

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN BESLENEN ŞEBEKEDEN
BAĞIMSIZ BİR EV İÇİN TALEP VE KAYNAK DİNAMİKLERİ DİKKATE
ALINARAK SİSTEM ANALİZİ**

ONUR ELMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

DANIŞMAN

YRD. DOÇ. DR. UĞUR SAVAŞ SELAMOĞULLARI

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN BESLENEN ŞEBEKEDEN
BAĞIMSIZ BİR EV İÇİN TALEP VE KAYNAK DİNAMİKLERİ DİKKATE
ALINARAK SİSTEM ANALİZİ**

ONUR ELMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. UĞUR SAVAŞ SELAMOĞULLARI**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN BESLENEN ŞEBEKEDEN
BAĞIMSIZ BİR EV İÇİN TALEP VE KAYNAK DİNAMİKLERİ DİKKATE
ALINARAK SİSTEM ANALİZİ**

Onur ELMA tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

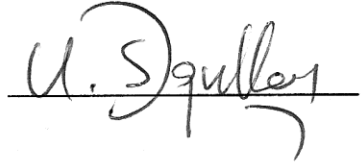
Yrd. Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI

Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Erkan MEŞE

Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Yaşar BİRBİR

Marmara Üniversitesi



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün **2010-04-02-KAP04** numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Dünyamızda son yıllarda fosil kaynaklardaki tükenme riski ve çevreye olan olumsuz etkileri sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Bunun paralelinde bu kaynaklardan elde edilen enerjinin daha etkin kullanımı amacıyla yapılan çalışmalar sürekli artmaktadır.

Bu araştırmalardan bir bölümü, şebekeden bağımsız bir yükün elektrik talebinin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması konusunda yapılmaktadır. Bu konuda literatürdeki çalışmalar, daha çok saatlik veri kullanılarak yapılmaktadır. Tez çalışmam ise, şebekeden bağımsız bir evin beslenmesi için oluşturulan hibrit sistemde bulunacak bileşenlerin doğru boyutlandırılmasının, hem yük hem de kaynak tarafında yüksek çözünürlükteki dinamik veriler göz önüne alınarak yapılması amaçlanmaktadır. Böylece daha doğru ve güvenilir bir sistem analizi yapılmış olacaktır. Bu çalışmanın ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalara faydalı olmasını temenni ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI'na, sabır ve anlayışlarını hiçbir zaman esirgemeyen eşime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2011

Onur ELMA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	Vii
KISALTMA LİSTESİ	Viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	4
GÜNEŞ ve RÜZGAR ENERJİSİ	4
2.1 Güneş Enerjisi	4
2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi	6
2.2.1 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Hücreler)	7
2.2.2 Güneş Pillerinin Yapısı	7
2.2.3 Güneş Pillerinin Karakteristikleri	9
2.3 Rüzgar Enerjisi	13
2.3.1 Rüzgar Enerjisinin Kullanım Tarihçesi.....	13
2.3.2 Türkiye’nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	14
2.3.3 Rüzgâr Enerjisi Teorik Denklemleri	16
2.3.4 Rüzgar Hızının Yükseklikle İlişkisi.....	18
2.3.5 Rüzgar Hızının Weibull Dağılımı İle Modellemesi.....	18

2.3.6	Weibull Dağılımı Parametrelerini Belirleme.....	19
2.4	Hibrit Enerji Sistemleri	20
BÖLÜM 3		21
RÜZGAR/PV HİBRİT SİSTEM ANALİZİ		21
3.1	Sistem Analizi için Veri Toplanması	22
3.2	Fotovoltaik Hücre Modeli.....	25
3.3	Rüzgar Modeli	27
3.4	Yük Modeli.....	30
3.5	Batarya Modeli	31
3.6	Hibrit Sistem Simülasyonu	31
3.7	Simülasyon Sonuçları	34
BÖLÜM 4		48
SONUÇ ve ÖNERİLER		48
KAYNAKLAR		50
EK-A		54
MATLAB M-FILE		54
ÖZGEÇMİŞ		56

SİMGE LİSTESİ

A	Rüzgar türbini rotorunun taradığı alan
C_t	PV panel sıcaklık denklem sabiti
G	Güneş ışıyım değeri
H_0	Referans yükseklik
H	Rüzgar hızı istenen yükseklik
I_{sc}	PV hücre kısa devre akımı
m	Metre
MJ	Mega Joule
V_{oc}	PV hücrenin açık devre gerilimi
C_p	Rüzgar türbini güç katsayısı
ρ	Hava yoğunluğu
s	Saniye
T_a	Dış ortam sıcaklığı
T_c	PV panel sıcaklığı
v	Rüzgar hızı
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LCE	Loss of Supply Probability
LPSP	Loss of Power Supply Probability
PV	Photovoltaic
RMSE	Root Mean Square Error
SOC	State of charge
STC	Standart Test Conditions

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Güneş'in uzaydan görünüşü	4
Şekil 2.2 Dünya yüzeyine gelen ışıınım haritası	5
Şekil 2.3 Türkiye'nin güneşlenme haritası	6
Şekil 2.4 Fotovoltaik Hücre - Modül - Panel	8
Şekil 2.5 Tek Diyotlu Eşdeğer Devre Modeli	9
Şekil 2.6 PV Hücresinin Sıcaklığa Bağlı I-V karakteristiği	10
Şekil 2.7 PV Hücresinin Farklı Işıınımlarda I-V Karakteristiği	10
Şekil 2.8 Türkiye Rüzgar Atlası	15
Şekil 2.9 Rüzgar/PV Hibrit Sistem Bloğu	20
Şekil 3.1 Güneş/Rüzgar/Akü Hibrid Yapı	21
Şekil 3.2 Eysel Yük Verisi Toplama Düzenegi	22
Şekil 3.3 Davis Hava Ölçüm İstasyonu	23
Şekil 3.4 Rüzgar Hızı için Dakikalık ve Saatlik Veriler Arasındaki Fark	23
Şekil 3.5 Güneş Işıınımlarının Saatlik ve Dakikalık Veriler Arasındaki Fark	24
Şekil 3.6 Eysel Yükün Saattlik ve Dakikalık Verileri Arasındaki Fark	24
Şekil 3.7 PV Modeli	26
Şekil 3.8 Zephyr Rüzgar Türbininin Rüzgar Hızı- Güç Grafiği	27
Şekil 3.9 Rüzgar Türbin Bloğu	28
Şekil 3.10 Bir Aylık Rüzgar Verisinin Weibull Dağılımı	28
Şekil 3.11 Weibull Dağılımından Elde Edilmiş 13. Rüzgar Verisi	29
Şekil 3.12 Weibull Dağılımından Elde Edilmiş 80. Rüzgar Verisi	29
Şekil 3.13 Weibull Dağılımı ile Elde Edilmiş 13. ve 80. Rüzgar Hızı Dağılımlarının Farkı	30
Şekil 3.14 Batarya Modeli	31
Şekil 3.15 Hibrit Sistem Simulasyonu Bloğu	32
Şekil 3.16 Durum 1 için 90 MJ'lük Akü Şarj Durumu	35
Şekil 3.17 Durum 1 için 90 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	35
Şekil 3.18 Durum 1 için 120 MJ'lük Akü Şarj Durumu	36
Şekil 3.19 Durum 1 için 120 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	36
Şekil 3.20 Durum 1 için 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu	37
Şekil 3.21 Durum 1 için 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	38
Şekil 3.22 Durum 2 için 90 MJ'lük Akü Şarj Durumu	38
Şekil 3.23 Durum 2 için 90 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	39
Şekil 3.24 Durum 2 için 120 MJ'lük Akü Şarj Durumu	39
Şekil 3.25 Durum 2 için 120 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	40

Şekil 3.26	Durum 2 İçin 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu	40
Şekil 3.27	Durum 2 İçin 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	41
Şekil 3.28	Durum 3 İçin 90 MJ'lük Akü Şarj Durumu	42
Şekil 3.29	Durum 3 İçin 90 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	42
Şekil 3.30	Durum 3 İçin 120 MJ'lük Akü Şarj Durumu	43
Şekil 3.31	Durum 3 İçin 120 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	43
Şekil 3.32	Durum 3 İçin 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu	44
Şekil 3.33	Durum 3 İçin 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları	44
Şekil 3.34	SOC $\geq$ %40 Şartının Sağlandığı 93,6 MJ'lük Akü Boyutu İçin Şarj Durumu.....	45
Şekil 3.35	Dakikalık ve Saatlik Verilerle Yapılmış Simulasyon SOC Karşılaştırması	46
Şekil 3.36	Dakikalık ve Saatlik Verilerin Minumum Noktaları Arasındaki Fark.....	46
Şekil 3.37	Dakikalık ve Saatlik Verilerin Minumum Noktaları Arasındaki Değişim.....	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Farklı Atmosfer Şartlarına Göre Işınım Değişimleri.....	6
Çizelge 2.2 Türkiye'nin Bölgelere Göre Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	16

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN BESLENEN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ BİR EV İÇİN TALEP VE KAYNAK DİNAMİKLERİ DİKKATE ALINARAK SİSTEM ANALİZİ

Onur ELMA

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI

Bu çalışmada şebekeden bağımsız olan bir evin elektrik talebinin güneş ve rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanması durumu incelenmiştir. Bir evin deneysel olarak elde edilmiş elektriksel yük talebi incelendiğinde, evin elektriksel yük talebinin gün boyunca geniş güç aralığında değiştiği ve oldukça dinamik olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde güneş panellerinden ve rüzgar türbininden elde edilebilecek enerji miktarı da hem gün boyunca değişkenlik göstermekte hem de süreklilik arz etmemektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi birbirlerini tamamlayıcı özelliğe sahiptirler. Şebekeden bağımsız bir evin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak kesintisiz bir şekilde beslenebilmesi için akü veya ultra kapasite gibi enerji depolama sistemlerinin de kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, kurulan hibrit sistemde destekleyici kaynak olarak akü kullanılması öngörülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla saatlik ortalama veriler kullanılmasına karşın böyle bir güç sisteminde kullanılacak bileşenlerin doğru bir boyutlandırma analizi için yüksek örnekleme ile elde edilmiş yük verisi, rüzgar hızı verisi ve güneş ışınlam verisi kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, ilk kez yüksek örnekleme oranı ile elde edilmiş dinamik veriler kullanılmıştır. Hem yük değişimi hem de rüzgar ve güneşten elde edilecek enerji miktarının değişimi stokastik olduğundan, analizlerde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Bileşen boyutlarının belirlenmesinde Matlab/Simulink programında oluşturulmuş hibrit sistem simulasyonu kullanılmıştır. Simulasyona dakikalık ölçülmüş veriler girilmiş ve sonuçta buna uygun enerji depolama sistemi için (SOC dikkate alınarak) boyutlandırma yapılmıştır.

Bu simulasyon ile rüzgar türbini ve solar panel grubunun farklı güç değerleri dikkate alınarak sistem analizi yapılmıştır. Elde edilen bileşen boyutları, elimizdeki verilerin saatlik ortalama verileri kullanılarak elde edilmiş sistem boyutu ile karşılaştırılmıştır. Dakikalık kaynak ve yük değişken verileri ile saatlik ortalama verileri kullanılarak yapılan sistem analizinde gerekli akü kapasitesinde fark olduğu tespit edilmiştir. Bu fark saatlik verilerde %15 civarında daha fazla akü kapasitesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hibrid enerji sistemleri, yenilenebilir enerji, şebekeden bağımsız sistemler, dinamik yük verisi, dinamik ısıtım verisi, dinamik rüzgar verisi, boyutlandırma, sistem analizi

ABSTRACT

A SYSTEM ANALYSIS OF A RENEWABLE ENERGY SUPPLIED STAND-ALONE RESIDENTIAL HOUSE CONSIDERING BOTH DEMAN SIDE AND SOURCE SIDE DYNAMICS

Onur ELMA

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI

In this study, solar and wind energy use to supply the electrical demand of a stand-alone residential house is investigated. Experimentally measured daily load profile reveals that the residential electrical load demand varies within a wide range and is highly dynamic. Similarly, both wind energy and solar energy are highly dynamic over a day and they are intermittent. However, they complement each other. Energy storage units (batteries/super capacitors) are also needed for an uninterrupted service. Thus batteries are used to support hybrid system. For a proper component sizing in such a system, high resolution load data, wind speed data and solar irradiation data must be collected and used in the sizing analysis. Generally, hourly averaged values are used in the literature. Here, high resolution data will be used for the first time. Since both load and energy from solar and wind sources are stochastic, statistical methods are used in analyses. Matlab/Simulink program is used to determine the size of the backup. Collected data used as input to system simulations and sizing is completed, with the consideration of SOC, for the suitable energy storage system.

In this simulation, different power values of wind turbines and PV panels are used for system analysis. Then, the obtained sizes will be compared with the sizes of hourly averaged values.

A difference is determined for the necessary battery capacity between the variable source and load datas taken in minutes and hourly average datas in the system analysis. This difference leads to 15 % more battery capacity need for hourly average datas.

Key words: Hybrid energy systems, renewable energy, stand-alone systems, dynamic load data, dynamic solar irradiation data, dynamic wind data, sizing, system analysis

1.1 Literatür Özeti

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında artışla birlikte bu konudaki çalışmaların yaygınlaştığı görülmektedir. Özellikle 20. Yüzyılın son çeyreğinde küresel ısınma ve fosil yakıtların tükenme riski gibi konuların dünya gündeminde yer etmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarını çekici hale getirmektedir. Ancak rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzında süreklilik arz edememesi gibi bir olumsuzluğu bulunmaktadır. Bu sebeple bu kaynakların hibrit şekilde kullanılmaları çok daha uygun görülmektedir[1]. Genel olarak güneş ve rüzgar enerjisinin alternatif enerji kaynağı olarak potansiyeli en yüksek kaynaklar olduğu söylenilebilir[2]. Buna paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisi kullanımının diğer alternatif enerji kaynaklarına göre daha kullanışlı hale geldiği görülmektedir. Ayrıca güneş ve rüzgar enerjilerinin birbirlerini tamamlayıcı özellikte olmaları uzak alanlardaki şebekeden bağımsız yüklerin beslenmesinde hibrit olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır[3]. Elektriksel yüklerin beslenmesinde PV/rüzgar hibrit sistemleriyle ilgili çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur[4-12]. Bu çalışmalar genellikle sistem tasarımı ve bu sistemlerin boyutlandırılması ve optimizasyonu üzerinde ağırlık kazanmaktadır. Borowy ve Salamah tarafından yapılmış [13]'deki çalışma PV/rüzgar hibrid ve batarya kombinasyonu için örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmalarda farklı optimizasyon ve boyutlandırma yöntemleri kullanılarak çeşitli sonuçlar ortaya konulmuştur. Fakat ortaya konulan sonuçlarda genel olarak saatlik, aylık veya yıllık veriler kullanıldığı görülmüştür.

Güneş ve rüzgar enerjisi çevresel koşullara bağlı olduğundan ve süreklilik arz etmediklerinden, güneş ve rüzgar enerjisine dayalı hibrit bir sistemde enerji sürekliliği açısından bir enerji depolama (batarya ve/veya süperkapasite gibi) bileşeni de kullanılabilir. Güneş/rüzgar hibrit yapılarının optimizasyonu için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir[12]. Sistem optimizasyonu için lineer programlama, olasılığa dayalı yaklaşım, iteratif teknik, dinamik programlama gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır[4]. Yine boyutlandırma ve sistem optimizasyonunda enerji güvenilirliği için (LPSP: Loss of power supply probability) ve ekonomik enerji üretimi modellemesi (LCE: Loss of supply probability) gibi teknik modellemeler kullanılmaktadır[5]. Güneş-rüzgar hibrit sistem ile ilgili analizlerde fotovoltaik modüllerin ve rüzgar türbinini matematiksel modellemesi önem arz etmektedir. Bunula ilgili çeşitli karakteristik denklemler kullanılmıştır. [14]'te J. Lim, PV hücreler için ve rüzgar türbininden rüzgar hızına bağlı olarak üretilebilecek güç için matematiksel denklemleri vermiştir.

Sonuçta genel olarak literatürde hibrit yapılardan en çok güneş/rüzgar sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fakat bunlar daha genel verilere (saatlik, aylık, yıllık vb.) dayalı olarak yapılmıştır. Çevresel koşullara göre dinamik bir değişime sahip iki enerji kaynağı olan güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklı hibrit sistemlerinin daha güvenilir ve doğru analizi için daha yüksek çözünürlüklü verilerin temel alınması gerekmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada şebekeden bağımsız bir evin elektrik talebinin güneş ve rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanması durumu incelenmiştir. Burada amaç, hem yük (ev) tarafındaki dinamiklerin hem de rüzgar türbininden ve güneş panellerinden elde edilebilecek enerjinin dinamik değişimleri dikkate alınarak sistem analizi yapılmış ve sistemde kullanılacak bileşenlerin boyutları belirlenmiştir. Dinamik verilerin kullanımı ile yapılacak bir analiz daha güvenilir bir sonuç vereceği düşünülmektedir.

Hem yük hem de rüzgar hızı ve güneş ışınımlarındaki değişim oldukça dinamik olduğundan sistem boyutlandırmasını karmaşık bir hale getirmektedir. Hem yük değişimi hem de rüzgar ve güneşten elde edilecek enerji miktarının değişimi stokastik olduğundan, analizlerde istatistiksel yöntemlerden de faydalanılmıştır.

Özellikle rüzgardaki değişimin çok daha anlık olduğu, yapılan ölçümlerde de bir kez daha tespit edilmiştir. Sonrasında boyutlandırma ve sistem analizi hakkında detaylı sonuçlar elde etme imkanı oluşmuştur.

Elde edilen sistem boyutları, saatlik veri kullanılarak elde edilen sistem boyutları ile karşılaştırılmıştır. Burada sistemin yeter koşulları sağlayıp yükü sürekli besleyebilmesi açısından bir enerji depolama sisteminin de eklenmesi önem arz etmektedir. Bu yüzden yükün kesintisiz olarak karşılanabilmesi göz önünde bulundurularak enerji depolama sisteminin sarj durumunu (state of the charge(SOC)) dikkate alan bir sistem tasarımı ortaya konulmuştur.

1.3 Hipotez

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji temininde kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bu sistemlerin farklı kombinasyonlarla kullanılması uygulamalarda görülmeye başlanmıştır.

Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneşin kullanımının daha küçük ölçekli uygulamalarda mümkün olabilmesi, bu kaynakların kullanılarak şebekeden uzak veya şebekeden bağımsız bir yükün beslenebilmesi için kullanılmalarını gündeme getirmiştir. Bu tür uygulamalarla ilgili literatürde çok çeşitli araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde hibrit sistemin boyutlandırılması ve optimize edilmesinde saatlik veya daha az ölçekli dataların kullanıldığı görülmektedir[2-12].

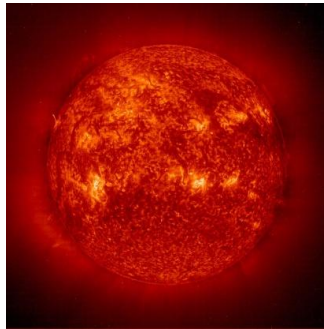
Fakat rüzgar ve güneşin değişimleri gün içerisinde çok dinamik olduğundan bu sistemlerin en uygun şekilde boyutlandırılabilmesi için kullanılacak verilerin anlık değişimleri de oldukça önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı dinamik verilerin kullanılmasıyla, bir sistem analizi çalışmasının sonuçlarının daha güvenilir ve doğru olacağı öngörülmektedir.

GÜNEŞ ve RÜZGAR ENERJİSİ

Yenilenebilir enerji kaynakları denilince ilk olarak aklımıza güneş ve rüzgar enerjisi gelmektedir. Bunun en belirgin sebepleri ise; bilinir olmaları ve kullanım olarak çok daha yaygın hale gelmeleridir. Bu sebeple rüzgar ve güneş enerjisinin özelliklerinden ve enerji olarak ne şekilde faydalanılabileceği hakkında kısaca bilgi verilmesi faydalı olacaktır.

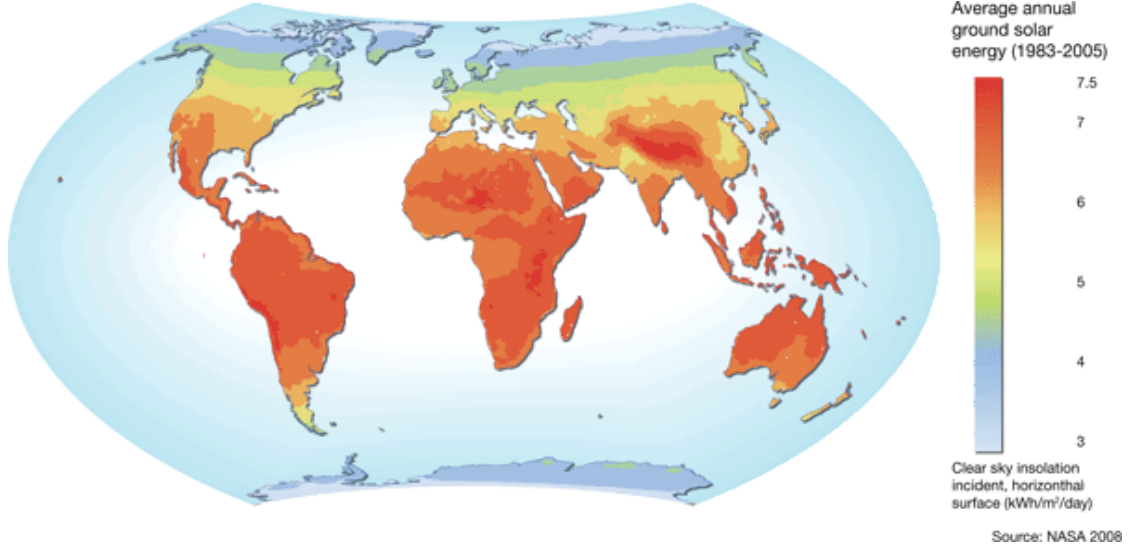
2.1 Güneş Enerjisi

Güneş dünya ve içindeki canlılar için en önemli enerji kaynağıdır. Dünyada kullanılmakta olan doğal enerji kaynaklarının kökeni güneş enerjisidir. Güneş içerisinde barındırdığı hidrojen ve helyum gazlarından oluşmaktadır. Güneş'in mevcut yüksek sıcaklığından dolayı füzyon tepkimesiyle hidrojenler birleşerek helyuma dönüşürler ve bu tepkime sonucu çok yüksek oranda bir enerji açığa çıkar. Bu enerji ısı ve ışık enerjisi olarak uzaya yayılmaktadır. Bu yayılan enerjinin bir bölümü de dünyaya ulaşmakta ve bu enerji hayatın devamlılığını sağlamaktadır. Şekil 2.1'de Güneş'in uzaydan çekilmiş fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2.1 Güneş'in uzaydan görünüşü[15]

Güneşten dünyaya ulaşan enerji miktarı yıllık 4×10^{18} Joule kadardır[16]. Bu enerji miktarı Dünya'nın fosil yakıt rezervlerinin çok üstünde bir rakamdır. Dünya yüzeyine Güneş'ten gelen ışınımın haritası Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Dünya yüzeyine gelen ışınım haritası[15]

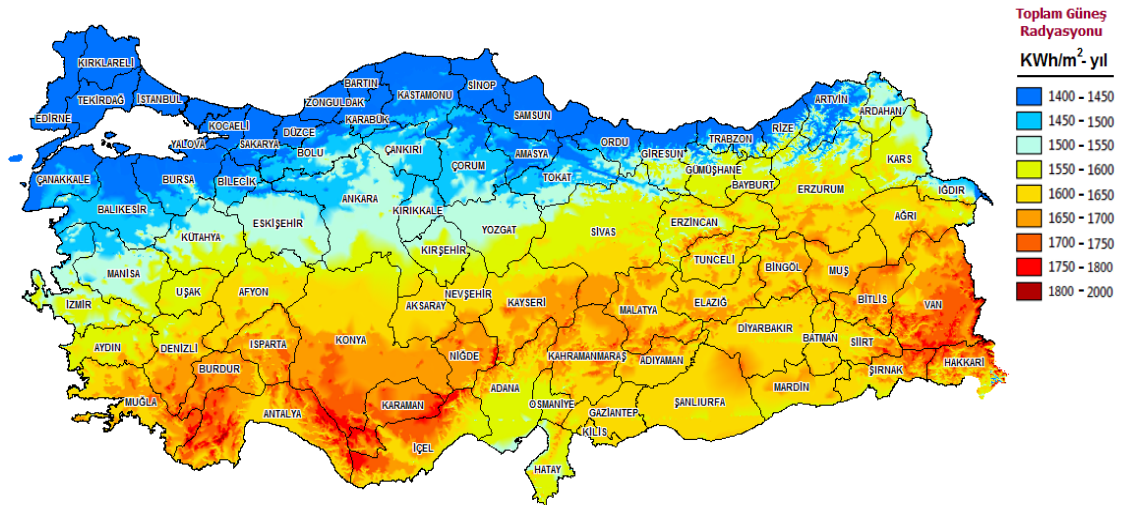
Dünya'ya gelen bu ışınımın enerji miktarı $1300-1400 \text{ Watt/m}^2$ arasında değişmektedir. Bu enerjinin yaklaşık %20'si atmosfer tarafından yansıtılmakta veya yutulmaktadır. Bu durumda yeryüzüne ulaşabilen enerji miktarı açık ve güneşli bir havada en çok 1000 W/m^2 olabilmektedir[17]. Dünyamıza gelen ışınım atmosferik sebeplerden dolayı direkt ve dolaylı olarak ikiye ayrılabilir. Direkt olarak gelen ışınım dik doğrultuda yeryüzüne ulaşan ışınımı ifade etmektedir. Dolaylı ışınım ise dikey olarak gelmeyen farklı doğrultulardan yansıma ve çeşitli şekillerde yüzeye ulaşan ışınımı ifade etmektedir. Bu iki ışınımın birleştirilmesiyle global (toplam) ışınım elde edilmektedir. Dolaylı ışınım ile direkt ışınımın global ışınımdaki yüzdeleri atmosferik şartlara göre değişiklik göstermektedir. Hava şartlarındaki değişimle, özellikle bulutlu ve tam kapalı havalarda, dolaylı ışınım oranı direkt ışınım oranından daha yüksek oranlara çıkabilmektedir. Açık(bulutsuz) havalarda ise dolaylı(yayınık) ışınım en az düzeye gerilemekte direkt ışınım ise maximum seviyeye ulaşmaktadır. Farklı atmosferik durumlara göre global ışınım ile dolaylı ışınımın oranları Çizelge 2.1'de ifade edilmiştir.

Çizelge 2.1 Farklı Atmosfer Şartlarına Göre Işınım Değişimleri[17]

Hava Koşulları	Dolaylı Işınım	Toplam(Global) Işınım
Bulutsuz Açık Hava	% 10 - 20	600 - 1000 W/m ²
Parçalı Bulutlu Hava	% 20 - 80	200 - 400 W/m ²
Bulutlu (Kapalı) Hava	% 80 - 100	50 - 150 W/m ²

2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye’nin, dünya üzerindeki konumu itibariyle güneş enerjisinden faydalanma açısından avantajlı durumda olduğu söylenilebilir. Bu konuda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)’nin hazırladığı Türkiye’nin güneşlenme haritası Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3 Türkiye'nin güneşlenme haritası[18]

Ülkemizde EİE ve DMI’nin yaptığı ölçümler neticesinde günlük güneşlenme sürelerinin en fazla yaz aylarında olduğu ve ortalama 11 saat civarında seyrettiği tespit edilmiştir. Buna paralel olarak metrekare başına düşen güneş ışınımı miktarı da yaz aylarında ortalama 6.30 kWh/m² ile en fazla oranda gerçekleşmektedir[19].

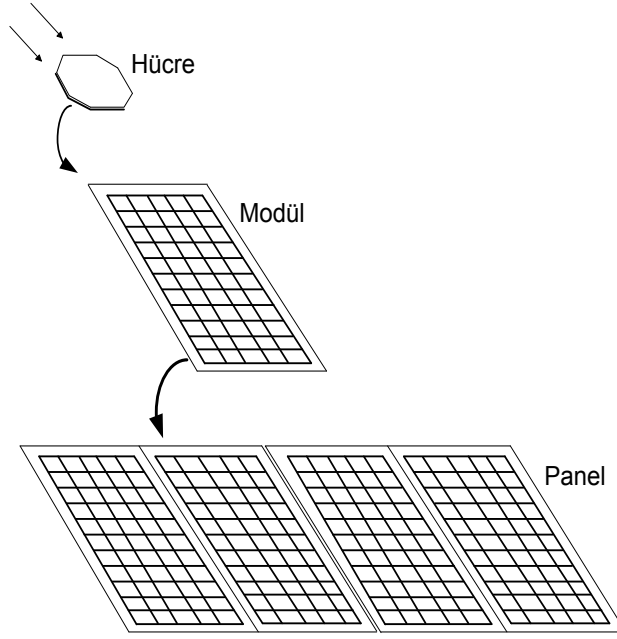
Türkiye'nin güneşlenme haritası incelendiğinde Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi'nin yıllık güneşlenme miktarlarının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Bu bölgelerimiz başta olmak üzere ülkemizde güneş enerjisinden faydalanılması önem arz etmektedir.

2.2.1 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Hücreler)

Fotovoltaik Hücreler (PV), güneş enerjisinden elektrik üretilmesi için geliştirilmiş yapılardır. Fotovoltaik hücrelerin tarihsel gelişimine bakıldığında ilk olarak 1839 yılında Antoine-Cesar Becquerel tarafından kimyasal yapıdaki bir bataryanın güneş ışığına maruz kaldığında üzerine gelen ışınımın %1'i oranında gerilim ürettiği görülmüştür[20]. Daha sonra Willoughby Smith tarafından selenyum maddesinin güneşe karşı hassas olduğu keşfedilmiştir. Bundan sonra 1877 yılında selenyum maddesine güneş ışığı etki ettiğinde akım üretebildiği gözlemlenmiştir. 1880'lerde Charles Fritts altın kaplama selenyum ile %1 verimli ilk güneş hücresini yapmıştır. Bu buluşun güneş pilleri açısından bir dönüm noktası olduğu söylenebilir. Daha sonraki süreçte güneş pillerinde gelişim ve dolayısıyla verimlilik artmıştır. 1954 yılında yarı iletken teknolojisi kullanılarak üretilen %4 verimli ilk silikon fotovoltaik hücrenin üretilmesi güneş pilleri açısından büyük gelişmeleri beraberinde getirmiştir [21].

2.2.2 Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pilleri (fotovoltaik piller) yüzeyine gelen ışığı absorbe edip elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden meydana gelmektedir. Bu yarı iletken madde genel olarak Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellürid, Bakır İndiyum Diseleneid gibi yarı iletken malzemelerden üretilmektedir[22]. Yarı iletken malzemelerin teknolojik olarak işlenmesiyle oluşturulmuş bir güneş pili kare veya dikdörtgen şeklinde ve 1mm'yi geçmeyecek kadar ince bir yapıdadır. Bu şekliyle oluşturulmuş bir güneş piline solar hücre (PV cell) adı verilmektedir. Hücrelerin birleşmesiyle modül, modüllerin bir araya gelmesiyle de panel yapısı meydana gelmektedir. Paneller de bir araya geldiğinde diziler oluşmaktadır. Bu yapıların oluşumuyla ilgili gösterim Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Fotovoltaik Hücre - Modül - Panel

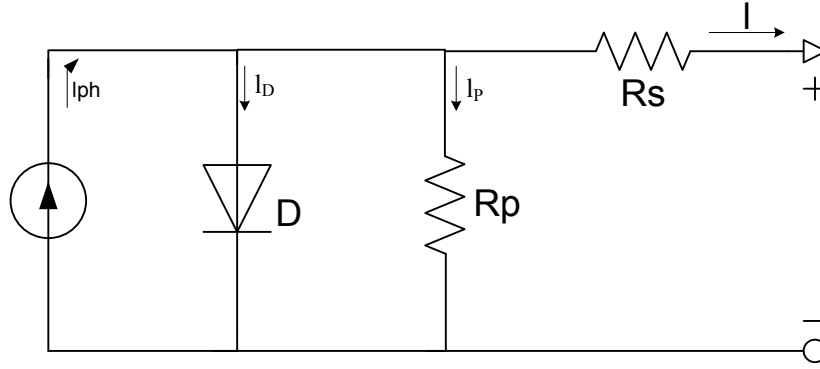
Fotovoltaik hücreler yapılarında bulunan kristal çeşidine göre sınıflandırılabilir. Bunlar kısaca;

- a) Tek kristalli silikon hücreler
- b) Çok kristalli silikon hücreler
- c) İnce film hücreler
- d) Amorf silisyum hücreler
- e) Kadmiyum Tellür ince film hücreler
- f) Bakır İndiyum diselenid, hücreler olarak ayrılabilir.

Fotovoltaik hücreler üretim yapısına bağlı olarak güneş enerjisi, % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Hücrelerin üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında bir potansiyel fark (gerilim) oluşur. Bu hücrelerden elde edilen elektrik enerjisinin kaynağı, panellerin yüzeyine gelen güneş enerjisidir [23].

2.2.3 Güneş Pillerinin Karakteristikleri

Fotovoltaik hücreler yarı iletken malzemeden üretildiklerinden ve diğer bir yarı iletken malzemeden üretilmiş diyota benzer yapıda olduklarından fotovoltaik diyotlar olarak da anılırlar. Bu fotovoltaik diyotların karakteristiklerini anlayabilmek için eşdeğer bir elektriksel devre ile modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda bu diyotsal yapının literatürde çeşitli şekillerde matematiksel ve elektriksel modellemelerini görmek mümkündür[14],[24],[25]. Literatürde fotovoltaik hücreler için en çok kullanılan elektriksel eşdeğer devreleri tek diyotlu eşdeğer devre ve iki diyotlu eşdeğer devre olarak ikiye ayırabiliriz. Şekil 2.5'te tek diyotlu eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 2.5 Tek Diyotlu Eşdeğer Devre Modeli

Bu eşdeğer devrede R_s (seri direnç) fotovoltaik hücrede oluşan gerilim düşümlerini, R_p (paralel direnç) ise hücredeki kaçak akımları ifade etmede kullanılmaktadır[25]. Buna göre devrede;

$$I_{ph} - I_D - I_P - I = 0 \text{ olmaktadır.} \quad (2.1)$$

I_D , diyot akımı

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \text{ olarak ifade edilmektedir} \quad (2.2)$$

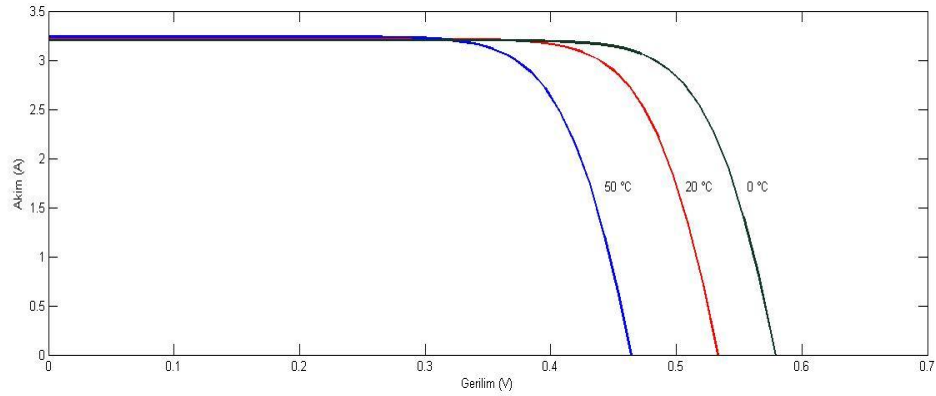
Denklem 2.2, denklem 2.1 de yerine konulursa,

$$I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V + I.R_s}{mV_T}} - 1 \right) - \frac{V + I.R_s}{R_p} - I = 0 \text{ elde edilir.} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 düzenlenirse;

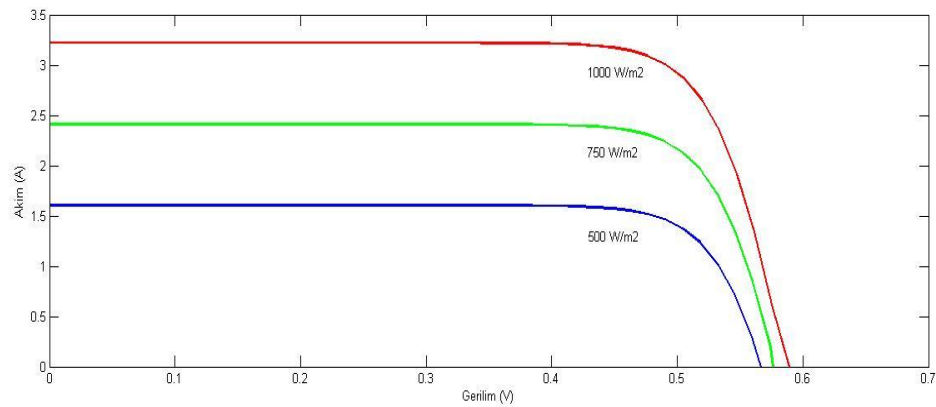
$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{V + I R_s}{V_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_p} \text{ ile PV akım çıkışı elde edilir.} \quad (2.4)$$

Genel olarak bir PV hücrenin sıcaklığa bağlı olarak değişen I-V elektriksel karakteristiği Şekil 2.6' da gösterilmiştir. PV hücrenin karakteristiğine çalışma şartları, ısınım miktarı ve rüzgar hızı gibi farklı dış etmenlerin etkisi bulunmaktadır[26,27].



Şekil 2.6 PV Hücrenin Sıcaklığa Bağlı I-V karakteristiği

PV hücrenin üzerine düşen ısınım şiddeti gün içerisinde Güneş'in konumundan dolayı ve hava şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu durumda da PV hücrenin karakteristiğinde değişiklikler oluşmaktadır. Şekil 2.8'de PV hücrenin ısınıma bağlı olarak I-V karakteristiğindeki değişim verilmiştir.



Şekil 2.7 PV Hücrenin Farklı ısınımlarda I-V Karakteristiği

PV hücrelerin temel karakteristik denklemleri yukarıda verilmiştir. Fakat PV hücreler gerçek çalışma koşullarında farklı çevresel faktörlerin etkisiyle farklı davranışlar sergileyebilirler. Genellikle bir PV panelin katalog değerleri ve gücü ideal şartlar veya standart test koşulları olarak adlandırılan; ışınlam değeri 1000 W/m² ve hücre sıcaklığının 25 °C olduğu koşullarda yapılan ölçümlerle bulunmaktadır[24]. Oysa çalışma koşullarında PV panellerin maruz kaldığı ışınlam ve sıcaklık değeri dinamik olarak değişmektedir. PV hücreye etki eden bu dış faktörler temel etiket değeri olan; güç, V_{oc} ve I_{sc} gibi değerlerinin de değişmesine sebebiyet vermektedir. Yapılacak bir hibrit uygulamada boyutlandırma yapılırken ihtiyaç duyulacak PV panel sayısının kurulacak çevre koşullarındaki karakteristik davranışlarının bilinerek tespit edilmesi çok daha uygun ve doğru bir yapı oluşturulabilmesi açısından önem arz etmektedir.

PV hücrelerin bulundukları ortamdaki hava koşullarına bağlı olarak ifade edilen uç denklemleri aşağıda sırası ile verilecektir[24].

Genellikle PV hücre karakteristiğine etki eden iki temel değişkenin temel matematiksel modellemeye etkisi ifade edilmektedir. Bunlar ışınlam ve sıcaklıktır. Işınlam ve sıcaklığa bağlı olarak PV hücrenin kısa devre akımındaki değişimi denklem 2.5'te ifade edilmiştir.

$$I_{sc} = \frac{I_{sc}^*}{G^*} G_{eff} \cdot \left[1 + (T_c - T_c^*) \frac{dI_{sc}}{dT_c} \right] \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'in üzerinde * bulunan değerler, o terimlere ait referans değeri ifade etmektedir. Denklemden, G_{eff} PV hücreye etkiyen ışınlamı, T_c yine hücreye ekiye sıcaklığı ifade etmektedir. I_{sc}^{*} referans kısa devre akımını ifade eder ve PV panel üreticisinin verdiği katalog değeri sayısal olarak alınmaktadır. G^{*} referans ışınlam değeri ifade etmektedir ve sayısal olarak 1000 W/m² alınmaktadır. T^{*} ise referans sıcaklık değeri ifade etmektedir ve sayısal olarak 25 °C alınmaktadır.

Yine PV modüllerin temel etiket değerlerinden biri olan açık devre geriliminin (V_{oc}) ışınlam ve sıcaklığa bağlı matematiksel değişimi denklem 2.6'da verilmiştir.

$$V_{oc} = V_{oc}^* + (T_c - T_c^*) \frac{dV_{oc}}{dT_c} + V_t \cdot \ln\left(\frac{G}{G^*}\right) \quad (2.6)$$

Burada sıcaklık olarak hücrenin sıcaklığı ortam sıcaklığı üzerinden hesaplanarak bulunmaktadır. PV hücrenin üzerindeki sıcaklık değerinin (T_c) dış ortam sıcaklığı ve ışınlıma bağlı olarak bulunması için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$T_c = T_a + C_t \cdot G \quad (2.7)$$

Buradaki T_a dış ortam sıcaklığını ifade etmektedir. C_t ise denklem sabitidir ve değeri aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$C_t = \frac{NOCT(^{\circ}C) - 20}{800} \quad (2.8)$$

Bu denklemdeki NOCT değeri de şuan üretilen PV modülleri için 42 ile 46 $^{\circ}C$ arasında değişmektedir. Buna bağlı olarak da C_t değeri 0.0272 ile 0.0321 $^{\circ}C/(W/m^2)$ arasında değişecektir.

Denklemlerde geçen V_t değeri ise temel karakteristik denklemindeki sabit değerlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş bir değerdir. Burada n diyot sabitini, k Boltzmann sabitini, e yükleme sabitini ifade etmektedir.

$$V_t = \frac{nkT}{e} \quad (2.9)$$

PV panelin çıkış gücünün maksimum noktasının hesaplanabilmesi için de bazı matematiksel ifadeler söz konusudur. Maksimum gerilim noktası (V_m) ve maksimum akım noktasının (I_m) anlık olarak hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır[24].

$$V_m = V_{oc} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \ln a - r_s (1 - a^{-b}) \right] \quad (2.10)$$

$$I_m = I_{sc} \cdot (1 - a^{-b}) \quad (2.11)$$

Yukarıdaki denklemlerde geçen a ve b değerleri;

$$a = v_{oc} + 1 - 2v_{oc}r_s \quad (2.12)$$

$$b = \frac{a}{1+a} \quad \text{denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır[24].} \quad (2.13)$$

v_{oc} ve r_s değerleri de $v_{oc}=V_{oc}/V_t$ ile $r_s=R_s/(V_{oc}/I_{sc})$ ile bulunabilir. Buradaki a ve b katsayıları V_m ve I_m 'in hesaplanabilmesi için oluşturulmuş ampirik katsayılardır.

Böylelikle bir PV hücrenin matematiksel olarak çevre koşullarındaki karakteristiksel etkileşimini ifade edebilmek mümkün olmaktadır. Simülasyon çalışmamızda PV panel modeli burada verilen denklemler kullanılarak oluşturulmuştur.

2.3 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, Güneş'ten gelen enerjinin dünyanın coğrafik yapısından dolayı yeryüzünde farklı ısınma ve soğumalara sebebiyet vermesiyle meydana gelen basınç farklılıklarından oluşmaktadır. Diğer bir deyişle yüksek basınç alanlarından (soğuktan) alçak basınç alanlarına (sıcağa) doğru oluşan hava hareketlerine rüzgar denir. Buradan da anlaşılacağı üzere rüzgar enerjisinin kaynağı da Güneş'tir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %1-2 si rüzgar enerjisine dönüşmektedir[28].

Rüzgâr enerjisi, alternatif enerji kaynakları içerisinde ele aldığımız yenilenebilir enerji kaynaklarından sayılan çevresel bir zarar oluşturmayan bir kaynaktır. Rüzgar enerjisi diğer santrallerde olduğu gibi farklı ve dolaylı aşamalardan sonra elektriğe dönüşüm yerine prensip olarak son derece basit bir mekanizmayla, taşıdığı mekanik enerjiyi elektriğe dönüştürebilmektedir [29].

2.3.1 Rüzgar Enerjisinin Kullanım Tarihçesi

Rüzgar enerjisi ilk kullanılmaya başlandığında elektrik üretimi haricindeki çeşitli amaçlara hizmet etmiştir. M.Ö. 5000'li yıllarda Mısır da Nil nehrinde yelken aracılığıyla kayıkların rüzgar ile hareketinin sağlandığı bilinmektedir. Daha sonralarında rüzgar, Çin, İran ve Anadolu'da yel değirmenlerinde ve su pompalama amaçlı kullanılmış. Haçlı seferleriyle de rüzgar kullanımı Avrupa'ya ulaşmıştır[30]. IX. Yüzyılın sonlarına doğru ilk olarak Danimarka'da rüzgar türbini ile rüzgar enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak üretilen bu ilk türbinlerin verimleri ve güç değerleri günümüzdekilere kıyasla oldukça düşüktür. Fakat zaman içerisinde yapılan çalışmalar sayesinde rüzgar türbinlerin verimliliği hızla arttırmıştır.

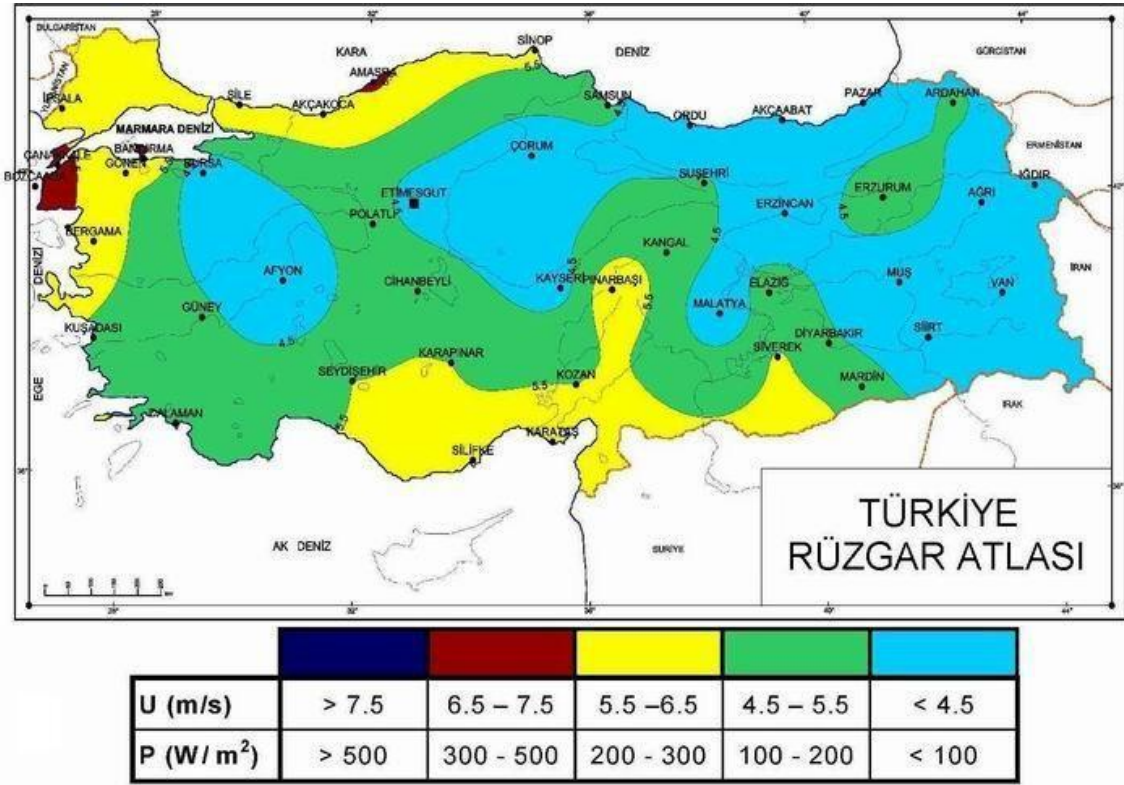
1918 yılından itibaren Danimarka, rüzgar enerjisine yatırım yapma kararı almış ve rüzgar enerjisi kullanımıyla ilgili çalışma başlatmıştır. Bu çalışmalar sonucunda birçok kırsal merkezde elektrik üretimi 20-30 kW'lık rüzgar türbinleri ile sağlanmıştır. Rusya'da da rüzgar enerjisi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Rusya, 1931 yılında 100 kW'lık rüzgar türbini yapmayı başarmıştır. 1941 yılında ABD'de kurulan Putnam rüzgar türbini, 1250 kW gücü ile dönemin en büyük rüzgar enerji santrali olmuştur. İki kanatlı olan rotorunun çapı 53 m civarındadır. Putnam türbini, gelişmiş rüzgar makinelerinin ilklerinden sayılmaktadır [30].

2.3.2 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli olarak gayet zengin bir ülkedir. Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında Türkiye, 83.000 MW teknik rüzgâr potansiyeli ile en elverişli ülkelere biri durumundadır. Ülkemizde en az 20.000 MW'lık rüzgâr santrali kurulacak yer potansiyeli bulunmaktadır. Farklı yerlerde olmak üzere, kurulu güçleri toplamda 5.000 MW'a yakın rüzgâr santralleri, altyapı değişikliği gerektirmeden ülkemiz enerji sistemine entegre edilebilecek durumdadır[31]. Bir başka kaynakta da, Türkiye'nin yıllık rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin karasal alanlar için 110 milyar kWh ve deniz üstü alanlar için 180 milyar kWh olduğu belirtilmektedir[32].

Bu durum Türkiye'nin bu zengin enerji kaynağını doğru hesaplamalar ve analizlerle belirleyip maksimum seviyede istifade etmenin yollarını araması gerektiğinin açık bir göstergesidir. Şekil 2.8'de DMI'nin ölçümleri sonucu Türkiye için oluşturulan rüzgar atlası verilmiştir.

Fakat rüzgar hızının bölgesel ve yatırım potansiyeli olan yerler için, daha yüksek çözünürlüklü ölçümler ile tespit edilmesi rüzgar enerjisi yatırımlarının en uygun yere yapılması ve en yüksek faydanın sağlanması açısından hayati önem arz etmektedir.



* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

Şekil 2.8 Türkiye Rüzgar Atlası[33]

Yine Türkiye'ye bölgesel bazda baktığımızda rüzgar potansiyelinin en fazla enerji kullanımının olduğu Marmara bölgesinde olması da tüketim merkezlerine yakın üretim yapabilmek açısından avantaj olarak görülebilir. Bölgesel rüzgar verileri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bölgesel olarak Marmara bölgesindeki yüksek rüzgar potansiyeli bu bölgenin sahip olduğu iki doğal boğaza ve yükseltisinin rüzgara daha elverişli olmasına bağlıdır.

Şu ana kadar yapılan rüzgar santrali yatırımlarına bakıldığında büyük çoğunluğunun da Marmara bölgesinde kurulduğu görülmektedir. Çizelge 2.2'de bölgelere göre ortalama rüzgar hızları verilmiştir.

Çizelge 2.2 Türkiye'nin Bölgelere Göre Rüzgar Enerjisi Potansiyeli[34]

BÖLGE	ORTALAMA RÜZGAR GÜCÜ YOĞUNLUĞU	ORTALAMA RÜZGAR HIZI
Marmara	51,91 W/m ²	3,29 m/s
Ege	23,47 W/m ²	2,65 m/s
Akdeniz	21,36 W/m ²	2,45 m/s
Karadeniz	21,31 W/m ²	2,38 m/s
İç Anadolu	20,14 W/m ²	2,46 m/s
Doğu Anadolu	13,19 W/m ²	2,12 m/s
Güney Doğu Anadolu	29,33 W/m ²	2,69 m/s

Yukarıda verilen verilere göre Türkiye elektrik ihtiyacının nerdeyse tamamını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Tabii ki bu potansiyelin doğru fizibilite çalışmaları ile yapılmış yatırımlarla ve mevcut sisteme uyumu ve etkileri de dikkate alınarak yapılmalıdır.

2.3.3 Rüzgâr Enerjisi Teorik Denklemleri

Rüzgâr, hareket eden hava olduğundan, rüzgârın enerjisi de bu hareketin sağladığı kinetik enerjiden açığa çıkmaktadır. Kinetik enerji denklemi;

$$E = \frac{1}{2} m.v^2 \text{ şeklindedir.} \quad (2.14)$$

Denklem 2.14'te m havanın kütlesini (kg), v rüzgar hızını (m/s) ifade etmektedir.

Havanın kütlesi m , burada kütleli debi olarak denklem 2.15'teki gibi ifade edilebilir.

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (2.15)$$

Burada A , rüzgar rotorunun taradığı alanı, ρ ise hava yoğunluğunu ifade etmektedir.

Hava kütlesinin denklemi 2.15 kinetik enerji denklemi 2.14'te yerine yazılırsa rüzgârın taşıdığı enerji hızının küpü ile orantılıdır.

Rüzgarın taşımakta olduğu hava akımının belirli bir enerjisi vardır fakat bu enerjinin hepsinden yararlanılamaz, ne kadarından yararlanılabileceği ilk olarak 1926 yılında Dr. Albert Betz tarafından ortaya atılmış ve Benz kriteri diye anılan teorem ile belirlenmiştir [35]. Akışkan bir yapıya sahip hava, rüzgar türbinine gelmeden önce genişlemeye başlamaktadır ve hızı düşmektedir. Türbine girdiğinde ise enerjisinin bir kısmı türbine geçmekte ve kalan hızı da V_3 ile ifade edilmektedir. Denklem 2.16'da belirtildiği gibi rüzgarın türbine aktardığı enerji V_1 hızı ile V_3 hızı arasındaki fark ile oluşmaktadır.

$$E = \frac{1}{2} m \cdot (V_1 - V_3) \quad (2.16)$$

Rotora temas eden havanın hızı V_2 'nin eşitliği denklem 2.17'de verilmiştir.

$$V_2 = \frac{V_1 + V_3}{2} \quad (2.17)$$

Rotorda üretilen enerjinin eşitliği;

$$E = \frac{1}{2} m \cdot (V_1^2 - V_3^2) \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (2.18)$$

Rüzgarın gücü ile rotordan alınan güç oranlanırsa buradan c_p olarak ifade edilen Benz limiti bulunur.

$$c_p = \frac{P_t}{P_r} \quad (2.19)$$

Rüzgar türbininin üreteceği maksimum güç denklemi ;

$$P = \frac{1}{2} c_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.20)$$

Buradaki denklemde p =havanın yoğunluğunu ifade eder ve genellikle $1,225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ olarak alınır. C_p ise güç katsayısı olarak adlandırılır ve 0,35 ile 0,59 arasında değişmektedir[14].

2.3.4 Rüzgar Hızının Yükseklikle İlişkisi

Rüzgarın ölçüm yüksekliği rüzgarın hızını doğrudan etkilemektedir. Teknik olarak rüzgar hızı ölçümleri genellikle 10 m ila 30 m arasında yapılmaktadır. Fakat rüzgar türbinleri daha yüksek gövde uzunluklarına sahip olabilmektedir. Yine günümüz mimarisinde sıfır enerji binalarda rüzgâr türbinleri kullanılabilmekte ve bu binaların üzerine kurulmuş türbinler çok daha yüksekteki rüzgârlara maruz kalmaktadır. Rüzgar hızının yüksekliğe bağlı olarak değişimi denklem 2.21 ile hesaplanabilir[4,5].

$$v = v_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (2.21)$$

Burada v_0 referans yükseklikte ölçülen hızı, H_0 'da rüzgar hızının ölçüldüğü referans hızı ifade etmektedir. Ayrıca α ise Helman katsayısı olarak anılmakta ve genellikle literatürde 1/7 olarak alınmaktadır[4].

2.3.5 Rüzgar Hızının Weibull Dağılımı İle Modellemesi

Daha önce belirtildiği gibi rüzgar hızı bulunan bölgeye ve çevre koşullarına bağlı olarak sürekli bir değişim göstermektedir. Rüzgar hızının istatistiksel olarak Weibull dağılımına uygun olduğu görülmüştür[36].

Weibull dağılım fonksiyonunu oluşturabilmek için şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) olarak ifade edilen iki parametrenin belirlenmesi gerekmektedir[36]. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık fonksiyonu denklem 2.22 'de verilmiştir.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k} \quad (2.22)$$

Denklemdaki h ve c parametrelerinin belirlenmesinde, grafik metodu, en yüksek olasılık metodu, basitleştirilmiş en yüksek olasılık metodu ve moment metodu gibi metotlar kullanılmaktadır.

Bu metotlara bakıldığında farklı denklem sistemleri ile Weibull parametrelerinin bulunması söz konusudur.

2.3.6 Weibull Dağılımı Parametrelerini Belirleme

Ölçtüğümüz dinamik rüzgar verilerinin Weibull dağılımı katsayılarının hesaplanmasında moment metodu yaygın bir yöntem olduğundan tercih edilmiştir [36]. Bu yöntemle şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerinin hesabında kullanılan denklemler 2.23 ve 2.24'te verilmiştir.

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma(1 + \frac{1}{k})} \quad (2.23)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1.086} \quad (2.24)$$

Ölçek parametresinin denklemindeki Γ , Gama fonksiyonudur. Ölçülen rüzgar verisi için elde edilen Weibull dağılımı kullanılarak elde edilen rüzgar hızı verilerinin doğruluğunun ölçülmesi gerekmektedir. Bunun içinde kullanılan yöntemler vardır. Bunlardan bir tanesi R^2 analizidir. R^2 analizini uygulamada kullanılan denklem 2.25 aşağıda verilmiştir[37].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.25)$$

R^2 analizi kullanılan Weibull dağılımında elde edilen verilerin gerçek verilere ne kadar yakın olduğunu vermektedir. Diğer bir hata analizi yöntemi ise RMSE analizidir. RMSE analizi için kullanılan denklem 2.26 aşağıda verilmiştir.

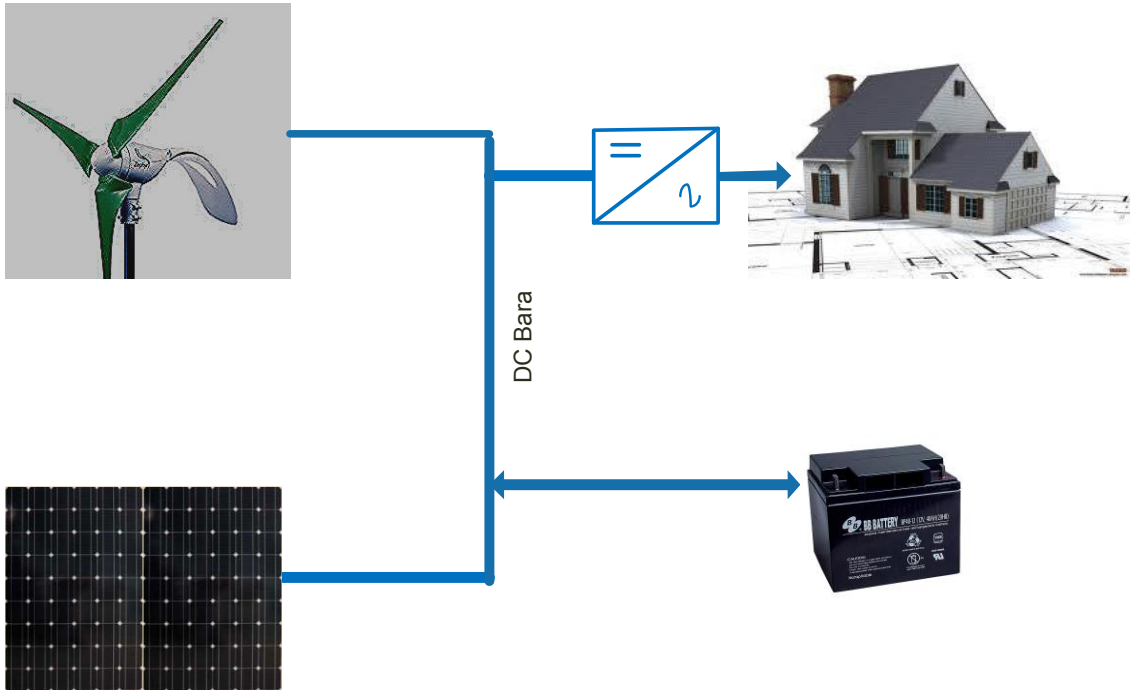
$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

R^2 ve RMSE değerlerinden çıkacak sonuçlara göre Weibull dağılımının gerçek verilere uygunluğu tespit edilebilmektedir.

2.4 Hibrit Enerji Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gündeme gelmesiyle birlikte, bu kaynaklardan maksimum derecede ve kesintisiz olarak nasıl yararlanılabileceği sorusu da gündeme gelmiştir. Özellikle büyük santral yapıları haricinde, şebekeden bağımsız olarak bir bölgenin, bir binanın veya bir evin elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenmesi söz konusu olduğunda enerji devamlılığı sorun teşkil edebilmektedir. Çünkü yenilenebilir enerji kaynakları doğal ve anlık olarak değişen kaynaklardır. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisine baktığımızda rüzgar hızının ve güneş ışınımının oldukça dinamik bir yapılarının olduğunu söylemek mümkündür.

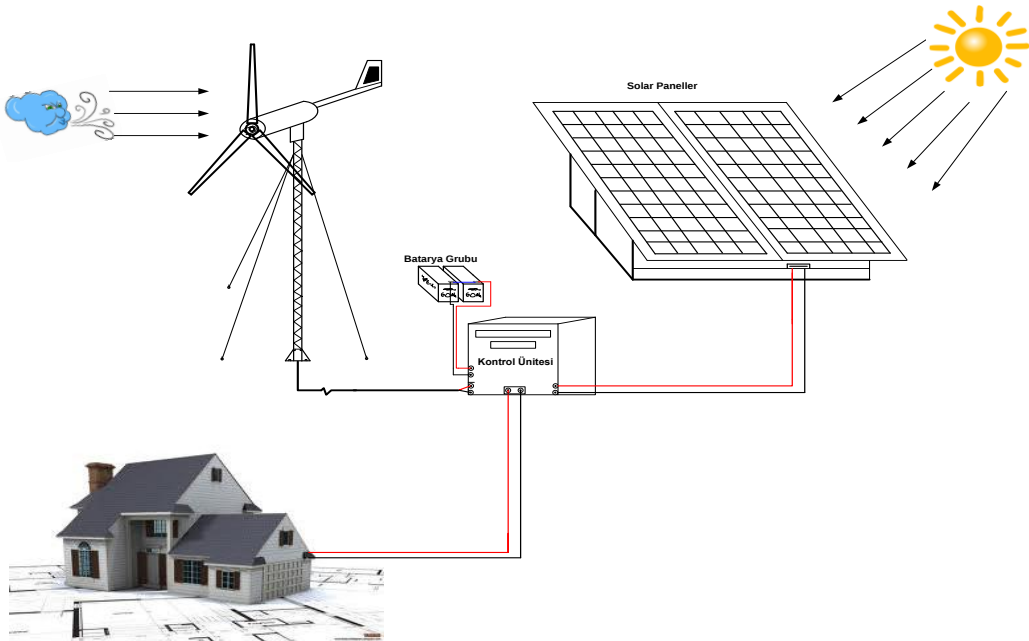
Bu soruna bir çözüm olarak rüzgar türbini, güneş panelleri, yakıt hücresi, dizel jeneratör, akü ve süper kapasitör gibi bir çok besleyici birim çeşitli kombinasyonlarda bir araya getirilerek hibrit sistemler oluşturulabilir. Böylelikle sistemin sürekliliği sağlanmış ve enerji kaynağı çeşitlendirilmiş olmaktadır. Böyle bir hibrit sistemin incelenmesi ve en uygun sistem tasarımı ve boyutlandırmasının yapılması verimlilik açısından önem arz etmektedir. Bu konuyla ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur [3-10]. Bahsedilen hibrit enerji sistemlerine örnek bir blok Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9 Rüzgar/PV Hibrit Sistem Bloğu

RÜZGAR/PV HİBRİT SİSTEM ANALİZİ

Bu bölümde şebekeden bağımsız bir evin elektrik talebinin karşılanması amacıyla kurulmuş rüzgar/PV hibrit sistemin tanımlanması yapılacak ve Matlab/Simulink programında yapılmış olan simülasyon çalışmaları verilecektir. Sistemde güç akış analizi yapılmıştır. Bu amaçla değişken hızlara göre çıkış gücü aldığımız bir rüzgar türbin modeli ve değişken ışınlım ve sıcaklık değerlerine göre çıkış gücü aldığımız bir güneş paneli modeli oluşturulmuştur. İncelenen bu sistemin genel blok diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Güneş/Rüzgar/Akü Hibrid Yapı

3.1 Sistem Analizi için Veri Toplanması

Yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen hibrit bir sistemin analizi için veri toplanmasının ayrı bir önemi mevcuttur. Ortaya konulacak ve çalışılması düşünülen konu olan şebekeden bağımsız bir evin rüzgar ve güneş enerjisi hibrit şekilde kullanılarak enerji ihtiyacını ekonomik ve verimli şekilde karşılayabilmek ve sağlıklı bir analiz için gerçek verilere ihtiyaç vardır. Bu amaçla şebekeden bağımsız olarak düşündüğümüz, İstanbul'da 4 kişilik bir ailenin kullandığı bir evden bir haftalık yüksek çözünürlüklü elektriksel yük verisi alınmıştır. Bunun için Fluke marka enerji analizörü kullanılmıştır. Evden veri toplama amacı için kurulmuş deneysel düzenek Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Evsel Yük Verisi Toplama Düzenegi

Evin elektrik enerjisi kullanımı saniyelik olarak kaydedilmiş ve kayıt bir hafta boyunca sürmüştür. Bir evde harcanan enerjinin haftalık periyodik olarak aynı değerlerde tekrarladığı kabul edilmiştir. Literatürde genel olarak yük için saatlik ve bir günlük alınmış veriler kullanılmıştır.

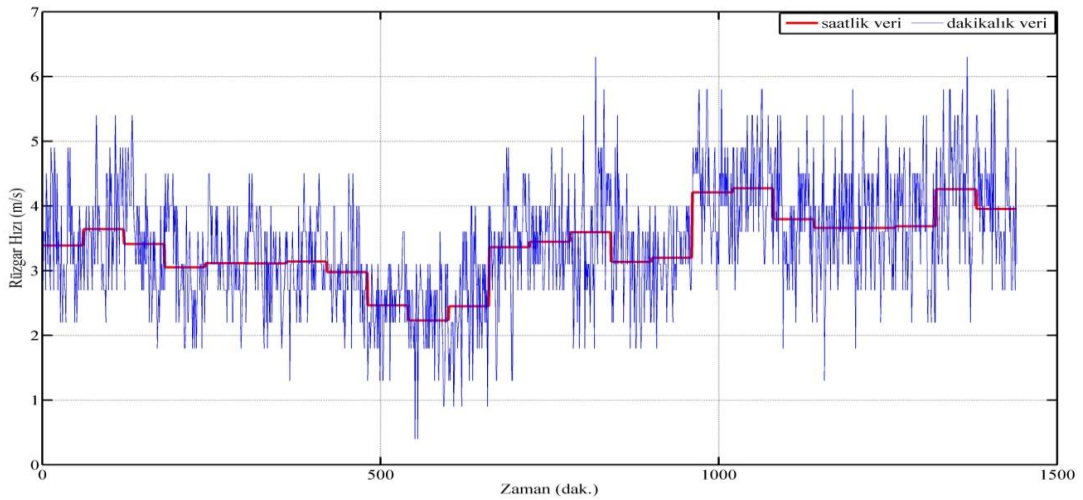
Yine kaynak değişkenlerimiz olan rüzgar hızı ve güneş ışınım değerlerinin ölçülebilmesi için de 2010-04-02-KAP04 projesi kapsamında Davis Vantage Pro2 hava istasyonu temin edilmiştir. Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş yerleşkesinde montajı yapılarak rüzgar hızı ve güneş ışınım verileri dakikalık (ölçüm cihazının minimum veri toplama aralığı) olarak kaydedilmiştir. Ölçüm istasyonumuzun yerden yüksekliği 30m ve koordinatları 41° 03' enlem 29° boylamındadır.



Şekil 3.3 Davis Hava Ölçüm İstasyonu

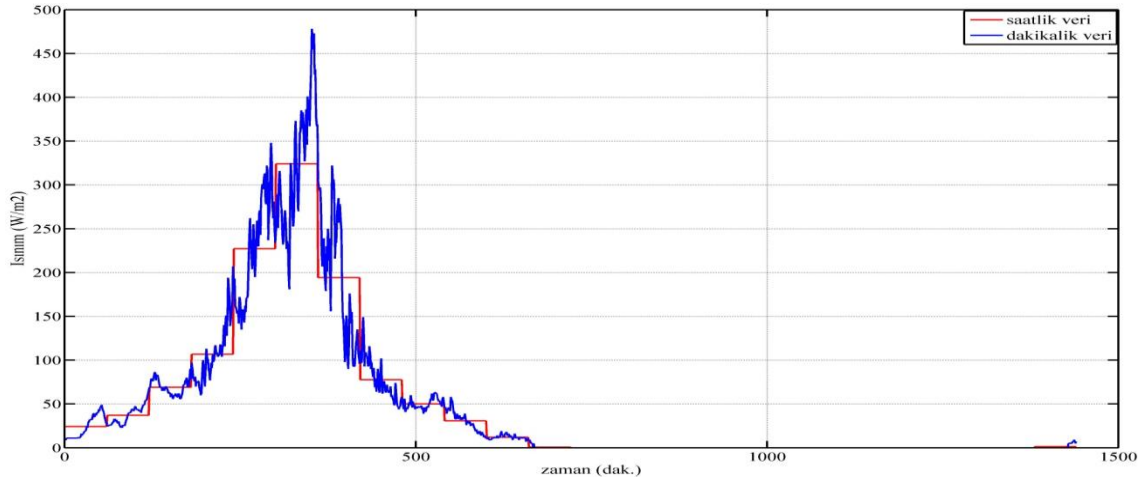
Ölçüm için kullandığımız hava istasyonuna ait fotoğraflar Şekil 3.3'te verilmiştir. Ölçüm istasyonu aracılığıyla rüzgar hızı, güneş ışınlı ve sıcaklık verileri dakikalık olarak 15 Mart-15 Nisan aralığında kaydedilmiştir. Veri toplama devam etmektedir ancak tez çalışması için 15 Mart-15 Nisan aralığı kullanılmıştır.

Ölçülen dataların çözünürlüğünün yüksek olmasının hesaplama ve analizlerde daha güvenilir sonuçlar vereceği öngörüsünü destekleyici olarak saatlik ortalama verilerle yüksek çözünürlükteki veriler karşılaştırılmıştır(Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6) Görüldüğü gibi saatlik veriler de dinamik etkiler dikkate alınamamaktadır.



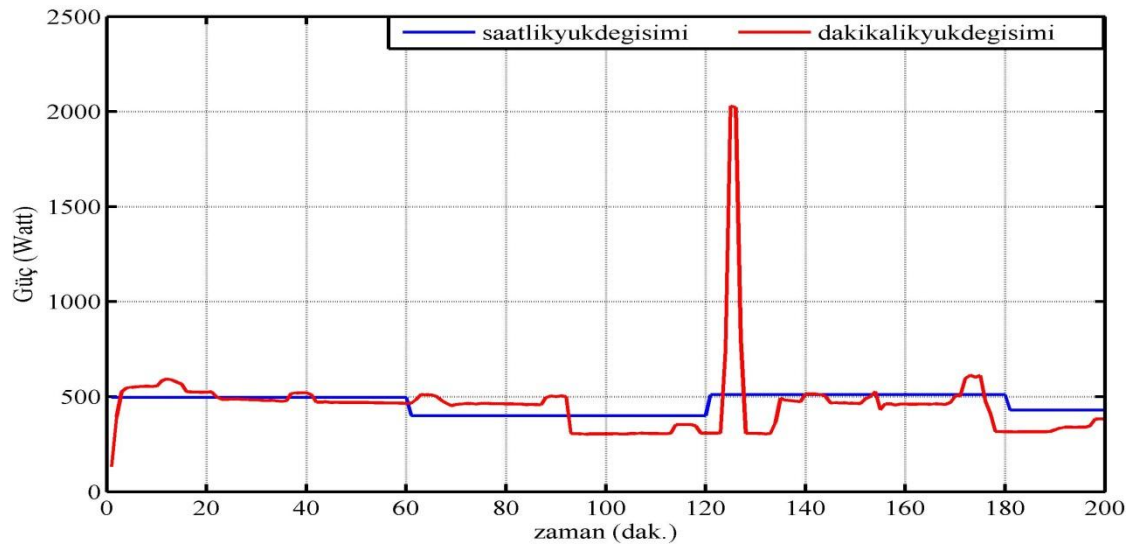
Şekil 3.4 Rüzgar Hızı için Dakikalık ve Saatlik Veriler Arasındaki Fark

Güneş ışınımının rüzgar hızına oranla daha süreklilik arz ettiği kabul edilse de İstanbul gibi gün içerisinde bulutluluk oranının çok değiştiği şehirlerde dakikalık verilerde saatlik verilere oranla yine ciddi farklar olduğu Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 Güneş Işınımının Saatlik ve Dakikalık Veriler Arasındaki Fark

Hibrit sistemler için önemli olan diğer bir temel veriyi yük tarafından gelecek güç talebi oluşturmaktadır. Evsel yük ölçümleri genellikle temel hesaplamalara, evdeki güç çeken elektriksel cihazların katalog değerlerine göre varsayımlara veya saatlik ve bir günlük alınmış verilere dayanmaktadır. Oysa, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi evsel yüklerde dinamik bir değişimin söz konusudur ve bunun saatlik verilerle ortaya konulamadığı gözükmemektedir.



Şekil 3.6 Evsel Yükün Saatlik ve Dakikalık Verileri Arasındaki Fark

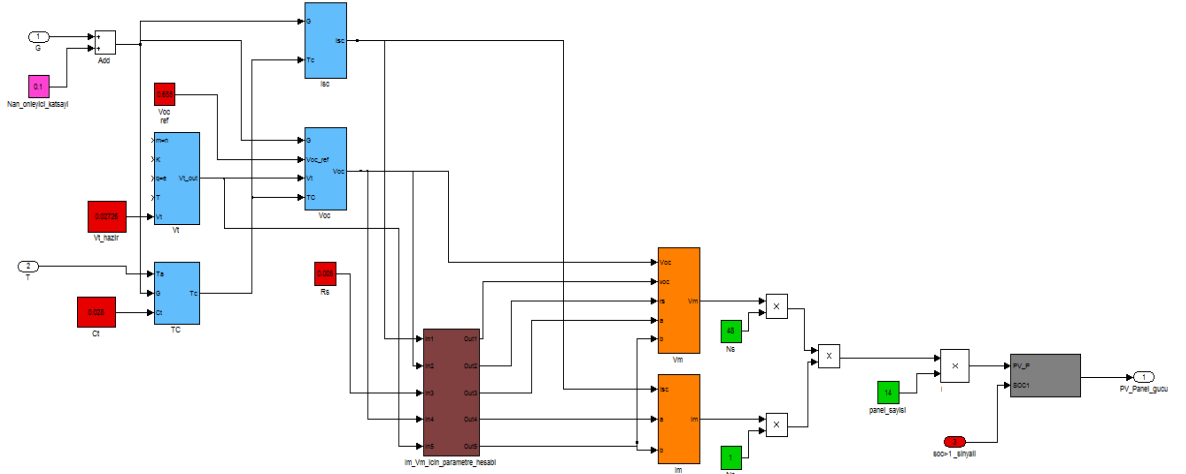
Doğru ve güvenilir bir sistem analizi için mümkün olan en yüksek çözünürlükteki verilerin kullanılmasının gerekliliği saatlik veriler ile dakikalık verilerin karşılaştırmalarından ortaya çıkmaktadır.

3.2 Fotovoltaik Hücre Modeli

Fotovoltaik hücrelerle ilgili çeşitli matematiksel modellemeler literatürde mevcuttur [38],[39]. Benzetim çalışmamız için geliştirdiğimiz fotovoltatik hücre modelinde referans [24]'te PV hücresi için verilmiş matematiksel denklemler kullanılmıştır. Kullanılan matematiksel denklemler 2.1.4 bölümünde verilmiştir.

Bu denklemler aracılığıyla geliştirilmiş modelde maksimum gerlim ve akım noktaları hesaplanarak PV panelinin verebileceği maksimum güç değeri çıkış olarak alınmaktadır. Gerçek PV sistemlerinde yaygın olarak bir maksimum güç izleyici düzeneği kullanıldığından geliştirilen modelde de bu dikkate alınmıştır.

Modelimize girdi (input) olarak iki değişken parametre girmektedir. Bunlar dakikalık olarak değişen güneş ışınlımı ve çevresel sıcaklık değerleridir. Geliştirilen modelimizin daha kullanışlı ve farklı sistemler ve panel veya modül durumlarına uyumlu olması için tek bir hücrenin matematiksel modelinin oluşturulması daha uygun bulunmuştur. Böylece hücre modelini seri ve/veya paralel bağlantılar haline getirerek istenilen modül veya panel kombinasyonu oluşturmak ve buna uygun güç değerlerini elde etmek mümkün olmuştur. Şekil 3.7 'de solar panellerin bir hücresi için değişken parametrelere göre akım çıkışı veren Matlab/Simulink'te oluşturulmuş model görülmektedir.



Şekil 3.7 PV Modeli

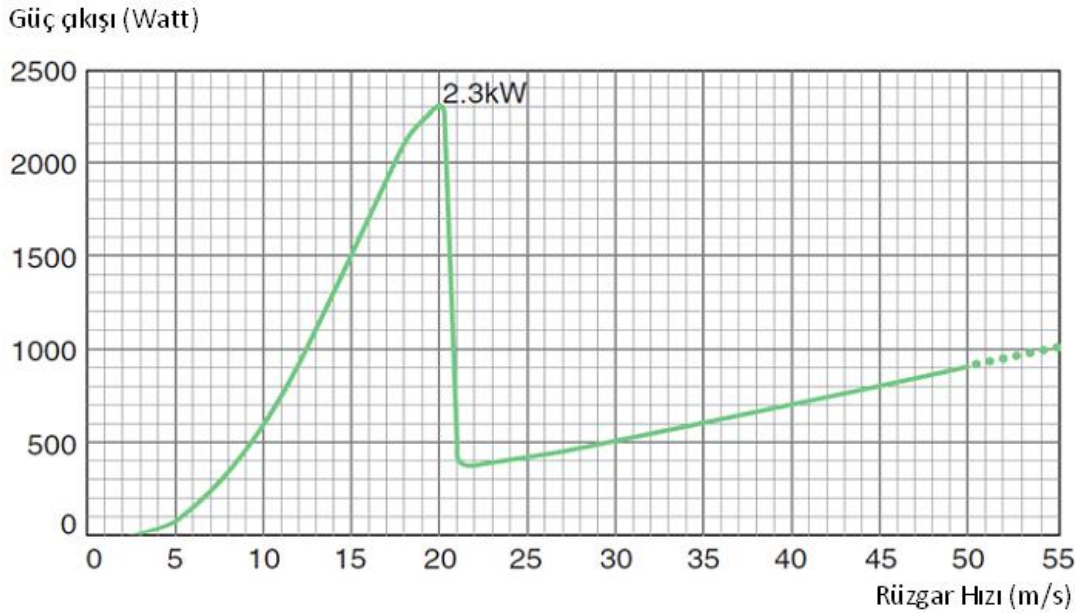
Hücre modeli seri ve paralel bağlantılar ile oluşturulacak fotovoltaik modül veya paneller içinde kullanılabilir yapıdadır. Modelde fotovoltaik panelin performansına etkisi literatürde belirlenmiş sıcaklık etkisi de dikkate alınmıştır. Bölüm 2.1.4'teki karakteristiksel grafikler PV hücrenin modeli kullanılarak çizdirilmiştir.

Modelde V_{oc} (açık devre gerilimi) bloğu denklem 2.6'ya göre oluşturulmuştur. Yine V_t [24]'te belirtildiği gibi yaklaşık bir değer alınmıştır. Ayrıca modelde hesaplanabilmesi için blok oluşturulmuştur. Yine I_{sc} 'de denklem 2.5'ten hareketle oluşturulmuş ve V_t ve I_{sc} sıcaklık ve ışıma bağlı olarak değişebilecek yapıdadır. T_c bloğu da yine denklem 2.7 ve 2.8'den yararlanılarak oluşturulmuştur. Anlık verilere bağlı olarak değişen V_m ve I_m ye bağlı olarak denklem 2.10 ve 2.11'den faydalanarak PV hücreden alınabilecek maksimum güç değeri bulunmuştur. Daha sonra bu değer panel veya modülde bulunan hücrelerden seri ve paralel bağlı olmalarına göre akım ve gerilim değerleri bulunarak panel veya modülden çıkabilecek maksimum güç değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle hibrit simulasyonumuz için istediğimiz güç değerindeki PV panel modelini oluşturup elimizdeki ışıma ve sıcaklık verilerine göre çıkış gücünü almamız mümkün olmuştur.

Burada kullandığımız model sabitleri, 2010-04-02-KAP04 projesi kapsamında alınan Anel 180W'lık panellerin katalog bilgileri referans alınarak girilmiştir[40].

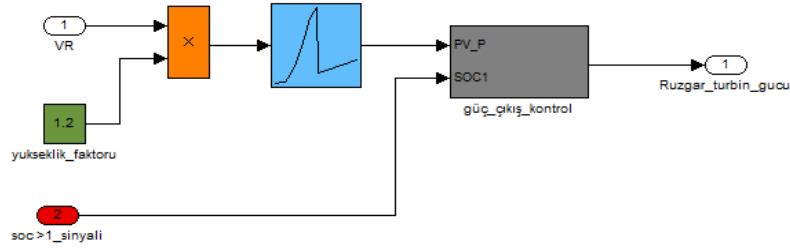
3.3 Rüzgar Modeli

Çalışmamızda sistem analizi yapıldığından detaylı bir rüzgar türbini modeli yerine 2010-04-02-KAP04 projesi kapsamında satın alınan piyasada yaygın olarak kullanılan rüzgar türbinlerinden biri olan Zephyr marka türbinine ait rüzgar hızı/güç eğrisi baz alınmak suretiyle bir rüzgar türbini modeli geliştirilmiştir. Zephyr marka türbine ait rüzgar hızı/güç değişimi Matlab/Simulink programında bir tablo olarak kullanılarak farklı rüzgar hızlarına karşılık gelen güç çıkışları bulunmuştur. Şekil 3.8’de model için kullandığımız Zephyr marka rüzgar türbininin rüzgar-çıkış gücü grafiği verilmiştir. Bu çizelge üzerindeki veriler kullanılarak oluşturulmuş Simulink lookup-table bloğu ile rüzgar hızına göre güç çıkışı elde edilmiştir.



Şekil 3.8 Zephyr Rüzgar Türbininin Rüzgar Hızı- Güç Grafiği[41]

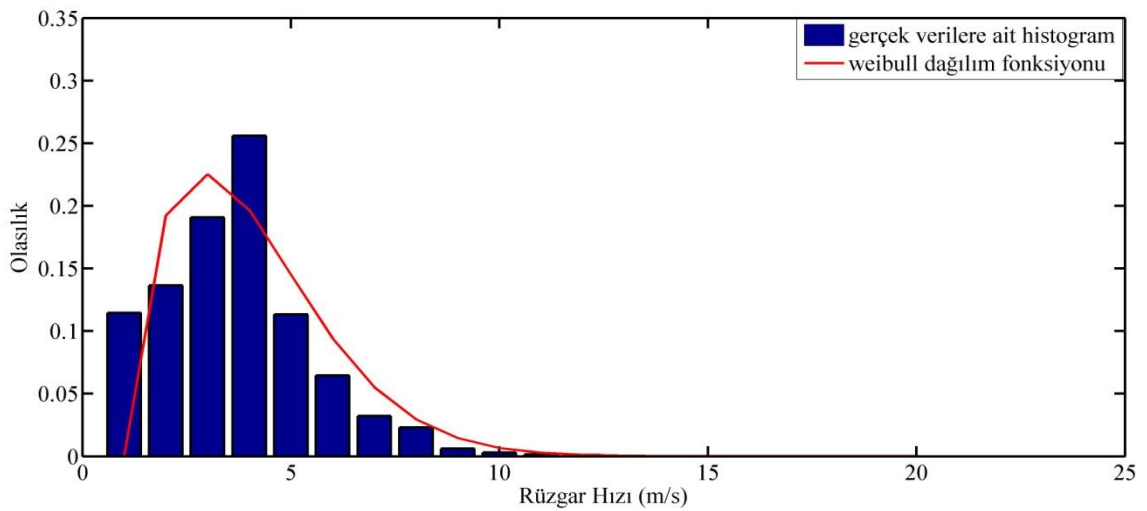
Rüzgar verilerinin alındığı yükseklik İstanbul koşullarında çeşitli engelleyici faktörlerden (binaların olması, türbülans gibi) dolayı etkin olmadığından, simülasyona girilen rüzgar değerleri denklem 2.15’te verilen eşitlikten faydalanılarak hesaplanan katsayı ile çarpılmıştır. Bu şekilde oluşturulan rüzgar enerjisi güç çıkışı bloğu Şekil 3.9’te verilmiştir.



Şekil 3.9 Rüzgar Türbin Bloğu

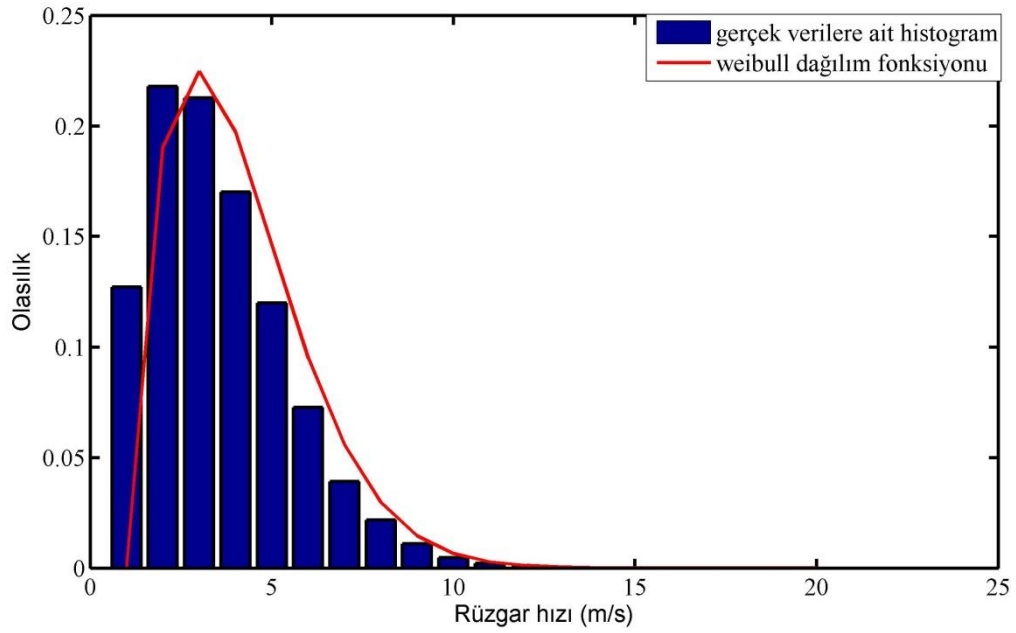
Literatürde rüzgar hızının Weibull dağılımına uygun bir yapıda olduğu ve bunun için rüzgar verisinin Weibull dağılımı ile modelize edildiği görülmektedir[5],[36]. Dakikalık olarak alınan bir aylık rüzgar datasının Weibull dağılımı parametreleri 2.22, 2.23 ve 2.24 denklemleri kullanılarak hazırlanmış bir program ile bulunmuştur.

Çalışmamızda kaydedilen verilerden sistemde kaynak tarafındaki dinamikler açısından rüzgar hızının daha etkin olduğu görülmüştür. Bunu dikkate alarak, farklı rüzgar hızlarında sistem analizi yapılabilmesi için elde edilen Weibull dağılımı kullanılarak yeni rüzgar hızı verileri oluşturulmuştur. Eldeki rüzgar hızı verilerinden elde edilen Weibull dağılımının uygunluğu R^2 ve RMSE yöntemleri ile test edilerek R^2 metodunda %93 RMSE metodunda 0.0342 değerlerine ulaşılmıştır. R^2 metodundan elde edilen %93'lük değer Weibull dağılımının elimizdeki verilere %93 oranında uyduğu anlamına gelmektedir. Rüzgar datamızın Weibull dağılımı Şekil 3.10'da verilmiştir.

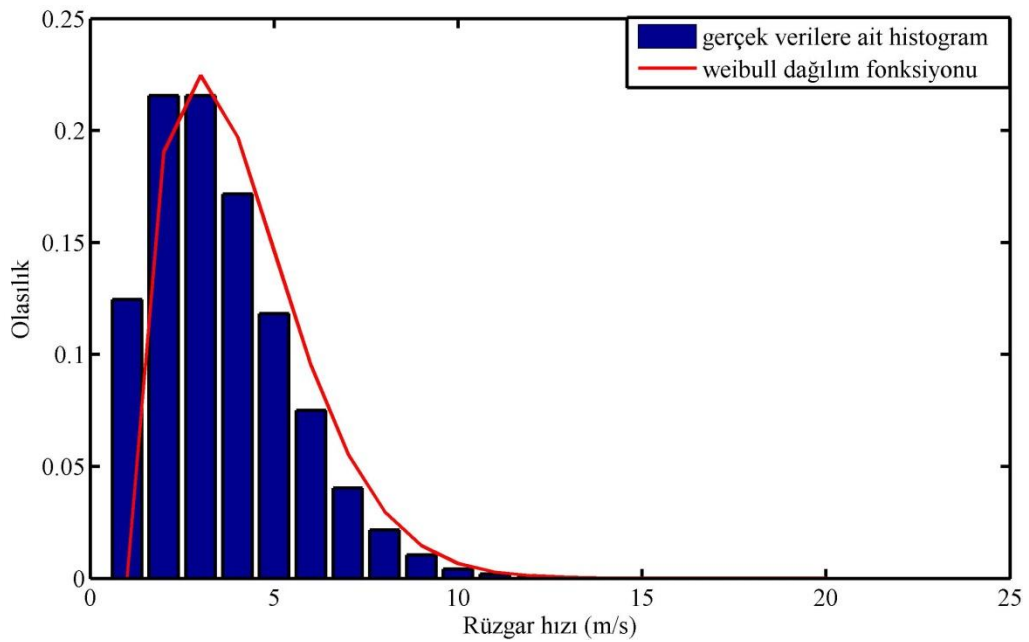


Şekil 3.10 Bir Aylık Rüzgar Verisinin Weibull Dağılımı

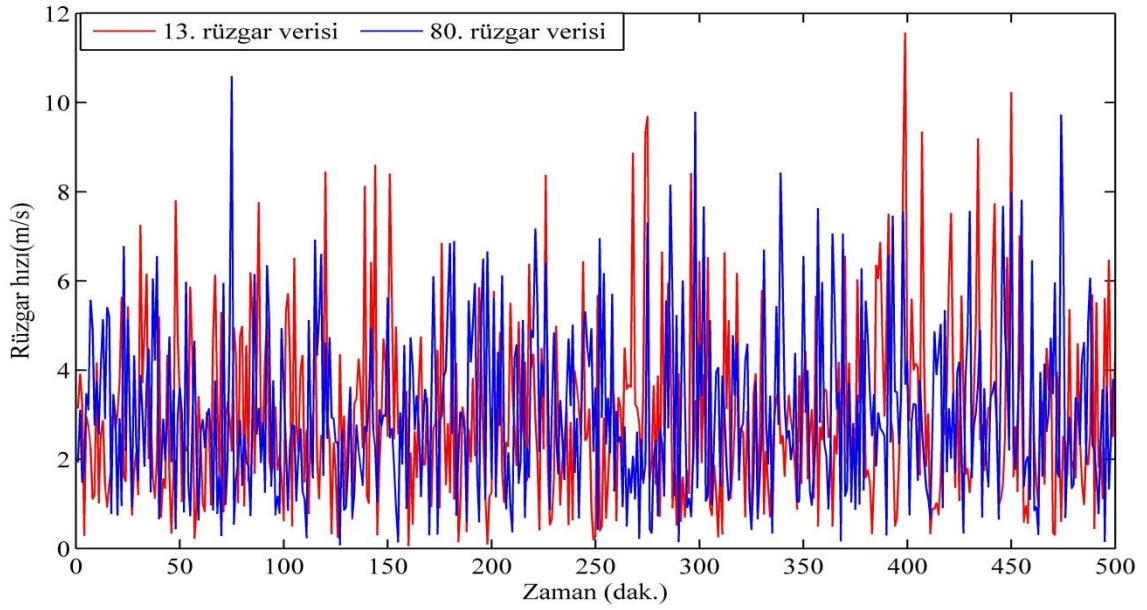
Elimizdeki rüzgar hızı verilerinden elde edilen Weibull dağılımı ile 100 farklı rüzgar hızı dağılımı elde edilerek, bu 100 ayrı durum için sistem analizi yapılmıştır. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de Weibull dağılımı kullanılarak türetilen rüzgar hızı verileri örnek olması açısından verilmiştir. Görüldüğü gibi türetilen rüzgar hızları da aynı Weibull dağılımı içerisinde kalmaktadır.



Şekil 3.11 Weibull Dağılımından Elde Edilmiş 13. Rüzgar Verisi



Şekil 3.12 Weibull Dağılımından Elde Edilmiş 80. Rüzgar Verisi



Şekil 3.13 Weibull Dağılımı ile Elde Edilmiş 13. ve 80. Rüzgar Hızı Dağılımlarının Farkı

Şekil 3.13'te Weibull dağılımından türetilmiş farklı rüzgar hızı dağılımları arasındaki zamana bağlı değişim gösterilmiştir.

3.4 Yük Modeli

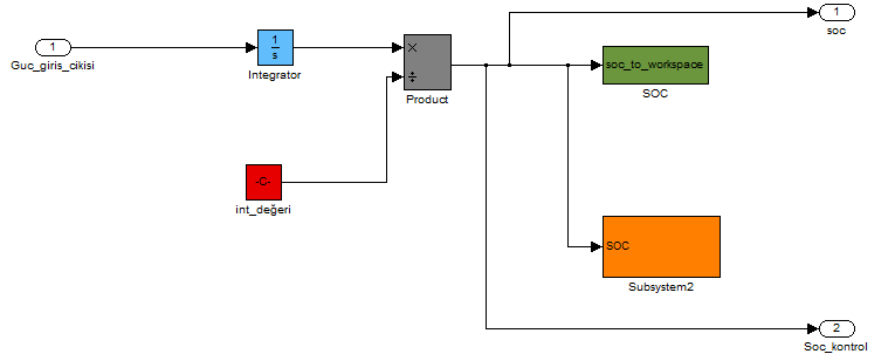
Simülasyonumuzda deneysel olarak alınan evsel yük değerlerimiz dakikalık olarak Matlab çalışma ortamından Simulink kısmına aktarılmıştır. Bir aylık evsel yükün güç cinsinden değeri dakikalık olarak sisteme bir inverter üzerinden geçirilerek verilmiştir. İnverterin ise Selamoğullarının referans [42]'deki çalışmasında verilen verimlilik eğrisi kullanılarak sisteme dahil edilmiştir. Yapılan sistem analizinde inverter verim eğrisi bir tablo olarak kullanılmış ve yük ihtiyacını bu verimlilik dikkate alınarak kaynak tarafına iletilmiştir. Her ne kadar yük ölçümleri saniyelik olarak alınmışsa da kurulan sistemde rüzgar hızı ve güneş ışınım değerleri dakikalık olarak alınabildiğinden yükümüzün verileri de dakikalığa çevrilmiştir.

Sistem boyutlandırmasında özellikle batarya grubunun boyutunu belirlerken yükteki anlık yükselme durumların bilinmesinin daha doğru bir sonuç elde açısından önemli olduğu açıktır. Zaten bir evde kısa süreli kullanılan ve yüksek güçlü cihazlar düşünüldüğünde saatlik veri ile bu değişimin dikkate alınamadığı anlaşılmaktadır[43].

Sistem analizi için yapılacak simülasyon bir aylık veriler çerçevesinde yapılacaktır. Bu sebeple bir haftalık kaydedilen evsel yük verisi bir aylık olarak türetilerek bir aylık veri haline getirilmiştir.

3.5 Batarya Modeli

Hibrit sistem simülasyonumuz boyutlandırma ve genel olarak sistem analizi üzerine olduğu için tamamen güç ve enerji üzerine kurulmuş bir yapıdır. Kullandığımız batarya modeli de buna uygun şekilde oluşturulmuştur. Başka bir deyişle üretimden gelen güç ile inverter üzerinden geçen talep edilen güç toplanılarak açığa çıkan güç miktarına göre bataryanın sarj veya deşarj olmasına imkan verebilecek yapıdır. Ayrıca sistemdeki batarya grubunun (SOC) sarj durumu sürekli izlenecektir. Şarj durumunun batarya kapasitesinin %10 fazlasına kadar çıkmasına izin veren daha fazla durumda sarjı kesen kontrol sinyali de oluşturulmuştur. Şarjın kesilmesi PV panelin veya rüzgar türbininin enerji üretmemesi ile sağlanmaktadır. Bu şekilde çalışan batarya modeli Şekil 3.14'te verilmiştir. Batarya modeli enerji olarak başlangıç değeri verilerek simülasyona dahil edilmektedir. Int_değeri olarak nitelendirdiğimiz bu değer, bataryanın tam sarjlı haldeki enerjisini ifade etmektedir.



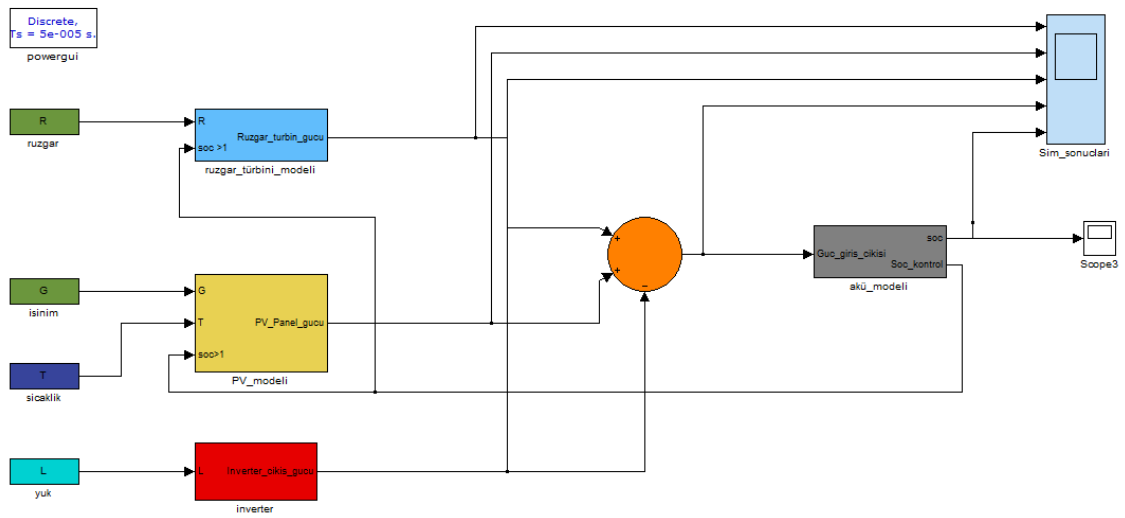
Şekil 3.14 Batarya Modeli

3.6 Hibrit Sistem Simülasyonu

Literatürde şebekeden bağımsız olarak çalışan hibrit sistemlerle ilgili birçok çalışma verilmiştir. Bunlar farklı enerji kaynakları kombinasyonları şeklinde oluşturulup incelenmiş sistemlerdir.

Bu çalışmalardan biri Selamoğulları tarafından yapılmış [42]'de verilmiş olan yakıt hücresi-batarya hibrit sistemi ile ilgili boyutlandırma çalışmasıdır. Yine Uzunoğlu'nun referans [44]'te verilen çalışmasındaki PV-yakıthücresi-superkapasitör hibrit uygulaması gibi farklı kombinasyonlarda yapılmış sistem analizi ve modellemeleri mevcuttur. Fakat yakıt hücresinin ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve yakıt olarak tükettiği hidrojenin tedarikinin zor ve pahalı oluşu çalışmaları yakıt maliyeti olmayan PV/rüzgar hibrit sistemine kaydırmıştır.

Buradaki amaç PV/rüzgar hibrit yapısının şebekeden bağımsız bir evi kesintisiz besleyebilmesi açısından kullanılacak enerji depolama bileşeni olarak batarya grubunun en uygun şekilde boyutlandırılmasıdır. Bu konuda yapılan önceki çalışmalarda çoğunlukla saatlik veri kullanılmıştır. Ancak güvenilir bir analiz için daha yüksek çözünürlükte elde edilmiş veri kullanılması gereklidir. Bu sebeple yapılan bu tez çalışması ile daha yüksek çözünürlükteki verilerin kullanıldığı bir sistem analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler aynı şartlarda saatlik veriler kullanılarak yapılmış bir analiz ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.15'te hibrit sistem simülasyonu için kullanılan Simulink blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.15 Hibrit Sistem Simülasyonu Bloğu

Hibrit simülasyon sistemimizde temel güç girdileri olarak; güneş ışıınımı ve sıcaklığa bağlı değişen fotovoltaik panel güç çıkışı, rüzgar hızına bağlı rüzgar türbini güç çıkışı ve batarya grubu güç çıkışı bulunmaktadır.

Bunun yanında bir inverter üzerinden geçirilerek sisteme dahil edilen gerçek evsel güç talebi bulunmaktadır. Sistemimizde bu birimler bir ana bara ile birbirlerine bağlanmaktadır. Buradaki toplayıcı birim, fotovoltaik panellerden ve rüzgar türbininden gelen güç girdilerinin toplam miktarı ile yük kısmının ihtiyaç duyduğu yük miktarı kıyaslamaktadır. Bu şartlarda 3 farklı durum ortaya çıkmaktadır.

1.PV panellerde üretilen güç (P_{pv}) ile rüzgar türbinide üretilen gücün (P_R), yük gücünden (P_L) fazla olması durumu: $P_{pv} + P_R > P_L$ toplayıcı birim fazla enerjiyi batarya grubuna yönlendirmekte ve batarya şarj olmaktadır. Bataryanın kapasitesinden fazla şarj edilmemesi için, rüzgar ve güneş enerji sisteminin elektrik üretimini kesmesi sağlanmaktadır.

2.PV panellerde üretilen güç (P_{pv}) ile rüzgar türbinide üretilen gücün (P_R), yük gücünden (P_L) az olması durumunda, $P_{pv} + P_R < P_L$ toplayıcı birim güç ihtiyacını karşılayabilmek için batarya grubundan enerji çekmeye başlamakta yani batarya deşarj olmaktadır.

Bu durum içinde batarya sarj seviyesinin (SOC) istenilen değerlerde tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada SOC %40'ın altına düşmeyecek şekilde çalışma koşullarının oluşması dikkate alınmıştır.

3.PV panellerde üretilen güç (P_{pv}) ile rüzgar türbinide üretilen gücün (P_R), yük gücü (P_L) ile aynı olması durumunda, $P_{pv} + P_R = P_L$ sistem dengededir ve batarya kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Sistemimizin bu 3 farklı duruma göre çalışacağı varsayılarak batarya grubunun en uygun boyutunun belirlenmesi amacıyla farklı durumlar için simülasyon çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır.

1.Durum: İlk durumda PV modülü olarak maksimum gücü, 180 W olan 11 adet panel bir araya getirilerek toplam 1980 W'lık bir modül grubu oluşturulmuştur.

Rüzgar türbini bloğu olarak da maksimum 2.5 kW'lık güç verebilen Zephyr rüzgar türbini kullanılmış ve rüzgar hızının 100 farklı esme durumu için simülasyon gerçekleştirilmiştir.

2.Durum: İkinci durumda PV modülü olarak maksimum gücü, 180 W olan 14 adet panel bir araya getirilerek toplam 2520 W'lık bir modül grubu oluşturulmuştur. Rüzgar türbini bloğu olarak da maksimum 2.5 kW'lık güç verebilen Zephyr rüzgar türbini kullanılmış ve rüzgar hızının 100 farklı esme durumu için simülasyon gerçekleştirilmiştir.

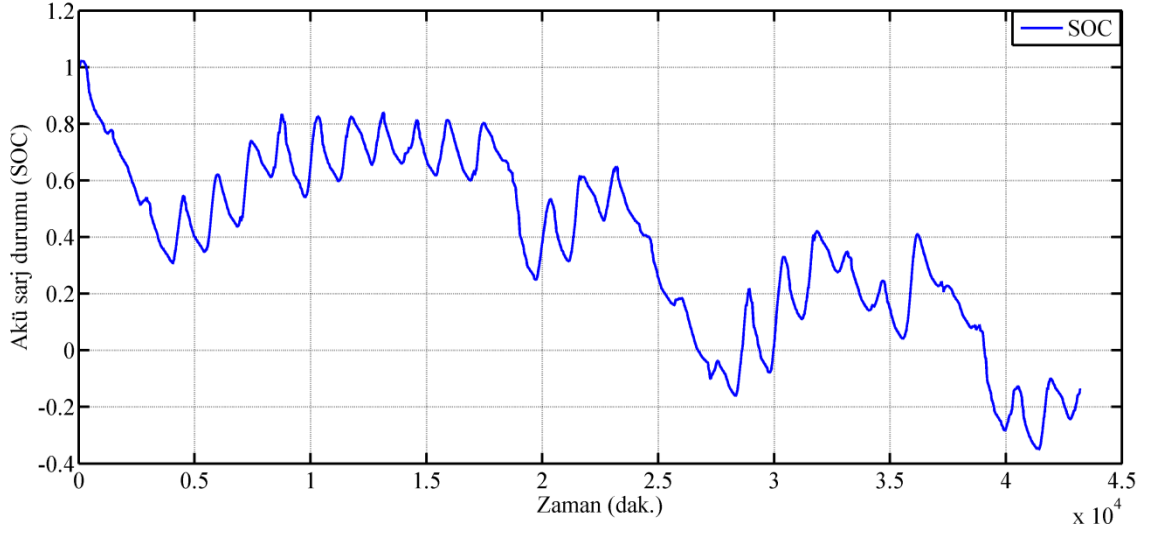
3.Durum: Üçüncü durumda ise PV modülü olarak maksimum gücü, 180 W olan 17 adet panel bir araya getirilerek toplam 3060 W'lık bir modül grubu oluşturulmuştur. Rüzgar türbini bloğu olarak da maksimum 2.5 kW'lık güç verebilen Zephyr rüzgar türbini kullanılmış ve rüzgar hızının 100 farklı esme durumu için simülasyon gerçekleştirilmiştir..

Bu üç farklı durum için dinamik değişen kaynak ve talep güçleri dikkate alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

3.7 Simülasyon Sonuçları

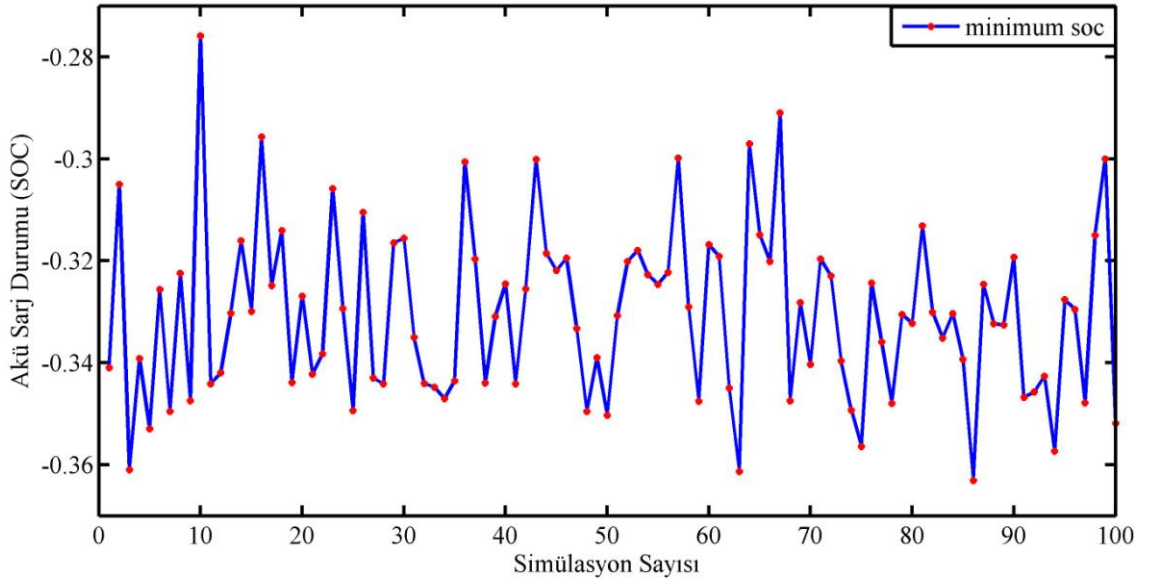
Bir aylık dinamik verilere bağlı olarak simülasyonumuz 3 farklı PV panel (1980W,2520W,3060W) gücüne, türetilmiş 100 rüzgar hızı verisine göre ve 3 farklı batarya boyutu için çalıştırılmıştır. Aşağıda bu simülasyonların sonuçları verilmiştir.

Durum 1 için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından 100 farklı rüzgar hızının her birinde akü grubu için başlangıç enerji değeri 90 MJ olarak seçilmiştir. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16 Durum 1 için 90 MJ'lük Akü Şarj Durumu

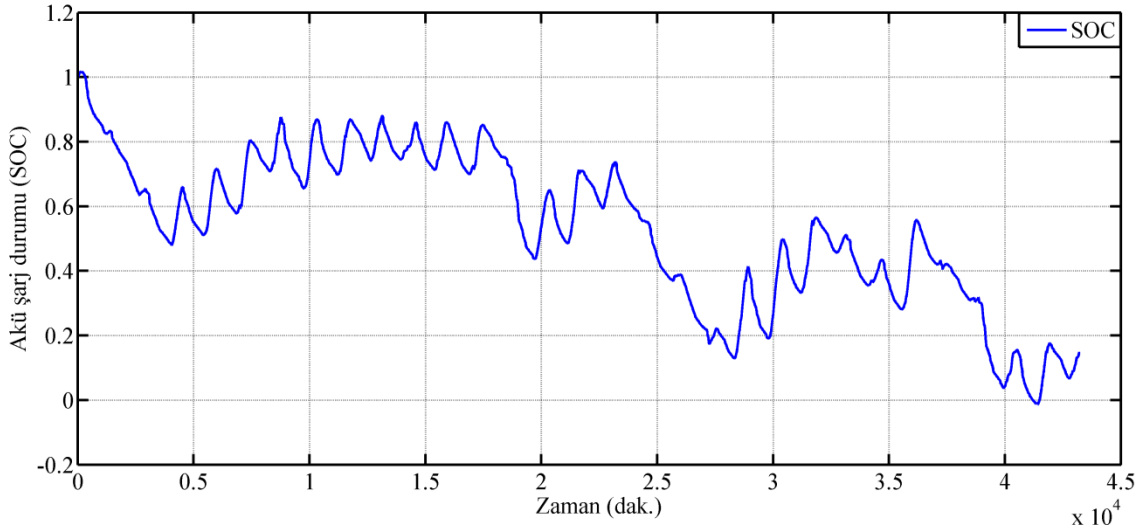
100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC 'ın aldığı minimum değerler Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Durum 1 için 90 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

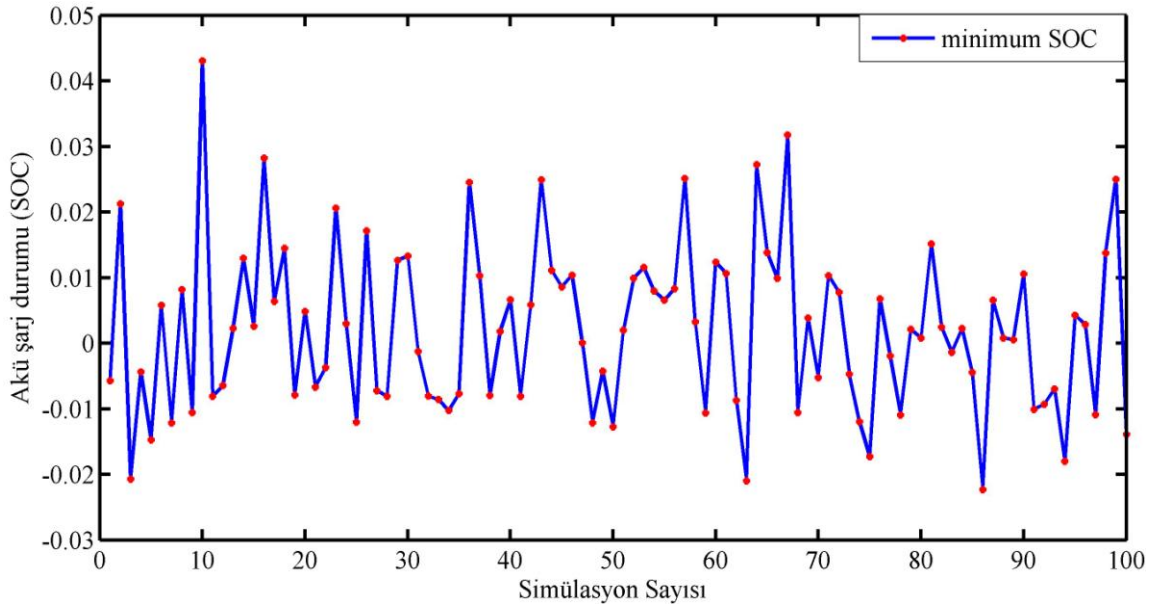
Şekil 3.17'den görüleceği gibi 1980W'lık güneş panelleri, 2500W'lık rüzgar türbini ve 90MJ'lük batarya için 100 farklı durumda da bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin altında kalmıştır. Bu durumda seçilen batarya kapasitesinin yetersiz olduğu anlamına gelmektedir.

Batarya kapasitesini 120 MJ olarak değiştirerek yeni sistem simülasyonları tamamlanmıştır. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi şekil 3.18’de verilmiştir.



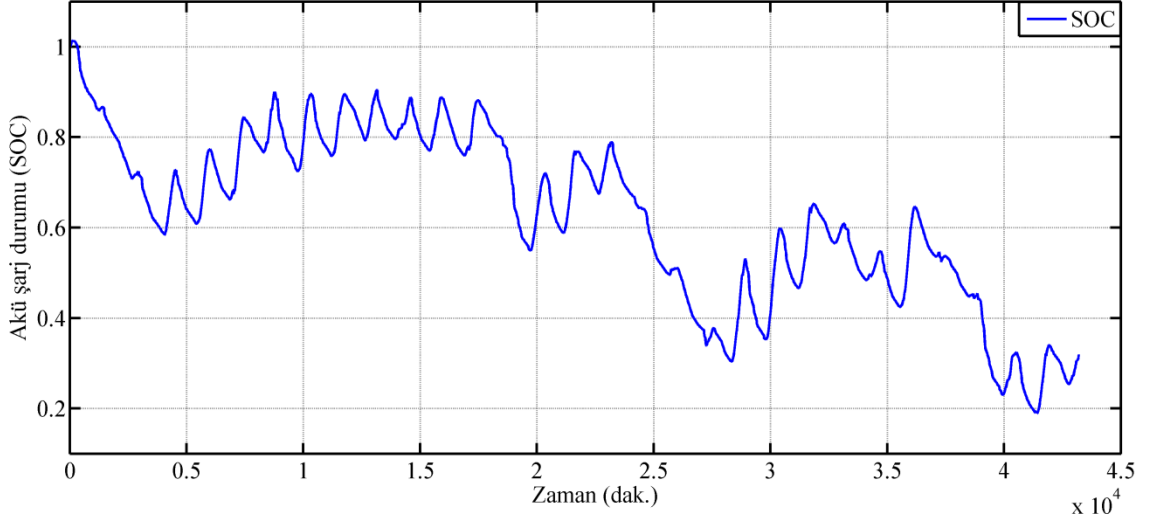
Şekil 3.18 Durum 1 İçin 120 MJ’lük Akü Şarj Durumu

100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC ‘ın aldığı minimum değerler Şekil 3.19’da verilmiştir.



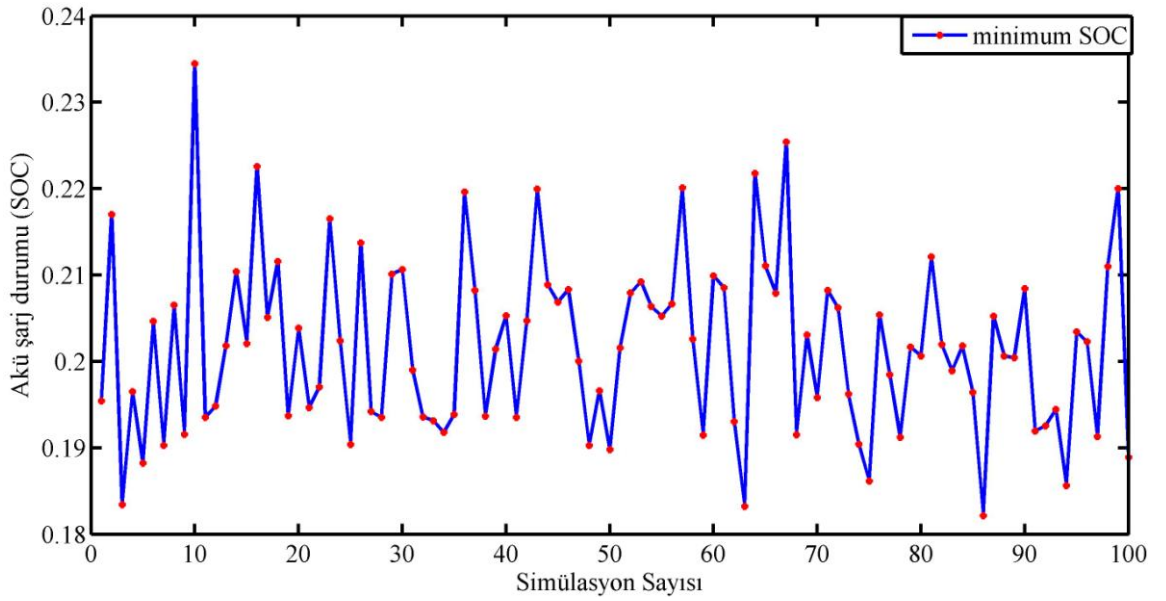
Şekil 3.19 Durum 1 İçin 120 MJ’lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Şekil 3.19'dan görüldüğü gibi 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan sistem analizinde bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin altında kalmıştır. Buradan seçilen batarya kapasitesinin yetersiz kaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Batarya kapasitesi 150 MJ yapılarak yeniden sistem simülasyonları tamamlanmıştır. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20 Durum 1 için 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu

Akü grubu kapasitesi 150 MJ alındığında 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC 'ın aldığı minimum değerler Şekil 3.21'de verilmiştir.



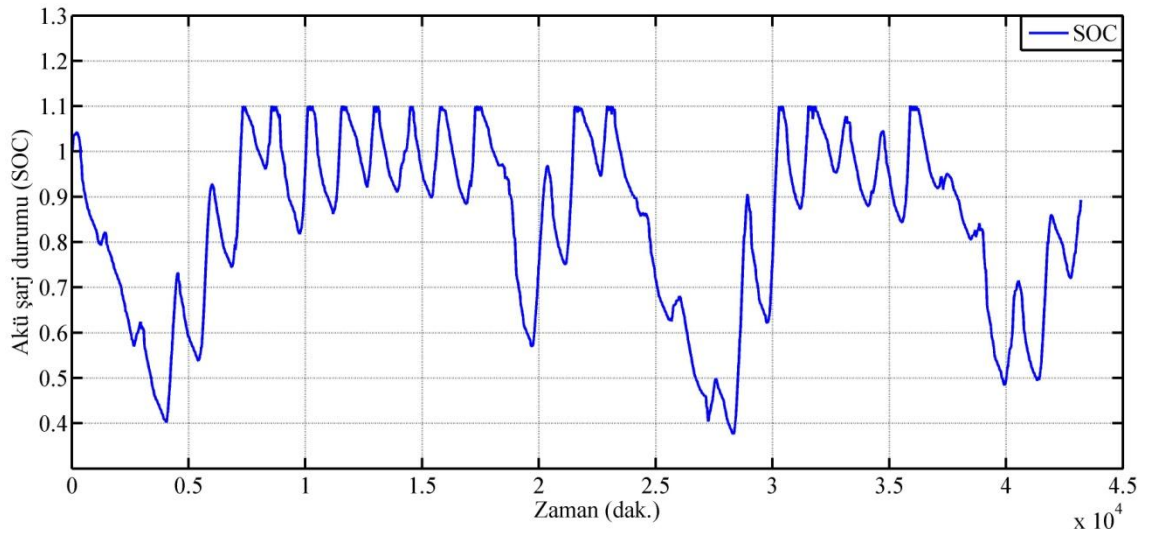
Şekil 3.21 Durum 1 İçin 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Şekil 3.21'den görüldüğü gibi 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan sistem analizinde bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin altında kalmıştır. Buradan seçilen batarya kapasitesinin yetersiz kaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Durum 1'de incelenen 1980W güneş paneli, 2500W rüzgar türbini ve 3 farklı batarya durumu için yapılan incelemelerden seçilen batarya boyutlarının yükü kesintisiz karşılaması ($SOC \geq \%40$ şartı yerine getirilmediğinden) mümkün olmamıştır. Güneş panellerinin sayısını artırmak, rüzgar türbini çıkış gücünü değiştirmekten daha pratik olduğundan, güneş panellerin sayısı artırılarak yeni bir analiz yapılmıştır.

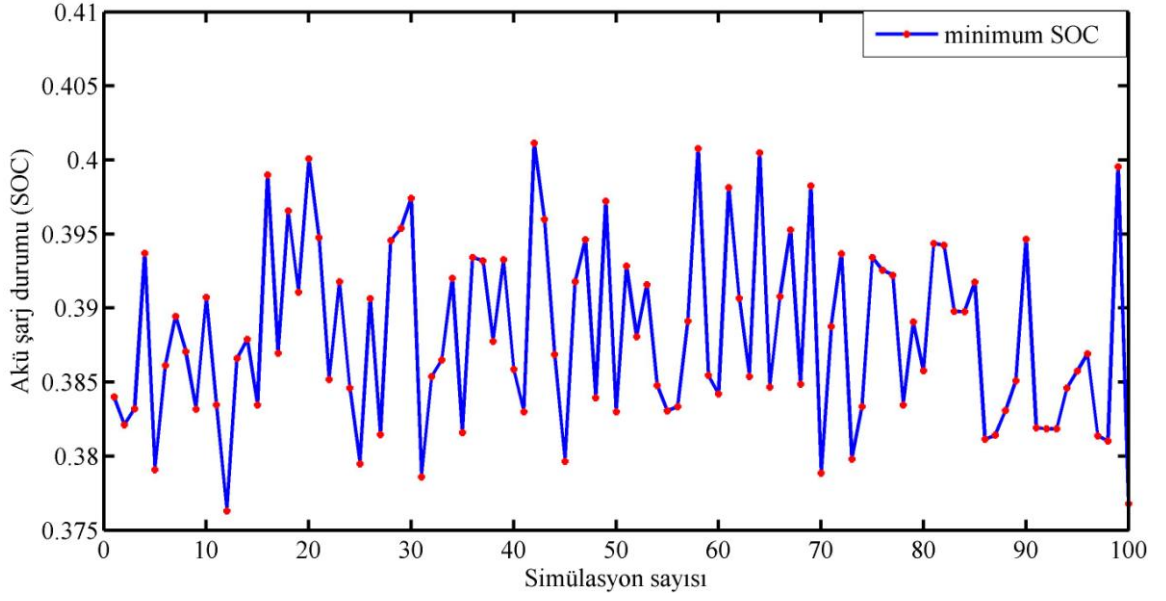
Bu durumda güneş panelleri çıkış gücü 2520W olması için 3 farklı batarya boyutu için 100 farklı rüzgar hızı durumunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

100 farklı rüzgar hızının her birinde akü grubu için başlangıç enerji değeri 90 MJ olarak seçilmiştir. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi Şekil 3.22'de verilmiştir.



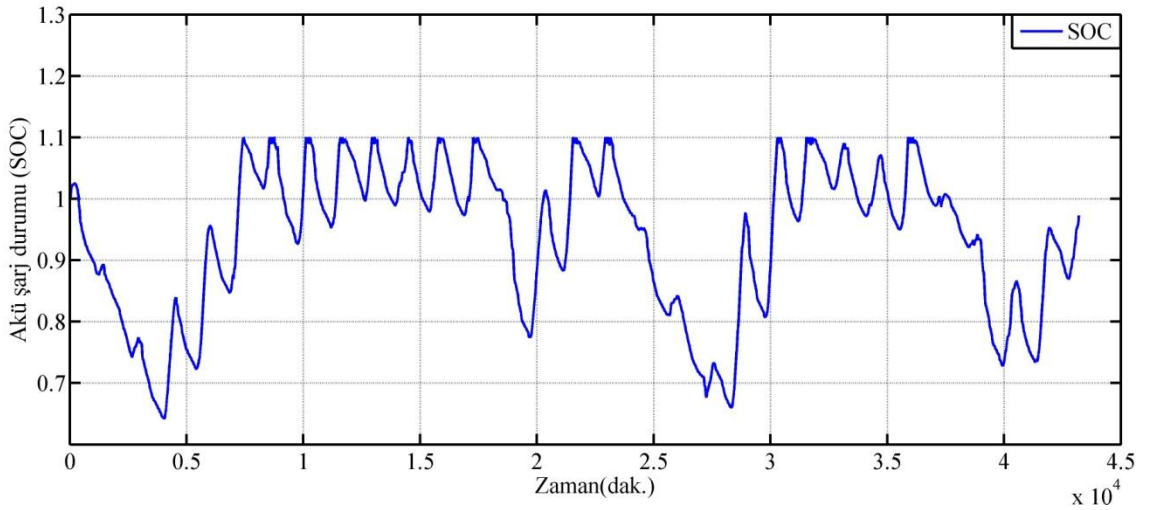
Şekil 3.22 Durum 2 İçin 90 MJ'lük Akü Şarj Durumu

100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC 'ın aldığı minimum değerler Şekil 3.23'te verilmiştir.



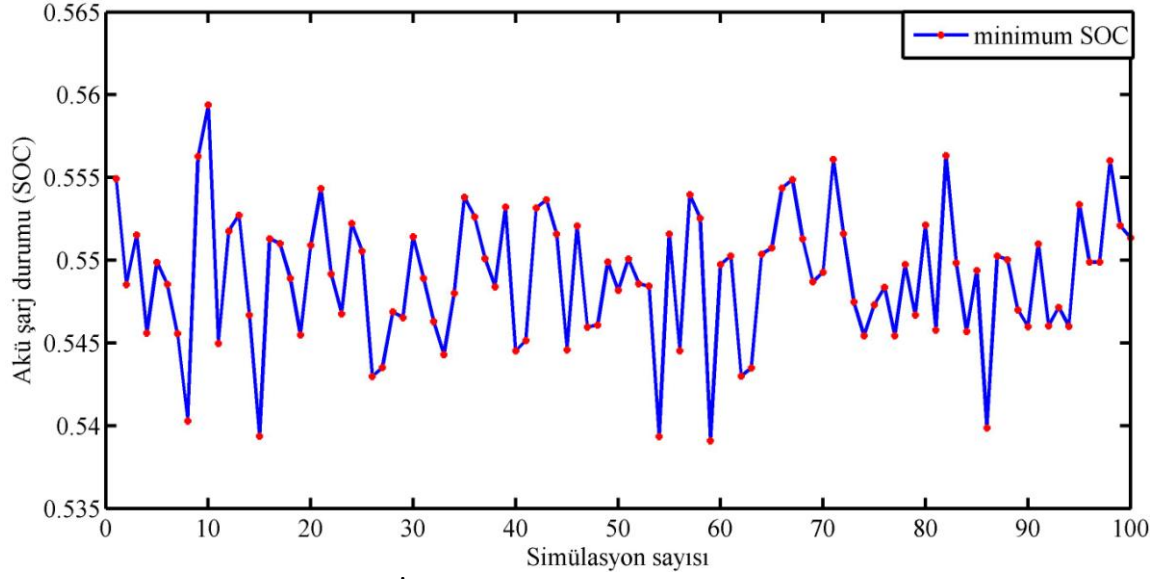
Şekil 3.23 Durum 2 İçin 90 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Şekil 3.23'ten görüldüğü gibi 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan sistem analizinde bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin birkaç kez üzerinde kalabilmiştir. Buradan seçilen batarya kapasitesinin yetersiz kaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Batarya kapasitesi 120 MJ yapılarak yeniden sistem simülasyonları tamamlanmıştır. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi şekil 3.24'te verilmiştir.



Şekil 3.24 Durum 2 İçin 120 MJ'lük Akü Şarj Durumu

100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC 'ın aldığı minimum değerler Şekil 3.25'te verilmiştir.

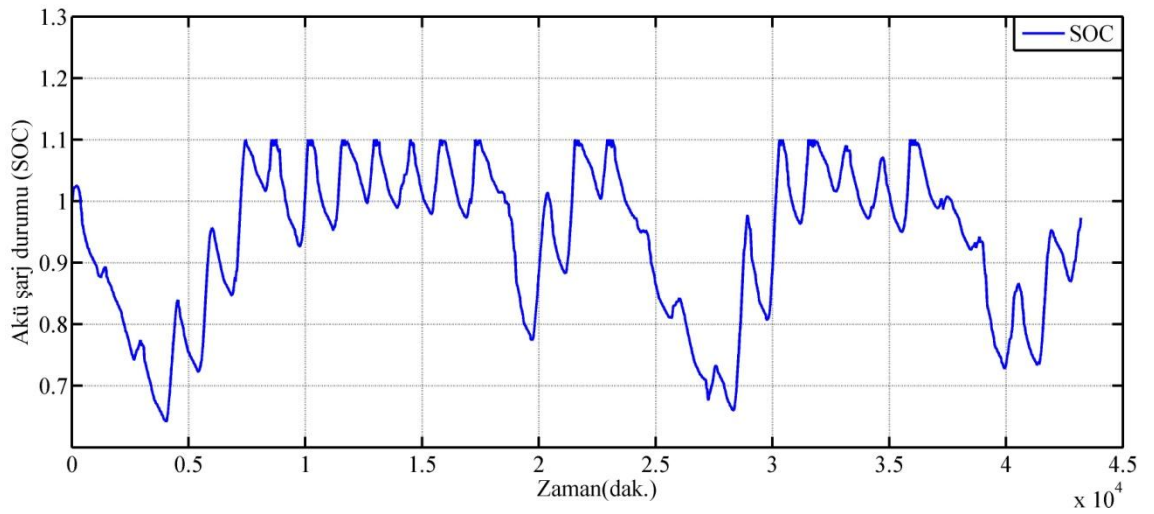


Şekil 3.25 Durum 2 İçin 120 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Şekil 3.25'ten görüldüğü gibi 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan sistem analizinde bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin üzerinde kalmıştır. Buradan seçilen batarya kapasitesinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

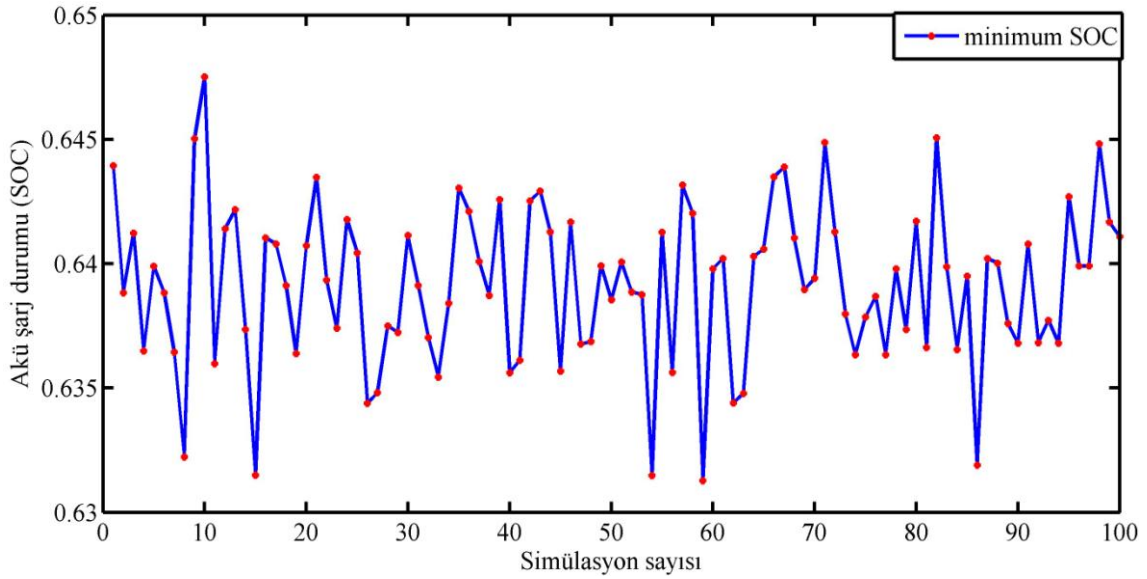
Bundan sonraki akü kapasiteleri içinde simülasyon sonuçları, sitemin deşarj durumunun görülmesi ve SOC minumum noktalarının hangi seviyelerde seyredeceğine bakılması açısından devam edilmiştir. Batarya kapasitesi 120 MJ yapılarak yeniden sistem simülasyonları tamamlanmıştır.

Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26 Durum 2 İçin 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu

100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC 'ın aldığı minimum değerler Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27 Durum 2 İçin 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

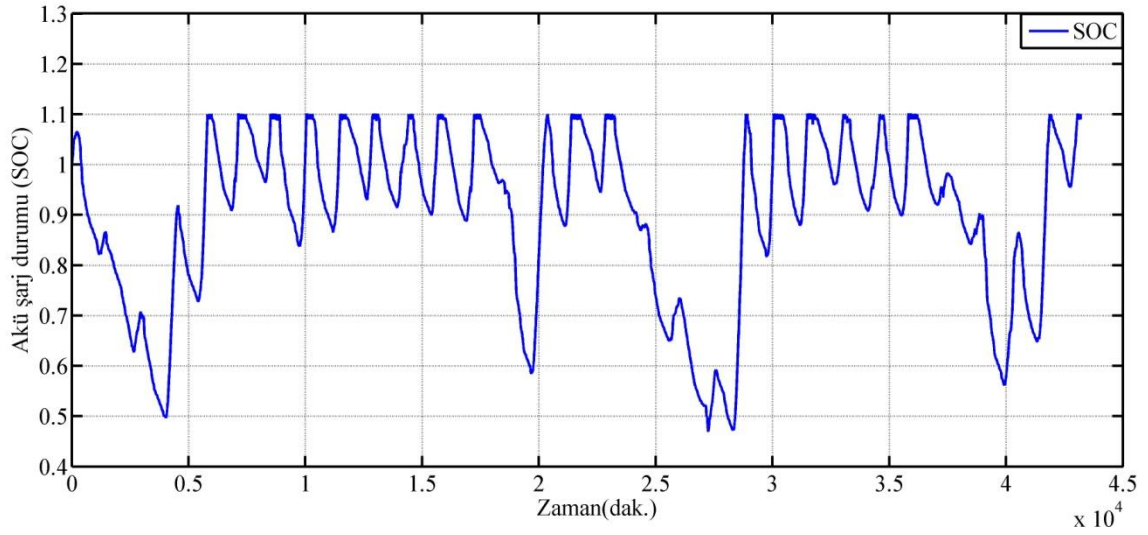
Şekil 3.27'den görüldüğü gibi 100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan sistem analizinde bataryanın SOC'si istenilen %40 değerinin hep üzerindedir. Buradan seçilen batarya kapasitesinin boyutlandırma açısından fazla seçildiği ve bununda gereksiz maliyet oluşturacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Durum 2'de incelenen 2520W güneş paneli, 2500W rüzgar türbini ve 3 farklı batarya durumu için yapılan incelemelerden seçilen batarya boyutlarından 120 MJ ve 150 MJ için yükü kesintisiz karşılanması ($SOC \geq \%40$ şartı) mümkün olmuştur.

Durum 3'te akü grubunun kapasitesi yerine solar panellerin sayısını artırarak da rüzgar türbini çıkış gücünü değiştirmeden $SOC \geq \%40$ şartının sağlanabileceğini göstermek amacıyla güneş panellerin sayısı artırılarak 3060 W yapılmış ve buna göre yeni bir analiz yapılmıştır.

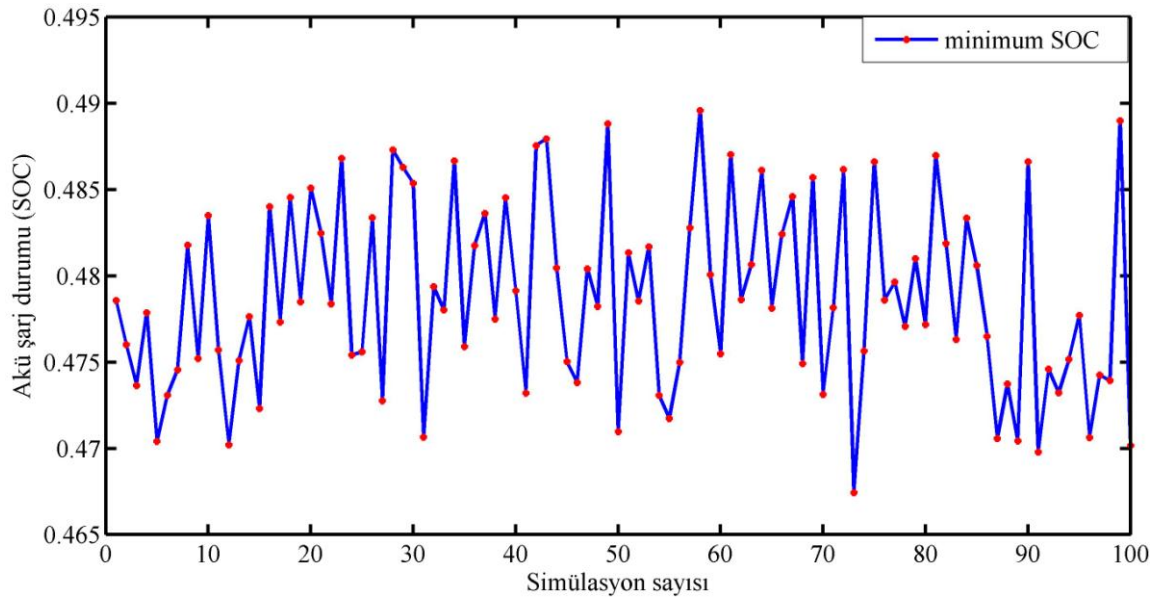
Bu durumda güneş panellerinden alınabilecek çıkış gücünün 3060 W olması durumunda, 3 farklı batarya boyutu için 100 farklı rüzgar hızı durumunda elde edilen sonuçlar özetlenmiştir:

100 farklı rüzgar hızının her birinde akü grubu için başlangıç enerji değeri 90 MJ olarak seçilmiştir. Bu durumda yapılan aylık simülasyon sonucunda belli bir rüzgar hızı durumu için bataryanın SOC değişimi Şekil 3.28’de verilmiştir.



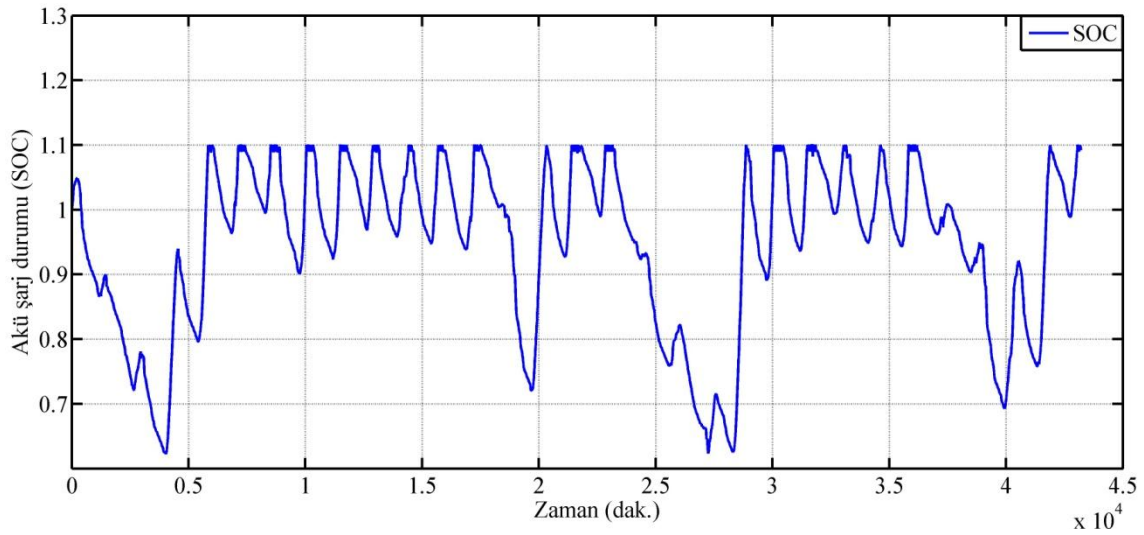
Şekil 3.28 Durum 3 İçin 90 MJ’lük Akü Şarj Durumu

100 farklı rüzgar hızı durumu için yapılan simülasyonlardan elde edilen batarya SOC ‘ın aldığı minimum değerler Şekil 3.29’da verilmiştir.



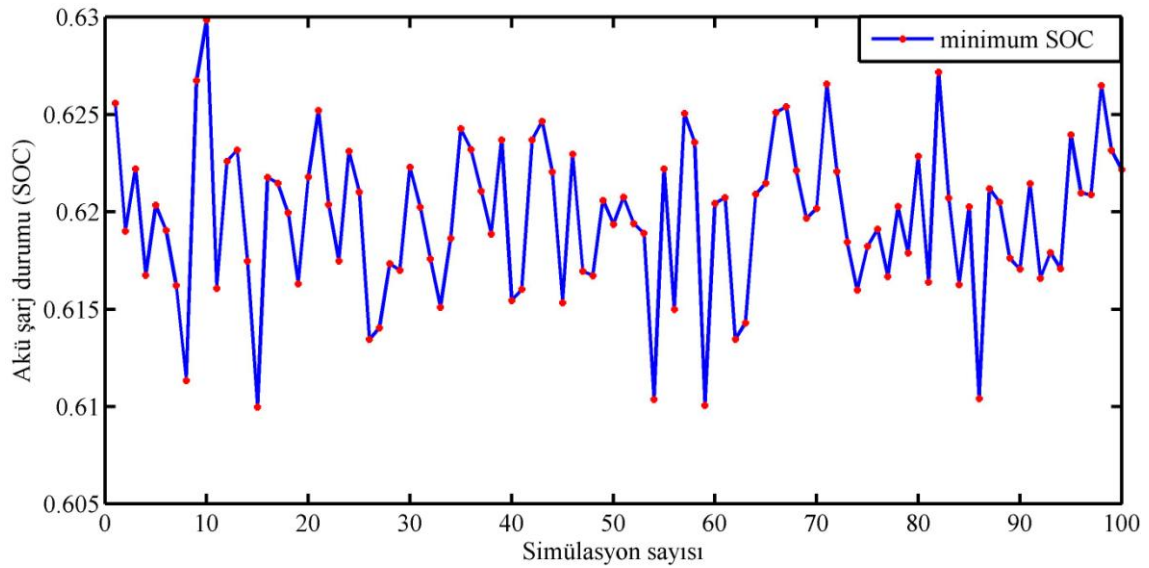
Şekil 3.29 Durum 3 İçin 90 MJ’lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Durum 3 için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından 100 farklı rüzgar hızının her birinde akü grubu için başlangıç enerji değeri 120 MJ olarak seçilmiştir. Buna göre çalıştırılan simülasyon sonucu sistemin ortalama şarj durumu Şekil 3.30’da verilmiştir.



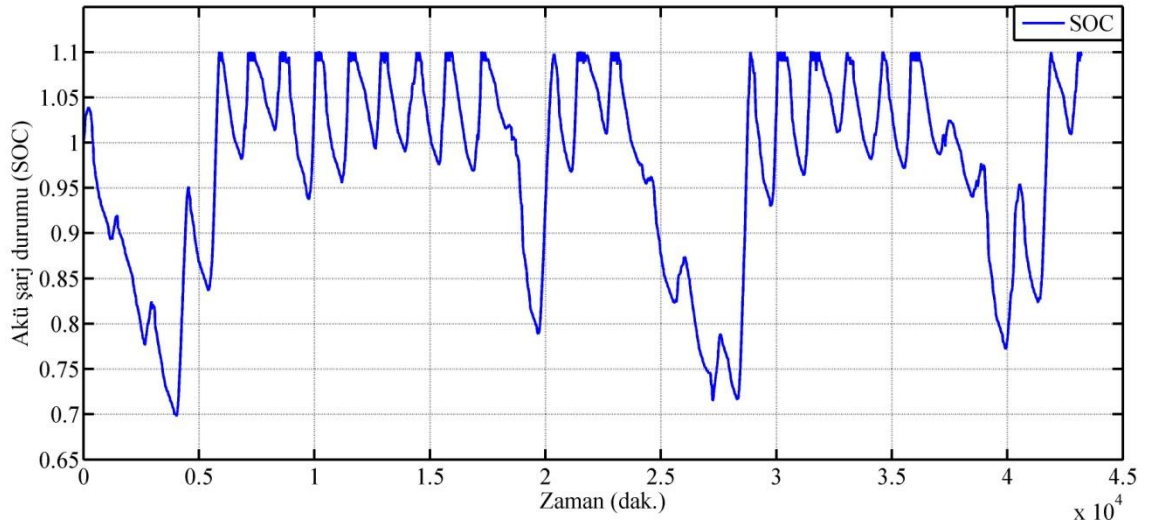
Şekil 3.30 Durum 3 için 120 MJ’lük Akü Şarj Durumu

Ayrıca 100 farklı rüzgar durumu için ayrı ayrı simüle edilen akü desarj durumlarının minimum noktaları şekil 3.31’de verilmiştir.



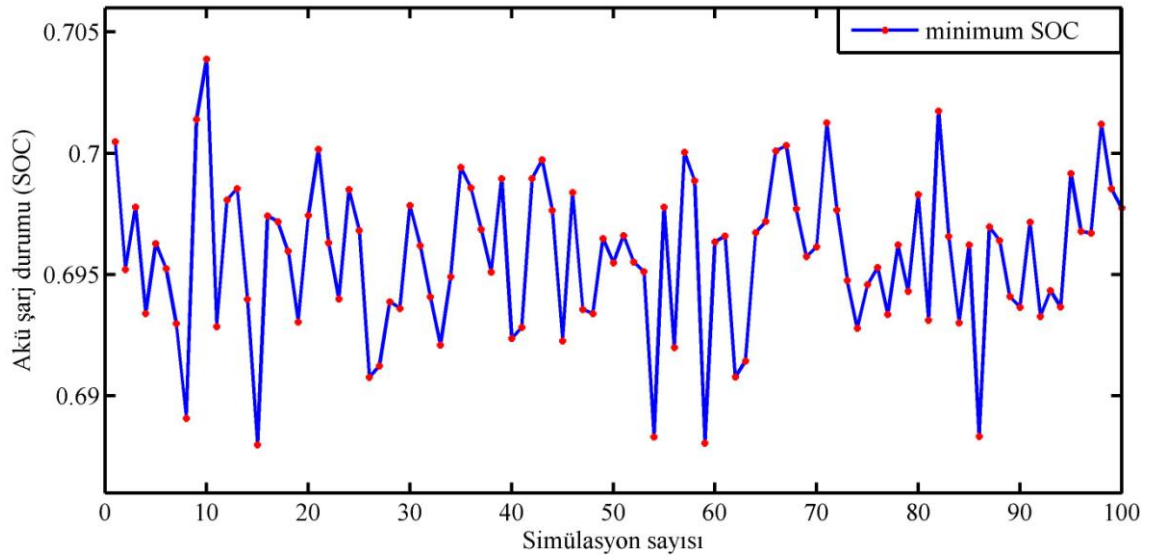
Şekil 3.31 Durum 3 için 120 MJ’lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Durum 3 için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından 100 farklı rüzgar hızının her birinde akü grubu için başlangıç enerji değeri 150 MJ olarak seçilmiştir. Buna göre çalıştırılan simülasyon sonucu sistemin ortalama şarj durumu Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32 Durum 3 için 150 MJ'lük Akü Şarj Durumu

Ayrıca 100 farklı rüzgar durumu için ayrı ayrı simüle edilen akü desarj durumlarının minimum noktaları şekil 3.33'te verilmiştir.

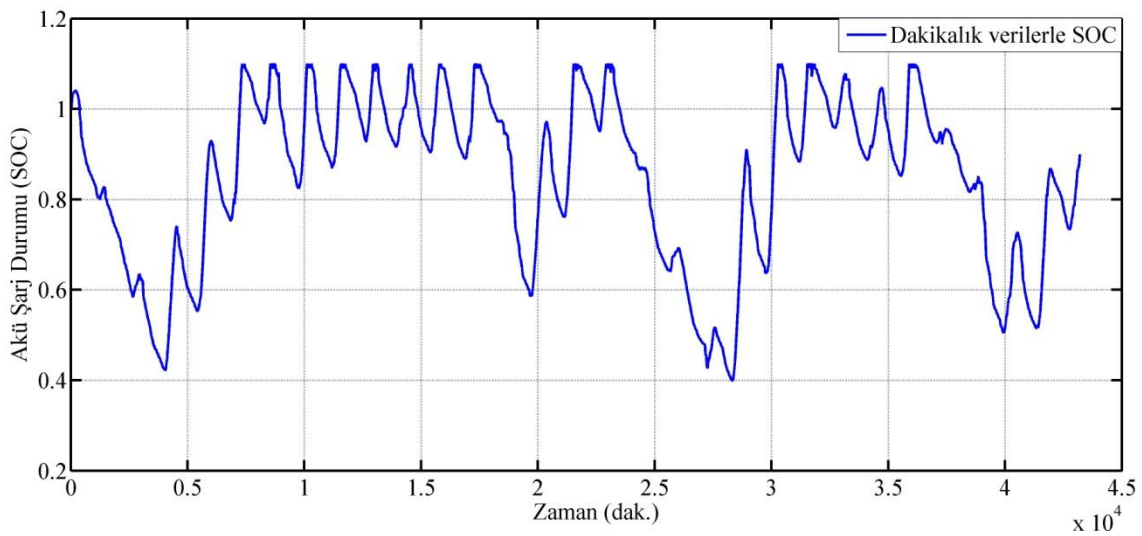


Şekil 3.33 Durum 3 için 150 MJ'lük Akü Minimum Deşarj Noktaları

Durum 3'te verilen akü boyutlarından 90 MJ olan ile 3060 W PV panel grubu durumunda istenilen $SOC \geq \%40$ şartının sağlandığı görülmektedir. Buradan akü boyutunun PV panel gününü arttırarak düşürülebileceği görülmektedir. Fakat bu PV panellerin fazla alan kaplamasından tercih edilen bir durum olmamaktadır.

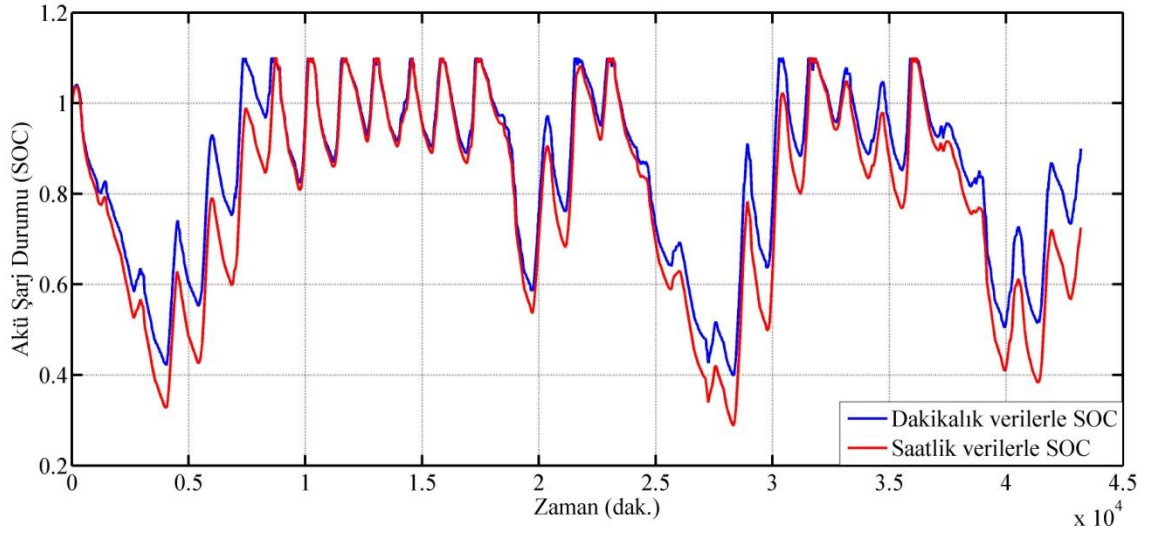
Buradan akü kapasitesinin çok yüksek seçilmesiyle de istenilen $SOC \geq \%40$ şartının sağlanacağı görülmektedir. Fakat bu maliyet açısından hemde boyutlandırma açısından uygun olmayan yanlış bir sistem oluşturulması anlamına gelmektedir.

Durum 2’de incelenen 2520 W güneş paneli, 2500 W rüzgar türbini ve 120 MJ akü kapasitesinde yapılan simülasyonda istenilen akü sarj durumunu sağlayan en yakın sonuçlar alınmıştır. 90 MJ ile 120 MJ akü kapasitesi arasında sistemin en uygun kapasitesinin olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuç üzerinden sistemimiz için en uygun akü kapasitesi 93,6 MJ olarak bulunmuştur. Buna ait dakikalık verilerle yapılan simülasyon sonuçları Şekil 3.34’te verilmiştir.



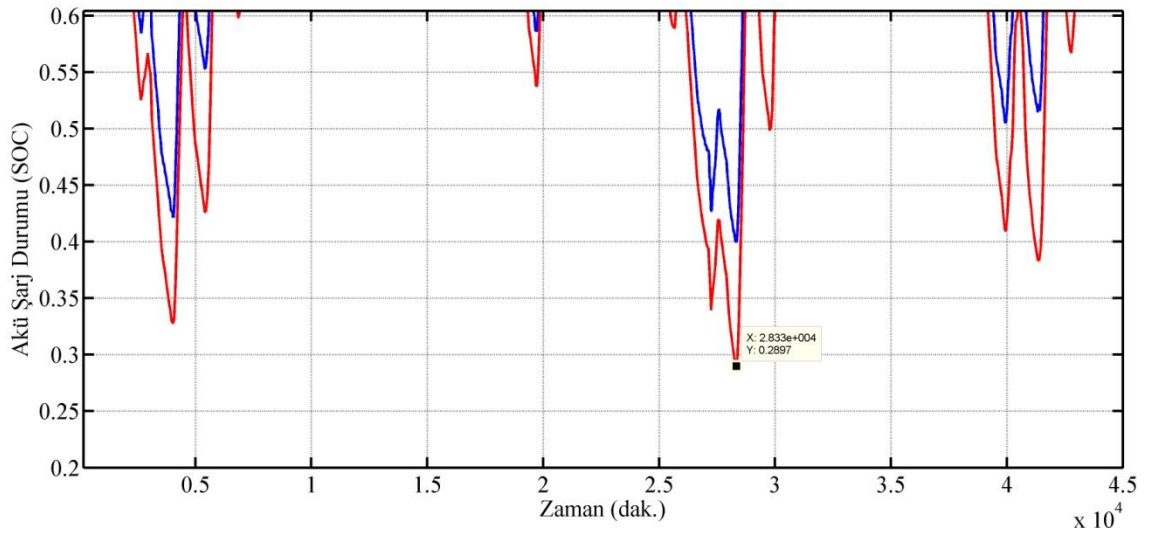
Şekil 3.34 $SOC \geq \%40$ Şartının Sağlandığı 93,6 MJ’lük Akü Boyutu İçin Şarj Durumu

Oluşturduğumuz hibrit sistem koşullarında, aynı akü boyutunda (93,6 MJ) saatlik verilerin kullanılması durumunda akü şarj durumunun, dakikalık verilerin kullanılması durumundaki akü şarj durumuyla olan farkı Şekil 3.35’te verilmiştir.

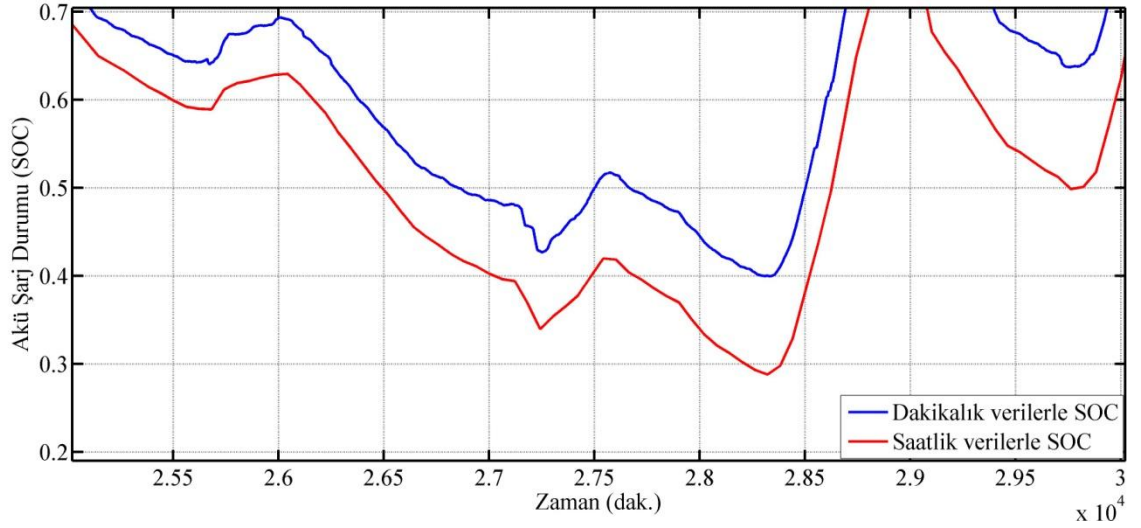


Şekil 3.35 Dakikalık ve Saatlik Verilerle Yapılmış Simülasyon SOC Karşılaştırması

Şekil 3.35'te verilmiş karşılaştırmanın minimum noktalarındaki fark Şekil 3.36'de ve Şekil 3.37'de daha net görülmektedir.



Şekil 3.36 Dakikalık ve Saatlik Verilerin Minimum Noktaları Arasındaki Fark



Şekil 3.37 Dakikalık ve Saatlik Verilerin Minimum Noktaları Arasındaki Değişim

Yukarıdaki grafiklere bakıldığında saatlik ortalama veriler kullanılarak yapılmış bir boyutlandırmanın dakikalık verilere göre kıyaslandığında aynı akü kapasitesi için gerekli $SOC \geq \%40$ şartını sağlayamadığı görülmektedir. Buradan saatlik veriler kullanılarak yapılacak bir boyutlandırmada akü kapasitesinin gereksiz yere daha fazla seçileceği ortaya çıkmaktadır. Saatlik verilerle yapılacak bir boyutlandırmada akü kapasitesi için gerekli $SOC \geq \%40$ şartını sağlayacak akü kapasitesi 108 MJ olmaktadır. Bu durumda dakikalık veriler ışığında bulunan akü kapasitesi 93,6 MJ ile saatlik veriler ile bulunan akü kapasitesi arasında 14,4 MJ lük bir fark oluşmaktadır. Bu değer 4 kWs'lik bir enerjiye eşit gelmektedir.

Bu sonuçlara göre; saatlik verilerle yapılacak bir sistem analizinden hesaplanacak akü boyutu, 14,4 MJ daha fazla hesaplanacak ve akü boyutlandırmasında % 15,4'lük bir fazla kapasite alımına sebep olacaktır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada şebekeden bağımsız bir ev için kaynak ve yük dinamikleri dikkate alındığında sistem analizi yapılmıştır. Sistem analizinde evin yük ihtiyacının kesintisiz karşılanmasını sağlayacak bir sistem boyutlandırması yapılmıştır. Bu analiz için, dakikalık olarak alınmış rüzgar hızı, ışıınım ve sıcaklık değerleri İstanbul şartlarında kaydedilmiş ve elde edilen veriler işlenerek kullanılmıştır. Yine İstanbul'da bulunan bir evin yük talebi enerji analizörü kullanılarak yüksek çönnürlükte kaydedilmiş ve analiz için kullanılmıştır. Sistem analizi için, Matlab/Simulink programı kullanılarak oluşturulmuş hibrit sistem modeli kullanılmıştır. Hibrit sistem modeli fotovoltaiik hücrenin matematiksel modeli, rüzgar türbini güç modeli, değışken verimli inverter modeli ve Akü modeli ve bunların arasında kontrolü sağlayan kontrol modelinden oluşmaktadır. Simulasyon için oluşturulmuş model, fotovoltaiik panellerin ışıınım ve sıcaklığa bağılı olarak vereceğı maksimum çıkış gücü ile rüzgar türbininin rüzgar hızına bağılı olarak vereceğı güç değerini toplayarak, evin güç talebini karşılamaktadır. Burada yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gücün, talep gücünden fazla veya az olması durumunda enerji sürekliliğı için akü grubu devreye girmektedir. Üretilen gücün talep gücünden fazla olduğunda fazla enerji akülerde depolanmaktadır. Aküler fazla enerjiyi kapasitelerinin %10 fazlasına kadar depolamaktadır. Akü kapasitesi dolduğunda kontrol sinyali ile Rüzgar türbini ve fotovoltaiik panellerden gelen enerji röle aracılığı ile kesilmektedir. Üretilen güç talep gücünden az olduğunda yük talebinin eksik kısmı akü grubu tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda aküler deşarj olmaktadır.

Hibrit sistem analizinde akü grubunun istenilen $SOC \geq \%40$ şartını sağlayacak şekilde kapasitesinin bulunması için 3 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu durumlara göre yapılan simülasyon sonuçlarından hibrit sistem için en uygun akü kapasitesi 93 MJ bulunmuştur. Aynı analizin literatürde yaygın olarak kullanılan ortalama saatlik verilerle yapıldığında akü grubunun istenilen $SOC \geq \%40$ şartını sağlayacak kapasitesi 108 MJ bulunmuştur. Bu durumda yük ve kaynak tarafında dakikalık verilerin kullanılmasıyla yapılmış bir akü boyutlandırmasının, saatlik verilerle kıyaslandığında %15.4 lük bir akü kapasitesi farkı oluşturduğu görülmüştür. Buradan saatlik verilerle yapılmış bir akü boyutlandırmasında çözünürlüğü daha yüksek dakikalık verilerle yapılmış bir boyutlandırmaya göre yaklaşık %15 daha fazla akü kullanımı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma hibrit sistemlerin analizinde kullanılacak verilerin dinamik etkisinin dikkate alınarak yapılmasının sistemin doğru boyutlandırılması ve ilk yatırım maliyetinin daha doğru tespiti açısından etkinliğini ortaya koymaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda sistem analizinde hem kaynak hem de yük verilerinin çözünürlüğünün maksimize edilmesinin daha etkin bir boyutlandırma sonucu için gerekliliği ortadadır. Dakikalık veriler ile saatlik ortalama verilerin %15 lik bir fark oluşturduğu dikkate alınırsa, daha dinamik (saniyelik) verilerle yapılacak sistem analizlerinden daha doğru sonuçların alınacağı söylenilebilir. Bunun içinde verilerin toplanmasında daha yüksek çözünürlüklü kayıtlara imkan verecek ölçüm cihazlarının geliştirilmesi ve akademik ve mühendislik uygulamalarında kullanılmalarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Nandi S.K. ve Ghosh, H.R., (2010) "Prospect of Wind-PV-Battery Hybrid Power System as an Alternative to Grid Extension in Bangladesh", Elsevier Energy, 35:3040-3047.
- [2] Ai, B., Yang, H., Shen, H., Liao, X., (2002) "Computer-aided Design of PV/wind Hybrid System", Pergamon Renewable Energy, 28: 1491–1512.
- [3] Qi, Y., Jianhua Z., Zifa, L., Shu, X. ve Weiguo L. (2008) "A New Methodology for Optimizing the Size of Hybrid PV/wind System", IEEE ICSET, 978.
- [4] Diaf, S., Diaf, D., Belhamel, M., Haddadi, M. ve Louche, A. (2007) "A Methodology for Optimal Sizing of Autonomous Hybrid PV/wind System", Elsevier Energy Policy, 35:5708–5718.
- [5] Borowy, B.S. ve Salameh, Z.M., (1996), "Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System", IEEE Transactions on Energy Conversion, 367-374.
- [6] Asano, H. ve Bando, S., (2006), "Load Fluctuation Analysis of Commercial and Residential Customers for Operation Planning of a Hybrid Photovoltaic and Cogeneration System", IEEE, 1-6.
- [7] Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L. ve Yang, H., (2010), "Current Status of Research on Optimum Sizing of Stand-alone Hybrid Solar–Wind Power Generation Systems", Elsevier Applied Energy, 87: 380–389.
- [8] Belfkira, R., Nichita, C. ve Barakat, G., (2008), "Modeling and Optimization of Wind/PV System for Stand-Alone Site", Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines.
- [9] Kellogg, W.D., Nehrir, M.H., Venkataramanan, G. ve Gerez, V., (1998), "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind/PV Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, 70-75.
- [10] Nehrir, M.H., LaMeres, B.J., Venkataramanan, G., Gerez, V. ve Alvarado, L. A., (2000), "An Approach to Evaluate the General Performance of Stand-Alone Wind/Photovoltaic Generating Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, 433-439.

- [11] Li, C., Zhu, X., Cao, G., Sui, S. ve Hu, M., (2009), "Dynamic Modeling and Sizing Optimization of Stand-Alone Photovoltaic Power Systems Using Hybrid Energy Storage Technology", Elsevier Renewable Energy, 34:815–826.
- [12] Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A. ve Kalaitzakis, K., (2005) "Methodology for Optimal Sizing of Stand-Alone Photovoltaic/Wind-Generator Systems Using Genetic Algorithms", Elsevier Solar Energy, 80:1072–1088.
- [13] Zhang, F., Li, H. ve Wang Y., (2009) "Generation Matching and Economic Evaluation of Household Wind/PV Hybrid Power System", Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, 25-27 Eylül, Chengdu China.
- [14] Lim, J.Y., (2004) "A Study on the Stand-Alone Operating or Photovoltaic Wind Power Hybrid Generation System", 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2095-2099.
- [15] NASA, Solar Superstorm, www.science.nasa.gov, 19 Nisan 2011
- [16] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş ve Enerji, <http://www.enerji.gov.tr/> 20 Nisan 2011
- [17] Batman, M.A., (2001) "Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Artırıcı Yeni Bir Yöntem", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [18] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, EİE Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, 20 Nisan 2011
- [19] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, EİE Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Aciklamalar.aspx>, 20 Nisan 2011
- [20] Spring, K. H., (1965). Direct Generation of Electricity, Academic Press, New York.
- [21] Reference Answers, Solar Cells, <http://www.answers.com/topic/solar-cell>, 04 Mayıs 2011
- [22] Alaçakır, T., (2001). "Didim Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemi", Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2001-9, , Ankara, 1-3.
- [23] Gilbert M. M., (2004), Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons Hoboken, USA, 471-486.
- [24] Luque, A. Ve Hegedus, S., (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley, West Sussex-England.
- [25] Quaschnig, V., (2003). Understanding Renewable Energy Systems, Third Edition, Earthscan, UK, Page 131-137.
- [26] Luque, A., Hegedus, S. (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley & Sons Hoboken, USA, Page 102-103.
- [27] Elkholy, A., Fahmy, F.H., Elela, A.A., (2010), "A New Technique for Photovoltaic Module Performance Mathematical Model", Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE) 2010 International Conference, 1-3 August 2010, Kyoto.

- [28] Moralı D., Uyar T. S., (2005), "Alternatif Enerji Kaynakları ve Teknolojiler, Türkiye ve Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma Potansiyeli", Bilim ve Gelecek: 11, 16-21, 30-32 .
- [29] Tekin, K., (2006). Rüzgâr Santrali İçeren Elektrik Sistemlerinde Etkilenmeler ve Kısa-devre İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] Şen Ç., (2003). Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılanması, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [31] Moralı D., Uyar T. S., (2005), "Alternatif Enerji Kaynakları ve Teknolojiler, Türkiye ve Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma Potansiyeli", Bilim ve Gelecek: 11, 16-21, 30-32 .
- [32] Ültanır, M. O., (1998). 21.Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD Yayınları, İstanbul.
- [33] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Atlası, <http://www.dmi.gov.tr>, 05 Mayıs 2011
- [34] Ural, G., (1994). Rüzgar Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri I, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- [35] Patel, M.R., (2006). Wind and Solar Power System Desing Analysis and Operation, Second Edition, CRC Press, New York.
- [36] Akdağ A. S., Güler Ö. (2008), "Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (Utes'2008), İstanbul
- [37] Justus C. G., Hargraves W.R., Yalcın A., (1976). Nationwide Assessment of Potential Output from Wind-Powered Generators, Amarican Meteorological Society, 15: 673-678
- [38] Karatepe E., Boztepe M., Çolak M., (2007). "Development of A Suitable Model for Characterizing Photovoltaic Arrays with Shaded Solar Cells", Elsevier, 81: 977-992
- [39] Ropp, M.E., Gonzalez S., (2009). "Development of a MATLAB/Simulink Model of a Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System", IEEE Transactions On Energy Conversion, 24:195-202.
- [40] Norm Enerji Sistemleri, Aneles GP Series Monocrystalline Solar Modules, <http://www.solar-bazaar.com/gunes.asp?id=294>, 07 Mayıs 2011.
- [41] http://www.americanzephyr.com/img/am_printable_version.pdf, 08 Mayıs 2011
- [42] Selamogullari, U.S., Torrey, D.A. ve Salon, S. (2010), "A Systems Approach for a Stand-Alone Residential Fuel Cell Power Inverter Design", IEEE Transactions on Energy Conversion, 25:741-749.
- [43] Selamoğulları, U.S., Willemain, T.R. ve Torrey, D.A., (2007), "A Systems Approach for Sizing a Stand-alone Residential PEMFC Power System", Elsevier Journal of Power Sources, 171:802-810.

- [44] Uzunoğlu, M., Onar, O.C. ve Alam, M.S., (2008), "Modeling, Control and Simulation of a PV/FC/UC Based Hybrid Power Generation System for Stand-alone Applications", Elsevier Renewable Energy, 34:509-520.

MATLAB M-FILE

Simulasyonun verilerini otomatik alıp sonuçları dosya olarak kaydetmesini sağlayan m-file;

```
% Hibrit sistem simulasyonu otomatik çalıştırma

clear all

clc

t=input('simulasyon çalışma süresi(t)giriniz: ');

time=t;
tic

for yy=1:3

    if yy==1

        int_degeri=1500000

    elseif yy==2

        int_degeri=2000000

    elseif yy==3

        int_degeri=2500000

    end

h=1;

for i=1:100
```

```

xx =i ;

R=load(['r',num2str(xx),'.mat']);
R=R.R;
G=load('solar_simulasyon_icin.mat');
G=G.G;
L=load('yukdata_simulasyon_icin.mat');
L=L.L;
T=load('sicaklik_data.mat');
T=T.T;
% Dataları simülasyona okuttuktan sonra simülasyon çalışmaya başlar
sim('Hibrid_simulation',[0 time(end)]);

minsoc(h)=min(soc_to_workspace);
soc100durum(h)=Soc_scope;

h=h+1;

end

filename=['KAYIT_DOSYASI',num2str(int_degeri),'_','.mat'];

save(filename,'minsoc','int_degeri',
'soc_to_workspace','soc100durum');

clear minsoc
clear int_degeri
clear soc_to_workspace
clear soc100durum
clear h

end

yy

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur ELMA
Doğum Tarihi ve Yeri : 20/02/1986 Biga
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : onurelma@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniveristesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Çapa Anadolu Ö. Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010- Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniveristesi	Araştırma Görevlisi