantı gerektirmeden bağımsız olarak elektrik üretebilmesidir.
- Kullanılan yakıtı, her yerde ve bedava bulmak mümkündür. Taşıma ve depolama gibi sorunlar yoktur.
- Sistemde kullanılan hareketli parçalar çok az olduğundan çok az bakım gerektirirler. Elektrik üretiminde kullanılan diğer sistemler (jeneratörler, rüzgâr veya hidroelektrik türbinleri vs.) düzenli olarak bakıma gerek duyarlar. Eğer, fotovoltaik sisteminiz karmaşık ise, bakım gerektirir; ancak, genel olarak, bu sistemler için bakım maliyeti yok denecek kadar azdır.
- Diğer elektrik üretim sistemleriyle karşılaştırıldıklarında, belki de en büyük yararları güvenilir olmalarıdır. Hareketli parçaları ya çok azdır; ya da yoktur. Şimşekler, güçlü rüzgârlar veya kum fırtınaları, nem ve ısı, kar veya buz gibi doğa olaylarına dayanıklıdırlar.

- Enerjiyi kullanmak istendiği yerde üretmek olasıdır. Böylece enerjiyi taşımak gerekmez. Şebekenin ulaşmadığı örneğin, GSM vericilerinin yerleştirildiği yerlerde bu sistemi kullanmak olasıdır.
- Enerji kaynağı ile kullanım yeri arasında, uzun kablolar ve bağların elemanları olmadığından arada oluşabilecek güç kaybından kaçınılmış olur. Bu sistemle, çok sayıda tüketim noktası beslenmek istendiği zaman bile yerel kayıplar yok denecek kadar azdır.
- Modüler bir sistem olduğu için güç çıkışı kolaylıkla arttırılabilir. Mevcut modüllere yenilerinin eklenmesi ile sistem, artan güç gereksinimini karşılayabilecek duruma getirilebilir.

Enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik hücreler; fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Fotovoltaik hücrelerin verimleri %10 ile %20 arasında değişmektedir. Delaware Üniversitesinde bilim adamları %42,8 verimle çalışabilen fotovoltaik hücre geliştirdiklerini açıklamışlardır. Fotovoltaik panelin üreteceği elektrik güç değeri aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$W_{pv}=A_{PV}.I.\eta_{sPV} \quad (3.3)$$

Burada W_{PV} , fotovoltaik sistemin üreteceği elektrik gücü (W), A_{PV} kullanılan fotovoltaik alanını (m^2), I yatay yüzeye gelen ışınım miktarını (W/m^2) ve η_{sPV} ise PV konulduğu yer, çevre sıcaklığı ve diğer faktörleri içeren toplam sistem verimi olarak kabul edilmiştir.

3.4.2.Güneş pili ile elektrik üretme sistem elemanları

3.4.2.1.İnvertör

İnvertörler doğru akımı 220V alternatif akıma çevirmek için kullanılan cihazlardır. Harici invertörler 12V, 24V veya 48V'luk bir batarya deposundan veya başka sistemlerden aldıkları doğru akımı (DC) 220V alternatif akıma (AC) çevirerek her türlü elektrikli cihazı sorunsuz çalıştırırlar. İnvertör seçimi güneş enerjisi sisteminde en hassas noktadır ve çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

İnvertörlerin çıkış gücüne ve çıkış dalga özelliklerine göre kare dalga, düzeltilmiş sinüs dalga ve tam sinüs dalga olmak üzere çeşitleri mevcuttur. Kullanım yerlerine göre depolamalı ve şebeke bağlantılı olmak üzere iki kullanım alanına ayrılırlar. Tam sinüs invertör şebeke elektriği ile aynı kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli cihazın çalışmasında sorun çıkarmamaktadır. Birçok motorlu alet ilk çalışma anında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çektiği için kullanılan invertör kapasitesi kısa süreler için bu gücü (Anlık Çekim Gücü) karşılayabilecek çalışma özelliğine sahip olmalıdır. Bu tip invertörler özellikle çok hassas elektronik cihazları çalıştırmak için kullanılabilir.

3.4.2.1.1.Modifiye sinüs invertörler

Modifiye sinüs; tam sinüsün taklit halidir. Kare dalgacıklar ile sinüse benzer dalga elde edilir. Avantajları ucuz olmaları; TV, bilgisayar, küçük ev aletleri, lambaları vs. sorunsuz çalıştırır. Fakat verimleri düşüktür.

Bu farkı bazı televizyon, bilgisayar, aydınlatma cihazları, özellikle profesyonel ve endüstriyel amaçla dizayn edilmiş cihazlar algılayabilir. Bu cihaza zarar vermez ama işlev kalitesinde can sıkıcı sorunlar oluşturabilir.

3.4.2.1.2.Tam sinüs invertörler

Tam sinüs dalga aynı evdeki gibi şebekeden aldığımız çıkıştır. Çok temiz ve düzgündür. Bu yüzden alternatif enerji sistemleri uygulamalarında sorunsuz olarak kullanılabilir, cihazlarınız daha az ısınır ve verimleri daha yüksektir. Yük olarak motor, klima, buzdolabı çalıştıracaksa ya da endüstriyel cihaz ve uygulamalar için kesinlikle tam sinüs invertör kullanılması tavsiye edilir.

3.4.2.2.Solar şarj regülatörleri

Solar modüllerden elde edilen enerjinin bataryalara depolanması için şarj regülatörleri kullanılmaktadır. Güneş panellerinde oluşan voltaj güneşin gün içindeki durumuna göre değiştiği için Şarj regülatörleri olmadan, batarya şarjları yapılamaz, şarj regülatörleri, enerjinin regüle edilmesi ve batarya şarj durumunun kontrolü için kullanılmaktadır. Üzerlerindeki mikrokontrolör ve yazılım sayesinde güneş,

bataryalara ve yük durumuna bakarak sistem için en ideal çalışma modunu otomatik olarak seçerler. Bu yazılımlar çok karmaşık Algoritmalar içerirler. Dijital veya led göstergeli olarak üretilen şarj regülatörleri, güneş panelleri ve bataryalardaki voltaj-akım kontrolünü yapar. Bataryaların o anki durumuna göre 3 şarj modundan uygun olanı seçip bataryaların şarj olmasını sağlayarak bataryaların uzun ömürlü olmasına yardımcı olur.

Burada program, akünün kapasitesine ve ömrüne göre kendini ayarlamaktadır. Şarj durumu tüm ayar ve kumanda fonksiyonlarında esas alınır. Regülatörlerin başlıca görevi akünün optimal olarak şarjını sağlamaktır. Solar şarj regülatörü alanındaki yeniliklerden birisi de şarj durumu hakkında bilgi veren gösterge elemanlarıdır. Bunlarda birkaç adet led diyod ve 16 karakter LCD bulunmaktadır.

Sistemim her türlü hava koşulunda güvenilir ve problemsiz çalışması gerekmektedir. Bu nedenle, sistemde kullanılacak enerji akışının denetlenmesi ve sistemde kullanılan cihazların zarar görmesini ya da hatalı ölçüm yapılmasının engellenmesi gerekmektedir. Sistem çıkış gerilimlerinin, kısa devre, yanlış bağlama, aşırı yük akımı düşük akü gerilimi ya da panel arızaları gibi durumlarda sistemi denetleyecek, olası problemlere karşı sistemi koruyacak ve bu problemleri kullanıcıya iletebilecek bir sistem kullanmaktadır. Tüm bunları yerine getiren sistem şarj regülatörüdür.

Şarj regülatörleri DC olarak özellikle solar modüllerden gelen enerjinin bataryalara depolanmasında kullanılacağı için 12Volt , 24Volt,48 Volt ve 6A den 150A olarak üretilmektedir. Şarj regülatörleri standart güçlerde olduğu gibi ayrıca gerektiğinde özel güçlerde de üretilmektedir.

Şarj regülatörleri kullanılırken solar modül bağlantısına dayalı olarak modül DC voltajı ile aynı olacak şekilde ve modül amper gücüne göre kullanılmalıdır.

3.4.2.3.Akü

Fotovoltaik sistemlerde aküler, geceleri kullanım için veya gündüzleri modüller yük ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli gücü üretmediği zamanlar için elektrik depolarlar. Akünün sistem içinde doğru işletilmesi aydınlatma sisteminin güvenilir çalışmasının en önemli yönüdür. Akü hücrelerinin kapasiteleri amper saat cinsinden verilir. Bu, tam şarjlı bir aküden belirli bir deşarj oranı ve elektrolit sıcaklığı altında, belirli bir gerilime kadar çekilebilen elektrik miktarıdır.

3.5. Deney Düzenekleri

3.5.1. Güneş Işınım Şiddeti Ölçümü

Şekil 3.10.'da gösterilen ölçüm düzeneği Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü Teknik Eğitim Fakültesi çatısında kurulmuştur. Ölçüm düzeneğinde kullanılan cihazlar aşağıda verilmiştir. Piranometre ile 5 saniye aralıklarla ölçümler alınarak 10 dakikalık veri ortalamaları datalogger cihazı ile kaydedilmiştir. Güneş ışınım ölçümleri 5 saniye aralıklarla 10 dakikalık veri ortalamaları datalogger cihazı ile kaydedilmiştir.

Piranometre; Toplam güneş ışınımı ölçülür. Piranometre için; solarimetre, aktinometre veya ölçülen ışınımı kaydetme imkânı varsa, piranograf, solarigraf veya aktinograf isimleri de kullanılmaktadır. Diğer taraftan piranometrelerin üzerine bir gölgelendirme elemanı konarak güneşten gelen direkt güneş ışınımı önlenerek difüz ışınımı ölçmekte mümkündür. Piranometrelerin çoğu yüzeylerin ışınım, yutma ve yansıtma özelliği esas alınarak geliştirilmiştir. Işınım düştüğü kısımda biri siyah diğeri beyaz iki yüzey bulunmakta, siyah yüzeyin sıcaklığı yutulan ısı nedeniyle artmakta ve yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ölçülmektedir. Piranometrelerin duyarlı bölümü dış sıcaklık ve rüzgârdan etkilenmemesi için yarım küre şeklindeki cam kapakla kapatılır ve nem miktarını kontrol için iç kısma bir kurutma kovanı yerleştirilir (Erdoğan, 2010).



Şekil 3.10. Piranometre

Datalogger: Datalogger olarak Campbell Scientific Inc. Firmasının CR1000 serisi datalogger'ı kullanılmıştır. CR1000 düşük güç, geniş sıcaklık aralığında çalışabilme ve

esnek programlama ve telekomünikasyon özelliklerini içermektedir. Yerleşik programlama makinesi data işleme ve analiz programını içermektedir. LoggerNET yazılımı ile program işleme, düzeltme, data geri alma ve gerçek zamanlı izleme sağlamaktadır. Datalogger diferansiyel ölçüm yapabilen 8 kanal, dış sensörleri okumak için 4 com portu ve RS 232 kablo ile bilgisayara bağlanabilir özelliktedir. Datalogger özellikleri aşağıda verilmiştir.

Datalogger Özellikler:

100 Hz üzerinde program düzenleyebilme

CS I/O RS 232 serial ports

13 bit analog-dijital dönüştürme

Zaman damgalı ve kayıt numaralı data saklama

Seri bağlı sensorler ve I/O port destekli aygıtlar ile seri iletişim

Aralıklar ve Çözünürlük:

$\pm 2,5$ mV giriş aralığında $0,33$ μ V diferansiyel çözünürlük, $0,67$ μ V temel çözünürlük

Doğruluk

$\pm(0,06$ % okuma ve ofset) – 0^0 - 40^0 C

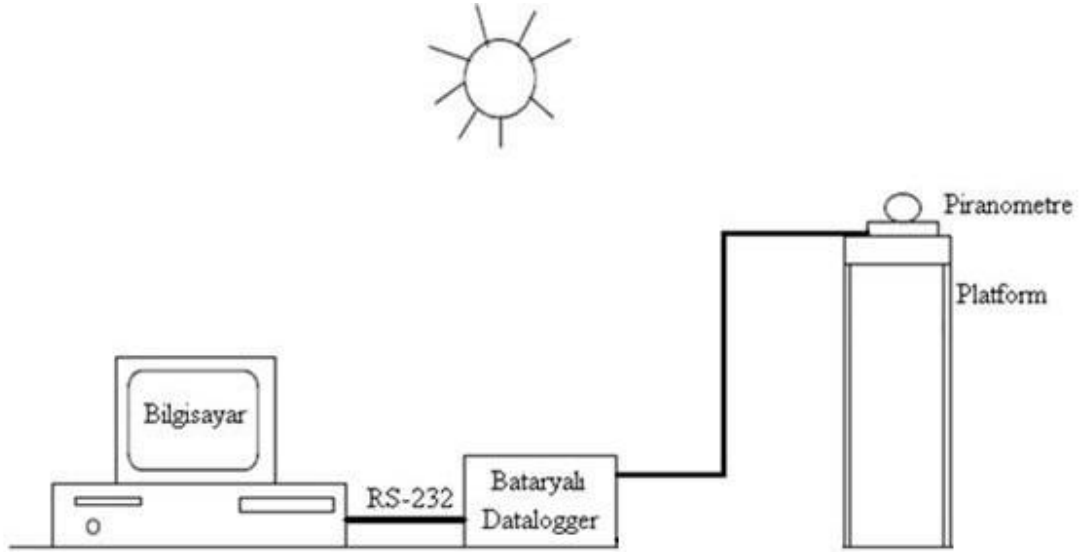
$\pm(0,12$ % okuma ve ofset) – -25^0 - 50^0 C

$\pm(0,18$ % okuma ve ofset) – -55^0 - 85^0 C

Şekil 3.11.'de kurulan ölçüm düzeneğinin şematik şekli verilmiştir. Piranometreden alınan güneş ışınım değerleri dataloggera kaydedilmektedir. Kayıtlar 10 dakikalık aralıklarla 24 saat boyunca yerel saate göre yapılmaktadır. Dataloggerdaki veriler RS 232 veri kablosu ile bilgisayara ASCII formatında dat dosyası olarak alınmaktadır.

Piranometrenin kullanım kılavuzundaki standartlara göre yüzeyden 1,5 m yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Piranometreden elde edilen veriler anlık olarak ölçülmekte fakat 10 dakikalık ortalamaları datalogger ile kayıt edilmektedir. Datalogger yerel saate göre verileri hafızasında depolamaktadır. Haftalık olarak Logger Net programına uzaktan veya doğrudan bağlanılarak veri dosyası bilgisayara text dosyası olarak alınmaktadır. Ayrıca, günlük olarak başka bir text dosyasında güneş ışınımı

verilerinin maksimum ve minimum olduğu zamanlar ve değerler bunun dışında verilerin günlük ortalamaları kaydedilmektedir.



şekil 3.11.Güneş Işınım ve Sıcaklık lm düzeneği

3.5.2. Rüzgâr hızı ölüm istasyonu

Rüzgâr hızı lmleri Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi çatısına kurulan ölüm sistemi ile yapılmıştır. Rüzgâr lm düzeneğinde rüzgar türbini ile aynı yükseklikte 1 adet anemometre, 1 adet yn lme, sıcaklık ve nem lme cihazları bulunmaktadır. Ayrıca, lme verilerini depolayan kayıt edici, sistemin elektrik enerjisini kendi kendine karşılamasını sağlayan 3 W gücünde bir fotovoltaiik güneş paneli ve depolama sistemi bulunmaktadır. Ölüm direği kurulurken rüzgâr ölüm şartnamesine uygun olarak kurulmuş, anemometreler arası mesafe, anemometrelerin ölüm direğinden uzaklığı, yn ölüm cihazının konumu gibi parametrelere uygunluğu dikkate alınmıştır. lmlerde kullanılan anemometrenin şekli ve özellikleri şekil 3.12'de verilmiştir.



Anemometre Özellikleri

Ölçüm Aralığı (m/s)	: 0.5 – 40
Doğruluk (m/s)	: 0.5 m/s veya \pm %5
Çözünürlük (m/s)	: \pm 0,01
Tipi / Malzeme	:Fincanlı/Plastik
Çalışma Sıcaklığı (°C)	:-30 – 60
Besleme 4-18 V DC	:0,3 mA
Anemometre Ağırlığı (kg)	:0.5

Şekil 3.12. Anemometrenin görüntüsü ve teknik özellikleri

Anemometre ile her 10 saniyede bir rüzgâr hız ve yön ölçümleri alınmakta fakat, 10 dakikalık ortalamaları şekil 3.13’de görülen datalogger ile kaydedilmektedir. Rüzgâr hız, yön, maksimum ve minimum değerleri bir aylık periyotlarla alınarak datalogger firmasının programı vasıtasıyla proses edilmiştir. Program, rüzgâr bilgilerini aylık ve yıllık dosyalar haline getirmekte ve dosyaların içerisinde bu bilgiler 10 dakikalık ortalamalar şeklinde depolanmaktadır. Bu program vasıtasıyla; rüzgâr potansiyeli, hız yoğunluğu, en çok rüzgâr alan yön, en güçlü rüzgâr yönü ve mevcut potansiyele göre, elektrik enerjisi üretim potansiyeli belirlenebilmektedir.

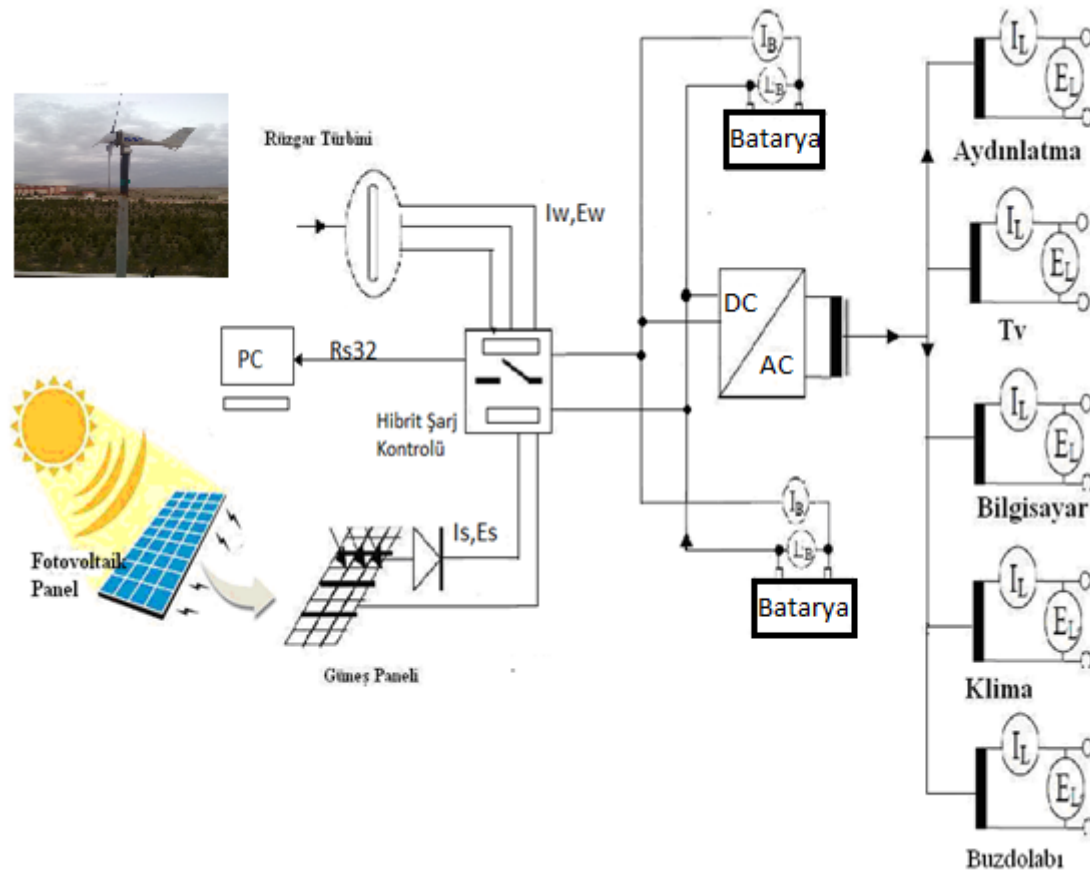


Şekil 3.13. Rüzgar hızı ve yön datalogger.

3.5.3. 600 W RT- 340 W PV hibrit sistem elemanları

Deneylerde kullanılan hibrit sistem güneş panelleri ve rüzgar türbininden ürettiği elektriği bir şarj kontrol ile düzenledikten sonra batarya gurubunda depolayıp, inverter üzerinden 220V AC akıma çeviren devre elemanlarından oluşmaktadır. Sistemde kullanılan güneş panelleri güneşe doğru yönlendirilerek, yatayla 35 derece açı yapacak

şekilde Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi çatısına yerleştirilmiştir. Hibrit sistemin şematik görünümü Şekil 3.14' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Hibrit Sistem şeması

PV panellerin çatıdaki yerleşme planı ise Şekil 3.15'de görüldüğü gibidir. Paneller mono kristal tip olup hücre verimleri %16 olan 72 hücreden oluşmaktadır. Sistemde 2 adet 170 W'lık PV paneli paralel olarak kullanılmıştır.



MONOKRİSTAL PANEL S170M

TEKNİK ÖZELLİKLER		ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Nominal Güç (W)	170W	Maksimum Güç Voltajı (V)	36,00
Hücre Cinsi	Monokristal	Maksimum Güç Akımı (A)	4,72
Hücre Sayısı	72 (6X12)	Açık Devre Voltajı (V)	43,20
Hücre Verimi (%)	16%	Kısa Devre Akımı (A)	5,19
Modül Ebatlar (mm)	1580×808×46mm	Maksimum Sistem Voltajı (V)	1000V
Yüzey Yük Kapasitesi -rüzgar ve kar	60m/s - 200kg/m ²	Sıcaklık Katsayısı Isc (%)	α 0.03%/°C
Ağırlık (kg)	16	Sıcaklık Katsayısı Voc (%)	β -2.2mV/°C
Çıkış Toleransı (%)	±5%	Sıcaklık Katsayısı Pm (%)	γ -0.55%/°C
Çerçeve	Alüminyum	Sıcaklık Katsayısı Im (%)	α 0.03%/°C
		Sıcaklık Katsayısı Vm (%)	β -2.2mV/°C
		Sıcaklık Aralığı	-40°C / +85°C

Değerler standart test koşullarında(STC) alınmıştır; 1000W/m², 25°C, AM 1,5
Uyan olmaksızın değişiklik yapma hakkı saklıdır

Şekil 3.15. Kullanılan PV paneller ve teknik özellikleri.

Şekil 3.16’da hibrit sistemde kullanılan rüzgar türbininin Teknik Eğitim Fakülte’sine montaj edilmiş hali ve teknik özellikleri verilmiştir. Rüzgar türbini Fakülte çatısından 5 m. yüksekliktedir. Fakat bina yüksekliğiyle birlikte yerden 25 m. yükseklikte bulunmaktadır. Rüzgar türbini Marine tip türbin olup yüksek hızlarda daha verimli çalışan bir türbin çeşididir. Yaklaşık ağırlığı 6 kg olan türbin 24V’ta 600 W çıkış gücüne sahiptir.



GENEL	
Model	EFS600W 1.2-0.6
Tasarım ömrü	20 yıl
Komple türbin ağırlık (kg)	6

PERFORMANS	
Ölçülen güç (w)	12V 400W - 24V 600W 3 faz AC
Maximum güç (w)	12V 550W - 24V 750W
Ölçülen çalışma rüzgar hızı (m/s)	12
Devreye girme rüzgar hızı (m/s)	2,5
Çalışma rüzgar hızı (m/s)	Max. 25
Devreden çıkma rüzgar hızı (m/s)	60

HAREKET	
Dişli kutusu	Yok
Jeneratör	Doğrudan, sabit mıknatıs
Rotor kanatlar	3 adet - karbon fiber takviyeli plastik
Rotor kanat çapı (m)	1.2
Rotor hız kontrol	Mekanik yönetim
DC çıkış (vdc)	12 / 24
Inverter AC çıkış (vac)	220

ÖNERİLEN DEĞERLER	
Kule çapı (mm)	48
Kule yükseklik (m)	6

Şekil 3.16. Kullanılan rüzgâr türbini ve teknik özellikleri.

Şarj kontrol cihazları güneş ve rüzgar enerjileri için ayrı ayrı olabileceği gibi tümleşik olarak da üretilmektedir. Sistemde kullanılan hibrit şarj kontrol cihazı şekil 3.17’de görülmektedir. Cihaz üzerinde PV panellerin, Rüzgar türbininin ve bataryaların gerilim, akım ve güç değerlerinin anlık olarak görülebileceği bir LCD ekran bulunmaktadır. Ayrıca, şarj kontrol cihazı RS-232 data kablosuyla bir bilgisayara

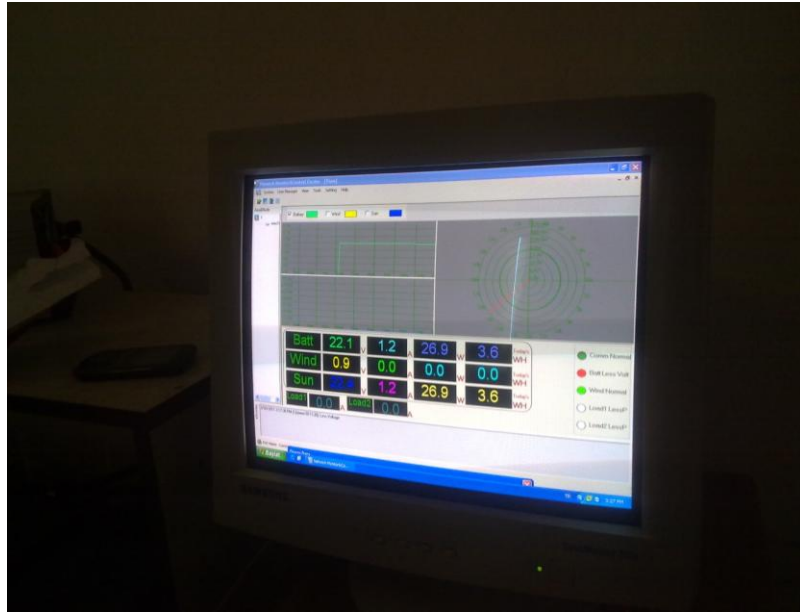
bağlanabilmekte ve bilgisayar görüntüsü Şekil 3.18’de görülen WinPower yazılımı ile bilgisayar hafızasına 10 saniyelik aralıklarla kaydedilmektedir.



Cihaza ait Teknik Özellikler

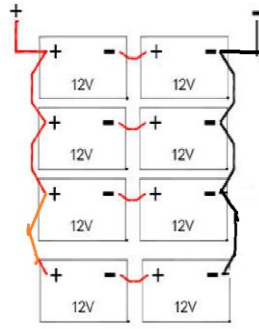
Akü gerilimi DC24V,
Rüzgar türbini Güç: 600W,
Rüzgar türbini maksimum giriş akım 40A,
Rüzgar türbini maksimum giriş gücü: 1 kW,
Deşarj voltajı: 28V,
Deşarj akımı: 25A,
Pv Kapasitesi: 300Wp,
Pil deşarj üzerinde koruma gerilimi: 22V,
Pil deşarj üzerinde kurtarma gerilimi: 24V,
Çıkış voltajı koruması: 32V,
Zaman kontrollü, çift çıkış Akımı: Tek 10A

Şekil 3.17. Hibrit şarj kontrol cihazı ve teknik özellikleri.



Şekil 3.18. WinPower yazılımı bilgisayar ekran görüntüsü

Sistemde kullanılan bataryaların görüntüsü, bağlantı şekli ve teknik özellikleri Şekil 3.19’da verilmiştir. Sistemde 8 adet 12 V, 65 Ah kapasitede batarya kullanılmıştır. Bataryalar 2 seri ve 4 paralel olacak şekilde bağlanarak gerilimi 24V’a, kapasitesi ise 260 Ah’e çıkarılmıştır.



24 V AKÜ BAĞLANTI ŞEMASI

Teknik Özellikleri:

Tip: EA1265

Voltaj: 12 V

Kapasite: 65 Ah

Boyutlar: 350 x 166 x 176 mm

Toplam Yükseklik: 176 mm

Ağırlık: 21,6 kg

Şekil 3.19. Sistemde kullanılan bataryaların görüntüsü, bağlantı şekli ve teknik özellikleri.

PV paneller ve rüzgâr türbininden üretilen ve bataryalarda 24 V doğru akım olarak depolanan elektrik enerjisini evlerimizde kullandığımız 220 V ve 50 Hz frekanstaki alternatif akıma çeviren inverterin çalışma gücü 3000W olup anlık olarak 6000W'a kadar olan cihazları besleyebilmektedir. İnverter tam sinüs inverter olup resmi Şekil 3.20'de görülmektedir. Giriş gerilimi 22 V'un altına düştüğünde aşırı yük koruma özelliği bulunmaktadır.



Şekil 3.20. Sistemde kullanılan inverter.

3.5.4. 1500 W RT- 480 W PV hibrit sistem elemanları

600 W RT- 340 W PV'den oluşan hibrit sistemde rüzgâr türbininden beklenen verim elde edilemediği için, Selçuk Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi bahçesine literatür taramasında özeti verilen Aksoy 2011'in kurmuş olduğu hibrit sistemde çalışmalar yapılmıştır. Bu sistemde rüzgâr türbini ve güneş panellerinden üretilen elektrik, türbin direği yanına kurulan pano içerisindeki akülerde depolanmış, invertörle dönüştürülerek 220 Volt AC yüklerde kullanılmıştır.

Şekil 3.21 de kurulan hibrit sistem fotoğrafı görülmektedir. Yer seçimi yapılırken Teknokent bahçesinde rüzgâr akımının yoğun olduğu ve güneş ışınımını engelleyebilecek gölgelemenin minimum olduğu bir konum seçilmiştir.



Şekil 3.21 Kurulan hibrit sistem

3.5.4.1. Rüzgar türbini

Kurulan hibrit sistemde Bergey marka BWC 1500 model modern, 1500 watt çıkış gücüne sahip, yüksek güvenilirliğe sahip, düşük bakımlı tasarlanmış özel bir rüzgar jeneratörü kullanılmıştır. Seçilen türbin hava ve sistem koşullarına göre otomatik olarak işletmeye girer ve çıkar. Akü şarj etmek, aydınlatma ve su pompalamak amacıyla kullanılmak çalışma modları mevcuttur. Burada direk bir pompa ve benzeri DC yüke bağlantı yapılmadığı için batarya şarjına uygun olan model seçilmiştir.

Akü şarj etmek için kullanılan türbin 12, 24, 36, 48 ve 120 Volt DC gerilim çıkışı desteklemektedir. Çiftlik evleri, kabinler, şebekenin ulaşmadığı köyler ve telekomünikasyon sistemleri başlıca kullanım alanlarıdır. Rüzgar hızının uygun olduğu yerlerde 175-300W yada daha fazlası güçleri sürekli çalıştırmaya müsaittir. Kurulan sistemde rüzgar türbinin ürettiği 3 faz AC güç kendi regülatöründe düzenlenerek 24

volta düşürülmekte ve aküleri şarj etmektedir. Kullanılan türbin ve teknik özellikleri şekil 3.22’de görülmektedir.



Teknik Özellikler:

Tip: 3 Kanatlı

Kanat Çapı: 3,0 m

Başlangıç rüzgar hızı: 3,6 m/s (12,96 km/h)

Optimum rüzgar hızı: 12,5 m/s (45 km/h)

Çıkış gücü: 1500 Watt

Maksimum dizayn rüzgar hızı: 53,6 m/s (192,96 km/h)

Aşırı hız koruması: AutoFurl

Ağırlık: 76 kg

Vites kutusu: Yok, direkt sürüş

Sıcaklık Aralığı: -40 +60 °C

Jeneratör: Kalıcı mıknatıs alternatör

Çıkış formu: 3 Faz AC, Değişken Frekanslı

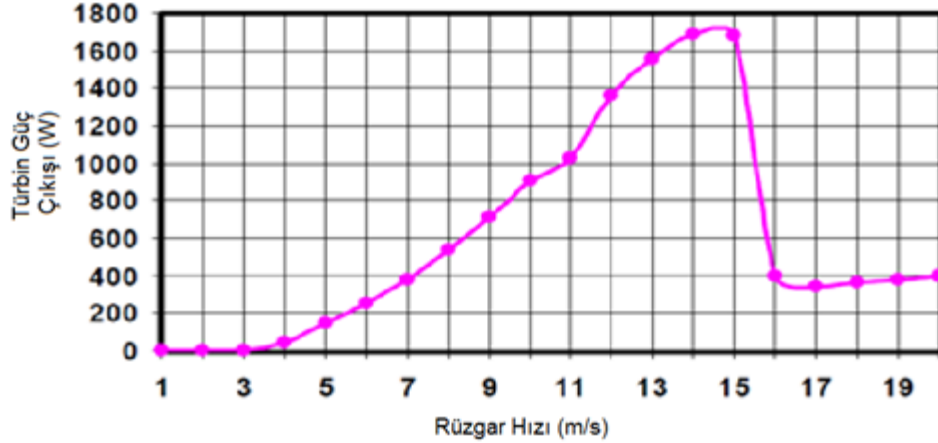
Çıkış formu: VCS-1,5 Regülatör ile 24 Volt DC çıkış

Şekil 3.22. Bergey BWC 1500 rüzgar türbini ve teknik özellikleri.

Rüzgâr türbinini genel özellikleri aşağıdaki gibidir

- Bakım gerektirmeyen dizayn
- Sesiz çalışma
- Autofurl otomatik fırtına koruması
- Direkt sürücülü Neodmium PM alternatör
- Güç merkezli, çok fonksiyonlu kontrolör
- Aküyü koruyan opticharge düzeni

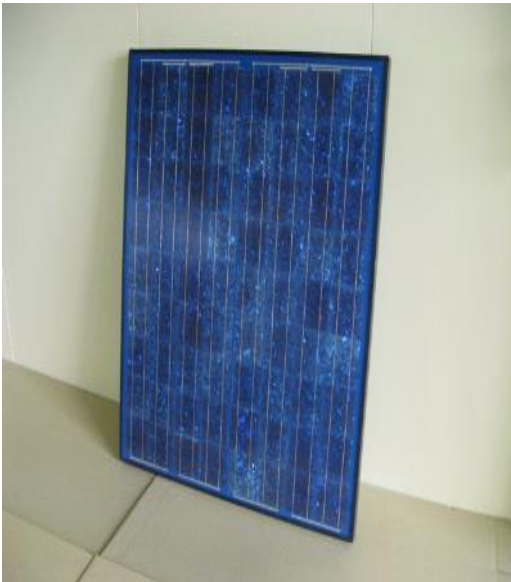
Şekil 3.23’de kullanılan rüzgar türbinin güç eğrisi görülmektedir. Türbin 3,6 m/s de devreye girmekte 12,5 m/s de 1500 Watt güce ulaşmaktadır. 15 m/s hızından sonra ise fren mekanizması devreye girmekte ve türbin kendini korumak için rüzgardan kaçmaktadır. Kullanılan türbinde vites kutusu olmayıp doğrudan jeneratör bağlantılıdır.



Şekil 3.23. Bergey BWC 1500 Rüzgar türbinin güç eğrisi

3.5.4.2. Fotovoltaik piller

Teknokent arazisi üzerine kurulu bu deney düzeneğinde Şekil 3.24'de görülen nominal gücü 120 Watt olan 4 adet 12 Volt Amerikan malı Solarex marka MSX20 modeli güneş paneli kullanılmıştır. Sistemde PV'ler 2 şer şekilde seri ve paralel bağlanarak 24 volt 240 Watt olacak şekilde bağlanmıştır. Piller bu sistemde yatayla 10°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Sistem ölçümlerinin alındığı tarihlerde güneş ışınımını ölçen piranometre de yatayla 10° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.



Teknik Özellikler

Karakteristik maksimum güç (P_{max}): 120 W

Maksimum Güçte Voltaj (V_{mp}): 34,2 V

Maksimum Güçte Akım (I_{mp}): 3,5

Kısa Devre Akımı (I_{sc}): 3,8 A

Açık Devre Voltajı: (V_{oc}):

I_{sc} sıcaklık verimi: $(0,065 \pm 0,015)\%/^{\circ}C$

V_{oc} sıcaklık verimi: $-(160 \pm 20)mV/^{\circ}C$

Güç sıcaklık verimi: $(0,5 \pm 0,005)\%/^{\circ}C$

Şekil 3.24. Solarex 120 Güneş paneli ve teknik özellikleri

3.5.4.3. Solar şarj regülatörü

PV sistemlerde şarj kontrol cihazının temel görevi batarya grubunu aşırı gerilim ve dip deşarj tehlikesinden korumaktır. PV grubunun optimum çalışma noktasında çalışmasını sağlayarak batarya grubunun ömrünü uzatır. Şarj kontrol cihazı genellikle PV modül ile batarya arasına bağlanır.



Şekil 3.25. Steca marka şarj kontrol cihazı

Şekil 3.25' deki Steca marka şarj kontrol cihazı deney sisteminde kullanılmıştır. Bu cihaz ile toplamda 2400 Watt güce kadar fotovoltaik sistem bağlanabilir ve çıkışından 38 Amper akım çekilebilir. Kullanılan şarj regülatöründe LCD ekran ve data logger özellikleri mevcuttur. LCD gösterge ile anlık panel akım, akü ve panel voltajını ve akünün şarj doluluk durumunu göstermektedir.

3.5.4.4. Solar datalogger

Teknokent arazisi üzerine kurulan deney düzeneğinde Steca marka data logger kullanılmıştır. Kullanılan data logger, şarj regülatörü ile direk olarak bağlanmış ve ölçümler kaydedilmiştir. Data logger ile PV de üretilen akım değerleri, DC yüklerin çektiği akım değerleri, batarya grubunun şarj seviyesi değerleri ikişer dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Bu kayıtlar bilgisayara dataloggerin desteklediği RS232 bağlantısı ile aktarılabilir. Aktarılan bu bilgiler özel programlarla analiz edilerek istenilen bilgileri grafiksel ortamda verir. Elektriksel ölçümler için kullanılan datalogger şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Elektriksel verilerin alınması için kullanılan data logger

3.5.4.5. Batarya grubu

Batarya, güneş panelleri tarafından üretilen elektriğin depolanması için kullanılır. PV sistem kurulumlarında batarya en önemli maliyet oluşturan kalemlerden biridir. Diğer ekipmanlara nazaran kısa ömürlü olması ve yanlış kullanım sonucunda kısa sürede bozulması diğer dezavantajlarıdır.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan bataryalar genellikle bakım gerektirmeyen jel tipinde veya opzs tipindeki akülerdir. Bu aküler zorlu çalışma koşullarında bakım gerektirmeden çalışabilirler. Deneyde şekil 3.27’de görülen Jel tipi 200 Ah 4 adet akü kullanılmıştır. Batarya sisteminin toplam kapasitesi 9600 Wattır.

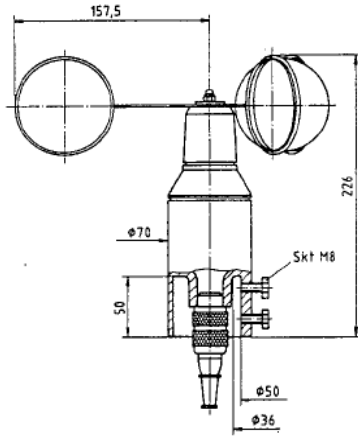


Şekil 3.27. Jel tipi akü

3.5.4.6. Rüzgar hızı ölçümü

Türbin bölgesinde rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan anemometre Wilog marka olup, fincanlı tip anemometredir ve şekil 3.33’de gösterilmiştir. Anemometrenin kalibrasyonu DEWI Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Anemometrede ölçülen rüzgar

hızları 10'er saniye aralıklarla ölçülerek, 10'ar dakikalık aritmetik ortalamalar şeklinde dataloggere kaydedilmiştir. Anemometreye ait teknik bilgileri Çizelge 3.7'de verilmiştir.



Ölçüm Aralığı (m/s)	0 – 50
Doğruluk (m/s)	0..15 m/s \pm 0,3 m/s,
Çözünürlük (m/s)	0,05
Anemometrenin Kalkış	0,3
Maksimum Ölçtüğü Hız	60
Tipi / Malzeme	Fincanlı /Alüminyum
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-35 – 80
Besleme 4-18 V DC	0,3 mA
Anemometre Ağırlığı (kg)	1

Şekil 3.28. Kullanılan anemometre ölçüleri ve teknik özellikleri.

3.5.4.7. Rüzgâr datalogger

Datalogger; anemometreden okunan rüzgâra ait verileri depolayan cihazdır. Deneyde Wilog marka datalogger kullanılmış olup, rüzgâr hızı değerleri zamana bağlı olarak depolanmıştır. Dataloggera ait teknik bilgiler Çizelge 3.7'de verilmiştir.

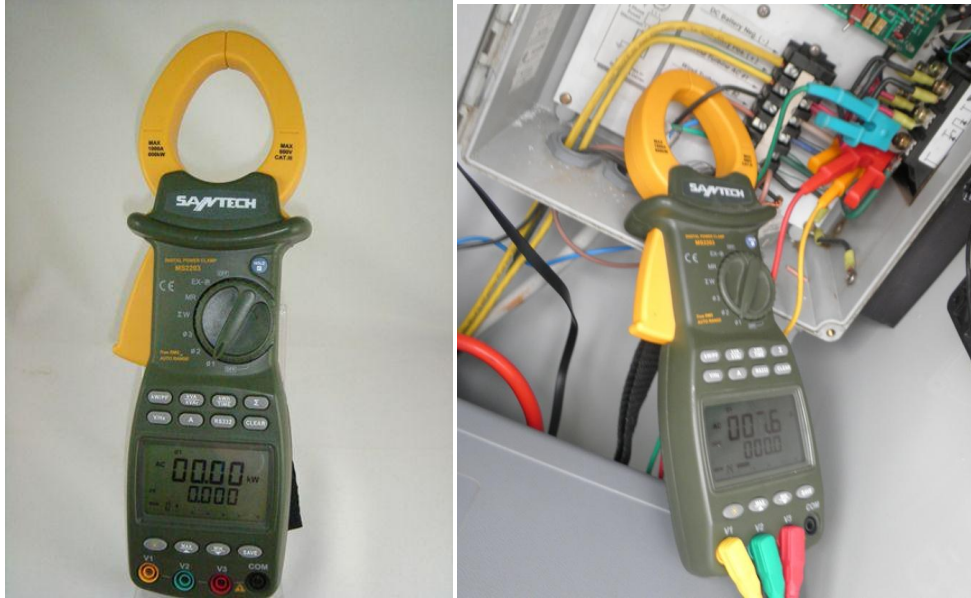
Çizelge 3.7. Datalogger cihazının teknik özellikleri (Wilog, 2005m)

Malzeme	Polikarbonat
Boyutlar (mm)	120×200×75
Ağırlık (kg)	1
Besleme	3 adet lityum pil (Li/SOCI2)
Nominal Kapasite (Ah)	13,5
Nominal Voltaj (V)	3,6
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-30 /+70

Data Logger'a kaydedilen rüzgâr hız kayıtları daha sonra bilgisayara aktararak listelendi. Deney işlemlerinin tamamlanmasından sonra deneye ait rüzgâr hızı ortalama değerleri tespit edilerek sonuçlar bölümünde sunulmuştur.

3.5.4.8. Güç analizörü

Bir sistemde harcanan enerjinin bileşenlerini ölçme işleminde kullanılan ölçü aletlerine güç analizörleri denir. Değişik zaman ve şartlarda ölçülen değerlerden bir çoğu aynı anda ölçü aleti üzerinde görülerek gerekli karşılaştırma ve işlemler yapılabilmektedir. Ayrıca güç analizörleri çok fazlı sistemlerde her faz için ayrı ayrı akım gerilim ve güç değerlerini ölçerek sonuçları ekranında gösterebilir. Deneyde rüzgâr türbininden üretilen akım, voltaj ve Güç ölçümlerinde Santech marka MS2203 modeli güç analizörü kullanılmış ve şekil 3.29’da gösterilmiştir. Güç analizörleri, şebekedeki elektrik parametrelerinin kontrolü, ölçümü ve izlenimi için kullanılan ölçü aletleridir. Güç analizörleri üç, iki ve tek fazlı sistem için uygulanabilir. Güç analizörü sistemde harcanan enerjiyi ölçer. Ölçülen değerler aletin ekranında görülebilir. Ekranda daha önce ölçülmüş değerleri de görerek karşılaştırma yapılabilir. Herhangi bir olağanüstü duruma karşı önlem alınabilir. Güç analizörlerindeki seri port sayesinde ölçülen değerler bilgisayardan takip edilebilir ve sonuçlar kaydedilebilir. Güç analizörlerinde her faza ait aktif, reaktif ve görünür güç değerleri ölçülebilir.



Şekil 3.29. Güç Analizörü

Kullanılan güç analizörünün özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Güç Ölçer 3-faz 3-kablo, 3-faz 4-kablo, Tek faz modu
- V, A, W, VA, VAR, KWh, PF, Hz ölçümleri
- Çift satır gösterim, her bir menüde 2 parametre ve 28 grup ölçümün parametresini hafızaya alma

- Toplam güç değeri ve 5 güç parametresinin, her bir faz için tek tek 3-faz ölçümü
- Otomatik kademe ve TRMS display
- RS232 ile bilgisayara bağlanma ve windows grafik yazılımı

3.5.5. Tüketim cihazları ve ölçüm sistemi

İki ayrı güç üretim sistemi için ayrı tüketim cihazları kullanılmıştır. Her iki sistem için DC - AC dönüştürücü aynı olup, 3000 Watt'lık (Powertech) inverter kullanılmıştır. 1500 W rüzgar türbini-480 W PV panelli sistemde 100 W'lık 3 adet ampul ve 1 adet dizüstü bilgisayar tüketim cihazı olarak kullanılmıştır. 600W rüzgar türbini-350 W PV panelli sistemin kurulduğu Teknik Eğitim Fakültesi'ndeki ofiste Şekil 3.14' de verilen aşağıda belirtilen tüketim cihazları kullanılmıştır. Bunlar;

- 1 adet Duvar tipi split klima,
- 1 adet Tv,
- 1 Adet Buzdolabı,
- 1 Adet bilgisayar
- Aydınlatma armatüründen oluşmaktadır.

Duvar Tipi Split Klima 9000 Btu/h kapasitesinde olup Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Klima Baymak marka ısıtma ve soğutma özelliklerine sahip enerji tüketim sınıfı B olan bir cihazdır.



Şekil 3.30: Baymak Elite 09 Chs Duvar Tipi Split Klima

KLİMA CİHAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma Gerilimi	:220 V ~ 240 V
Frekans	:50 Hz
Soğutma Kapasitesi	:2,6 kW
Isıtma Kapasitesi	:2,8 kW
Soğutma Konumunda Güç Tüketimi	:0,85 kW
Soğutma Anma Akımı	:3,86 A
Isıtma Konumunda Güç Tüketimi	:0,92 kW
Isıtma Anma Akımı	:4,18 A
Max.Güç Tüketimi	:1,41 kW
Max.Anma Akımı	:6,3 A
Soğutucu Akışkan	:R22

Aydınlatma armatürü olarak Led'li aydınlatma seçilmiştir. Çünkü Ledli aydınlatma cihazları daha az enerji tüketmekte ve 50.000 saate varan kullanım ömrü bulunmaktadır. Kullanılan Led'li aydınlatma cihazı florasan lambalar ile karşılaştırıldığında ışık şiddeti yönünden 2 tane 18 W'lık florasan lambanın ışık şiddetine eşittir. Led'li armatürler enerji verimliliği yönünden nanoteknoloji ile üretildiği için geleceğin aydınlatma ürünleri olarak görülmektedir. Tüketim cihazı olarak kullanılan aydınlatma armatürü Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Led'li aydınlatmanın teknik özellikleri

Isık Rengi Sıcak/soğuk beyaz
 Renk Sıcaklığı 3000-6500K
 LED adet 297
 LED ışın açısı 120°
 Güç (W) 20
 Paket ölçü (mm) 60x60x5
 Toplam Işık Akısı 1650 – 1900 Lümen
 Net ağırlık ~1 kg
 Çalışma Voltajı AC 220V—240V
 Akım ~100mA
 Ortam çalışma sıcaklığı – 20° C ile 50° C
 Alüminyum çerçevesi 304 kalite krom nikel

Şekil 3.31. Led'li aydınlatma armatürü.

Konutlarda genellikle televizyon ve bilgisayar bulunmaktadır. Sistemimizde TV olarak 37 ekran TV ve bir adet dizüstü bilgisayar tüketim cihazı olarak seçilmiştir. Şekil 3.32'de TV ve bilgisayar görülmektedir.



Şekil 3.32. Enerji tüketim cihazı olarak kullanılan televizyon ve bilgisayar

Sistemimizde bu dört cihaza ilave R600a soğutucu akışkana sahip büro tipi bir buzdolabı seçilmiştir. Sistemde enerji tüketimini ölçtüğümüz buzdolabı ise Şekil 3.33’de görülmektedir.



Şekil 3.33. Sistemde kullanılan buzdolabı.

Sistemde enerji tüketen cihazların akım ve gerilim değerleri anlık olarak ölçülmekte ve bilgisayara txt dosyası olarak kaydedilmektedir. Bunun için saniyede 8 veri okuyup bunların ortalamasını alarak saniyelik değer olarak bilgisayara kaydeden bir datalogger tasarlanmış ve üretilmiştir. Tüketim cihazlarının akım ve gerilim değerleri bu datalogger ile ölçülmüştür. Datalogger cihazı Şekil 3.34’de görülmektedir.

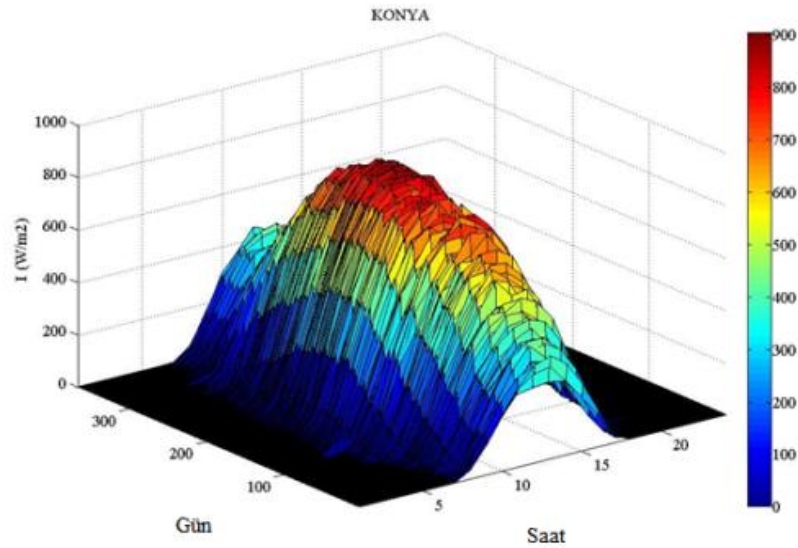


Şekil 3.34. Akım ve gerilim datalogeri.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Meteorolojik Verilerin Teorik Analizi

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden Konya ili için 1997–2008 yıllarına ait ışınım verileri elde edilip her gün için saatlik yatay yüzeye gelen ışınım ortalamaları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Konya ili için ışınım grafiği incelendiğinde, yıl boyunca gelen ışınım değerinin öğle saatlerinde maksimum değere ulaştığı ve Temmuz – Ağustos aylarında diğer aylara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yatay yüzeye gelen toplam ışınım değeri $1785 \text{ kW}/(\text{m}^2\text{yıl})$ olarak hesaplanmıştır. Toplam güneşlenme süresi ise 7,29 saat/gün olarak gerçekleşmektedir (Erdoğan, 2010).

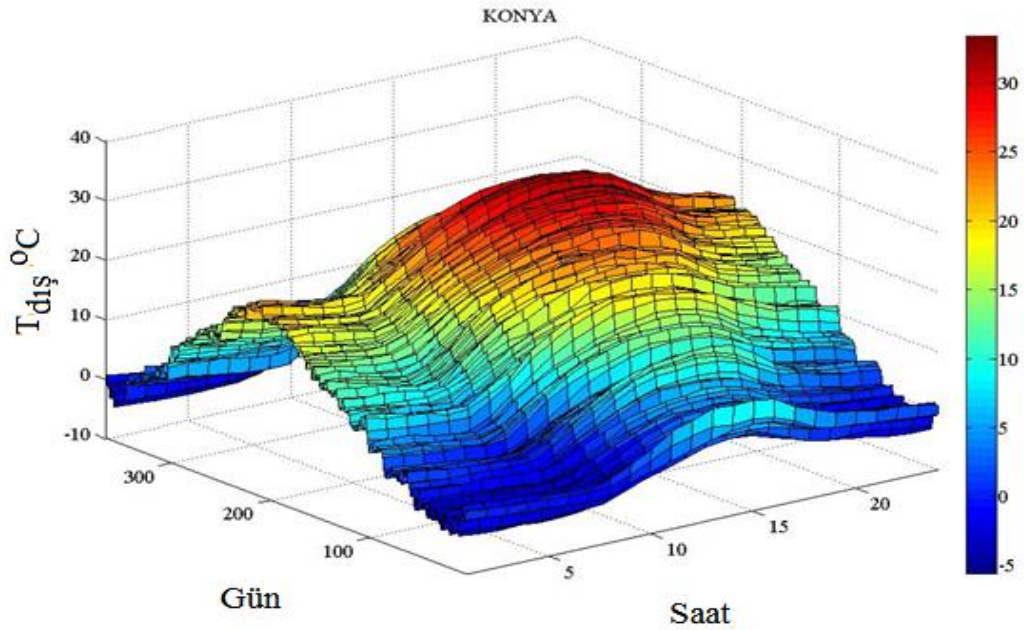


Şekil 4.1. Konya ili ışınım ortalamaları

Işınım grafiğinden yılın bütün günlerinde güneş enerjisinden faydalanılabileceği açıkça görülmektedir. Kış ve son bahar aylarında ışınım şiddeti düşük olmasına rağmen günlük maksimum değerlere bakıldığında yıl içerisinde minimum ışınım değeri $284 \text{ W}/\text{m}^2$ ile 7 Aralık gününde saat 12:00'da, maksimum değeri ise $902 \text{ W}/\text{m}^2$ ile 25 Temmuz gününde saat 12:00'de oluşmaktadır. Güneşin doğuşuyla ışınım şiddeti artmaya başlamış öğle saatlerinde maksimum değerini almış ve daha sonra gün batışına kadar azalmıştır.

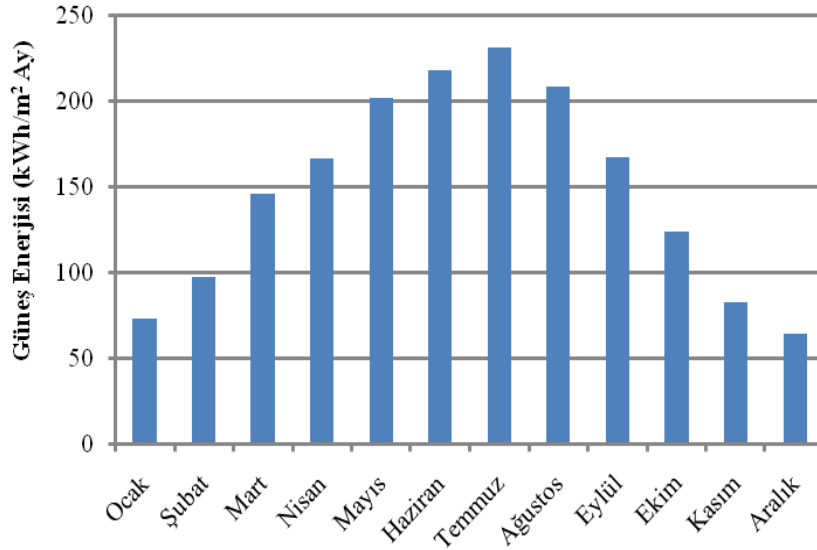
Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden 1997–2008 yıllarına ait sıcaklık verileri elde edilip her gün için saatlik sıcaklık ortalamaları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Sıcaklık değerleri sabah saat 6:00-8:00 arasında minimum değerlerini almakta ve daha sonra artarak saat 13:00- 16:00 arasında ışınım şiddetinin etkisine paralel olarak yüksek

değerlere çıkmaktadır. Maksimum sıcaklık değeri Konya, ili için 33,31 °C, olarak hesaplanmıştır.

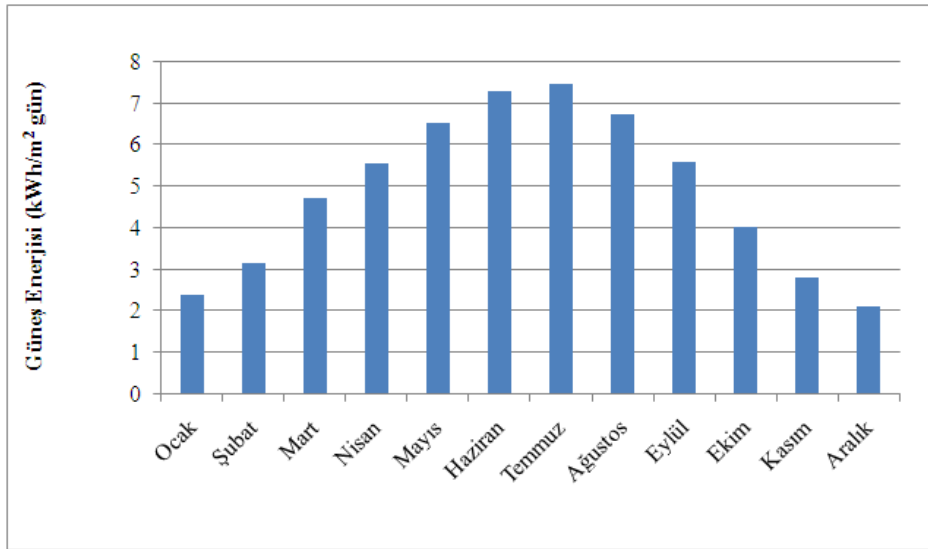


Şekil 4.2. Konya ili sıcaklık ortalamaları

Şekil 4.3’de ortalama ışınımın aylara göre değişimleri verilmiştir. Yıl boyunca toplam güneş enerjisi potansiyeli 1785 kWh/m²yıl olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisinin maksimum olduğu ayın temmuz ayı olduğu görülmektedir. Temmuz ayı içerisinde toplam güneş enerjisi 231.74 kWh/m²ay, ortalama günlük güneş enerjisi ise 7.475 kWh/m²gün olarak belirlenmiştir. Yıllık güneş enerjisi potansiyelinin %13’ü temmuz ayında oluşmaktadır. Nisan-Eylül ayları arasındaki 6 aylık dönemde ise yıllık güneş enerjisinin %67’si oluşmaktadır. Geriye kalan aylarda ise yıllık güneş enerjisinin %33 ü oluşmaktadır. Buradan kurulacak güneş enerjisi sistemlerinin nisan-eylül ayları arasında çalıştırılması ile yıllık güneş enerjisinin büyük bir kısmından yararlanılabileceği açıktır. Güneş enerjisinden minimum yararlanılabilecek ay ise %3.6 ile Aralık ayı değerleri için hesaplanmıştır.

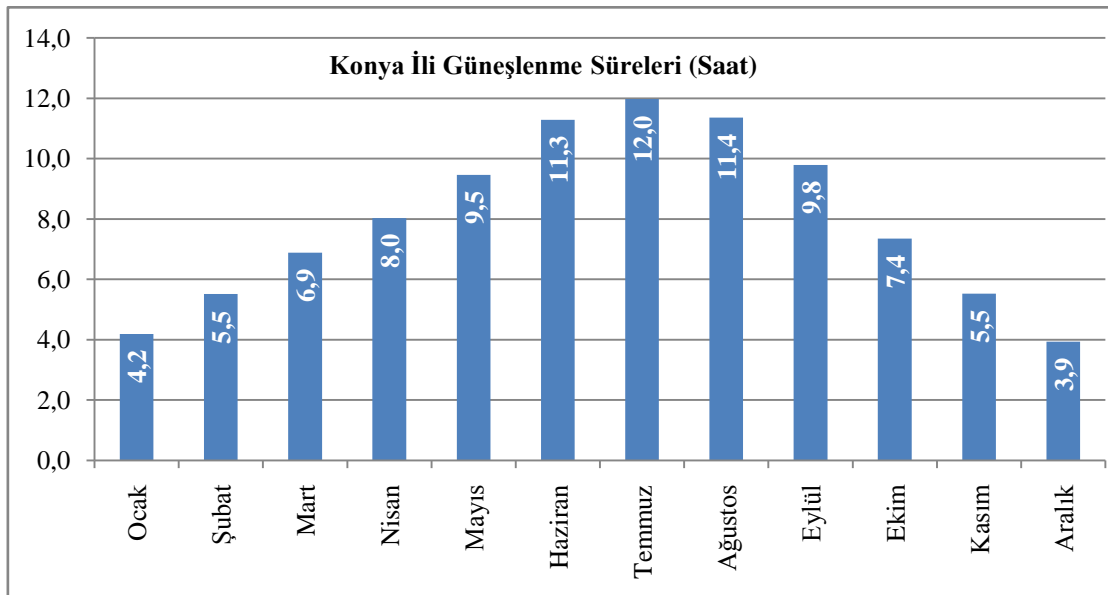


Şekil 4.3. Konya ili için 10 yıllık dataların aylık toplam güneş enerjisi değerleri



Şekil 4.4. Konya ili için 10 yıllık dataların ortalama günlük güneş enerjisi değerleri.

Elektrik İşleri Etüd İdaresinin Konya ili için belirlemiş olduğu aylık ortalama güneşlenme sürelerini gösteren grafik şekil 4.4'de verilmiştir. Grafikten maksimum güneşlenme süresinin temmuz ayında meydana geldiği minimum güneşlenme süresinin ise aralık ayında meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.5'de ise aylık ortalama güneşlenme saatlerinin değişimi görülmektedir.



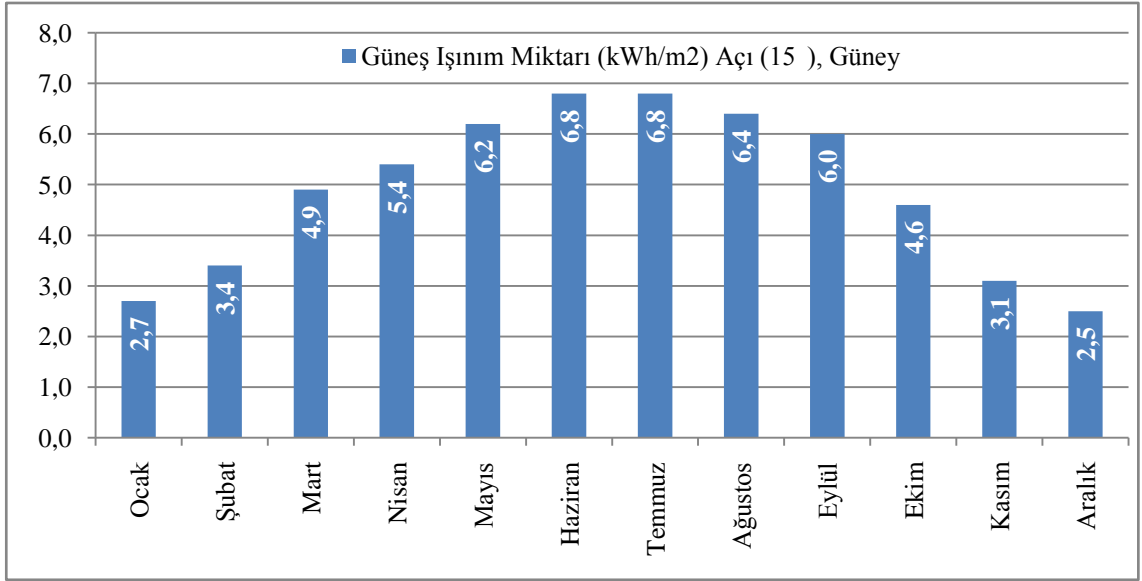
Şekil 4.5. Konya'daki ortalama güneşlenme süresi (Anonim, 2007)

4.2. Fotovoltaik Panel Eğim Açısının Tayin Edilmesi

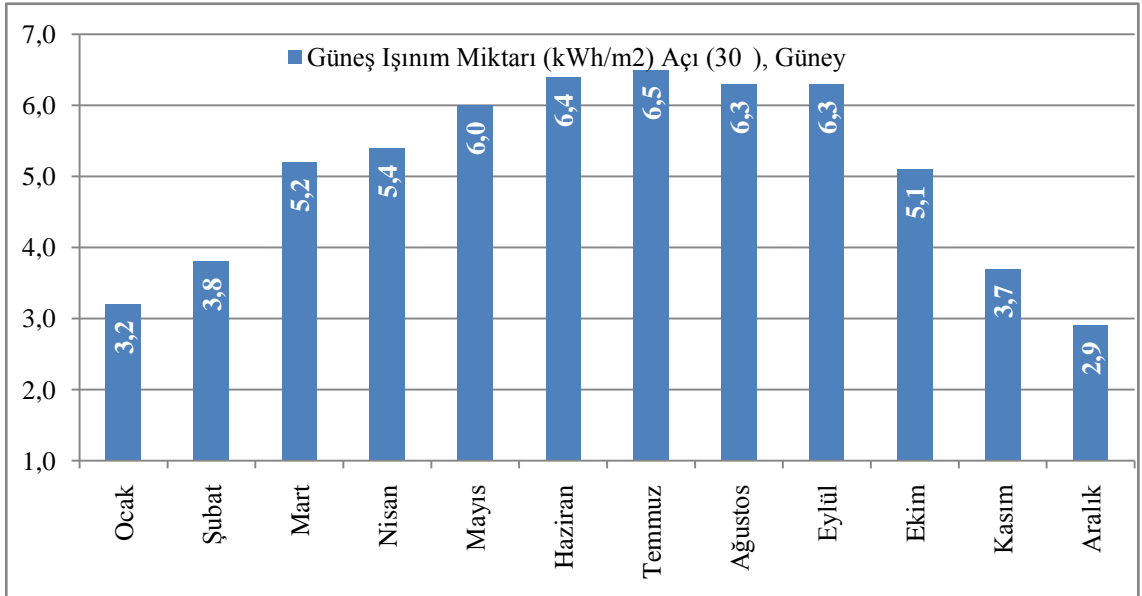
Avrupa komisyonunun araştırma merkezi tarafından kurulan PVGIS sitesinden alınan veriler Konya ili için optimum eğim açısının yaklaşık 33° olduğunu göstermiştir. (European Commission Joint Research Centre). Bu nedenle PV cihazlarının yerleştirildiği yer dikkate alınarak, yaz ve kış aylarında güneşten en verimli şekilde yararlanabilmek için kurulan PV sistemi yatayla 35° açı yapacak şekilde güneye doğru yerleştirilmiştir.

Çeşitli eğim açılarında güneş ışınımının aylık değişimleri şekil 4.6 ile şekil 4.10 arasında verilmiştir. 15° eğimdeki güneş ışınımı değerlerinin aylık değişimleri incelendiğinde haziran ve temmuz aylarında $6.8 \text{ kWh/m}^2\text{ay}$ ile maksimum güneş ışınımı oluşmuştur. Panellerin 15° açıda konulması ile fotovoltaik panellerin üzerine düşecek minimum ışınım miktarı Ocak ve Aralık aylarında gerçekleşecektir. Günlük ortalama $4.9 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$, aylık ortalama $150 \text{ kWh/m}^2\text{ay}$ ve senelik toplam $1796 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ ışınım fotovoltaik panellerin üzerine düşecektir. Panellerin 30° açıda konulması ile şekil 4.7'den görüleceği üzere günlük ortalama $5.1 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$, aylık ortalama $155 \text{ kWh/m}^2\text{ay}$ ve senelik toplam $1857 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ ışınım fotovoltaik panellere gelebileceği hesaplanır. Bu değerler 33° ve 45° eğim açılarında sırasıyla günlük ortalama $5.1 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$ ve $5 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$, aylık ortalama $155 \text{ kWh/m}^2\text{ay}$ ve $152 \text{ kWh/m}^2\text{ay}$, senelik

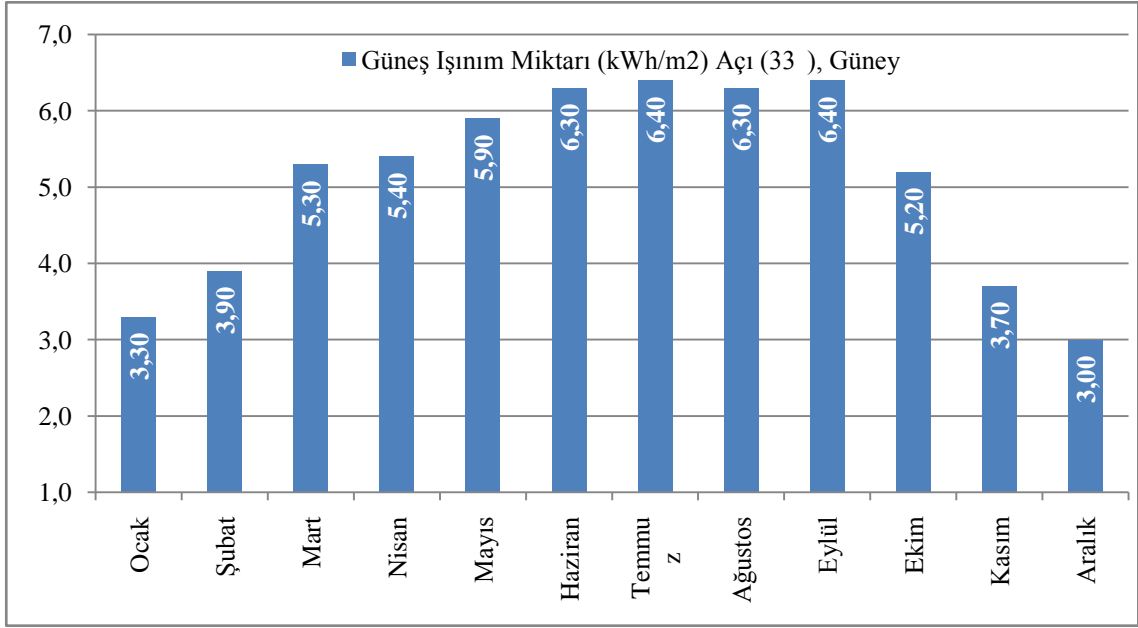
toplam 1858 kWh/m²yıl ve 1823 kWh/m²yıl ışınım fotovoltaik panellerin üzerine gelebileceği hesaplanır.



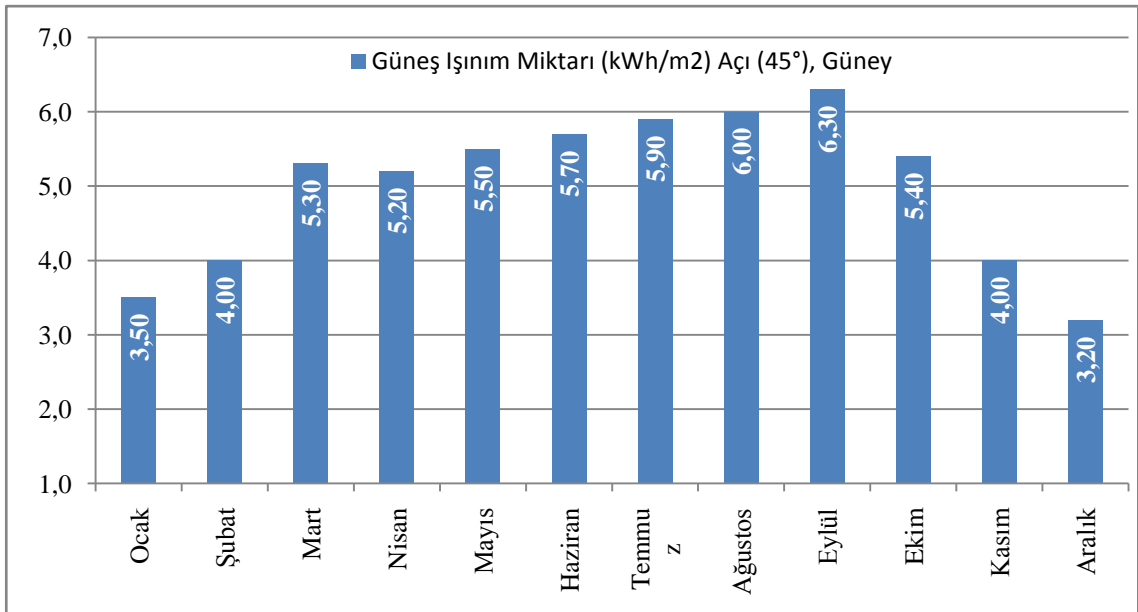
Şekil 4.6. Yatayla 15° lik açıdaki ay boyunca günlük ortalama ışınım miktarı



Şekil 4.7. Yatayla 30° lik açıdaki ay boyunca günlük ortalama ışınım miktarı



Şekil 4.8. Yatayla 33° lik açıdaki ay boyunca günlük ortalama ışınım miktarı

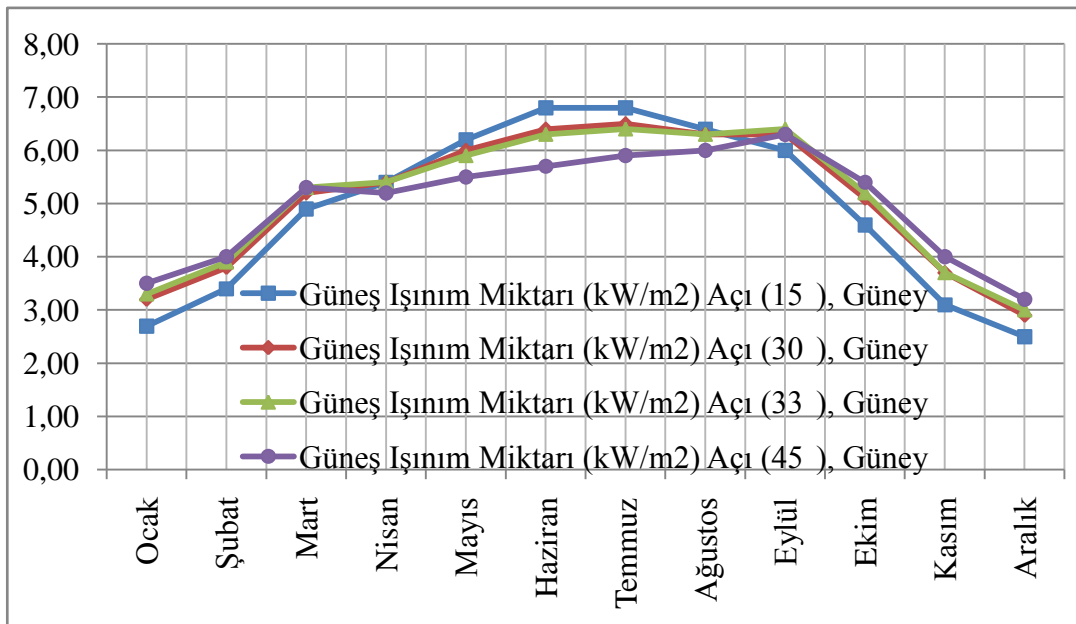


Şekil 4.9. Yatayla 45° lik açıdaki ay boyunca günlük ortalama ışınım miktarı

Buradan 30° ve 33° arasındaki ışınımın birbirine yakın olduğu görülmektedir. Günlük ve aylık ortalamalar her iki açı içinde birbirinin aynısı iken sadece yıllık toplam ışınım miktarı yaklaşık 33° için 1 kWh'lik fazlalık vardır. Buradan yıllık optimum açının Konya ili için yaklaşık 33° olduğu söylenebilir. Program tarafından her bir açı için hesaplanan fotovoltaik panel üzerine düşecek ortalama ışınım değerleri panellerin açılarındaki ortalama ışınım miktarları grafiği incelenecek olursa, Mayıs-Ağustos gibi yaz aylarında fotovoltaik panellerin 15° açı ile kurulması gerektiği Şekil 4.6.'da

görülmektedir. Kış aylarında ise ortalama ışınım değerlerine bakılarak 45° fotovoltaik panel açısının en iyi değerleri verdiği görülmektedir. Bu yüzden fotovoltaik panel kurulu gücü belirlenirken sistemin kurulacağı evin elektrik kullanımının aylık değişiminin bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle panellerin yatayla yapacağı açı belirlenebilir. Yaz ve kış mevsiminde sürekli tüketimi olan bir evin elektrik ihtiyacını karşılayacağı dikkate alındığında fotovoltaik panel açısının 45° olması gerekmektedir. Evin bir yazlık ev olduğu düşünülür ve sadece yazın elektrik ihtiyacı olduğu düşünülürse bu durumda fotovoltaik panellerin 15° açıda konulması gerekmektedir. Yaz aylarında 15° ve kış aylarında ise 45° olarak sistem tasarlanabilir. Ancak bu sadece şebekeden bağımsız sistemler için geçerlidir. Şebekeye bağlı olan sistemler için yaz-kış sürekli sabit bir güçte elektrik enerjisinin şebekeye verilmesi önceliktir. Bu sebeple eğer şebekeye bağlı bir sistem tasarlanıyorsa ve solar izleyiciler kullanılmıyorsa sistem optimum açı ile tasarlanmalıdır. Bütün açılar yıllık olarak değerlendirilecek olursa optimum açının 33° olacağı görülmektedir. Şekil 4.10'da fotovoltaik panel açlarına göre ışınım miktarlarının hepsi birlikte karşılaştırılmaktadır. Buradan sistemin en iyi performansta çalışması için ocak-mart ayları arasında 45° , nisan-ağustos ayları arasında 15° , eylül-aralık arasında ise 45° lik bir açı ile yerleştirilmesi gerektiği görülmektedir.

Ayrıca grafikten görüleceği ve verilerden de anlaşılacağı üzere panel eğim açısı arttıkça kış aylarında elde edilen ışınım artmakta, yaz aylarında elde edilen ışınım azalmakta, eğim azaldıkça ise kış aylarında elde edilen toplam ışınım azalmakta, yaz aylarında elde edilen ışınım artmaktadır.



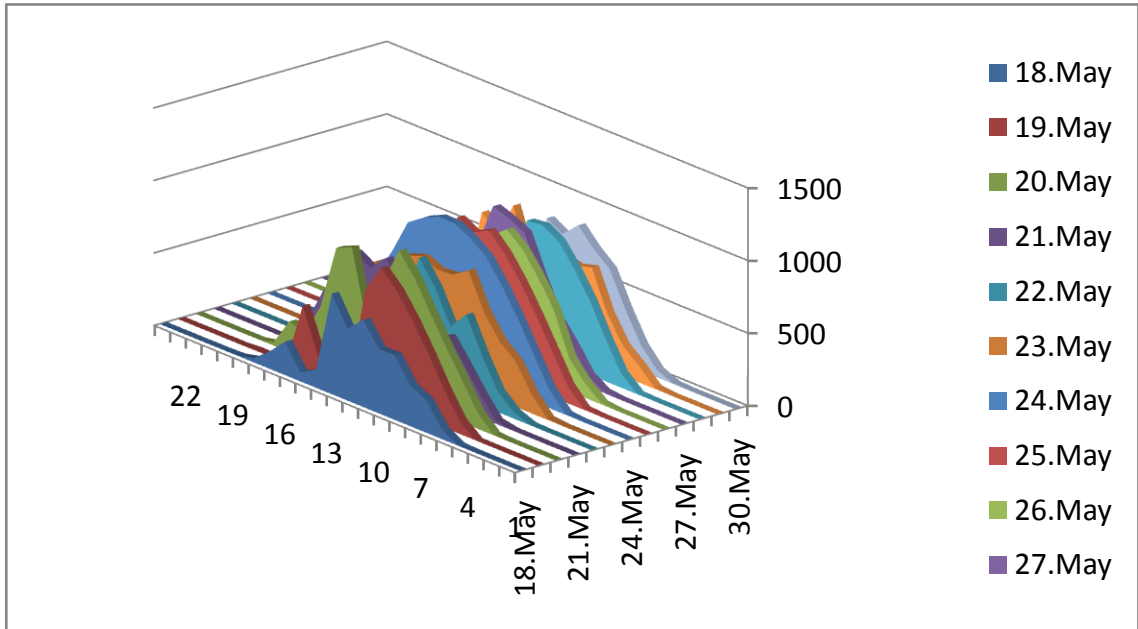
Şekil 4.10. Fotovoltaik panel açlarına göre ışınım miktarlarının karşılaştırılması

4.3. Deneysel Verilerin Analizi

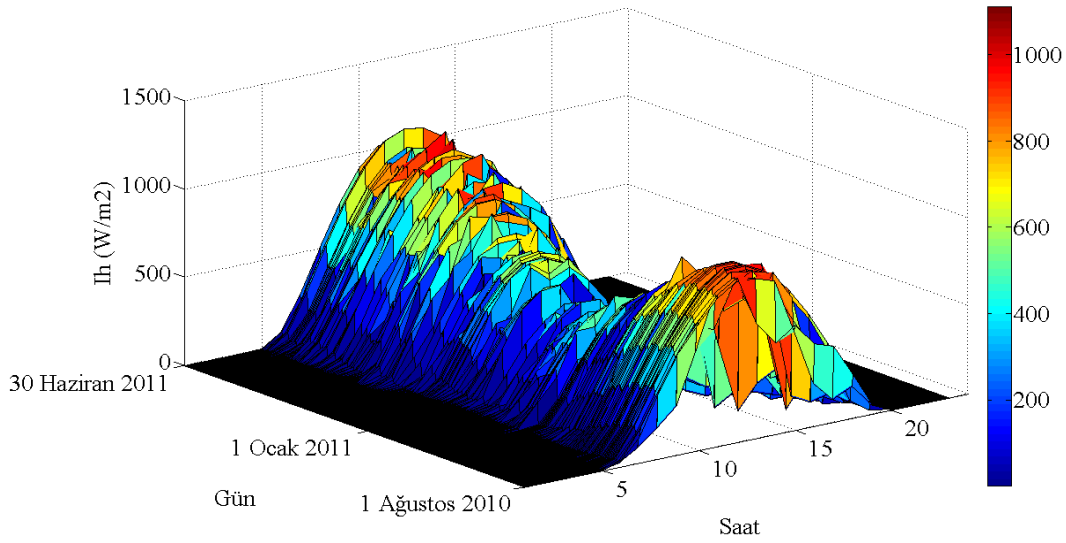
Materyal ve yöntem bölümünde özellikleri verilen cihazların dataları kullanılarak deneysel veri analizi yapılmıştır. Analizlerde 18 Mayıs- 30 Mayıs arasındaki datalar kullanılmıştır. Bu tarihler arasında enerji tüketen cihazların 24 saatlik güç değişimleri bir gün için verilmiştir.

4.3.1. Güneş ışınımı verileri

Güneş ışınımının 18-30 Mayıs tarihleri arasındaki saatlik değişimi şekil 4.11'de verilmiştir. Bu tarihler arasında yatay yüzeye gelen maksimum güneş ışınımı değeri 1012 W/m^2 ile 24 Mayıs günü saat 13:00'da elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde güneş ışınımı saat 06:00'da güneşin doğuşuyla artmaya başlamakta maksimum değerini saat 12:00-13:00 arasında almaktadır. Grafikte güneş ışınımında bazı saatlerde ani düşüşler olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ölçüm günlerinde havanın bulutlu olmasından kaynaklanmaktadır. Hava bulutlu olduğunda piranometre üzerine düşen ışınım azalmakta ve buda grafiklerde ani düşüşlere sebep olmaktadır. 10 yıllık güneş ışınımı datalarında 18-30 Mayıs tarihleri arasında maksimum ışınım miktarı 842 W/m^2 ile 29 Mayıs günü saat 11:00'da elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.11.a. 18-30 Mayıs tarihleri arası güneş ışınımının saatlik değişimi.

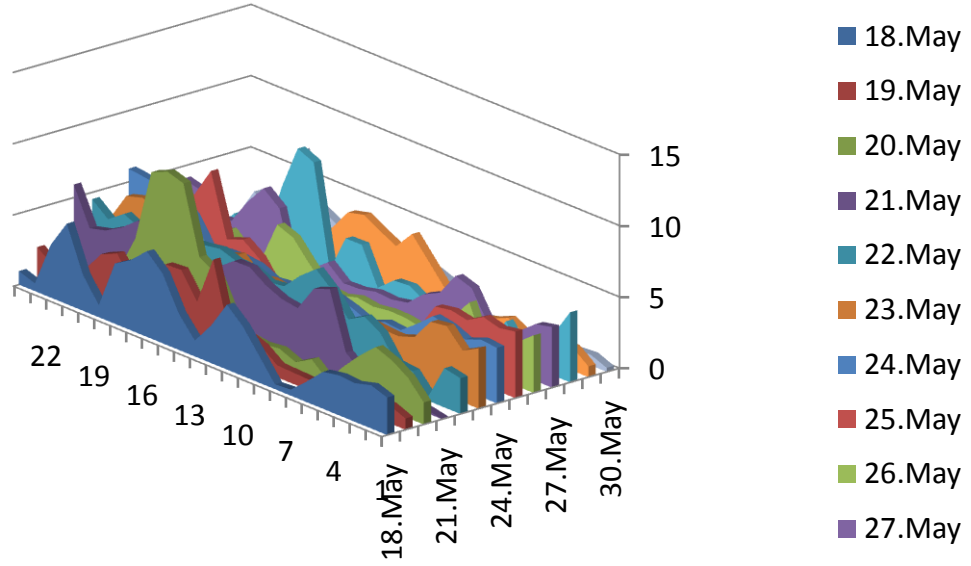


Şekil 4.11.b. 1 Ağustos 2010-30 Haziran 2011 tarihleri arası güneş ışıını verileri.

Güneş ışıını verilerinin 1 Ağustos 2010-30 Haziran 2011 tarihleri arası 11 aylık ölçüm değerlerinin yıl boyunca saatlik değişimi Şekil 4.11.b’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde güneş ışıınının kış aylarında azaldığı yaz aylarında ise arttığı görülmektedir. Yatay yüzeye gelen maksimum güneş ışıını değerlerinin 1150 W/m^2 değerlerine ulaştığı ölçülmüştür.

4.3.2. Rüzgar hızı verileri

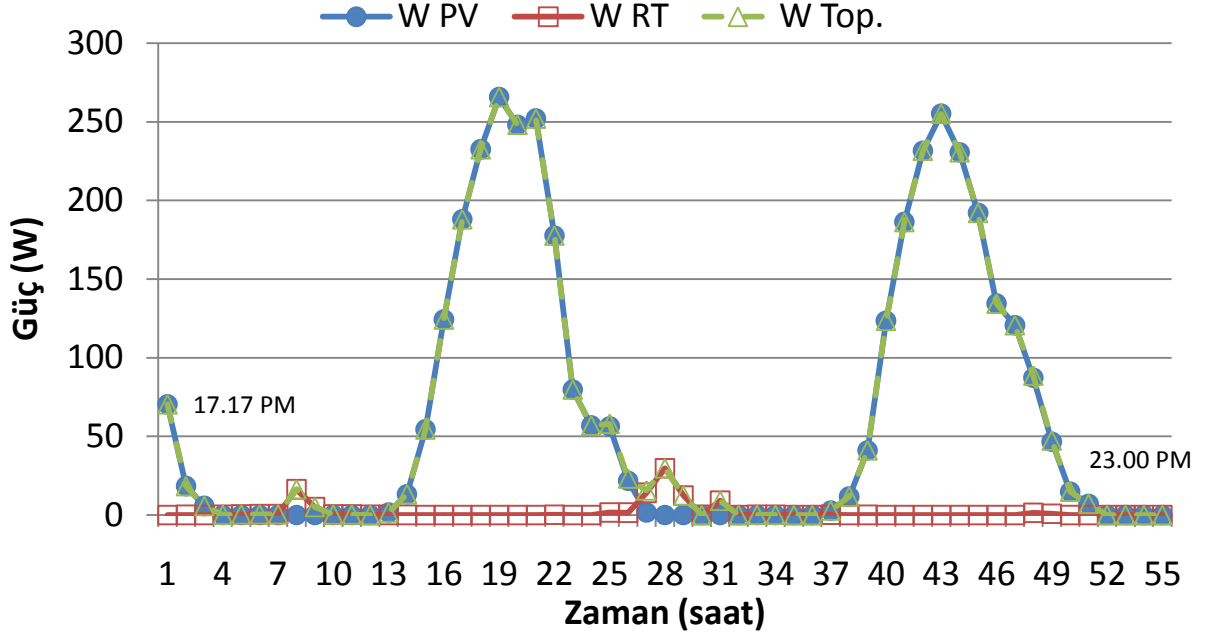
Şekil 4.12’de 18-30 Mayıs tarihleri arası rüzgar hızının saatlik değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde rüzgâr hızının, güneş ışıını gibi düzgün bir dağılım göstermediği görülmektedir. Rüzgâr hızlarının gün içerisindeki maksimum değerleri $4,52 \text{ m/s}$ ile $10,40 \text{ m/s}$ arasında değiştiği görülmektedir. Bu tarihler arasındaki ortalama rüzgarı hızı ise $2,84 \text{ m/s}$ olup günlük ortalama rüzgar hızının maksimumu ise $3,76 \text{ m/s}$ ile 22 Mayıs günü ölçülmüştür.



Şekil 4.12. 18-30 Mayıs tarihleri arası rüzgâr hızının saatlik değişimi.

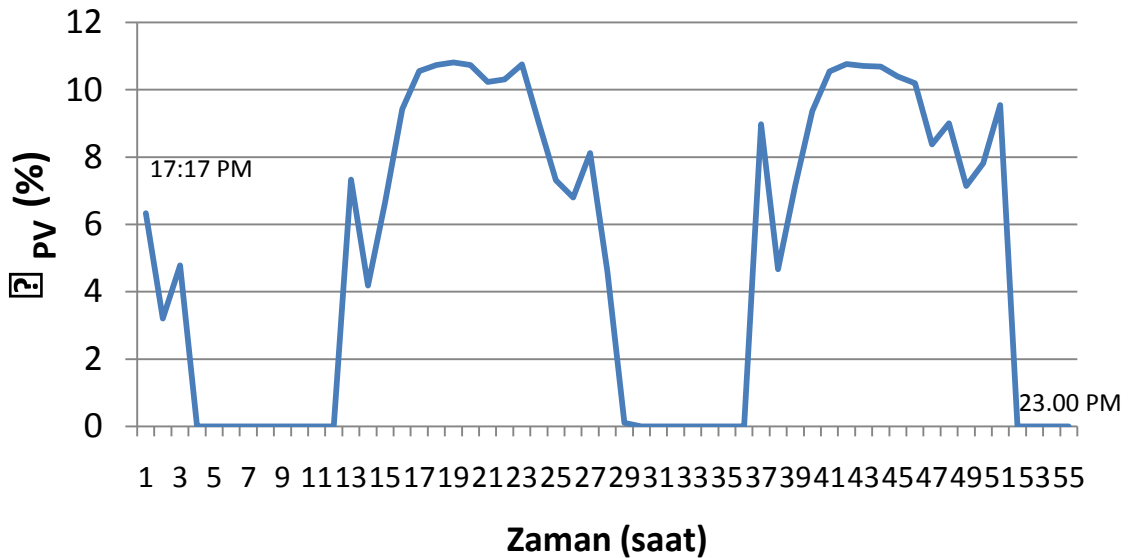
4.3.3. 600 W RT - 340 W PV hibrit sistem verileri

Şekil 4.13'de hibrit sistem tarafından üretilen enerjinin değişimi verilmiştir. Grafikte 2 günlük bir sürenin değişimi görülmektedir. Üretim değerleri ölçümüne 24 Mayıs saat 17:17'da başlanmış ve 26 Mayıs 23:00'da tamamlanmıştır. Grafikte yatay eksen, başlangıç zamanı 24 Mayıs saat 17:17 referans alınarak cihazların çalışma zamanını göstermektedir. Grafikten açıkça görüleceği üzere sistemdeki enerjinin asıl kaynağı PV panellerdir. Rüzgâr türbini bu süre içerisinde ~93 Wh'lık bir enerji üretmiştir. PV panelleri ise 3394 Wh'lık bir enerji üretmiştir. Toplamda hibrit sistem 3487Wh'lık bir enerji üretmiştir. Toplam enerjinin %2,6'sı rüzgar türbininden geriye kalan %97,4 ise PV panellerden üretilmiştir.



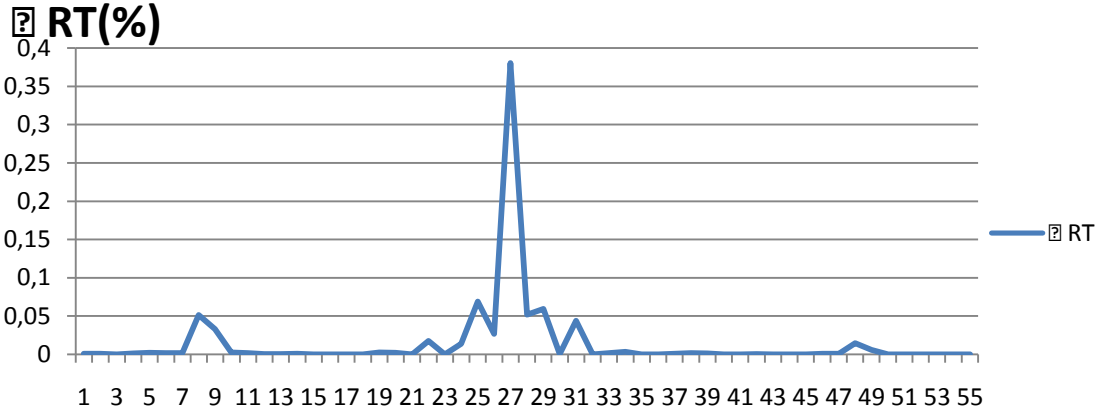
Şekil 4.13. Hibrit sistem tarafından üretilen enerjinin değişimi
(Zaman dilimi 24 Mayıs saat 17:17- 26 Mayıs 23:00'da)

Şekil 4.14'de deneyler süresince PV sisteminin veriminin saatlik değişimi verilmiştir. PV sisteminin maksimum verimi %10,81 olarak elde edilmiştir. Gün içerisinde PV panelleri ortalama ~%8,5 verim ile çalışmıştır. Grafikte PV sisteminin elektrik üretmeye başladığı anda verimlerinin ani olarak arttığı görülmektedir.



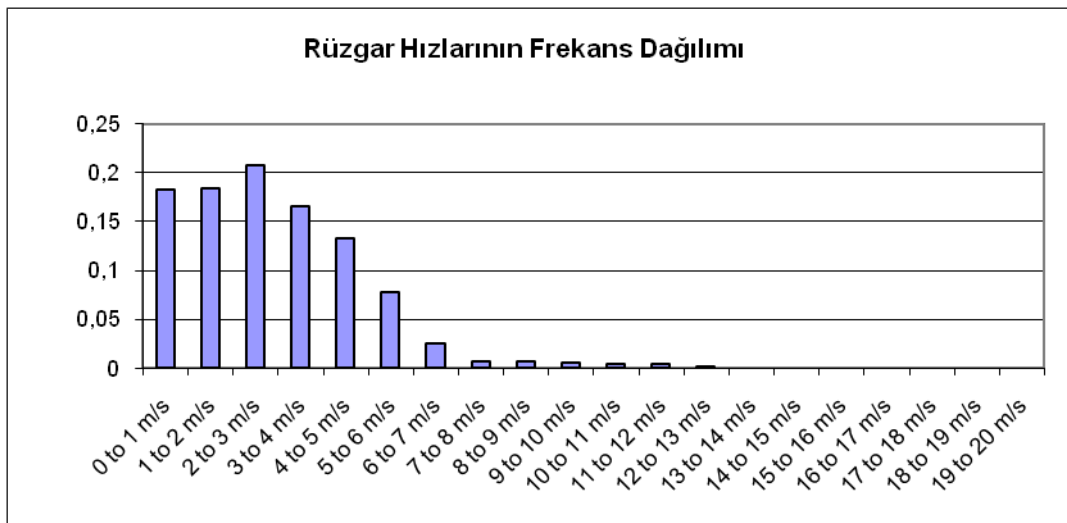
Şekil 4.14. PV sisteminin veriminin saatlik değişimi
(Zaman dilimi 24 Mayıs 2011 saat 17:17- 26 Mayıs 2011 23:00'da)

Şekil 4.15’de rüzgâr türbininin veriminin deney süresince değişimi verilmiştir. Grafikte rüzgar türbininin maksimum verimine 27.saatte (25 Mayıs 2011 saat: 20:00) ulaştığı görülmektedir. Diğer zamanlarda rüzgar hızı türbini döndürecek yeterli ataleti sağlamadığı için güç üretimi gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.15. Rüzgar türbininin veriminin saatlik değişimi.

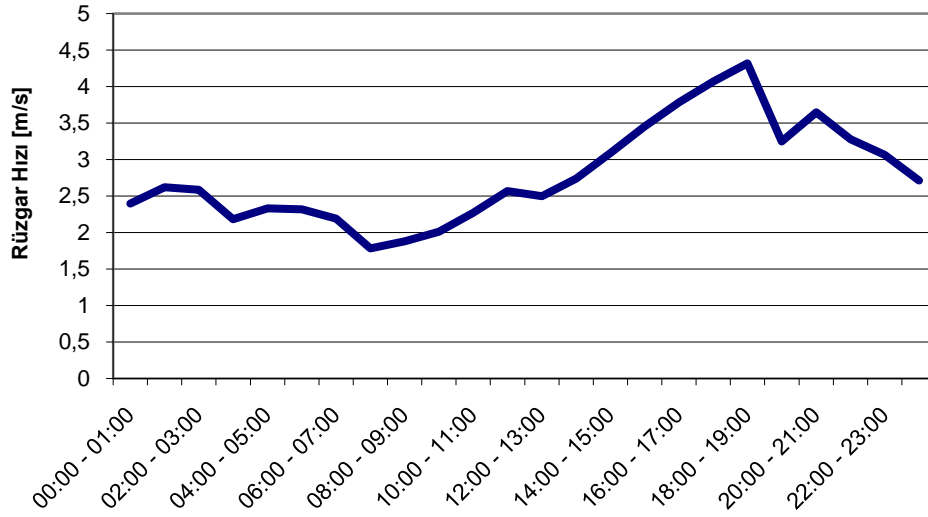
Rüzgâr hızı ölçümleri 18 Mayıs ile 30 Mayıs tarihleri arasında yapılmış ve dataloggeri ile kaydedilmiştir. Datalogger firmasından temin edilen “windata” isimli rüzgar analizi programıyla veriler analiz edilmiştir. Şekil 4.16’da rüzgar hızı frekans dağılımı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere ölçüm yapılan zaman aralığında 2 ile 3 m/s hız aralığının frekansı daha yüksek çıkmıştır. Bu değerlerden düşük hızlarda devreye giren türbin seçmenin mantıklı olacağı görülmektedir.



Şekil 4.16. Rüzgâr Hızı Frekans Dağılımı

Ölçüm tarihleri arasında ölçülen verilerin günlük rüzgâr dağılımı şekil 4.17’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 13:00-23:00 saatleri arasında rüzgar hızının 2.5 m/s’nin üstünde olduğu ve maksimum değerini 18-19 saatleri arasında aldığı görülmektedir.

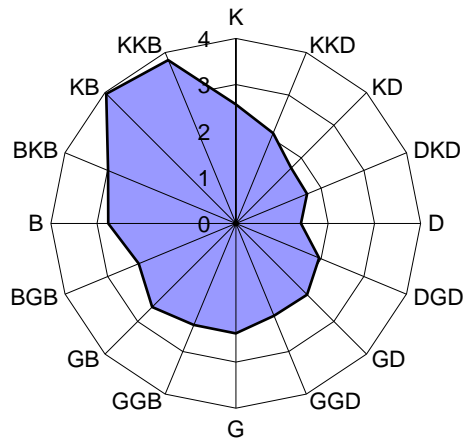
Günlük rüzgar Şablonu



Şekil 4.17. Günlük Rüzgar hızı dağılımı (18-30 Mayıs 2011)

Şekil 4.18’de rüzgar hızlarının yönlere göre dağılımını veren grafik görülmektedir. Grafikten ölçüm yeri için rüzgâr hızının baskın olduğu yönün kuzeybatı olduğu anlaşılmaktadır.

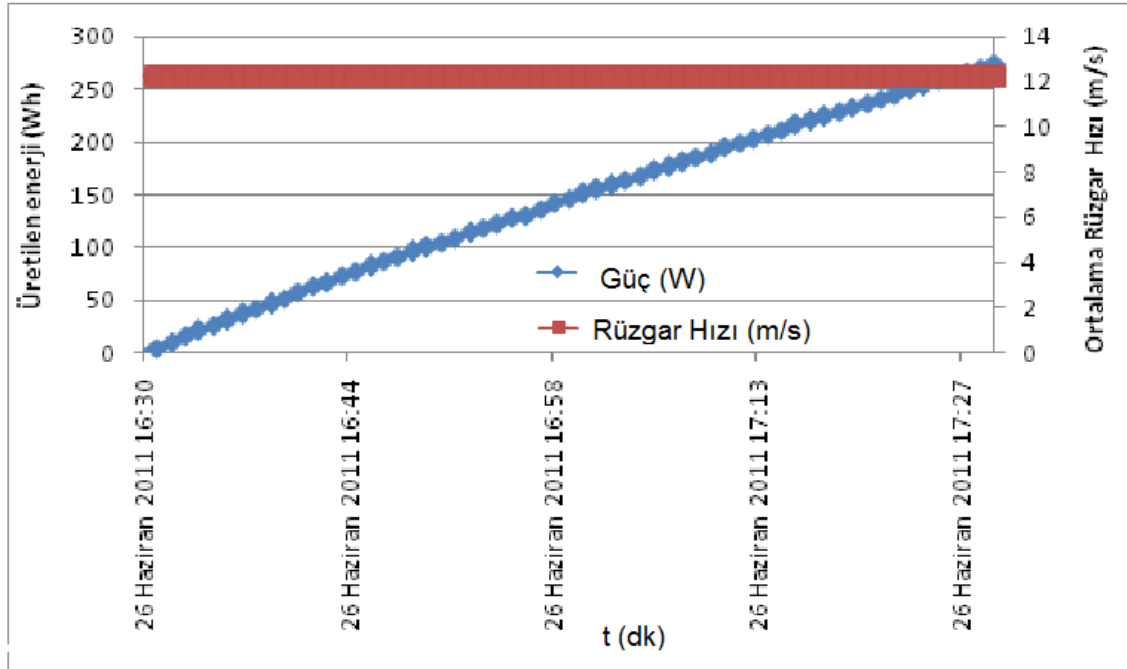
Ortalama Rüzgar hızı dağılımı[m/s]



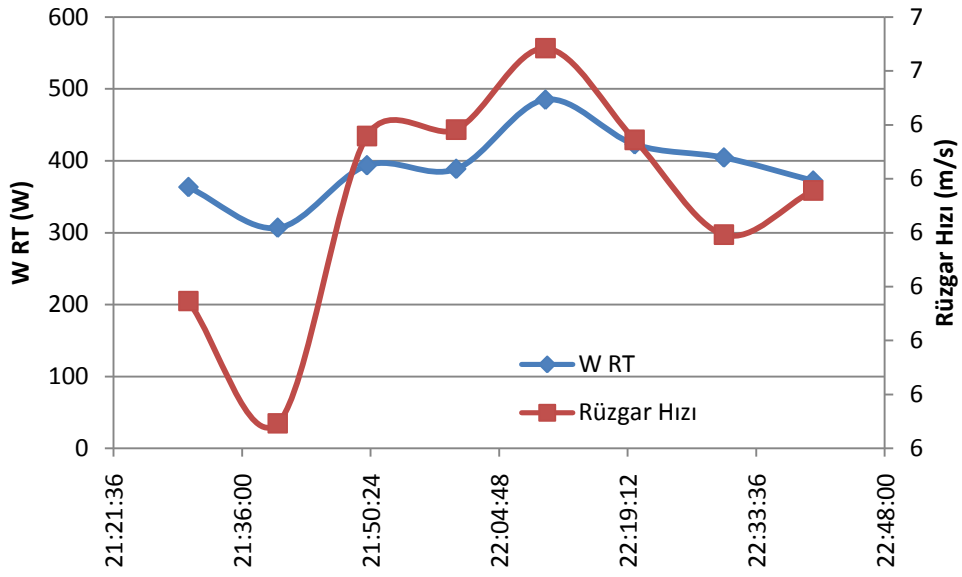
Şekil 4.18. Ortalama Hız dağılımı (18-30 Mayıs 2011)

4.3.4. 1500 W RT- 480 W PV hibrit sistem verileri

Şekil 4.19, 26 Haziran günü rüzgâr türbininin yaklaşık 1 saat boyunca ürettiği enerjinin ve o andaki ortalama hızın değişimini göstermektedir. Rüzgâr türbini 3 fazlı olduğu için grafikte sadece tek fazın enerjisi görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere rüzgâr türbini 1 saat sonunda $275 \times 3 = 825$ Wh'lik enerji üretmiş ve akülerde depolamıştır. Grafikte bir saat boyunca oluşan rüzgâr hızının ortalama değeri ise 12,21 m/s olarak görülmektedir. Rüzgâr hızı değeri ölçüm yapılan bir saat içerisindeki minimum değeri 8.37 m/s, maksimum değeri ise 16.20 m/s olarak görülmüştür. Rüzgar türbininin ölçüm yapılan bir saat içerisindeki ortalama verimi ise materyal metot bölümünde verilen eşitlik 3.1'e göre hesaplandığında %11 olarak bulunmuştur. Katalog değerlerine göre ise 12 m/s rüzgar hızında 1400 W güç ürettiği bilindiği ve eşitlik 3.1'e göre verimi hesaplandığında %20 olması gerekmektedir. Ancak, 12 m/s hız aralığı Türbinin otomatik olarak güç üretmeyi durdurduğu hız değerine yakın olduğu için, rüzgar hızı güç üretmeye yeterli olmasına rağmen güç üretimi gerçekleşmemiştir. Bölgenin Rüzgar hızının daha etkin kullanılabilmesi için daha yüksek rüzgar hızı değerlerinde çalışabilen rüzgar türbinlerinin kullanılması gerekir.



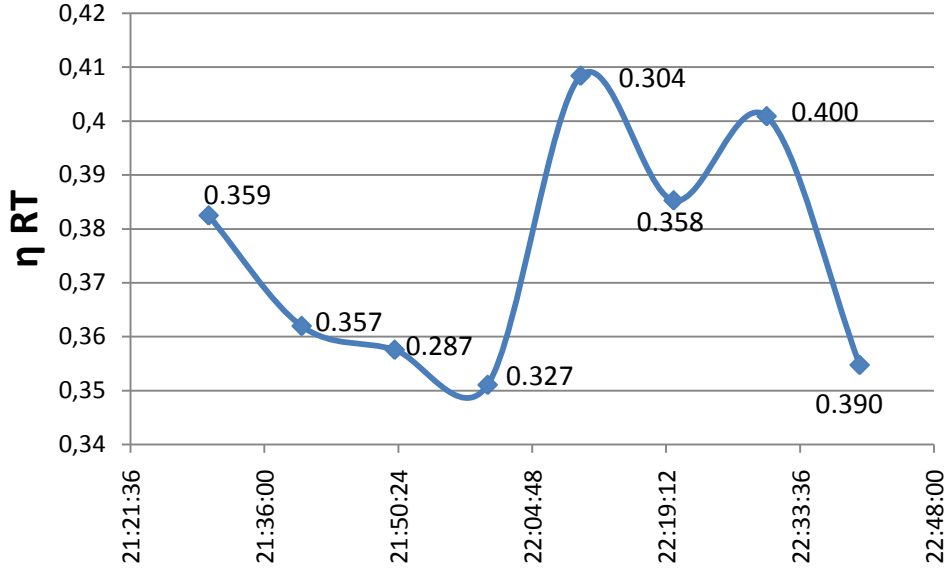
Şekil 4.19. Rüzgâr türbininin 1 saatlik ürettiği enerji ve ortalama rüzgâr hızı.



Şekil 4.20. 24 Haziran 2011 günü rüzgar hızının ve rüzgar türbininin ürettiği gücün anlık değişimi.

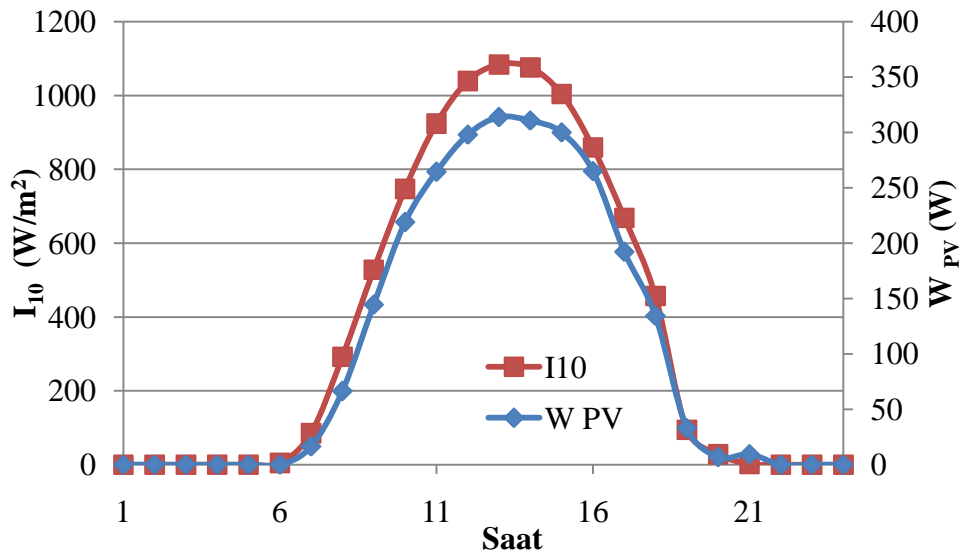
Şekil 4.20, 24 Haziran günü saat 21:30 ile 22:40 saatleri arası yapılan ve rüzgar türbininin ürettiği akım ve akü voltajına göre hesaplanan güç değerlerinin ve rüzgar hızının değişimini göstermektedir. 23 ve 24 haziran arasında yapılan bu deneylerden rüzgar hızının standart sapmasının en küçük olduğu saatin değişimi grafikte verilmiş olup rüzgâr türbininin ortalama hızı 1 saat boyunca 6,25 m/s , ortalama standart sapması 0,348 üretilen ortalama güç ise 392 W'tır. Grafik incelendiğinde rüzgar gücünün rüzgar hızı ile birlikte artıp azaldığı görülmektedir. Diğer deney saatlerinde rüzgar hızındaki yüksek standart sapmadan dolayı bu artış ve azalış görülememektedir.

Şekil 4.21.'de ise türbin veriminin 1 saat boyunca değişimi anlık olarak gösterilmiştir. Ortalama türbin verimi %37 olarak görülmüştür. Deney süresince maksimum verim %40 minimum verim ise %35 olarak görülmüştür. Rüzgâr türbini hızı ve türbinin ürettiği güç paralellik seyretmekte birkaç noktada paralellikten uzaklaşmaktadır. Bunların sebebi rüzgar hızının standart sapmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebepten dolayı grafik üzerindeki noktalarda o andaki rüzgar hızının standart sapma değerleri verilmiştir.



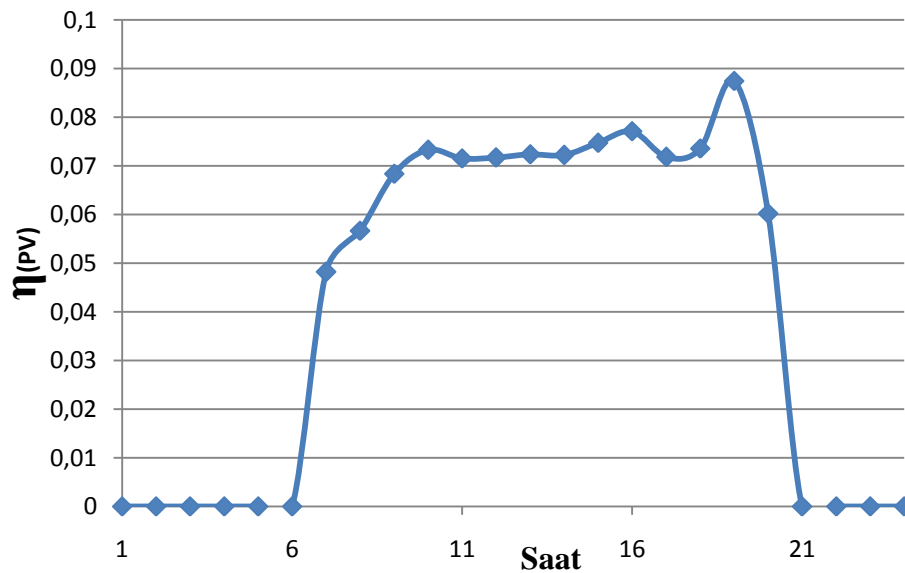
Şekil 4.21. 24 Haziran 2011 günü rüzgâr türbini veriminin 1 saatlik değişimi.

PV sisteminin verimi belirlenirken steca marka regülatörün 2 dakikalık ortalamalar halinde kaydetmiş olduğu akım ve gerilim değerleri kullanılmıştır. Güneş ışınımı verileri için ise güneşe doğru yönlendirilmiş olan piranometre yatayla 10° ’lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. 10° ’lik PV panellerin üzerine düşen güneş ışınımı ve PV panellerin ürettiği güç değerlerinin 24 Haziran 2011 günü için saatlik değişimi şekil 4.22’de verilmiştir. Grafikte güneş ışınımı ve güç değerlerinin gün boyunca gösterdiği eğilimin aynı olduğu görülmektedir. Gün içerisinde PV panellerden elde edilen anlık gücün maksimum değeri saat 13:00-14:00 arasında ortalama 313 W olarak ölçülmüştür. Maksimum güneş ışınımının değeri ise saat 13:00’de 1083 W/m^2 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.22. 24 Haziran 2011 günü güneş ışınımı ve 4m² PV panellerin ürettiği güç değerlerinin saatlik değişimi.

Şekil 4.23'de ise 24 Haziran 2011 günü PV panellerinin veriminin saatlik değişimi görülmektedir. Gün içerisinde PV sisteminin verimi ışınım ile artmakta ve daha sonrada azalmaktadır. PV sistemi verimi maksimum değerini saat 19:00'da %8.7 olarak görmüştür. Bu saatlerde güneş ışınımı PV üzerine dik gelmediğinden dolayı PV'nin yüzey sıcaklığı artmadığından verim gündüz saatlerine göre daha yüksek çıkmaktadır. Günlük ortalama PV sistem verimi ise % 6,9 olarak bulunmuştur. .



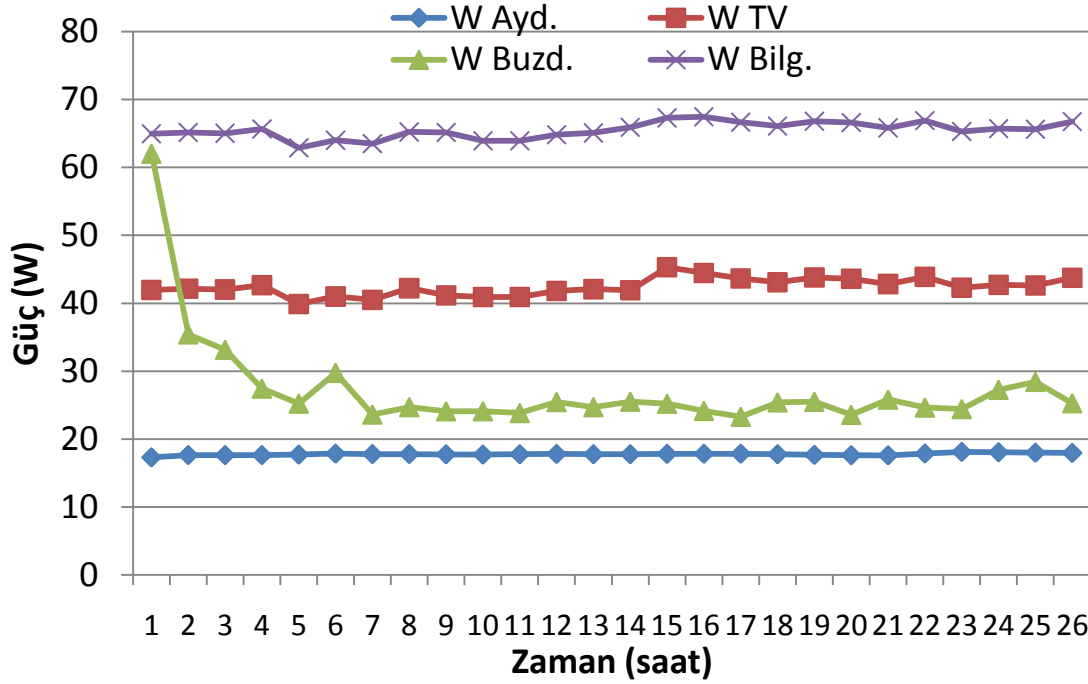
Şekil 4.23. 24 Haziran 2011 günü PV panellerinin veriminin saatlik değişimi.

4.3.5. Tüketim cihazları verileri

Materyal ve yöntem bölümünde verilen ve hibrit sistemde enerji tüketen cihazlar olarak TV, aydınlatma, bilgisayar, buzdolabı ve klima öngörülmüştü. Sistemde bütün elemanlar devrede iken klima çalıştığında ilk kalkışta çekmiş olduğu akımdan dolayı inverter aşırı yük konumuna girmekte ve çalışmamaktadır. Bu yüzden klima 1 saatlik olarak test edilmiştir. Diğer cihazlar ise 24 saat boyunca çalıştırılarak akım ve gerilim değerleri ölçülmüş ve bu değerlerden saatlik çektikleri güçler hesaplanmıştır.

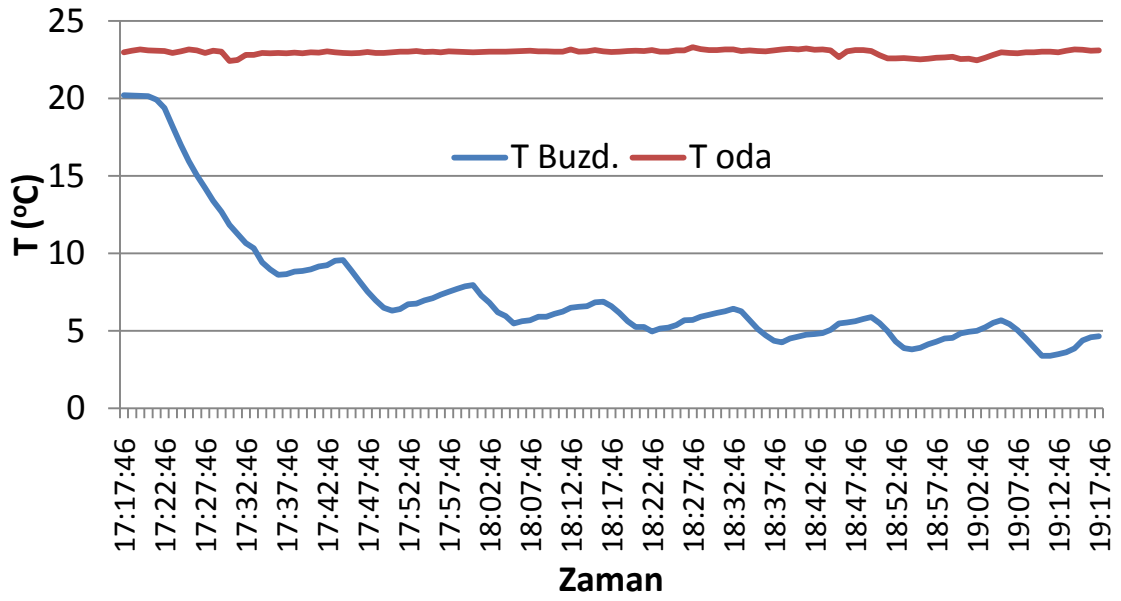
Şekil 4.24'de TV, bilgisayar, aydınlatma ve buzdolabının zamana bağlı gücün değişimi verilmiştir. Deneylere 24 Mayıs saat 17:17'da başlanmış ve 25 Mayıs 18:00'da tamamlanmıştır. Grafikte yatay eksenin başlangıç zamanı 24 Mayıs saat 17:17 referans

alınarak cihazların çalışma zamanını göstermektedir. Grafik incelendiğinde aydınlatmanın sabit olarak ~18 Wh, televizyonun ~43Wh, bilgisayarın ~63 Wh ve buzdolabının ise başlangıçta buzdolabı içi ile oda içinin sıcaklık farkının az olmasından dolayı çok fazla güç harcamakta, fakat daha sonra buzdolabının rejime girmesiyle 25 Wh'lik enerji tüketmektedir. 24 saat boyunca buzdolabı 613 Wh'lik bir enerji tükettiği ölçüm sonuçlarından görülmüştür.

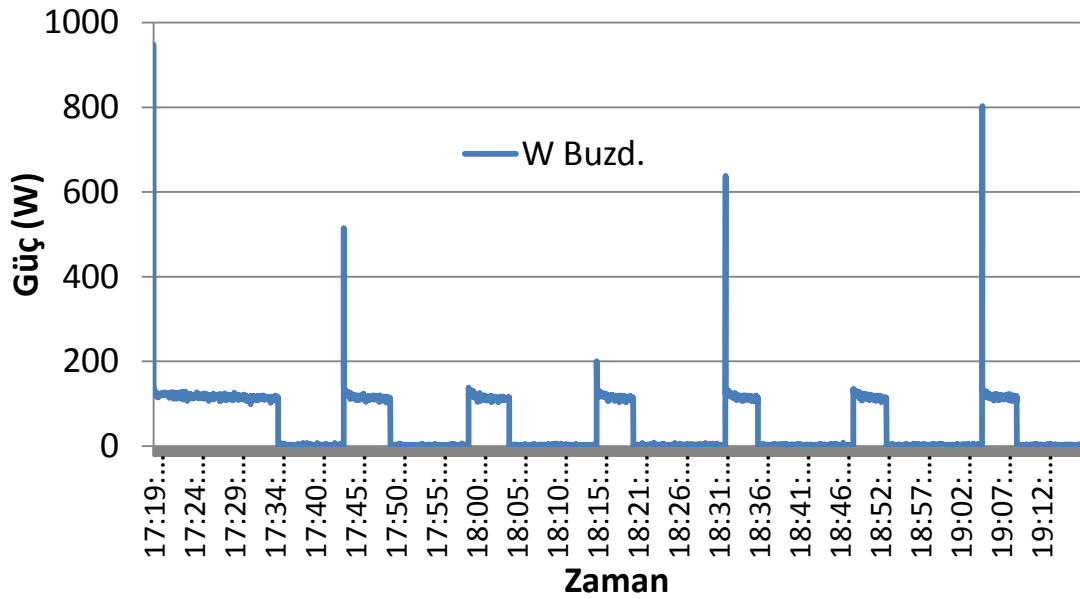


Şekil. 4.24. TV, bilgisayar, aydınlatma ve buzdolabının zamana bağlı gücün değişimi

Ayrıca deneylerde buzdolabı iç ortam sıcaklığı ile buzdolabının bulunduğu odanın ortam sıcaklıkları da saniyelik olarak ölçülmüş ve şekil 4.25 ilk iki saatlik değişimleri verilmiştir. Oda sıcaklığı deney süresince 22°C'de sabit olarak seyretmektedir. Deney başlangıcında buzdolabı çalışmadığından dolayı buzdolabı ile oda sıcaklığı değerleri birbirine yakın olup buzdolabının çalışması ile buzdolabı iç ortam sıcaklığı düşmeye başlamaktadır. 20. dakika sonunda buzdolabının iç ortam sıcaklığının arttığı daha sonrada tekrar düştüğü görülmektedir. Bu sıcaklık salınımı buzdolabı iç sıcaklığı kararlı olana kadar sürmektedir. Şekil 4.26'da ise buzdolabının ilk iki saatlik güç tüketimi değişimi görülmektedir. Şekilde buzdolabının ilk çalışma anında aşırı bir güç çektiği daha sonra güç tüketiminin sabitlendiği görülmektedir. Bu başlangıçtaki aşırı yük olayı elektrik motoru kullanılan cihazların hepsinde oluşmaktadır. Grafikten buzdolabının devreye girip çıktığı ve her devreye girme anında aşırı yüklendiği açıktır. Şekil 4.13'deki sıcaklık artışının sebebi de bundan dolayıdır.



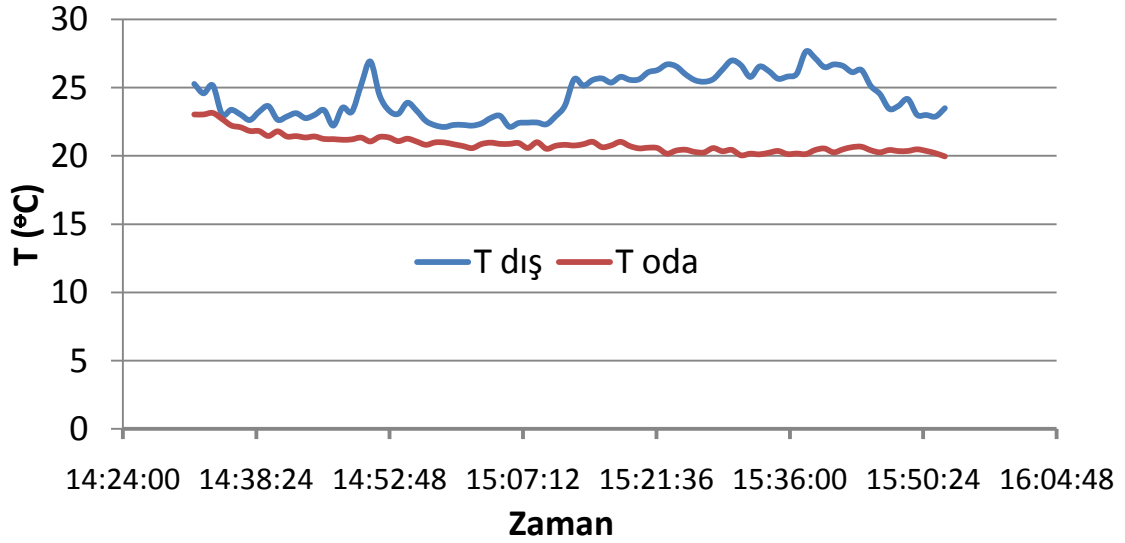
Şekil 4.25. Buzdolabı iç ortamı ve oda sıcaklığının zamana bağlı değişimi.



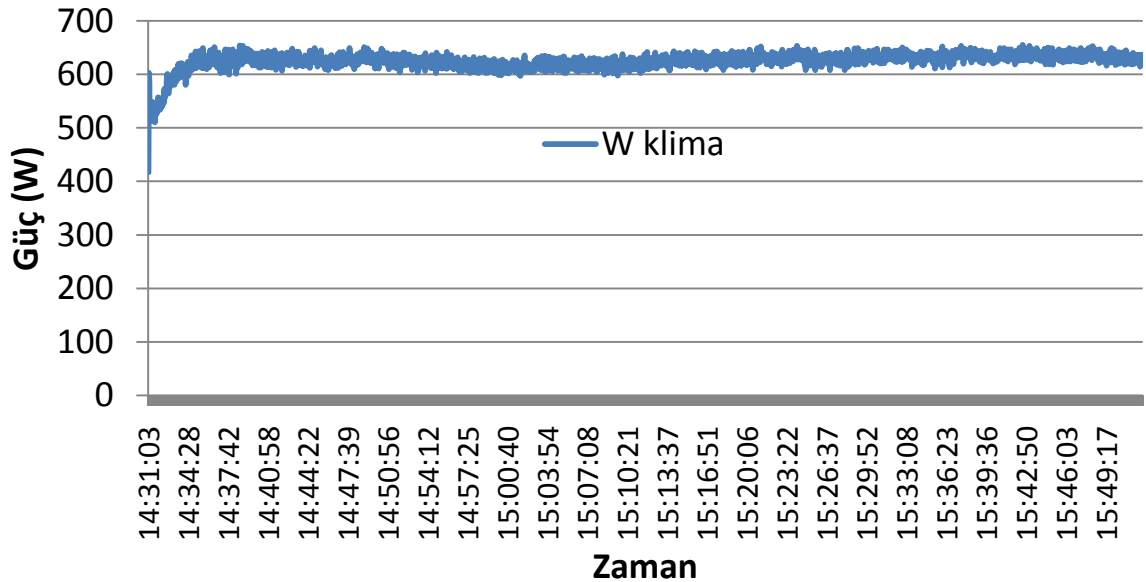
Şekil 4.26. Buzdolabının güç tüketiminin değişimi.

Şekil 4.27.'de klimanın çalışmaya başladığı andan itibaren oda sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığının değişimi verilmiştir. Klima çalışmaya başladığında iç ortam sıcaklığı 23 °C olup zamana bağlı olarak bu değer düşmekte ve 1 saat sonunda ayarlanmış olan 20 °C değerine ulaşmaktadır. Daha sonra 20 °C değerinde sabit seyretmektedir. Şekil 4.28'de klimanın çalışma süresi boyunca çektiği güç anlık olarak gösterilmiştir. Grafikte klimanın çektiği güç başlangıçta yine bir pik yapmakta daha sonra sistem

içerisindeki soğutucu akışkanın sıkıştırılması ile çektiği güç artmakta ve 4 dakika sonunda 600 W değerine ulaşip sabit olarak kalmaktadır. Klima sürekli olarak çalışmakta ve 80'inci dakika sonunda hibrit sistemdeki batarya geriliminin inverterin çalışma geriliminin altına düşmesinden dolayı sistem emniyet açısından çalışmamaktadır. Bu nedenle, klima 1 saatlik olarak test edilmiş ve klimanın ilk bir saatlik ortalama tükettiği enerji 621 Wh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.27. Klima çalışırken oda sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 4.28. Klima çalışırken çektiği gücün anlık değişimi (25 Mayıs 2011).

4.4. Model Konutun Günlük Elektrik Tüketiminin Yaklaşık Hesaplanması

Bu bölümde öncelikle konutun elektrik enerjisi tüketen televizyon, buzdolabı, bilgisayar, aydınlatma, klima gibi cihazların enerji tüketimleri ve günlük kullanım saatleri dikkate alınarak gün boyunca saatlik olarak enerji tüketim değişimi belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken konutta klima vs. gibi diğer cihazlara göre anlık çekimi ve elektrik tüketimi yüksek olan cihazın kullanma saatleri ve günlük çalışma süreleri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Diğer cihazların da günlük tüketimleri ve tüketim saatleri hesaplanarak en çok elektriksel yük ihtiyacının olduğu saatler belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Model konutun elektrik cihazları ve tüketim tablosu

Model Konutun Tüketim Tablosu					
Cihaz Türü	Adet	Cihaz Gücü	Çalışma Süresi	Günlük Güç(Wh)	Toplam
Bilgisayar	1	63 W	5 h	315	
37 Ekran TV	1	43 W	5 h	215	
A Sınıfı 9000 BTU Klima	1	621 W	1 h	621	
Aydınlatma	3	18 W	5 h	270	
Mini Buzdolabı	1	624,5 Wh/gün	12 h	312	
Toplam(kWh)				1733 (kwh)	

Çizelge 4.2. Konya'daki model konutun saatlik bazda enerji tüketimi öngörü tablosu (Wh)

Saat	Klima	Televizyon	Buzdolabı	Aydınlatma	Bilgisayar	Toplam elektrik tüketimi
1	0,0	0,0	17,705665	0,0	0,0	35,41133
2	0,0	0,0	16,575	0,0	0,0	33,15
3	0,0	0,0	13,715625	0,0	0,0	27,43125
4	0,0	0,0	12,60741	0,0	0,0	25,21482
5	0,0	0,0	14,87306	0,0	0,0	29,74612
6	0,0	0,0	11,805015	0,0	0,0	23,61003
7	0,0	43	12,353155	0,0	0,0	67,70631
8	0,0	43	12,04609	0,0	0,0	67,09218
9	0,0	0,0	12,046875	0,0	0,0	24,09375
10	0,0	0,0	11,912165	0,0	0,0	23,82433
11	0,0	0,0	12,7229	0,0	0,0	25,4458
12	0,0	0,0	12,35035	0,0	0,0	24,7007
13	621	0,0	12,75211	0,0	0,0	646,5042
14	0,0	0,0	12,60121	0,0	0,0	25,20242
15	0,0	0,0	12,069635	0,0	0,0	24,13927
16	0,0	0,0	11,639445	0,0	0,0	23,27889
17	0,0	43	12,698265	0,0	0,0	68,39653
18	0,0	43	12,738095	0,0	0,0	68,47619
19	0,0	43	11,77902	0,0	0,0	66,55804
20	0,0	0,0	12,90573	54	63	142,8115
21	0,0	0,0	12,31857	54	63	141,6371
22	0,0	0,0	12,204555	54	63	141,4091
23	0,0	0,0	13,62509	54	63	144,2502
24	0,0	0,0	14,21036	54	63	145,4207
Toplam	621	215	312.25	270	315	1733.25 kwh

Elektrik tüketimi belirlenirken model konutta materyal ve yöntem bölümünde özellikleri verilen ve ölçümleri yapılan beş adet elektrikli cihazın kullanılacağı düşünülmüştür. 9000 BTU'luk (W) bir klimanın günde 1 saat öğlen saatlerinde, buzdolabının gün boyunca (24 saat) toplam 12 saat kesintili olarak, televizyon, aydınlatma ve bilgisayarın ise günde 5 saat çalışacağı düşünülmüştür. Cihazların gün boyunca çalışacağı öngörülen saatler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2' den elde edilen sonuçlara göre teknik özellikleri verilen klima, televizyon, buzdolabı, aydınlatma ve bilgisayar cihazlarının yaklaşık ihtiyacını karşılamak için 1733 kWh kapasiteli günlük elektrik üretebilen bir hibrit sistemin kurulması gerektiği anlaşılmaktadır.

4.5 Belirsizlik Analizi

Bütün deneylerden elde edilen bulgular belirli bir şekilde analiz edilmelidir. Deneylerin yapılışı esnasında deneyi yapan kişinin tecrübesi ve dikkati ne kadar iyi olursa olsun yinede bazı hatalar olabilir.

Deneysel hatalar üç grupta incelenebilir. Birinci grupta dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalar yer almaktadır. Ölçme cihazlarının yanlış seçiminden ve ölçme sistemlerinin yanlış dizaynından ortaya çıkan hatalar bu grupta ele

alınır. İkinci grupta sabit ve sistematik bir şekilde ortaya çıkan hatalar yer alır. Üçüncü grupta ise rastgele hatalardır. Bunlar deneyi yapan elemanın değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, cihazların ısınması gibi bir çok nedenden kaynaklanan hatalardır(Genceli, 2000).

Bu çalışmada, deneyde kullanılan ölçme cihazlarından kaynaklanan hatalar üzerinde belirsizlik analizi yapılmıştır.

Sistemde ölçülmesi gereken büyüklükler rüzgar türbininin verimi (η_{rt}) ve fotovoltaik panellerin verimi (η_{pv}) dir. Rüzgar türbini verimine etki eden büyüklükler P_g : üretilen güç (W), P_r : rüzgar gücü (W) , Fotovoltaik panellerin verimine etki eden büyüklükler ise; Fotovoltaik panelin gerilimi (V_{pv}), Fotovoltaik panelin akımı (I_{pv}), Güneş ışınımı (I_g),fotovoltaik panelin alanı (A_p) dir.

Değişkenlerin belirsizlik değerleri

Gerilim (V)	: $\pm 0.01V$
Akım (I)	: $\pm 0.1V$
Havanın yoğunluğu(ρ)	: $\pm 0.002 \text{ kg/m}^3$
Alan(A)	: $\pm 1 \text{ mm}$
Rüzgar Hızı (V_r)	: $\pm 0.3 \text{ m/s}$

$$\eta_{rt} = \frac{P_g}{P_r}$$

$$P_g = V_{rt} I_{rt} 3$$

$$P_r = \frac{1}{2} \rho A V_r^3$$

$$\eta_{rt} = \frac{V_{rt} I_{rt} 3}{\frac{1}{2} \rho A V_r^3}$$

Olduğuna göre belirsizlik hata oranı;

$$w_{\eta_{rt}} = \left[\left(\frac{\partial \eta}{\partial V} w_{V_{rt}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I} w_{I_{rt}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho} w_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial A} w_A \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial V_r} w_{V_r} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Hata yüzdesi ise; $\frac{w_{\eta_{rt}}}{\eta_{rt}} \times 100$ dür.

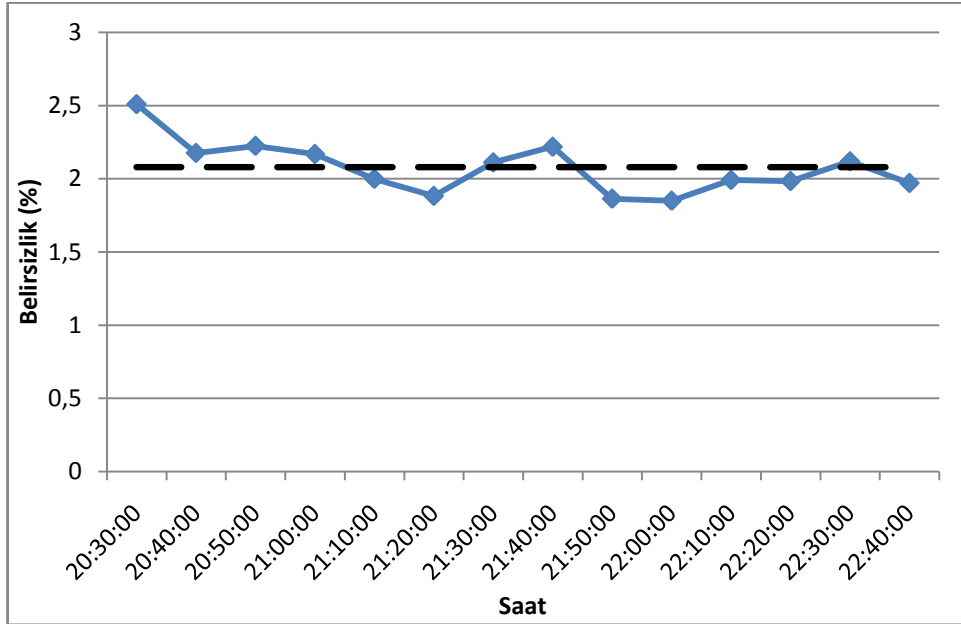
Güneş paneli verimi;

$$\eta_{pv} = \frac{V_{pv} I_{pv}}{I_g A_p}$$

$$w_{\eta_{pv}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_g}{\partial V} w_{V_{pv}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_g}{\partial I} w_{I_{pv}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_g}{\partial I_g} w_{I_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_g}{\partial A_p} w_{A_p} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

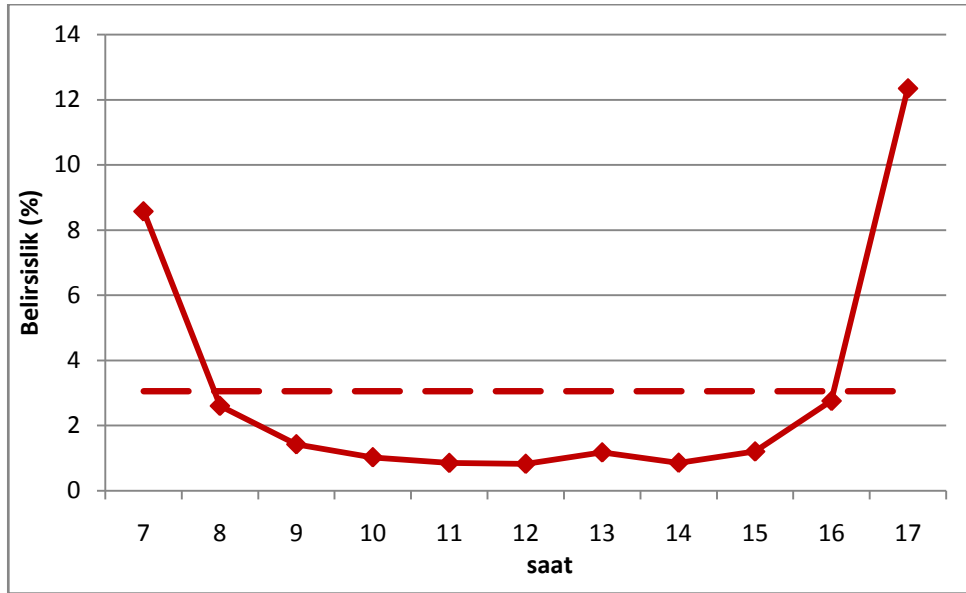
Hata yüzdesi ise ;

$$\frac{w_{\eta_{pv}}}{\eta_{pv}} \times 100 \text{ dür.}$$



Şekil 4.29 Rüzgar veriminin(η_{rt}) hata yüzdesinin değişimi

Şekil 4.29 da 24 Haziran 2011 günü saat 21.30 ile 22.40 arasında hata yüzdesinin saatlik değişimi verilmiştir. Buna göre hata yüzdesi ortalama ± 2.12 bulunmuştur. Bu değer kabul edilebilir bir hata oranıdır.



Şekil 4.30 Fotovoltaik panel veriminin (η_{pv}) hata yüzdesinin değişimi

Şekil 4.30 da 24 Haziran 2011 günü pv panellerin verim değerlerindeki hata yüzdesinin değişimi verilmiştir. Grafığe göre sabah ve akşam saatlerinde hata miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni sabah ve akşam saatlerinde ışınımın düşük olması ve dolayısıyla pv den üretilen gücünde düşük olmasıdır. Gün boyunca toplam belirsizlik oranı ortalama %3 civarında iken asıl üretimin olduğu gündüz saatlerinde belirsizlik oranı ortalama %1,3 civarındadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 10 yıllık (1998-2008) ortalama ışınım, PVGIS programından elde edilen fotovoltaik sistem elektrik üretim değerleri ve Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Binasının çatısına kurulan rüzgar hızı ölçüm düzeneğinin ölçüm dataları kullanılarak analizler yapılmıştır. Öncelikle model konutun günlük elektrik enerjisi tüketen televizyon, buzdolabı, bilgisayar, aydınlatma, klima gibi cihazların enerji tüketimleri belirlenerek toplam olarak model konutun günlük elektrik tüketimi tespit edilmiştir. Model konutun elektrik tüketimini karşılamak için katalog değeri %17 verim olan 170 W gücünde 2 adet PV ile kanat çapı 1,2 m olan ve 600 W gücündeki rüzgâr türbininin kullanılmasının yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Rüzgâr enerjisi ve Güneş ışınımından elektrik üretimi için kurulan deney düzeneğiyle ölçümler yapılmıştır. Rüzgâr türbini ve ölçme cihazlarında çıkan problemlerden dolayı uzun süreli bir ölçüm gerçekleştirilememiştir. 18 Mayıs-30 Mayıs 2011 tarihleri arasında rüzgar hızları ve güneş ışınım dataları kaydedilerek güneş ışınımının maksimum değerine 1012 W/m^2 ile 24 Mayıs 2011 günü saat 13:00'da, gün içinde maksimum değerlerine 12:00-13:00 saatleri arasında ulaştığı görülmüştür. Güneş ışınımının 11 aylık datalarına göre ise 1150 W/m^2 değerine ulaştığı gözlenmiştir. Rüzgâr hızı verileri analiz edildiğinde ise rüzgâr hızının güneş ışınımı gibi düzgün bir dağılım göstermediği ve değişken bir dağılım sergilediği görülmüştür. Belirtilen tarihler arasında günlük ortalama rüzgâr hızının maksimum olduğu günün 22 Mayıs 2011 tarihinde $3,76 \text{ m/s}$ olduğu görülmüştür.

Bölgede yapılan rüzgâr hızı yön ölçümlerinin baskın olduğu yönün kuzeybatı olduğu ve bununda daha önce yapılan ölçümlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Aynı zaman aralığında ise fotovoltaik panellerden 3394 W , rüzgâr türbininden ise 93 W olmak üzere toplamda 3487 W 'lık bir güç elde edilmiştir. Toplamda üretilen enerjinin % 97,4 ü PV panellerden, %2,6'sının ise rüzgar türbininden karşılandığı sonucuna varılmıştır. Değerlerden görüldüğü üzere rüzgâr hızının 2.83 m/s gibi bir değer olması dolayısıyla rüzgâr türbinin ürettiği gücün çok az olduğu, bu tarihler arasındaki rüzgar türbininden yeteri kadar bir fayda sağlanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonucun diğer bir nedeninin ise seçilen rüzgâr türbininin özelliklerinin bölgedeki rüzgâr hızı karakteristiklerine uyumlu olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üretilen elektrik enerjisi tüketim cihazlarını çalıştırma sürelerini değerlendirmek için buzdolabı, televizyon, bilgisayar, aydınlatma armatürü ile birlikte ve klima ise bireysel çalıştırılarak toplam 730Ah 'lik akülerde depolanan elektrik enerjisinin zamanla tüketme sürelerine yönelik deneyler yapılmıştır.

Tez çalışmasının son kısmında ise 480 W kapasitesinde PV panelleri ve 1500W kapasitesinde Rüzgâr türbininden üretilen elektriğin tüketimi her biri 100 W kapasitesinde olan 3 adet aydınlatma armatürleri ile sağlanmıştır. Bölgede yapılan ölçümlerde güneş enerjisinden güneşlenme süresince elektrik üretilirken, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi kesikli olarak gerçekleşmektedir. Bunun nedeni, düşük rüzgâr hızlarında gerçekleşen gücün türbinin ataletini yenememesinden dolayıdır. Rüzgâr türbini yaklaşık 3 m/s rüzgâr hızında güç üretmeye başlamakta ve 13 m/s yi geçtikten sonra ise kontrol sistemi türbinden güç üretimine engel olmaktadır. Hibrit sistemden üretilen elektriğin rüzgar hızına bağlı olarak değişiklik göstermesinden dolayı

günün belirli bir saati için kesin ifade kullanılamamaktadır. Fakat rüzgar hızı ortalamasının 12 m/s olduğu gün elde edilen 825 Wh'lık enerji ile ve PV'lerin maksimum enerji ürettiği öğlen saatindeki 313 Wh'lık değeri göz önüne alındığında hibrit sistem için üretilen enerjinin maksimum % 27,5 PV panellerinden %72,5 inin ise rüzgar türbininden sağlanabileceği görülmektedir. Rüzgâr hızı düştükçe bu oran PV lehine artış göstermektedir. Bu nedenle, PV-RT hibrit sistem kurulurken, sistemin kurulacağı bölgede daha önceden rüzgâr hızı ölçümleri uzun süreli olarak yapılmalı ve sistem kapasiteleri ona göre belirlenmelidir.

Ayrıca, Konya Teknokent alanında kurulan Rüzgar Türbini sonuçları da değerlendirilmiş olup, ticari olarak üretilen bu türbinden üretilen gücün rüzgar hızına göre verim değerinin ise deney yapılan saat için %37 civarında olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

Türkiye'nin enerji politikasının önümüzdeki yıllarda fosil yakıt kaynaklı ile birlikte önemli oranda olmaktan çıkıp yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru ağırlık kazanması gerekliliği aşıkardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, ulusal ve küresel boyutta kalkınmaya katkı sağlayabilecektir. Avrupa birliğine üye olmak için yoğun bir çaba içinde olan ülkemizde enerji politikalarında, enerji ile ilgili yasal mevzuatlarda bir an önce Avrupa Birliği normları yakalanmalıdır.

Özellikle fotovoltaik panel üretim teknolojisi alanında devlet olarak yatırımlar yapılmalı veya özel sektör firmalarına öncülük edilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından büyük bir kapasiteye sahip ülkemiz, bu kaynakları kendi ürettiğimiz teknoloji ile birlikte değerlendirebilirsek bir anlam kazanacaktır. Bu çalışmalar beraberinde istihdamı arttıracak ve yeni iş sahaları ortaya çıkararak ülke ekonomisine katma değer sağlayacaktır. Aksi takdirde teknolojiyi ithal edip, kaynakları kullanmak dışa bağımlılığı azaltmayacak, ülke ekonomisine gerçek katkısı kısmi olmaktan öte geçemeyecektir.

Hibrit sistem için seçilen uygulama yeri ve konumu seçilmesi ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı beklenen doğrultuda deneysel sonuçlar alınamamıştır. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda özellikle rüzgar enerjisinden faydalanma yönünden rüzgar enerjisi potansiyelinin daha önceden belirlenerek bir yere kurulması rüzgar türbini üretim miktarını artıracığı beklenilmektedir.

Konya Rüzgâr Enerji Atlasından da görüldüğü gibi orta seviyede bir rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Kapasite faktörü 0,3 civarındadır. Düşük seviyelerde kurulacak rüzgar türbini tesislerinden elektrik üretmede problemler olduğu, ancak yüksek (Örneğin 30 m gibi) seviyelerde rüzgar türbininden güç üretiminin daha stabil gerçekleşebileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy M.H., 2011, Güneş Ve Rüzgâr Enerjisi İle Çalışan Su Pompalama Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Aksoy M. H., Kose F., Ozgoren M., 2010, Analysis of a hybrid system driven by wind and solar energy for irrigation purpose in Konya, Turkey, *5th International Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE-5)*, 299 (abstract)
- Anonim, 2009, <http://www.gunesenerji.com/turkish/hizmarksunum.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 5 Kasım 2010]
- Anonim, 2006a, <http://www.enerji.gov.tr/index.php>, [Ziyaret tarihi: 15.12.2010]
- Anonim, 2006b, www.tuik.gov.tr/, [Ziyaret tarihi: 15.12.2010]
- Anonim, 2007, <http://www.eie.gov.tr/YEK.html>, [Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2009]
- Anonim, 2008, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>, Tübitak Yayınları, Ankara, Sayı 490.
- Anonim, 2010a, www.botas.gov.tr/, [Ziyaret tarihi: 15.12.2010]
- Anonim, 2010b, <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=705> [Ziyaret tarihi: 29 Mayıs 2010].
- Anonim,2011a, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf> [Ziyaret tarihi: 21 Nisan 2011].
- Anonim, 2011b, <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> [Ziyaret tarihi: 29 Nisan 2011].
- Anonim, 2011c, <http://www.cleanglobe.org/pdf/07.pdf> [Ziyaret tarihi: 29 Nisan 2011].
- Archer M., Hill R., 2001, *Clean Electricity From Photovoltaics*, Imperial College Press, London, ISBN: 1-86094-161-3.
- Bekele, G. and Palm, B., 2010, Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia, *Applied Energy*, 87, 487-495.
- Chen, H. H., Kang, H. and Lee, A. H. I., 2010, Strategic selection of suitable projects for hybrid solar-wind power generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 413-421.
- Çolak İ., Bayındır R., Sefa İ. and Demirtas M., 2004, Design of a Hybrid Energy Power System Using Solar and Wind Energy”, 2nd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, Tebriz-Iran, 776-778.
- Dalton G.J., Lockington D.A. and Baldock T.E., 2009, Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel, *Renewable Energy*, 34, 955–964.
- Diaf S., Notton G., Belhamel M., Haddadi M., Louche A., 2008, Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions, *Applied Energy*, 85, 968–987.
- Dönmez, G., Özyurt, M., 2005, Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yeksem 2005 III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semp., 19-21 Ekim 2005, Mersin, s.39-42.
- Dursun E., Bayar H., Gorgun H., Kilic O., 2010, Performance evaluation of a stand-alone photovoltaic/wind turbine/fuel cell power system for each province in the Aegean Region of Turkey, *5th International Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE-5)*, 298 (abstract)
- Ekren, O., Ekren, B., Y., and Ozerdem, B., 2009, Break-even analysis and size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage – A case study, *Applied Energy*, 8, 1043-1054.
- Elhadidy, M, A. and Shaahid, S, M., 2003, Promoting applications of hybrid power systems in hot regions, *Renewable Energy*, 29, 517-528.

- Elhadidy, M. A. and Shaahid, S., M., 1999, Feasibility of hybrid (wind + solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia, *Renewable Energy*, 16, 970-976
- Engin M. ve Çolak, M., 2005, Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi, Cilt 11. sayı 2. p.225-230.
- Erdoğan K., 2010, Güneş (fotovoltaik) ve/veya rüzgâr enerjisi destekli hibrit ısı pompası sisteminin dinamik performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Genceli O.F., Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, 2000
- Gökçöl C., Sunan E., Dursun B., 2008, http://www.emo.org.tr/ekler/d57510402ef7ce7_ek.pdf, [Ziyaret tarihi: 07 Haziran 2011].
- Gupta A., Saini R.P. and Sharma M.P., 2011, Modelling of hybrid energy systemdPart III: Case study with simulation results, *Renewable Energy*, 36, 474-481.
- Habib M.A., Said S.A.M., El-Hadidy M.A., Al-Zaharna I., 1999, Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system, *Energy*, Vol. 24, 919–929.
- Himri, Y., Boudghene Stambouli, A., Draoui, B., and Himri, S., 2008, Technoeconomical study of hybrid power system for a remote village in Algeria, *Energy*, 33, 1128-1136.
- Hongxing Y., Wei Z., Chengzhi L., 2008, Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar-wind power generation system, *Applied Energy*, 86., 163-169.
- Karaghoulı K. K., Renne D., Kazmerski L., 2009, Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Kenfack J., Neirac F.P., Tatietsé T.T., Mayer D., Fogue M., Lejenué A., 2009, Microhydro-PV-hybrid system: Sizing a small hydro-PV-hybrid system for rural electrification in developing countries, *Renewable Energy*, 34, 2259-2263.
- Koussa A.S., Haddadi M., Belhamel M., 2009, Economic and technical study of a hybrid system (wind–photovoltaic–diesel) for rural electrification in Algeria, *Applied Energy*, 86, 1024-1030.
- Köse, F. ve Özgören, M. 2005, Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgâr Türbini Seçimi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 551, 20-30.
- Liu L., ve Wang Z., 2009, The development and application practice of wind–solar energy hybrid generation systems in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1504–1512.
- Mahmoudi H., Abdul-Wahab S.A., Goosen M.F.A., Sablani S.S., Perret J., Ouagued A., Spahis N., 2008, Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries, *Desalination*, 222, 119–127.
- Nandi, K. S. and Ghosh, H. R., 2009, A wind-PV-battery hybrid system at Sitakunda in Bangladesh, *Energy Policy*, 37, 3659-3664.
- Nema P., Nema R.K., Rangnekar S., 2010, Minimization of green house gases emission by using hybrid energy system for telephony base station site application, *Renewable and Sustainable Energy Rewievs*, 1635-1639.
- Özgöçmen A., 2007, Güneş Pili Kullanarak Elektrik Üretimi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Özgören M., Erdoğan K., Kahraman A., Solmaz Ö., Köse F., 2010b, Calculation of dynamic cooling load capacity of a building air-conditioning powered by wind or solar energy” *International Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE-5)*, 239 27-30 June 2010, Pamukkale University, Denizli-Turkey.

- Özgören M., Erdoğan K., Kahraman A., Solmaz Ö., Köse F., 2010a, Model Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Rüzgâr Ve Güneş Enerjisi İle Karşılanmasının Araştırılması, *2.Ulusal Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri*, Konya.
- Özgören M., Erdoğan K., Kahraman A., Solmaz Ö., Köse F., Dynamic Performance Investigation of a Heat Pump System Driven by Hybrid Energy Resources of Solar (Photovoltaic) and/or Wind, *15th International Energy & Environment Fair and Conference, ICCI-2009*, Turkey, p.282, 13-15 May 2009b, İstanbul.
- Özgören M., Erdoğan K., Kahraman A., Solmaz Ö., Köse F., Yenilenebilir Enerji (Pv/Rüzgâr) Destekli Hibrit Isı Pompası Performansının Araştırılması, *17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, s.1303-1308, 2009a, Sivas.
- Özgür M.A., 2006, Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Paska J., Biczel P. and Kłos M., 2009, Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources, *Renewable Energy*, 34, 2414–2421.
- Patel R.M., 1999, Wind and solar power systems, *CRC Press*, New York.
- Setiawan A.A., Zhao Y., Nayar C.V., 2009, Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas, *Renewable Energy*, 34, 374-383.
- Setiawan, A. A., Zhao, Y. and Nayar, C. V., 2009, Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for for remote areas, *Renewable Energy*, 34, 374-383.
- Sopian K., İbrahim M.Z., Wan Daud W.R., Othman M.Y., Yatim B., Amin N., 2009, Performance of a PV–wind hybrid system for hydrogen production, *Renewable Energy*, 1973-1978.
- Taşgetiren S., 1998, Rüzgar enerjisi, *Ekoloji*, Cilt:8, Sayı:29, 25-30.
- Türkay, B.E. and Telli, A.Y., 2011, Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems, *Renewable Energy*, 36, 1931-1943.
- Türkyılmaz O, “Türkiye’nin Enerji Görünümü”, *Mühendis ve Makina*, 2010.
- Uğuz S., 2005, Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Yerebakan M., Karadeli S., 2001, Rüzgar Enerjisi, İstanbul Ticaret Odası Yayınları No.2001-33, İstanbul, İTO,
- Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., and Yang, H., 2010, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems, *Applied Energy*, 87, 380-389.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Necip UYSAL
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Bozkır-1979
Telefon : 0 332 238 61 07
Faks : 0 332 238 61 08
e-mail : necipuysal@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Gazi Lisesi	1995
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2000
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi	Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2001	Konaltaş A.Ş	Üretim Mühendisi
2003	AYDINLAR A.Ş	Kalite Kont.Müh.
2004-2010	Meram Belediyesi	Proje ve Kontrol M.
2011-	Mekasis Müh.Ltd.Şti	Şirket Sahibi

UZMANLIK ALANI

Mekanik Tesisat Proje ve Taahhüt,

YABANCI DİLLER

İngilizce