

Eskişehir ve Yöresinde Enerji Üretimi Amaçlı Güneş Işınımı ve Rüzgar Hızı
Değerlerinin Tespiti ve Kullanılabilirliğinin Analizi

Hasan Donat Yıldızay

DOKTORA TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2015

Determination of Solar Radiation and Wind Speed Values for Energy Generation and
Availability Analysis in Eskisehir Region

Hasan Donat Yıldızay

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mechanical Engineering

January 2015

Eskişehir ve Yöresinde Enerji Üretimi Amaçlı Güneş Işınımı ve Rüzgar Hızı
Değerlerinin Tespiti ve Kullanılabilirliğinin Analizi

Hasan Donat YILDIZAY

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Haydar ARAS

Bu Tez ESOGÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Tarafından 201015023 nolu
proje kapsamında desteklenmiştir.

Ocak 2015

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Hasan Donat YILDIZAY' ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Eskişehir ve Yöresinde Enerji Üretimi Amaçlı Güneş Işınımı ve Rüzgar Hızı Değerlerinin Tespiti ve Kullanılabilirliğinin Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Haydar ARAS

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Haydar ARAS

Üye : Prof. Dr. L. Berrin ERBAY

Üye : Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan YAMIK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Levent BİLİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Haydar Aras danışmanlığında hazırlamış olduğum “Eskişehir ve Yöresinde Enerji Üretimi Amaçlı Güneş Işınımı ve Rüzgar Hızı Değerlerinin Tespiti ve Kullanılabilirliğinin Analizi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 21.01.2015

Hasan D. Yıldızay

ÖZET

Yapılan doktora tezinde; Eskişehir’de enerji üretimi amaçlı rüzgar hızı ve güneş ışıyım potansiyelinin tespiti ve analizi yapılmıştır. Analiz ve değerlendirme amacıyla kullanılan veriler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP Komisyonu tarafından desteklenen 201015023 numaralı proje ile kurulan ölçüm istasyonundan alınmıştır. Veri ölçüm istasyonunun da; 10.m de 1 adet ve 30.m de 2 adet rüzgar hızı ölçüm sensörü, 27.m de 1 adet rüzgar yönü ölçüm sensörü bulunmaktadır. Bu sensörlere ek olarak 3.m ye sıcaklık ölçüm cihazı, basınç ölçüm cihazı, bağıl nem ölçüm cihazı ve 5.m ye toplam ışıyım şiddeti ölçüm cihazı (piranometre) yerleştirilmiştir.

Alınan veriler ile öncelikle potansiyel belirleme çalışması yapılmış ve aylara göre sonuçlar analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; rüzgar hızları ortalaması 30m için 4,1 m/s ve 10m için 3,2 m/s ölçülmüştür. 30m yükseklikteki rüzgar hızlarının hafif sınıfa dahil edilebilir durumda olduğu görülmüştür. 10m deki rüzgar hızlarının da çok hafif sınıf sınırına girmekte olup bu hızlarla enerji üretiminin ekonomik olamayacağı anlaşılmıştır. İstatistiki olarak Minitab ve Easyfit programları kullanılmıştır. Dağılımlara uygunluk testleri için 8 adet dağılım test edilmiştir. Yapılan uygunluk testi sonuçlarına göre Weibull dağılımı en iyi dağılım olarak bulunmuş ve şekil-ölçek parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar Eskişehir bölgesinde enerji üretimi durumu için ticari türbinlere uygulanmıştır. Ülkemizde en çok kullanılan markalara ait türbinlerin performans analizleri 30-50-70 ve 90m yükseklikler için hesaplanmıştır. Eskişehir bölgesinde küçük ölçekli türbinler kullanılması durumunda hub yüksekliği arttıkça üretilen güç ve kullanılabilirlik azalmakta ancak kapasite faktörü artmaktadır. Büyük ölçekli türbinlerin kullanımı durumunda kapasite faktörlerinin düşük olduğu bu nedenle küçük ölçekli türbinler ile enerji üretimi yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Dağılım sonuçlarının ve farklı ticari türbinlerin karşılaştırmaları literatüre kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir, Güneş Enerjisi, Kullanılabilirlik, Rüzgar Enerjisi

SUMMARY

In this doctoral thesis; potential of wind speed and solar radiation for power generation was detected and analyzed in Eskisehir. The data used for analysis and estimation has been taken from the measuring station which has been established with the project numbered 201015023 that is supported by BAP Commission of Eskişehir Osmangazi University. In the data measuring station; there are wind speed measurement sensors one at the 10th meter and two at the 30th meter and a wind direction sensor at the 27th meters. In addition to these sensors; temperature, pressure and relative humidity measuring devices are placed at the 3rd meter and total radiation intensity measuring device (pyranometer) is placed at the 5th meter.

The received data is primarily used to determine the potential and the results were analyzed per month. According to the results; the average wind speed is measured 4.1 m/s and 3.2 m/s for 30 m. and 10 m respectively. It was found that wind speed at the 30 m height may be included in the weak case. Also wind speed at the 10 m is included at the boundary of too weak case and it is understood that the production of energy with this speed is not economical. Minitab and EasyFit programs are used in statistical analysis. 8 distributions are tested for distribution suitability testing. According to the suitability test results, Weibull distribution is found to be the best distribution and also shape and scale parameters are calculated. In addition, the obtained results are applied to commercial turbines for power generation status in Eskişehir. In our country, the most widely used brands of turbine performance analysis was calculated for 30-50-70 and 90 m. heights. It is noted that, in the case of the usage of small tribunes in Eskişehir region, as the hub height increases, generated power and usability decrease whereas the capacity factor increases. It is determined that energy production has to be made with small-scale tribunes due to the low capacity factors in the usage of large-scale tribunes. Comparison of the distribution results and different commercial turbines are contributed to the literature.

Keywords: Eskişehir, Solar Energy, Availability, Wind Energy

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımnda maddi ya da manevi olarak destek olan başta eşim Dr. Hale Yıldızay olmak üzere, danışmanım Prof. Dr. Haydar Aras' a ayrıca; Prof. Dr. L. Berrin Erbay, Prof. Dr. Ramazan Köse, Prof. Dr. Veysel Yılmaz, Yrd. Doç. Dr. Levent Bilir ve Yrd. Doç. Dr. Hasan Yalık' a teşekkürlerimi sunarım.

Hasan D. Yıldızay

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
 1 GİRİŞ ve AMAÇ.....	 1
1.1 Tezin Amacı ve Yapılmasına İlişkin Gerekçeler	3
1.2 Rüzgar Enerjisi.....	4
1.3 Güneş Işınımı	14
 2 LİTERATÜRDEKİ ÖNEMLİ ÇALIŞMALAR.....	 18
 3 YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	 37
3.1 Ölçüm Yapılan Yerin Özellikleri.....	37
3.2 Kurulum Bölgesinin Seçimi.....	38
 4 VERİLERİN ANALİZİ	 42
4.1 Ölçülen Rüzgar Hız Verileri	42
4.2 Ölçülen Güneş Işınım Verileri	49
 5 İSTATİSTİKİ DAĞILIMLARA UYGUNLUK	 53
5.1 Rüzgar Hızı Verileri için Uygun Dağılımın Belirlenmesi	53
5.1.1 Ki-Kare Uygunluk Testi	53
5.1.2 Kolmogorov - Smirnov Uygunluk Testi.....	55
5.1.3 Anderson – Darling Testi.....	56

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

5.2	Programlarla Uygunluk Testleri	58
5.2.1	Minitab programı ile dağılıma uygunluk testi	58
5.2.2	Easyfit programı ile dağılıma uygunluk testi.....	60
5.3	Parametre Tahmini.....	62
5.3.1	En çok olabilirlik tekniği	62
5.3.2	Weibull dağılım parametreleriyle En Çok Olabilirlik tahmini	63
5.3.3	En Küçük Kareler tekniği	65
5.3.4	Weibull dağılımı ile En Küçük Kareler tahmini.....	66
5.4	Minitab Programı ile Parametre Tahmini	67
5.5	Rüzgar Verileri İçin Güç Hesabı.....	68
6	KULLANILABİLİRLİK ANALİZİ	70
7	TİCARİ TÜRBİNLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	75
8	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	85
9	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	89
	EK AÇIKLAMALAR A.....	100
	EK AÇIKLAMALAR B.....	118
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünya Geneline Rüzgar Enerjisi Potansiyeli (WWEA, 2013)	7
1.2. Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli (EİEİ, 2013)	7
1.3. AB ülkeleri güneş ışıınım enerjisi, kWh/m ² yıl (ECR, 2013)	15
3.1. Ölçüm bölgesinin görünümü	39
3.2. Radyasyon kalkanlı sıcaklık ölçüm sensörü ve ışıınım şiddeti ölçümü.....	40
3.3. a. Kepçe tip rüzgar hızı ölçüm sensörü, b.Rüzgar yönü ölçüm sensörü	40
3.4. 30.m deki ve 10.m deki sensörlerin ve emniyet halatlarının görünümü.....	41
3.5. Ölçüm istasyonun monte edilmiş durumdaki görünümü	41
4.1. Aylık ortalama rüzgar hızları değerleri.....	44
4.2. Aylık ortalama rüzgar hızları değerlerinin saatlere göre değişimi	47
4.3: Aylara göre hakim rüzgar yönleri.....	48
4.4: 2010-2011 Ortalama ışıınım şiddeti değerleri	50
4.5: 2012 yılı ortalama ışıınım şiddeti değerleri	51
4.6: 2013 yılı ortalama ışıınım şiddeti değerleri	51
4.7: 2014 yılı ortalama ışıınım şiddeti değerleri	52
6.1. Betz katsayısının türbin giriş çıkış rüzgar hızlarına oranı	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge

Sayfa

1.1. Yıllara göre ülkemizin elektrik enerjisi kurulu gücü ve elektrik üretimi	2
1.2. Enerji Üretim Maliyetlerinin Karşılaştırılması	5
1.3. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından karşılaştırılması	6
1.4. Ülkemizdeki işletmede olan türbinlerin 2014 yılı kurulu kapasiteleri	10
1.5. Yapım aşamasında olan rüzgar santralleri.....	13
1.6. Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri	16
1.7. Bölgelere göre güneş enerjisi değerleri	16
4.1. Rüzgar hızları genel ortalamaları.....	42
4.2. Ölçüm ortalamaları	43
4.3. 30m Doğu sensörü rüzgar yön dağılımı.....	44
4.4. 30m Batı sensörü rüzgar yön dağılımı	45
4.5. 10m Doğu sensörü rüzgar yön dağılımı.....	46
4.6. Aylık Ortalama ışıınım şiddetleri.....	49
5.1. 30m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları	58
5.2. 30m Batı Uyum İyiliği Test Sonuçları.....	59
5.3. 10m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları	59
5.4. 30m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları	60
5.5. 30 m Batı Uyum İyiliği Test Sonuçları.....	60
5.6. 10m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları	61
5.7. En Küçük Kareler Tekniğine Göre Parametre Tahmini Sonuçları	67
5.8. En Çok Olabilirlik Tekniğine Göre Parametre Tahmini Sonuçları	67
7.1. Farklı yüksekliklerde rüzgar hızı değerleri.....	75
7.2. E-3120 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları	76
7.3. G-3120 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları.....	77
7.4. Energy MS E15 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları .	78
7.5. G80-2.0 MW türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları	79

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)**Çizelge****Sayfa**

7.6. Clipper Liberty C89 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları.....	80
7.7. DeWind D6 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları	81
7.8. Vestas V80-2MW türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları..	82
7.9. Suzlon S60/1000 türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları...	83
7.10. Vestas V17 türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları	84
8.1. Tüm parametre tahminleri için hesaplamalar	85
8.2. Türbinlerin karşılaştırılma Sonuçları	87

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Türbin süpürme alanı
c	Ölçek parametresi
C_p	Betz katsayısı
C_p	Özgöl ısınma ısısı
E	Enerji
E_x	Kullanılabilirlik
$E_{\text{üretilen}}$	Üretilen Enerji
F	Olasılık fonksiyonu
H	Yükseklik
H	Entapi
H_0, H_1	Sıklık dağılımı
k	Pürüzlülük katsayısı
k	Şekil parametresi
M	Sıfır etrafındaki istatistiksel moment
$\dot{m}$	Kütlesel debi
P_w	Ortalama güç yoğunluğu
R^2	İdeal gaz sabiti
R	Yarıçap
$Q_{\text{kayıplar}}$	Kayıp ısılar
S	Entropi
T_0	Referans sıcaklık
T_{atm}	Çevre sıcaklığı
T_{wc}	Rüzgar soğutma sıcaklığı
v	Rüzgar hızı
V_{ort}	Ortalama Rüzgar Hızı
V_{mod}	En olası hız
X	Ki-Kare

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
X, x	Rassal değişkenler
α	Standart istatistiksel Moment
ρ	Yoğunluk
μ	Aritmetik ortalama etrafındaki istatistiksel moment
ρ_0	Referans yoğunluk

<u>Alt İndisler</u>	<u>Açıklama</u>
1	Giriş koşulları
2	Çıkış koşulları
Max	En yüksek referans değeri
Δ	Fark

1 GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüzde kalkınmanın en önemli göstergelerinden birisi, o ülkede kişi başına tüketilen enerjidir. Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, ülkelerin enerji ihtiyaçları ulusal ve uluslararası platformlarda önemli bir yer tutar. Enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olması, dışa bağımlılığın artması ve çevresel etkiler gibi nedenlerle; günümüzde ülkeler güvenilir, yeterli miktarda, ucuz ve temiz enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan Türkiye’ de nüfusa paralel olarak enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. Bu nedenle, üretilen enerjinin verimli kullanılması ve mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra kaynak eşitliğinin sağlanması için yenilenebilir enerji kaynaklarına ait potansiyelin kullanıma sunulması son derece önemlidir. Çizelge 1.1 de yıllara göre ülkemizin elektrik enerjisi kurulu gücü ve elektrik üretimi değişimi verilmiştir. Buna göre yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim ülkemizde genel anlamda artış trendindedir.

Çizelge 1.1 incelendiğinde ülkemizin 2014 yılı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücü toplam 69516,4 MW dır. Buna karşılık toplam kurulu güç içerisindeki yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve jeotermal enerjinin toplam kurulu güç değeri 4031 MW dır. Rüzgar enerjisinde ise kurulu güç 3630 MW değerine ulaşmıştır. 2014 yılı sonu itibariyle toplam kurulu güç içindeki rüzgar enerjisinin oranı %5 e ulaşmıştır. 2002 yılından itibaren kurulu gücün yıllık artış oranı % 7,1 olmasına rağmen üretimdeki artış oranı ise %5,7 de kalmıştır. Son 10 yılda kurulu güçteki en büyük artış 2013 yılında olmasına rağmen bu oran üretime yansımamış ve sadece % 0,3 seviyesinde kalmıştır. Üretimdeki artış oranları ise 2009 yılı dışında pozitif yöndedir (TEİAŞ, 2013; EMO, 2014 ve ETKB, 2014).

Çizelge 1.1. Yıllara göre ülkemizin elektrik enerjisi kurulu gücü ve elektrik üretimi değişimi. (TEİAŞ, 2013; EMO, 2014 ve ETKB, 2014)

Yıllar	Kurulu güç (MW)					Üretim (GWh)				
	Termik	Hidrolik	Jeotermal + Rüzgar	Toplam	Artış (%)	Termik	Hidrolik	Jeotermal + Rüzgar	Toplam	Artış (%)
2002	19568,5	12240,9	36,4	31845,8	12,4	95563,1	33683,8	152,6	129399,5	5,4
2003	22974,4	12578,7	33,9	35587,0	11,7	105101,0	35329,5	150,0	140580,5	8,6
2004	24144,7	12645,4	33,9	36824,0	3,5	104463,7	46083,7	150,9	150698,3	7,2
2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5	5,5	122242,3	39560,5	153,4	161956,2	7,5
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4	131835,1	44244,2	220,5	176299,8	8,9
2007	27271,6	13394,9	169,2	40835,7	0,7	155196,2	35850,8	511,1	191558,1	8,7
2008	27595,0	13828,7	393,5	41817,2	2,4	164139,3	33269,8	1008,9	198418,0	3,6
2009	29339,1	14553,3	868,8	44761,2	7,0	156923,4	35958,4	1931,1	194812,9	-1,8
2010	32278,5	15831,2	1414,4	49524,1	10,6	155827,6	51795,5	3584,6	211207,7	8,4
2011	33931,1	17137,1	1842,9	52911,1	6,8	171638,3	52338,6	5418,2	229395,1	8,6
2012	35029	19620	2423	57059	7,8	174588,8	57812,7	6699,4	239500	4,2
2013	38256,9	22289	3461,5	64007,4	10,8	171743,0	59569,6	8954,0	240200	0,3
2014	41844,4	23641	4031	69516,4	7,9	199318,4	40564,8	10516,8	250400	4,0

Ülkemizde ve tüm dünyada enerji politikaları aşağıda verilen 3 temel unsur üzerine inşa edilmelidir;

- Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması
- Enerji verimliliğinin sağlanması
- Karbondioksit salınımlarının azaltılması

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla çevre problemlerin aşılabileceği varsayımıyla Avrupa Parlamentosu 2007 yılında Almanya'nın öncülüğünde Lizbon stratejisini uygulama kararı almıştır. Lizbon stratejisi kısaca 20 20 20 şeklinde tanımlanmıştır. Bu stratejiyi benimseyen ülkeler, 2020 yılına kadar karbon emisyonlarını %20 azaltmak, fosil kökenli yakıt kullanımını %20 azaltmak ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının payını %20 artırmayı hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için tek yapılabilecek, enerji verimliliğinin artırılması, fosil kökenli yakıtlarının yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının almasıdır.

Ülkemizde enerji verimliliği 2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı yasa ile gündeme girmiştir. Bu yasa; enerji verimliliği çalışmalarının etkin olarak yürütülmesi, izlenmesi ve koordinasyonu konusunda idari yapının oluşumunu, enerji verimliliği hizmetlerinin yürütülmesi konusunda yapılacak yetkilendirmeleri, görev ve sorumlulukları toplumun eğitim ile bilinçlendirilmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik ve sektörel uygulamalara ilişkin çeşitli destekleme mekanizmalarını, teşviklerle ilgili konuları ve yasal gerekleri yerine getirmeyeceklerle uygulanacak para cezalarını kapsamaktadır (Rega, 2007).

1.1 Tezin Amacı ve Yapılmasına İlişkin Gerekçeler

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerjinin en ekonomik biçimde en çevreci teknolojilerle ekolojiye zarar vermeden üretilmesi hedeflenmektedir. Günümüzde artan küresel kirlilik ve bunun bir sonucu olan küresel ısınmadan korunmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelim olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneşten enerji üretimi amaçlı kullanıma geçilmeden önce detaylı ve güvenilir verilerin olması ve buna göre planlamanın yapılması şarttır.

Bu sıralanan şartların gereği olarak çalışma kapsamında rüzgar ve güneş ışıınım verilerinin güvenilir ve hassas bir şekilde elde edilmesi amacıyla bir gözlem istasyonu kurulmuştur. Bu istasyondan alınan rüzgar hızı, rüzgar yönü, toplam güneş ışıınımı, bağıl nem, sıcaklık ve basınç değerleri öncelikle toplanarak sınıflandırılmış ve bölgenin lokal olarak rüzgar, güneş enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Bölgesel anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı araştırmalarına destek sağlanması, elde edilen verilerin değerlendirilerek bir sonraki aşama olan enerji üretimine geçilmesi için ışıık tutması amaçlanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar paylaşılarak bilimsel literatür ile Türkiye Rüzgar ve Güneş Atlasına da bir katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Yukarıda belirtildiği üzere, Eskişehir’de enerji üretimi amaçlı rüzgar ve güneş enerjisi verilerinin bölgesel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca rüzgar hız ve güneş ışıyım verilerinin değerlendirilmesi sonucunda rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin Eskişehir’ de ekonomik olup olmadığı araştırılmıştır. Bir bölgeye rüzgar ve güneş kaynaklı bir santral kurulumdan önce bölgenin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin en az 1 yıl süreklilik arz eden ölçümlerle gözlemlenmesi şarttır. Bu nedenle çalışmada kullanılan değerler yaklaşık 4 yıllık periyotta alınmıştır. Enerji üretim santralının kurulup kurulamayacağına karar verilebilmesi için gözlemler sırasında alınan ham verilerin istatistiksel değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmada elde edilen veriler 7 farklı istatistiksel analiz yardımıyla irdelenmiş ve Eskişehir ilinde yatırım yapmak isteyen yatırımcılara da yol göstermiştir.

Ölçülen verilerin analizinde; Minitab, Weibull++, Easyfit ve Windographer, yazılımları kullanılmıştır. Yapılan bu analizler yardımıyla, ortaya çıkabilecek sorunlar önceden tespit edilerek rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli belirleme çalışmalarının doğru ve eksiksiz yapılması da sağlanmıştır.

1.2 Rüzgar Enerjisi

Dünya üzerindeki bölgelerin % 27' sinde; yıllık ortalama rüzgar hızlarının, yerden 10 m yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu alan, rüzgar enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplam alanıdır (Turhan, 2009).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli ve çok hızlı gelişmeler kaydeden rüzgar enerjisi uygulamalarının, devreye hızla alınabilmesi, güvenilir olması, yakıttan bağımsız olması gibi üstünlükleri vardır. Özellikle son yıllarda rüzgar enerjisi ile ilgili yoğun talebin altında türbin teknolojisindeki gelişmeler yatmaktadır. Özellikle kompozit malzemelerdeki gelişmeler ve dolayısıyla mekanik yapıların daha güçlendirilmesi yüksek güçlü türbinlerin devreye girmesine yol açmıştır. Bütün bu gelişmelerin bir sonucu ise rüzgardan üretilen enerjinin maliyetinde yaşanan düşüştür. Rüzgar

enerjisinden elde edilen gücün birim maliyeti ile diğer kaynaklardan elde edilen gücün birim maliyetlerin kıyaslaması Çizelge 1.2 de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Enerji Üretim Maliyetlerinin Karşılaştırılması (Aras, 2003; Yörükoğulları vd., 2010;Gökçınar ve Uyumaz, 2008)

Enerji Türü	Bağımlılık	Üretim Maliyeti (cent/kWh)
Petrol	İthal	6,0
Kömür	Yerli/İthal	4,5 - 7,0
Doğal Gaz	İthal	4,4 - 5,0
Nükleer	İthal	5,3 - 9,3
Hidrolik	Yerli	5,2 - 18,9
Rüzgar	Yerli	4,7 -7,2
Güneş	Yerli	6,0 - 7,8
Jeotermal	Yerli	4,3 - 6,8

Çizelge 1.2 incelendiğinde rüzgar enerjisinde yaşanan hızlı gelişmeler, rüzgardan elde edilen enerjinin birim maliyetini, konvansiyonel enerji kaynaklarıyla rekabet edebilir düzeye getirmiştir.

Rüzgar enerji santrallerinden kaynaklanan radyoaktivitenin olmaması, enerji üretim maliyetinin düşük olması, kurulum maliyetinin gün geçtikçe ucuzlaması, atmosfere veya göl, nehir gibi yerlere herhangi bir atık atmaması ve CO₂, CO veya SO₂ gibi yanma sonrası emisyonların oluşmaması, rüzgar enerjisinin önemli avantajlarıdır.

Bir kaynaktan enerji üretimi ile ilgili çalışma başlatılabilmesi için;

- Kaynağın Elde Edilebilirliği,
- Çevreye Etkisi,
- Yatırım ve Üretim Maliyetleri,
- Kaynağın Ömrü.

gibi faktörlerin detaylı analizi gerekir. Bütün bunlar göz önüne alındığında rüzgar ve güneş enerjisinin çevresel etkilerinin konvansiyonel enerji kaynakları ile kıyaslaması yapıldığında sonuçlar Çizelge 1.3 de görülmektedir (Ergür, 2006).

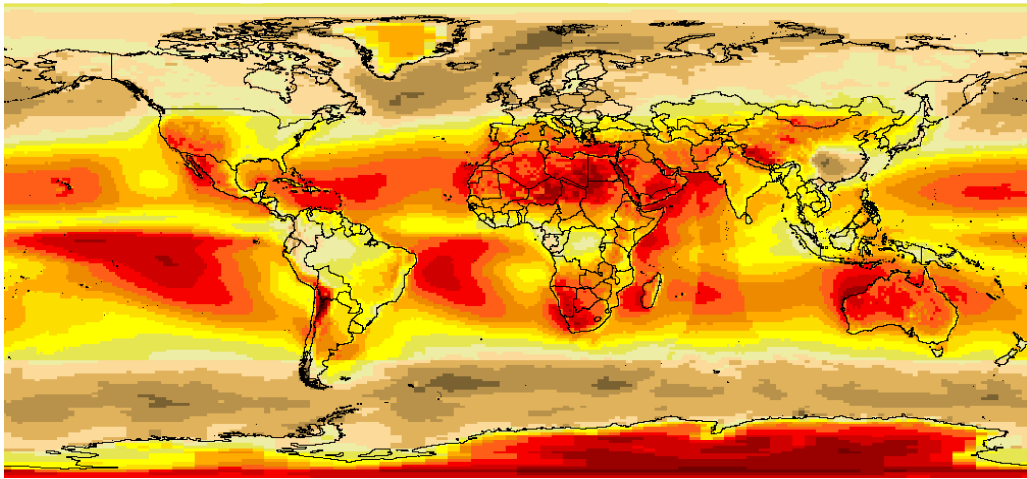
Çizelge 1.3. Enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri açısından karşılaştırılması

	İklim Değişikliği	Asit Yağmuru	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	-	-	-	-
Rüzgar	-	-	-	-	X	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

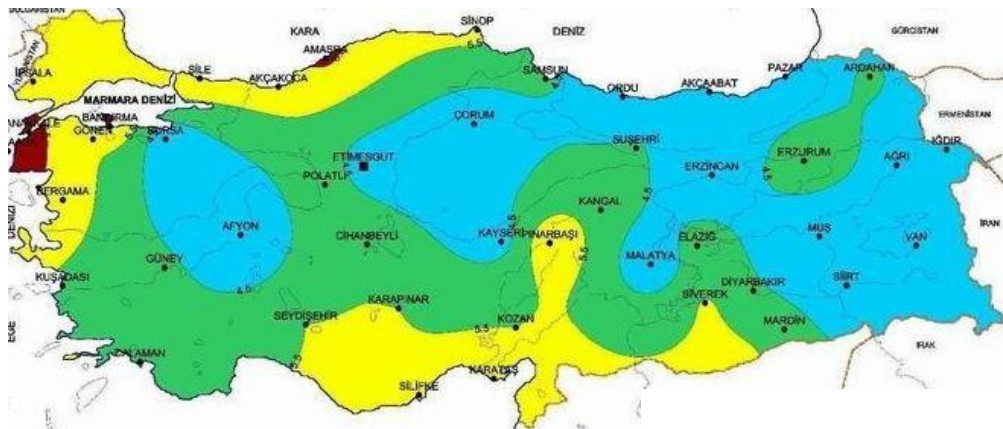
Çizelge 1.3'e göre rüzgar enerjisinin tek çevresel etkisi gürültü olmakla birlikte, rüzgar enerjisinden faydalanma açısından tercih edilen arazilerin genel olarak yerleşim yerlerinden ve ormanlar gibi doğal yaşamın olduğu yerlerden uzakta olması bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Bunun dışında rüzgar enerjisinin ekosisteme zararlı bir etkisi yoktur. Güneş enerjisinden enerji üretiminin ise ekosisteme bir etkisi bulunmamaktadır.

Rüzgar enerjisi, ilk kurulum maliyeti açısından hidrolik ve doğalgaza karşı dezavantajlı durumda olsa da, AB ülkelerinde devlet teşviki uygulaması ile desteklenmektedir. Bunun yanında, doğalgazın ithal bir enerji kaynağı olması nedeniyle ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlılığı arttıracığından pek çok dezavantajı beraberinde getirmektedir. Şekil 1.1 de Dünyadaki rüzgar enerjisi potansiyelinin Türkiye'deki durum ile karşılaştırılması verilmiştir. Dünya genelinde rüzgar enerjisi potansiyeli daha çok okyanuslarda ve denizlerde oldukça yüksektir. Güney Kutbu dışında kalan kıtalara bakıldığında Avustralya'nın bir bölümü, Afrika Kıtası'nın bir bölümü en yüksek rüzgar enerjisine sahip bölgelerdir.

Türkiye'nin de içinde bulunduğu 2. derece rüzgar enerji potansiyeline sahip olan ülkelerde rüzgar hızı elektrik üretimi için yeterli seviyededir (Şekil 1.2). Ancak birçok AB üyesi ülkelerin (özellikle Almanya) potansiyelleri Türkiye'den çok daha düşük olmasına rağmen elektrik üretimleri yüksektir.



Şekil 1.1. Dünya Geneline Rüzgar Enerjisi Potansiyeli (WWEA, 2013)



U (m/s)	> 7.5	6.5 – 7.5	5.5 – 6.5	4.5 – 5.5	< 4.5
P (W/m ²)	> 500	300 - 500	200 - 300	100 - 200	< 100

Şekil 1.2. Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli (EİEİ, 2013)

Şekil 1.2 de ise Türkiye’ de rüzgar enerjisi potansiyeli görülmektedir. Birçok bölgede, özellikle Çanakkale’ nin batısında kalan bölge ve batı karadeniz, rüzgar hızları bakımından enerji üretimine uygundur.

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde, ham verilerin işlenmesi yoluyla elde edilmiş olan istatistiksel veriler kullanılır. Bu amaçla kullanılan temel bilgiler şunlardır.

- Rüzgar ölçüm verilerinin değerlendirilmesi: Rüzgar enerji ölçüm istasyonlarında belirli yüksekliklerden alınan en az 1 yıllık rüzgar hızı ve yönü ölçüm kayıtları gereklidir.
- Bölge pürüzlülük bilgileri: Arazi yüzey pürüzlülüğü yüzey sürtünme karakteristiklerini ve dolayısıyla rüzgar hız profilini de değiştirmektedir.
- Yakın çevre engel bilgileri: Rüzgar ölçüm istasyonunun yakın çevresindeki engeller rüzgar hız ve yön profilini oldukça değiştirmekte ve engel etrafında türbülans oluşturarak verilerin sağlıklı alınmasını engellemektedir.
- Bölgenin topografyası: Yüzeydeki değişimler rüzgar yön ve hızını da direkt olarak etkilemektedir.

Pürüzlülük ise, rüzgar hızı profili üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu sebeple rüzgar enerjisi incelemelerinde alan pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Rüzgar atlası çalışmalarında dört pürüzlülük sınıfı tanımlanmaktadır. Pürüzlülük sınıflarına göre, belirli bir yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı kullanılarak, farklı yüksekliklerdeki hızları hesaplamak mümkündür (Burton, 2002; Dinçer ve Rosen, 2007; Patel; 1999). Bu işlem için kullanılacak eşitlik:

$$\frac{V}{V_{ref}} = \left(\frac{H}{H_{ref}} \right)^{k_1} \quad 1.1$$

şeklindedir. Burada, k_1 pürüzlülük katsayısı düz plaka üzerinde akış benzetimi ile genel olarak literatüre göre 0,14 ile 0,3 arası alınabilir (Turhan, 2009; Çelik, 2004; Samsun, 2004).

Ülkemizde 31.03.2012 tarih ve 28250 sayılı Resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Standardı Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Tebliğ” e göre, bir yörede rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üreten santral kurabilmek için; en az 1 yıl boyunca 30 m lik bir direk üzerinde;

- 2. m de sıcaklık sensörü
- 10. m de veya 20.m de rüzgar hızı sensörü
- 30. m de rüzgar hızı ve yönü sensörü bulunmalıdır (REGA, 2002; REGA, 2006; REGA, 2012; REGA, 2013).

Rüzgar hızı ve yönünü belirlemek amacıyla yapılan ölçümler, ölçüm amacına göre değişir. Meteorolojik amaçlı yer rüzgarı ölçümlerinde Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kurallarına göre standart ölçüm yüksekliği 10 metredir. Enerji amaçlı rüzgar ölçümlerinde ise rüzgar hızı, rüzgar yönü ve çevre sıcaklığı gibi parametreler 30 metre ve mümkünse türbin hub yüksekliğinde en az bir yıl periyodik olarak ölçülmelidir. Rüzgar hızı ve rüzgar yönünün yanı sıra diğer bazı meteorolojik parametrelerin de ölçülmesi sistem kurulumu için gereklidir. Özellikle rüzgar enerjisi hesaplamalarında kullanılan bir değer olan hava yoğunluğunu hesaplayabilmek için basınç, çevre sıcaklığı ve nemlilik değerlerinin de ölçülmesi önemlidir.

Uluslararası Rüzgar Enerjisi Birliğinin (GWEC) raporuna göre 2000 ile 2005 yılları arasında Türkiye’nin kurulu rüzgar enerjisi gücü 19 MW seviyelerinde kalmıştır (GWEC, 2013). Ancak son birkaç yıldaki yapılan projeler ve yatırımlar ile ülkemizde 2014 itibari ile 3630 MW ’lık rüzgar enerjisi üretim tesisi işletmede olup, 1162,8 MW lık santralde yapım aşamasındadır. Ülkemizdeki rüzgar enerjisi santrallerinin durumları Çizelge 1.4’de verilmiştir (TUREB, 2014).

Çizelge 1.4. Ülkemizde işletmede olan türbinlerin 2014 yılı kurulu kapasiteleri

Santral Adı	Kurulu Güç	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
Akbük	31,5	Suzlon	S88	2,1	2009
Akres	456	Nordex	N90	2,5	2010
Aksu	72	Vestas	V100	2	2012
Amasya	40	Nordez	N100	2,5	2008
Ares	7,2	Vestas	V44-600	0,6	1998
Atık belen	18	Gamesa	G90	2	2014
Ayres	5	Vestas	V90-1,8	1,8	2011
Ayyıldız	15	Vestas	V90-3,0	3	2009
Balabanlı	50,6	Siemens	SWT2,3-108	2,3	2014
Balıkesir	143	GE	GE 2,75-103	2,75	2012
Bandırma	30	GE	GE 1,5	1,5	2006
Bandırma	60	Vestas	V90-3,0	3	2009-2010
Bandırma	5	Nordex	N90	2,5	2012
Bandırma	25	Nordex	N90	2,5	2008
Belen	48	Vestas	V90	3	2009-2012
Bergama	90	Nordex	N90	2,5	2007
Çamseki	20,8	Enercon	E82-E48	2	2009
Çanta	47,5	Nordex	N100	2,5	2013-2014
Çatalca	60	Vestas	V90	3	2008
Çataltepe	16	Enercon	E82	2	2010
Çeşme	1,5	Enercon	E40	0,5	1998
Dağpazarı	39	Siemens	SWT3,0-101	3	2011
Dares	29,6	Enercon	E48/E44	0,8-0,9	2008
Dinar	115	Siemens	SWT 2,3-108	2,3	2013
Düzova	51,5	GE	GE2,5-100	2,5	2009-2010
Edincik	30	Nordex	N100	2,5	2013
Enez	15	Nordex	N90	2,5	20058
Geres	27,5	Nordex	N90	2,5	2014
Geycek	150	Enercon	E82	2-3	2013-2014
Gökçedağ	135	GE	GE 2,5-100	2,5	2009-2010
Günaydın	12,5	GE	GE2,5-100	2,5	2012
Hasantepe	50	Nordex	N100	2,5	2014
İntepe	35	Enercon	E48/E82	0,8-2,3	2007-2014
Kapdağ	24	Vestas	V80-2,0	2	2013
Karadağ	10	GE	GE2,5-100	2,5	2012
Karadere	16	GE	GE1,6-100	1,6	2014

Çizelge 1.4. (devamı)

Santral Adı	Kurulu Güç	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
Karakurt	10,8	Vestas	V90-1,8	1,8	2007
Karaburun	120	Enercon	E82	2	2013
Kavaklı	52	Vestas	V112-3,3	3,3	2014
Keltepe	20,7	Enercon	E44	0,9	2009
Kemberburgaz	24	Enercon	E82	2	2008
Kores	17,5	Nordex	N90	2,5	2012
Kozbeyi	32,2	Enercon	E70	2,3	2012-2013
Kuyucak	25,6	Enercon	E70/E44	2-0,9	2010
Madranbaba	19,5	Gamesa	G90	2	2013
Mahmudye	29,9	Siemens	SWT2,3-101	2,3	2010
Mare Manastır	39,2	Enercon	E48-E44	0,8-0,9	2006-2007
Mazı-3	30	Nordex	N90	2,5	2011
Marsin mut	9	Vestas	V90	3	2013
Mersin mut	33	Vestas	V90	3	2010
Metristepe	40	Nordex	N100	2,5	2011
Paşalimanı	0,8	Enercon	E53	0,8	2013
Poyraz	54,9	Enercon	E82	2	2012-2013
Salman	27,5	GE	GE2,75-100	2,75	2014
Samurlu	30	Enercon	E70	2	2012-2013
Saray	4	Enercon	E82	2	2012
Sares	24,75	GE	GE2,75-100	2,75	2010-2011
Sarıkaya	28,8	Enercon	E82/E70/E48	2-0,8	2009
Sayalar	54,2	Enercon	E82/E70/E44	2-0,9	2008-2013
Sebenova	34	Vestas	V80-2,0	2	2008
Şenköy	36	Alstom	ECO100/ECO110	3	2012-2013
Seyitali	34,5	Enercon	E70	2,3	2011
Silivri	45	Nordex	N100	2,5	2014
Sincik	27,5	Nordex	N100	2,5	2013
Soma	140,8	Enercon	E70-E44	2-0,9	2011-2012
Soma	90	Nordex	N90	2,5	2007
Söke-çatalbük	30	Gamesa	G90	2	2010
Sunjüt	1,2	Enercon	E40	0,6	2006
Susurluk	60	Nordex	N100/N90	2,5	2012

Çizelge 1.4. (devamı)

Santral Adı	Kurulu Güç	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
Şahres	93	Vestas	V90-3,0	3	2011
Şamlı	113,4	Vestas	V90-3,0	3	2008-2010
Şembük	27	Vestas	V112-3,0	3	2013
Şembük	15	Vestas	V90-3,0	3	2010
Şembük	23	Vestas	V112-3,3	3,3	2014
Tepe	0,85	Vestas	V52-850	0.85	2006
Tokat	40	Nordex	N100	2,5	2010-2011
Turguttepe	24	Vestas	V90-2,0	2	2010
Uşak	54	Sinovel	SL1500/90	1,5	2013
Yuntdağ	57,5	Nordex	N90	2,5	2011
Yuntdağ	2,5	Nordex	N100	2,5	2014
Zeytineli	50	Nordex	N100/N90	2,5	2013
Ziyaret (Hatay)	65	GE	GE2,5-100	2,5	2010-2011-2013
Ziyaret (Hatay)	11	GE	GE2,75-100	2,75	2014

Çizelge 1.4 de özellikle dikkat edilen konu ticari türbin markalarından Vestas ve Enercon' un ülkemizde oldukça fazla tercih edilmiş olmasıdır. Özellikle Vestas ülkemizin hemen hemen her bölgesinde rüzgar enerji santrallerinde kullanılmaktadır.

Yapımı devam eden rüzgar enerji santrallerinin devreye girmesiyle tüm Avrupa ülkeleri içinde kurulu güç bakımında sıralandığında Türkiye 9. sıraya yerleşecektir. Türkiye'de Ağustos 2014 itibariyle yapımı devam eden rüzgar enerji santrallerinin listesi Çizelge 1.5' de verilmiştir. Çizelge 1.5 de göre yapımı devam eden santrallerin en küçüğü 1,5 MW, en büyüğü ise 3,3 MW olduğu görülmektedir (TUREB, 2014).

Çizelge 1.5. Yapım aşamasında olan rüzgar santralleri.

Santral Adı	Kurulu güç	Türbin markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü
Adares	10	Gamesa	G97	2
Akbük II	21	Suzlon	S95	2,5
Akres	10	Nordex	N100	2,5
Aliağa	9,6	Nordex	N117	2,4
Atık Belen	12	Gamesa	G90-G97	2
Bağarası	48	Nordex	N117-2400	2,4
Bandırma	29,7	Vestas	V112-3,3	3,3
Çerçikaya	57	Acciona	AW125-3000	3
Çeşme	18	Nordex	N117	3
Edindiç	26,4	Nordex	N117-2400	2,4
Enes	6,6	Nordex	N100	3,3
Fatma	77,4	Siemens	SWT3,0-3,2-113	3,2-3
Fuat	33	Vestas	V112-3,3	3,3
Gökres	35,75	GE	GE2,75-103	2,75
Günaydın	8,25	GE	GE2,75-100	2,75
Harmanlık	52,8	Vestas	V112-3,3	3,3
İncesu	13,2	Vestas	V112-3,3	3,3
Kangal	44	Vestas	V100-2,0	2
Kaniye	64	Siemens	SWT3,2-113	3,2
Kapıdağ	4	Vestas	V80-2,0	2
Kınık	54	Siemens	SWT3,2-108	3,2
Kıyıköy	27	Gamesa	G90-G97	2
Kızılcaerzi	14,5	GE	GE1,6-100	1,6
Kores II	7,5	Nordex	N100	2,5
Korkmaz	25,2	Suzlon	S88	2,5
Koru	52,8	Vestas	V112-3,3	3,3
Mordoğan	31,5	Suzlon	S88	2,1
Mut	52,8	Vestas	V112-3,3	3,3
Ödemiş	21	Nordex	N117-3000	3
Petkim	51	Alstom	ECO110	3
Pitane	4,8	Nordex	N117-2400	2,4
Sebenova	24	Vestas	V112-3,0	3
Söke	49,5	Vestas	V112-3,3	3,3
Şadıllı	38,5	GE	GE2,75-100	2,75
Umurlar	10	Vestas	V100-2,0	2
Urla	18	Nordex	N117-3000	3

Çizelge 1.5. (devamı)

Santral Adı	Kurulu güç	Türbin markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü
Yalova	54	Sinovel	SL1500/90 SL1500/82	1,5
Yenihisar	21,6	Nordex	N117/2400	2,4
Zeliha Kırklareli	24	Siemens	SWT3,0-113	3

Rüzgarlar, atmosferde potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün sonucu; esas olarak basınç kuvvetlerinin bir ürünüdür. Bilindiği gibi, hareket halindeki her cisim bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgar da hareket halinde olan bir hava akımı olduğundan kinetik enerjiye sahiptir. Birim zamanda birim alandaki rüzgar enerjisi,

$$E = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad 1.2$$

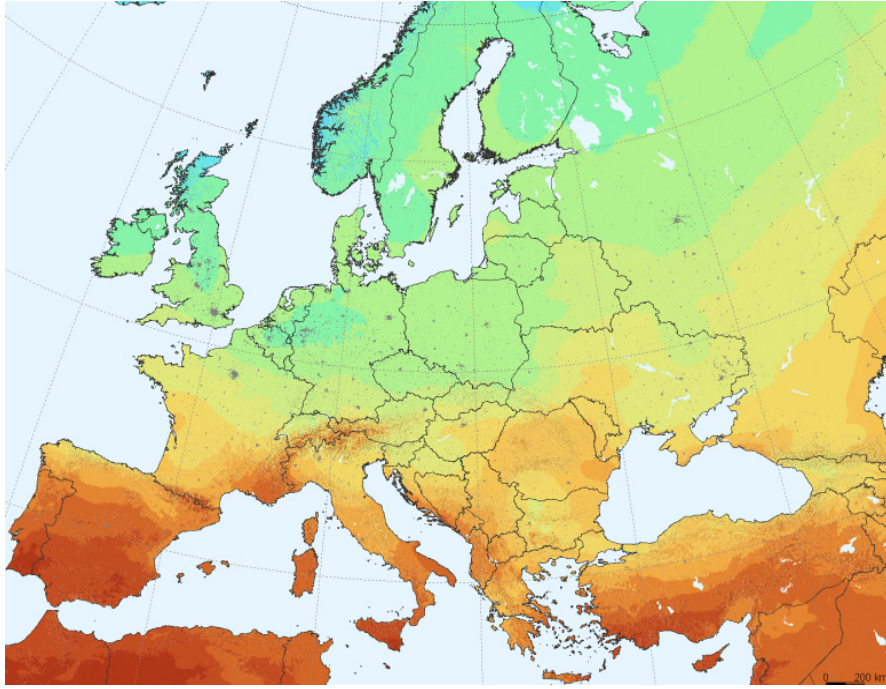
ile hesaplanır. Bir akışkan akışından elde edilebilecek maksimum kullanılabilir gücü konu alan makale ilk kez 1920 yılında A. Betz tarafından yayımlanmış olup, teori genellikle Betz limiti olarak bilinmektedir. Buna göre bir rüzgar türbini teorik olarak, rüzgarda var olan gücün en fazla % 59,2 sini kullanılabilir güce dönüştürebilir.

1.3 Güneş Işınımı

Yeryüzünden yaklaşık 151 milyon km uzaklıkta bulunan güneşten atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerjinin yalnızca 1367 W/m² değeri yeryüzüne ulaşabilmektedir. Bu değer güneş sabiti olarak kullanılmaktadır.

Şekil 1.3 e göre, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin, AB ülkelerinin büyük bir kısmından çok daha iyi olduğu görülmektedir. Ülkemizde güney ve güney doğu bölgelerinde ortalama güneş ışınlı değeri yıllık 1800-2000 kWh/m² dir. Yine aynı

bölgelerde güneş ışıının yıllık en düşük değeri ise yıllık ortalama 1400-1450 kWh/m² düzeyindedir.



Şekil 1.3. AB ülkeleri güneş ışıının enerjisi, kWh/m² yıl (ECR, 2013)

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. 1966 yılından günümüze kadar Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçüm istatistiklerine göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat/yıl (günlük toplam 7,2 saat/gün), ortalama toplam ışıının şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²-gün) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değeri ise Çizelge 1.6' da verilmiştir (MGM, 2013).

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değeri bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.7' de verilmiştir. Çizelge 1.7 de,

Doğu Anadolu bölgesinin güneşlenme süresi ve aldığı toplam güneş enerjisi miktarı Akdeniz bölgesine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.6. Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi	Güneşlenme Süresi
	kWh/m ² -ay	Saat/ay
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	96,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,40	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,90	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103
Toplam	1311	2640
Ortalama	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Çizelge 1.7. Bölgelere göre güneş enerjisi değerleri

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi	Güneşlenme Süresi
	kWh/m ² -yıl	Saat/yıl
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Yapılan bu tez kapsamında etrafındaki engellerden arındırılmış bir rüzgar-güneş ölçüm istasyonu kurulmuştur. Bu istasyondan alınan değerler ile potansiyel belirlemesi yapılmış, istatistiki olarak farklı dağılımlar uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlarla ticari türbinlerin kullanılması durumunda ne kadar güç üretecekleri, bu gücün kullanılabilirliği ve kapasite faktörleri araştırılmıştır.

2 LİTERATÜRDEKİ ÖNEMLİ ÇALIŞMALAR

Literatür taraması sırasında çalışmayı yakından ilgilendireceği düşünülen SCI yada SCI- Expanded kapsamında yayınlanmış ilgili makaleler aşağıda özetlenmiştir.

Eskin vd., (2008) çalışmalarının temel amacı, Türkiye'de dört farklı noktadan toplanan rüzgar verileri kullanılarak Kuzey Ege Denizindeki Gökçeada da rüzgar enerjisi potansiyelini tahmin etmektir. Uğurlu ve Çınaraltı istasyonlarından 3 yıl, Aydıncık ve Ulusal Meteoroloji İstasyonundan 10 yıl boyunca rüzgar verileri toplanmıştır. Aylık ve yıllık rüzgar hız dağılımı ve rüzgar güç yoğunluğu, Gökçeada da rüzgar kaynaklarının temel bilgileri elde edilerek değerlendirilmiştir. Rüzgar potansiyeli için rüzgar hız verileri zaman serileri ile değerlendirilmiştir. Bu konuda, zeminden 10 ve 30m yüksekliklerden toplanan rüzgar verileri güç formülleri kullanılarak, rüzgar türbin hub yüksekliği olarak seçilen 50m yüksekliğe ulaşılmıştır. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonlarıyla rüzgar hız dağılım eğrilerini bulmak için dört istasyonun rüzgar verileri sonucu kullanılmıştır. Aylık ve yıllık bazda rüzgar profillerini bulmak için geliştirilen Fortran programıyla Rüzgar hızı dağılım fonksiyonu iki Weibull parametresi, şekil parametresi k (boyutsuz) ve ölçek parametresi c (m/s) hesaplanmıştır. Yıllık rüzgar hızı dağılımları Gökçeada boyunca hesaplanan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyon parametrelerini kullanarak da elde edilmiştir. Dağılımların uygunluğu ile, aylık ortalama rüzgar hızlarının gözlenen ve hesaplanan değerleri arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile Weibull dağılımı ile ölçüm değerleri arasındaki ilişkinin uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Gökçek vd., (2007) çalışmalarında; 2004 yılı için saatlik zaman serileri kullanılarak hesaplanan rüzgar verileri ile Kırklareli rüzgar karakteristiği ve rüzgar enerjisi potansiyeli incelenmişlerdir. Rüzgar dataları 2004 yılı için EİEİ den alınmıştır. Rüzgar gözlem istasyonundaki tüm ölçümler kap anemometre ile 10 m yükseklikten ölçülmüştür. Çalışmada, aylık, mevsimsel ve yıllık ortalama rüzgar verileri kullanılarak bölgenin Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanmıştır. k ve c parametrelerini elde etmek için rüzgar hızı- standart sapma metodu kullanılmıştır. Bu

parametreler, aylık, mevsimsel ve yıllık hesaplamalar için ayrı ayrı bulunmuştur. Bölge için rüzgar verileri, Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımı karşılaştırmaları rüzgar hızlarına göre gruplanarak yapılmıştır. Bölgenin Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları, gözlemlenen veriler ve Weibull şekil parametresi $k=1,75$, ölçüm parametresi $c=5,25$ m/s değerleri ile hesaplanmıştır. Bölge için güç hesaplarına göre yıllık ortalama güç yoğunluğu, $138,85 \text{ W/m}^2$ dir. Sonuç olarak bölge için rüzgar enerjisi potansiyeli kullanımı araştırılmıştır. Ortalama rüzgar hızlarına mevsimsel olarak bakıldığında, yaz aylarında en yüksek $5,09 \text{ m/s}$ iken sonbaharda $4,13 \text{ m/s}$ değerine düşmekte, yıllık ortalama ise $4,68 \text{ m/s}$ değerlerini elde etmişlerdir. Rüzgar enerjisinden ekonomik olarak faydalanmak için hub yüksekliğinin 80m ye çıkarılması gerektiği belirtilmiştir. Bu yükseklikte yıllık ortalama rüzgar $6,25 \text{ m/s}$ hızına ulaşmaktadır. Sonuç olarak Kırklareli ölçüm bölgesinde rüzgardan elektrik enerjisi üretiminin ekonomik olup olmadığı irdelenmiştir.

Keyhani vd., (2010) makalelerinde, İran' ın başkenti Tahran da 10 m yükseklikten 1995-2005 yılları arasında rüzgar hız ölçümleri verileri kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmışlardır. Üç saatlik aralıklarla ölçülen bu veriler kullanılarak, Tahran için şekil ve ölçek parametreleri istenilen istatistiksel aralıklara göre hesaplanmıştır. İstatistiksel yöntem olarak Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları dağılımı ve Gamma fonksiyonu kullanılmıştır. Dağılımlarda kullanılan k (şekil parametresi) değeri $2,02$ ve c (ölçek parametresi) değeri ise $4,38 \text{ m/s}$ dir. Bu dağılıma göre, Tahran' da Nisan ayında en yüksek ve Ağustos ayında en düşük rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu görülmüştür. İncelenen bölgede, rüzgar hızı ortalamaları $3-4 \text{ m/s}$ aralığında olduğundan, rüzgar enerjisiyle yüksek güçte elektrik üretiminin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, bu bölgenin rüzgar potansiyeli, elektrik şebekesine bağlı olmadan yerel tüketim, pil şarj edilmesi, su pompalaması ve rüzgar jeneratörleri gibi sistemler veya mekanik uygulamalar için yeterli olduğu görülmüştür.

Bilgili vd., (2004) çalışmalarında; Türkiye de Doğu Akdeniz bölgesindeki rüzgar gücü potansiyeli araştırmışlardır. Bu amaçla, 1997 ve 2001 yılları arasında, Antakya ve İskenderun bölgelerindeki meteoroloji istasyonlarının saatlik rüzgar verileri kullanılmıştır. Hakim rüzgar yönleri, ortalama değerleri, rüzgar hızı, rüzgar potansiyeli

ve frekans dağılımları belirlenmiştir. Enerji tahminleri için 2 parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Rüzgar verileri 10m ve 17m yüksekliklerden elde edilmiştir. Analizler sonucu 50 m ve daha yüksekliklerde Antakya bölgesinin birçok yerinde rüzgar hızının 7,5 m/s hızına ulaştığı, İskenderun bölgesinde ise 5-7 m/s hızlarında olduğu tespit edilmiştir. Türbin hub yükseklerinin bu seviyelerde olduğu sürece rüzgar enerjisi üretimi için uygun olduğu görülmüştür. Tüm bölgelerde enerji yoğunluğu 300 W/m² nin üzerindedir ve bazı bölgelerde bu rakamın 700 W/m² nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca rüzgar verileri WaSP programı kullanılarak da analiz edilmiş, sonuçlar 10m ve 50m için topografik olarak verilmiştir. Antakya için hakim rüzgar yönünün 210⁰, ve İskenderun için ise 300⁰ olduğu tespit edilmiştir. En düşük rüzgar hızlarının genellikle sabah 07:00 dolaylarında, en yüksek rüzgar hızlarının ise 11:00 ile 19:00 saatleri arasında olduğu görülmüştür.

Akpınar ve Akpınar, (2007) çalışmalarında Elazığ bölgesindeki 4 istasyonun 1998-2005 yılları arasındaki rüzgar verilerini kullanmışlardır. Rüzgar hızı dağılımlarının analitik olarak belirlenebilmesi için maksimum entropi prensibi uygulanmış ve böylece teorik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı Weibull dağılımından daha doğru sonuçlar verebilen maksimum entropi prensibini rüzgar enerjisine uygulayabilmektir. Maksimum entropi prensibi uygulaması ile hem rüzgar hız verilerinde Weibull dağılımına göre hem de rüzgar güç yoğunluğu hesaplamalarında daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmada maksimum entropi prensibi uygulamasında; kütle momentum ve enerji denklemlerinde r parametresi kullanılmıştır. Bu parametre 0 ile 5 aralığındadır. Alt sınır 0 rakamı maksimum entropi prensibine karşılık gelirken, üst sınır olan 5 değeri çalışmada kullanılan gerçek rüzgar hız verilerine karşılık gelmektedir. r=3 de, yüksek rüzgar hızları için daha iyi sonuç verirken r=5 değerinde Weibull dağılımı daha doğru sonuç vermiştir.

Seguro ve Lambert, (2000) rüzgar enerjisi analizi hesaplamaları için Weibull rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin hesaplanmalarında üç yöntem önermişlerdir. Bunlar, Maksimum Olabilirlik Yöntemi, makalede önerilen değişiklikler ile En Yüksek Olabilirlik Yöntemi ve Grafik yöntemidir. Çalışmada, Maksimum Olabilirlik Yöntemi, rüzgar verilerinin zaman serileri ile değiştirilen Maksimum Olabilirlik Yöntemi rüzgar

verileri frekans dağılımı için önerilmiştir. Makalede, 72 veri ile hesaplamalar yapılmış, dağılımlarda k için 2,93 ve c için 5,75 m/s değerleri kullanılmıştır. Dağılımların bulunmasında kullanılan k ve c değerlerinin formülünde önerilen değişikliklerle dağılımlarda k için 2,99 ve c için 5,77 m/s değerleri önerilmiştir.

Çelik (2003) makalesinde, Weibull rüzgar hız dağılım modelleri uygulamıştır. Hesaplamalarda kullanılan rüzgar verileri aylık bazda 3 günlük ve 4 günlük alınmıştır. Veriler 72 saat ve 96 saat rüzgar esme sürelerine karşılık gelmektedir. Toplam 8 yıllık rüzgar hızlarının zaman serilerini hesaplama yöntemi 5 farklı bölgenin hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonunda bu yöntemle tahmin edilen rüzgar enerjilerinin hata oranları, günlük ölçülen veriler ile yapılan hesaplamalara göre % 3,67 ile %3,21 arasındadır. Makalede, küçük ölçekli rüzgar enerji sistemlerinin şebekeye ulaşamayan bölgelerde veya enerji talebinin belirli bir düzeyde kalacağı kesimlerde kullanıldığından bu durumu “Yükleme Olasılığının Kaybı” (LLP) yada rüzgar enerji sistemleri için “Rüzgar Kesiri” (WF) olarak tanımlamış ve birbirlerine oranını $WF = 1 - LLP$ olarak açıklamıştır. Örneğin, WF değerinin 0,4 hesaplanması durumunda o bölgenin 1 yıl içindeki enerji talebinin ancak %40 ını rüzgar gücünden sağlayabilir anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, ayda 3 günlük ve 4 günlük rüzgar verilerini kullanarak yapılan hesaplamalar ile enerji verimi tahminlerinin daha kolay yapılabildiği sonucuna varılmıştır.

Safari (2001) çalışmasında, Ruanda da bulunan 4 meteoroloji istasyonundan alınan veriler ile saatlik ve aylık ortalama rüzgar hızları verilerini kullanmıştır. İstatistiki çalışmalarda, olasılık yoğunluk dağılım fonksiyonları olarak Weibull, Rayleigh, Lognormal, Normal ve Gama parametreleri kullanılmıştır. Weibull dağılımı için k ve c fonksiyonları, En Yüksek Olabilirlik ve En Küçük Kareler Yöntemi ile bulunmuştur. Rüzgar hızının bu dağılımların hangisine en iyi uyum sağladığı araştırılmıştır. Her bir dağılım için hata oranları karşılaştırılmıştır. Bunun için Goodness-of-Fit testi yapılmıştır. Bu test, gözlemlenen değerler ile model arasındaki farklılıkları açıklamaktadır. İncelenen 4 istasyon için hangisinin hangi dağılıma daha çok uyum sağladığı araştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, En Küçük Kareler yöntemiyle yapılan Weibull dağılımı hiçbir istasyona uyum sağlamamıştır, Gamma dağılımı ise 4

istasyon verileri ile de uyumludur. Rüzgar enerji potansiyeli olarak incelenen bölgeler elektrik üretimi için uygundur.

McIntyre vd., (2011) çalışmalarındaki amaçları Guelph bölgesinin rüzgar güç üretimi için potansiyelini tahmin etmektir. Rüzgar verileri olarak 1994 ile 2004 arası ve 2003 ile 2004 yılları arasında 2 istasyondan alınan değerler kullanılmıştır. Rüzgar hızlarına göre 2 ticari rüzgar türbini için (Bergey ve Vestas) güç yoğunluğu eğrileri çıkarılmıştır. 10 m yükseklikten alınan rüzgar verileri kullanılarak Bergey türbini için 30m ve Vestas türbini için 80m yüksekliklerdeki hızlar hesaplanmıştır. Dağılımların hesaplama metodu olarak; Weibull Olasılık Dağılımı, Değiştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu, Justus-Mikhail Modeli ve rüzgar güç eğrilerinin Kübik Regresyon modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak, ticari rüzgar türbinleri ile Guelph bölgesinin toplam enerjisinin %7,8 i veya elektrik ihtiyacının %29 unun karşılanmasının mümkün olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, kış sezonu boyunca yaz sezonunun 2 katından daha fazla elektrik üretim potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.

Akpınar ve Akpınar, (2005) çalışmalarında, Keban-Elazığ bölgesinin rüzgar hızlarının istatistiksel analizini yapmışlardır. 1998 ile 2002 yılları arasındaki 5 yıllık Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 10m yükseklikten ölçülen verilerin saatlik ortalamaları kullanılmıştır. Çalışmada; rüzgar hızlarının frekans dağılımları, yükseklikle rüzgar hızı değişimleri, rüzgar güç yoğunluğu ve dağılımların istatistiksel analizleri yapılmıştır. Rüzgar hızı frekans dağılımları bulmak için Weibull ve Rayleigh dağılım metotları kullanılmıştır. Literatürde genel olarak bu metodun kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca Weibull fonksiyonu kullanılarak güç yoğunluğu hesaplanırken oluşan % hata değeri bulunmuştur. Analizlerde istatistiksel programlar ve Fortran programı kullanılmıştır. Sonuç olarak; güç yoğunluğu hesaplamalarında Weibull modelinde Rayleigh modeline göre daha düşük hata değerleri hesaplanmıştır. En yüksek hata değeri Ekim ve Kasım aylarında en düşük hata değeri ise Nisan ayında hesaplanmıştır. Bölgede, yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu 15603 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Carta vd., (2009) çalışmalarında; rüzgar hızı olasılık dağılımları ile rüzgar enerjisi analizi yapılan 224 adet makalenin sonuçları yeniden ele alınmış ve birbirleriyle

karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda model olarak Moment metodu, En Çok Olabilirlik Metodu En Küçük Kareler Metodu seçilmiştir. Çalışmaları sınıflandırabilmek amacıyla rüzgar enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında en geniş olarak kullanılan ve kabul edilen dağılım olan iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalar, Canary adalarından alınan saatlik ortalama rüzgar hızı verilerinin, bağıl frekans histogramının toplam dağılım fonksiyonuna uygunluğunun analizi ile saatlik ortalama rüzgar hızı verilerinin küpünün, rüzgar güç yoğunluğu için bağıl frekans histogramının toplam dağılım fonksiyonlarına uygunluğudur. Dağılımın uygunluğu bulunan R^2 katsayısı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda iki parametrelili Weibull dağılımı ile ilgili avantajlar sunulmuştur. Bu avantajlar; esneklik, sadece iki parametreye bağımlılığı, kendi parametrelerinin tahmininde metottan bağımsızlığı sayılabilir.

Safari ve Gasore, (2010) çalışmalarında; Ruanda' daki rüzgar kaynaklarının potansiyeli belirlenmiştir ve rüzgar gücünün kullanıcılar için bir veritabanı oluşturulmuştur. 1974 ile 1993 arasındaki saatlik ve günlük rüzgar hızları ve rüzgar yönü verileri kullanılmıştır. Rüzgar hız karakteristikleri ve rüzgar güç potansiyelleri 10m yükseklikteki veriler kullanılarak Weibull ve Rayleigh dağılımları belirlenmiştir. Sonuç olarak Weibull olasılık yoğunluk dağılımının deneysel olarak en iyi dağılım olduğu bulunmuştur. Aylık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar karakteristiği dağılımını veren farklı yüksekliklerdeki ölçüm parametresi c ve şekil parametresi k , her bölge için ayrı ayrı tanımlanarak bir model oluşturulmuştur. Bu parametrelerin belirlenmesinde En Çok Olabilirlik Metodu kullanılmıştır. Ayrıca bölgelere göre rüzgar enerji yoğunlukları hesaplanmıştır. Ruanda bölgesindeki 5 istasyondan alınan veriler ile her bir istasyona ait güç yoğunlukları belirlenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Islam vd., (2011) bu çalışmalarında; Kudat ve Labuan bölgelerinden alınan 2006 ile 2008 yılları arasındaki rüzgar verileri kullanılarak 2 parametrelili Weibull dağılımı yardımıyla rüzgar enerji potansiyelleri belirlemişlerdir. Bu dağılım WRPLOT programı kullanılarak yapılmıştır. Aylık ve yıllık ortalama en yüksek rüzgar hızları 4,76 m/s ve 3,39 m/s olarak bulunmuştur. Yıllık en yüksek Weibull şekil parametresi k , 1,86 m/s ve ölçüm parametresi c , 3,81 bulunmuştur. Kudat için, 2008 yılı için maksimum rüzgar güç

yoğunluğu $67,40 \text{ W/m}^2$ rüzgar enerji yoğunluğu için $590,4 \text{ kWh/m}^2$ olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; 2 m/s den fazla rüzgar hızlarında Weibull frekans dağılımındaki maksimum sapma yaklaşık %5 olarak bulunmuştur. Ancak bu sapma 2 m/s den düşük rüzgar hızlarında %25 dir. Bu hesaplamalar ile Kudat ve Lubuan bölgesinin büyük ölçekli rüzgar enerjisi üretimi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna rağmen küçük ölçekli rüzgar enerjisi 100m yükseklikteki türbinde küçük ölçekli rüzgar enerjisi üretilir.

Li ve Li, (2005) çalışmalarında; 1999-2003 arasında Kanada'nın Waterloo bölgesinde 10m yükseklikten alınan rüzgar karakteristikleri kullanmışlardır. Maksimum Entropi Prensibi kullanılarak bir model türetilmiştir. Bu model için Kasım ile Nisan ayları arasında günlük, aylık, sezonluk ve yıllık rüzgar hız frekans dağılımları kullanılmış ve uygun Lagrange parametreleri tanımlanmıştır. 2- parametrelili Weibull dağılımı en iyi dağılım olarak kabul edilmiş olsa da, düşük veya sıfır rüzgar hızlarında bu dağılımın hata oranı yükselmektedir. Bu nedenle Weibull dağılımı düşük rüzgar hızlarını temsil etmemektedir. Maksimum Entropi Prensibi belirlenen nedenlerle Waterloo bölgesi verilerine uygulanmıştır. Sonuç olarak; soğuk sezonda rüzgar güç yoğunluğu her ay için 100 W/m^2 yi aşmıştır ve bu değer Ocak, Şubat, Mart aylarında 188 W/m^2 yi bulmuştur. En düşük rüzgar potansiyeli ise Ağustos ayındadır.

Akdag ve Güler, (2010) çalışmalarında; dünya genelinde rüzgar enerjisindeki gelişmeler ve Türkiye' deki mevcut durum ile ilişkileri incelemişlerdir. Analiz kısmında ise; Türkiye'deki 14 bölge için rüzgar enerjisinden elektrik üretimi maliyetleri ile rüzgardan güç üretim yatırımları ve yeni rüzgar güç santralleri uygulamaları araştırılmıştır. Sonuç olarak, yatırım bölgeleri için kapasite faktörleri %19,7 ile %56,8 arasında, elektrik enerjisi üretim maliyetleri içinse $1,73$ ile $4,99 \text{ \$cent/kW}$ olarak 2 farklı rüzgar kesme katsayısı için hesaplanmıştır. Çalışmada 14 bölge için rüzgar güç yoğunlukları ile ortalama rüzgar hızları belirtilmiş ekonomik analiz için 2000 kW rüzgar türbini hesaplamaları için Weibull parametreleri belirlenmiştir. Rüzgar kesme katsayısı ise literatüre göre $1/7$ ve $1/5$ olarak kabul edilmiştir.

Celik (2003) çalışında; İngiltere’de bulunan Cardiff University den alınan 1996 yılına ait ve yerden 5m yükseklikteki veriler kullanmıştır. Çalışmada 3 fonksiyonun ortalama rüzgar hızı ve günlük rüzgar enerjisi üretimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bunlar referans olarak ölçülen değerler, Weibull dağılımı ve Polynominal dağılımdır. Çalışmada ayrıca 2. istatistik değerleri olarak standart sapma oranlarına bakılmıştır. Rüzgar hızı hesaplamalarında aylık olarak en fazla sapma oranı %3,30 ile kasımda en az ise 1,4 ile şubatta görülmüştür.

Akdag ve Dinler, (2009) çalışmalarında; rüzgar enerjisi uygulamaları için Weibull dağılım parametreleri tahmininde Güç Yoğunluğu Metodu adıyla yeni bir metot geliştirmişlerdir. Literatürde en sık kullanılan yöntemler olan Grafik, Maksimum Olabilirlik ve Moment yöntemlerini yeniden düzenlemiş ve Güç Yoğunluğu Metodu ile arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda güç yoğunluğu yönteminin Weibull parametrelerinin tahmininde diğer metotlara göre yeterli kaldığı görülmüştür. Metotları karşılaştırmak için Maden, Gökçeada, Çanakkale ve Bozcaada bölgelerine ait 1997 ile 2006 yılları arasındaki Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan ve 10m yüksekliğe ait rüzgar hız ölçüm ortalamaları kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda Gökçeada dışındaki 3 bölge için R^2 ve RMSE analiz sonuçları yeterlidir. Ve tüm metotlarda 0,92 den daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ettoumi vd., (2003) çalışmalarında Cezayir’ in Oran bölgesine ait 1982 ile 1992 yılları arasındaki 3 saatlik ortalama rüzgar hız değerleri kullanmışlardır. Üç saatlik rüzgar verileri Markov zincirleri metoduyla modellenmiştir. Rüzgar hızı ölçümlerinin aylık frekans dağılımları hesaplanırken Weibull olasılık dağılım fonksiyonu da göz önünde bulundurulmuştur. Böylece 2 metotla da rüzgar verilerinin kullanımı mümkün hale gelmiştir. Markov modeli öncelikle fiziksel olarak tanımlanmıştır ve rüzgar hızı ile esme yönünün değişkenliğinden dolayı birinci dereceden Markov modelinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. 2. Model için toplam 8 rüzgar yönüne göre 9 farklı durum belirlenmiştir ve 9 durumlu Markov zinciri olarak incelenmiştir. Sonuç olarak; üç saatlik rüzgar verilerine bakıldığında Weibull olasılık dağılım sonuçlarının bağıl hata oranı Markov zincirlerine göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

Akpınar ve Akpınar, (2009) makalarında; Elazığ, Elazığ -Maden, Elazığ -Keban, ve Elazığ-Ağın bölgelerinin 1998-2005 yılları arasındaki verileri kullanılarak rüzgar karakteristikleri araştırmışlardır. Yazarlar Weibull dağılımı ve maksimum entropi yöntemine ait bir çok ampirik bağıntı olduğunu ancak bu bölgeye ait rüzgar rejimlerine uygulandığında tam olarak doğru sonucu vermediğini vurgulamışlardır. Bu nedenle çalışmalarında, gözlemlenen rüzgar hız dağılımlarına ait tekli kesintili durumda normal Weibull karışım dağılımını ve 2 değişkenli karışım Weibull dağılımını kullanmışlar ortalama rüzgar güç yoğunluğu belirlenmesinde bağıl hatanın daha az olduğu sonucuna varmışlardır. Doğruluğun belirlenebilmesi için hata oranlarını araştırmışlar ve rüzgar hızları için R^2 değerini 0,92 ile 0,99, x^2 değerini 0,02 ile 0,1, RMSE değerini ise 0,006 ile 0,2 arasında, güç yoğunluğunda ise R^2 değerini 0,26 ile 0,75, x^2 değerini 5,49 ile 24,1, RMSE değerini ise 1,01 ile 2,63 arasında bulmuşlardır.

Aksas ve Gama, (2011) çalışmalarında; Cezayir'in Batna bölgesinden 1999-2008 yılları arasında alınan rüzgar verileri kullanmışlardır. Yıllık ortalama rüzgar hız ve güç değerleri ile birlikte rüzgar hız verilerinin frekans dağılımları da hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı türbinler için net enerji üretimi tahmin edilmiş, bölgeye uygun olarak farklı rüzgar üretim simülasyonları yapılmıştır. Son olarak bölge için güneş enerjisi potansiyeli hesaplanarak birbirlerini telafi edecekleri durumlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; ortalama rüzgar hızını 4,36 m/s olarak bulmuşlardır. Weibull dağılımı için şekil ve ölçek parametrelerini 1,61 ve 4,91 m/s olarak hesaplamışlardır. Türbin karşılaştırmalarında Bergey Excel-R, Bergey Excel-S ve Bergey XL.1, Enercon E33 ve Fuhlander FL 100 türbinlerini incelemiş ortalama enerji üretimi olarak en yüksek değeri Enercon E33 türbininin verdiğini hesaplamışlardır. Güneş ışıınım değerleri olarak en küçük ve en yüksek 1500 kWh/m² ile 1700 kWh/m² değerleri ölçülmüştür.

Esteban vd., (2010) bu çalışmalarında, sıfır karbon salımlı enerji sistemlerinin kesikli olduğundan dolayı rüzgar güneş kaynaklı karışık enerji üretiminin minimum kapasite faktörü analiz etmişlerdir. Çeşitli güneş-rüzgar karışımından elektrik üretimini kapsayan senaryolara göre uygulamalarda ne kadar enerji üretilbileceği hesaplanmıştır. Sonuçları toplam kurulu güç faktörü açısından incelemişlerdir. Bu değer %31

olduğunda minimum kapasite faktörü saat 10:00 ile 16:00 arasında %10 ile %90 arasında değişmektedir. bu durumda nominal kurulu güç kapasitesi 513 GW lık kısmının rüzgar enerjisine ait olmak üzere 228 GW lık kısmının ise güneş enerjisine ait olması gerektiği bulunmuştur.

Jong vd., (2013) araştırmalarında, Brezilya'nın kuzey doğusunda yoğun talep dönemlerinde şebekeye elektrik sağlamak için rüzgar ve güneş enerjisinin etkinliğini analiz etmişlerdir. Bu amaca ulaşabilmek için bölgenin elektrik yük eğrisi rüzgar hızları ile güneş ışıınımı istatistiki bilgilerinden faydalanmışlardır. Çalışmada kullanılan rüzgar verileri 2001 yılına aittir ve Brezilya'nın Çamaçari bölgesinde bulunan Milenyum İnorganik Kimya Sanayi tesislerinde ölçüm kulesinin 10m yüksekliğinden alınmıştır. İstatistiksel analiz için Pearson korelasyonu kullanılmıştır. Sonuç olarak elektrik yükü tüketim saatlerine göre istatistiksel değerler ile korelasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Malek vd., (2002) çalışmalarında, 1999 yılına ait ABD nin Utah eyaletinin kuzay batısında bulunan ve sığ bir göl iken çöl havzası haline gelmiş bölgede bulunan 2 istasyondan alınan güneş enerjisi ve 10m yükseklikteki rüzgar hızı verileri kullanmışlardır. Araştırmada, yüksek yüzey sıcaklığı ile 2m deki hava sıcaklığı, düşük nem oranına sahip çöl ortamında karşılaştırılmıştır. 25-29 Temmuz günlerinde gelen ve giden güneş ışıınımı veya kısa dalga ışıınımı, gelen (atmosferik) ve giden (karasal) uzun dalga boylu ışıınımlar ve çöl ortamındaki net ışıınımlar incelenmiştir. Bunların dışında 20m yükseklikte kurulabilecek rüzgar türbinine ait güç çıktıları incelenmiştir.

Bakos ve Tsagas, (2003) çalışmalarında, Yunanistan'nın İskece bölgesine ait rüzgar-güneş verilerini kullanmışlardır. Bölgenin enerji ihtiyacını karşılayacak elektrik ve termal enerji üretimi için teknik ve ekonomik ön çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada Monte Carlo programı kullanılmıştır. Güneş enerjisinden aylık kullanılabilir enerji üretimine göre Nisan ile Eylül ayları arasında en yüksek olmak üzere toplam 2501 kWh üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Aynı şekilde rüzgar enerjisinde Nisan ile Haziran ayları hariç faydanılabileceği ve toplam enerji üretiminin yıllık 1717 kWh in üzerine çıkılacağı bulunmuştur. Bunun dışında İskece bölgesinin 50 km dışında ülke elektriğinin %10 unu karşılayan doğalgaz çevrim istasyonunun olduğundan

bahsedilmiştir. Ekonomik analiz kısmında ise rüzgar güneş enerjili elektrik üretiminin bu çevrim santralinde doğalgaz maliyetini ne kadar azaltacağı hesaplanmıştır.

Ozdamar vd., (2005) çalışmalarında; PV paneller ile güneş enerjisinden ve rüzgar türbini ile rüzgar enerjisinden faydanılan bileşik rüzgar-güneş enerjisi kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan veriler 1995 ile 1998 yılları arasında kapsamaktadır. Rüzgar enerjisi ölçümleri 12m yükseklikten alınmıştır ancak Çeşme bölgesinde kurulu olan rüzgar türbininin hub yüksekliği 42m olduğundan, bu hız verileri Helmann denklemiyle 0,3 katsayısı alınarak 42m yüksekliğe göre hesaplanmıştır. Güneş enerjisinden faydanılabilmek için 1 saatlik ölçüm ortalamaları kullanılarak kollektör eğim açısı belirlenmiştir. Çalışmada bileşik sistemlerin birbirini destekleme oranları incelenmiştir. Çeşmede yer alan güneş ışıınımı ile ilgili olarak yatay düzleme gelen ışıınımı, yaygın ışıınım ve toplam ışıınım miktarlarını bulutluluk durumunun olması yada açık olması durumları için ayrı ayrı hesaplamışlardır. Son olarak rüzgar türbinin kanatlarının enine birim kesit alanına karşılık gelen rüzgar enerjisini hesaplamışlardır.

Nemaa vd., (2009) makalelerinde, geleneksel şebekeye bağlı sistemlerle tek başına çalışan rüzgar-güneş enerjili hibrit sistemleri tasarım, işletme ve kontrol gereksinimi gibi konularda araştırmışlardır. Ayrıca son kullanıcılar tarafında cazip duruma gelecek bu sistemlerin gelecekteki durumları incelenmiştir. Sistem olarak yenilenebilir enerji kaynakları bakımından hibrit PV ve rüzgar enerjili sistemlerin yanında dizel enerjili bir sistemde modellemesi yapılmıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji sistemlerinin ve özellikle rüzgar-güneş kaynaklı hibrit sistemlerin birçok avantajlarının yanında kaynaklarındaki dalgalanmalar sebebiyle geleneksel kaynaklar ile desteklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Carta vd., (2008) makalelerinde, rüzgar enerji analizlerinde rüzgar hızı ve yönü olasılık yoğunluk fonksiyonları ile istatistiksel olarak incelemişlerdir. Rüzgar hızı dağılımı için tek kesikli dağılım olarak Normal Weibull karışım dağılımı kullanılmıştır. Rüzgar yönü dağılımı olarak Von Mises dağılımı kullanılmıştır. Dağılımların hata oranı R^2 katsayısı ile hesaplanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen dağılımlara göre çeşitli

öneriler sıralanmıştır. Çalışmada; tek modlu, 2 modlu ve teğetsel rüzgar dağılımları incelenmiş, boş rüzgar frekansları, hakim rüzgar yönü, göz önünde bulundurulmuş ve son olarak rüzgar yönleri ile bu yönlerdeki hızlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Parametre tahminlerinde izotropik ve izotropik olmayan dalgalanmaları Gaussian modeli ile incelemişlerdir. Bu dağılımlar için İspanya'nın Kanarya adalarından alınan 4 farklı rüzgar ölçüm verileri kullanılmıştır.

Kose vd., (2004) makalede; Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyeli sunulmuş ve Kütahya ilindeki rüzgar enerjisi potansiyeli incelemişlerdir. Bu amaçla, rüzgar enerjisi potansiyelini inceleyebilmek için Kütahya Dumlupınar Ün. Merkez kampüsüne gözlem istasyonu kurulmuştur. Çalışmada 2001-2003 yılları arasında 10.m ve 30.m yükseklikten elde edilen veriler kullanılmıştır. Callalog 98 ve Alwin yazılımları yardımıyla Weibull ve Rayleigh dağılımları incelenmiştir. Sonuç olarak Weibull dağılımının daha iyi olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda bölgede esme yönlerinin güneydoğu ve kuzeybatı olduğu, ancak güçlü rüzgarların kuzeybatı ve güneydoğu tarafından estiği tespit edilmiştir.

Köse (2004) makalesinde; Kütahya ilinin rüzgar enerji potansiyelini araştırmıştır. Bu konuda, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü' ne bir rüzgar gözlem istasyonu kurulmuş ve rüzgar hızından elde edilebilecek elektrik enerjisini incelemiştir. Temmuz 2001 ile Şubat 2003 yılları arasında elde edilen ölçümler sonucu CALLaLOG 98 ve ALWIN paket programları ile analiz edilmiştir. 20 aylık ölçümler sonucunda 30m deki rüzgar hızları ortalaması 4,62m/s olarak, enerji yoğunluğu ise 4,62 W/m² olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarında elde edilen değerler ile Weibull-A, Weibull-C ve Rayleigh parametrelerini hesaplamıştır. Bu sonuçlarla bölgede bir rüzgar enerji santrali kurulumunun ekonomik olmayacağı ancak gelişen teknolojilerle türbin maliyetlerinin düşmesine paralel olarak uzun vadede uygun olabileceği vurgulanmıştır.

Jose vd., (2008) makalede Sonlu Karışık Von Mises modeli ile rüzgar hız ve yönleri için olasılık dağılımları incelemişlerdir. Parametrelerin tahmini için En Küçük Kareler Metodu kullanılmıştır. Hata oranının belirlenmesi için R² katsayısı hesaplanmıştır. Rüzgar hız ve yön verileri İspanya'nın Kanarya adalarında bulunan 2 adet gözlem

istasyonundan alınmıştır. Amagro istasyonundan 1997 ile 2005 yılları arasında ve Gando istasyonundan ise 2001 ile 2005 yılları arasında 10m yükseklikten alınan veriler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 2 karışık Von Mises modeliyle elde edilen değerlerin literatürle uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Olasılık karışım bileşenlerinin artmasının aynı zamanda R^2 katsayısını artırdığı tespit edilmiştir. Ancak bu sayının 6 dan fazla olması durumunda R^2 katsayısının belirleyici olmadığı görülmüştür. Model olarak 2 değişkenli Gaussian dağılımı Smith modeline uygulanmıştır.

Liu ve Wang, (2009) çalışmada, Çin’de rüzgar-güneş kaynaklı hibrit enerji sistemlerinin mevcut durumu, geleneksel yapıları, önemli teknolojik durumları araştırılmış, Çin hükümetinin ve yerel yönetimlerin yasaları, gelişime engel durumları ve ülke politikalarını incelemişlerdir. Hibrit sistemlerin şehir yol aydınlatma sistemi olarak, dağıtık üretim olarak ve fotovoltaik (PV) sulama için su pompalama sistemlerinde kullanımları durumları ayrı ayrı gözden geçirilmiştir. Sonuç olarak; hibrit enerji uygulamalarının merkezi hükümet ve yerel yönetimler tarafından teşvik edildiği, üniversitelerin bu konuda fonlarla teşvik edilmesi gerektiği, merkezi hükümet ve yerel yönetimler tarafından yerli teknolojiyi geliştirmek için uluslararası işbirliğinin teşvik edilmesi gerektiği, ülkenin kuzeybatı bölgesinde bu teknolojinin kullanılmasının teşvik edilmesi gerektiği, vergi indirimi veya muafiyetinin getirilmesi gerektiği, Çin PV endüstrisinin geliştirilmesi gerektiği ve özellikle silikon malzeme eksikliğinin giderilmesi gerektiği önerileri sunulmuştur.

Mirhosseini vd., (2011) çalışmada, Semnan bölgesinde 5 farklı istasyondan (Biarjmand, Damghan, Garmsar, Semnan, ve Shahrood) 2003 ile 2007 yılları arasında 10, 30 ve 40m yükseklikten 3 saatlik ortalamalarla alınmış rüzgar hız verileri kullanmışlardır. Bu verilerle rüzgar güç santralının potansiyeli istatistiksel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, Rüzgar hızı dağılım fonksiyonu, ortalama rüzgar güç yoğunluğu tahmin edilmiştir. Bu tahminler için Weibull dağılımı kullanılmıştır. Damghan, rüzgar enerjisi kullanımı için en yüksek potansiyele sahip şehir olarak belirlenmiştir. Çalışmanın analiz kısmında; Weibull dağılımı için ölçek ve şekil faktörü ile birlikt standart sapma hesaplanmış bunların dışında, türbülans yoğunluğu, güç ve enerji yoğunlukları ile 5 farklı ticari rüzgar türbin için enerji üretimleri bulunmuştur.

Alamdari vd., (2012) çalışmalarında, 2007 yılına ait 68 farklı bölgeden 10, 30 ve 40m yükseklikten 10dk aralıklarla alınan rüzgar hız verileri kullanmışlardır. Rüzgar hızı, rüzgar hızı dağılım fonksiyonu, ortalama rüzgar güç yoğunluğu tahminleri için rüzgar güç üretim potansiyelini belirlemede istatistiksel analizler yapılmıştır. Her 68 ölçüm noktası için 3 farklı yüksekliğe ait k ve c Weibull parametreleri, ortalama rüzgar hızları, frekansları, esme oranları, standart sapmalar, esme yönleri, yıllık güç yoğunlukları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Weisser (2003), yayınladığı teknik notta; Hindistan'ın batısında bulunan Grenada bölgesindeki rüzgar enerji potansiyeli tahminini Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları ile yapmıştır. Dağılımlar bulunurken mevsimsel veya gece-gündüz farkının ihmal edildiği takdirde ciddi hatalar olabileceği kabul edilmiş ve bu ayrıma göre k ve c parametrelerini belirlemiştir. Bu ayrıma göre yapılan dağılım çalışmaları sonucu grafiklerle ifade edilmiştir.

Yaojun ve Xiang, (2002) çalışmada; olası dağılımlarını rüzgar yönünden bağımsız olarak hesaplamışlardır. Bu hesaplamalar için 3 istatistiksel adım kullanmışlardır. Bunlar; rüzgar hızı verilerinin alınması, ortak dağılım modelinin geliştirilmesi ve olasılık parametrelerinin bulunmasıdır. Rüzgar verileri Şanghai bölgesinde 3 farklı noktadan 10m yükseklikten alınmıştır. Toplam veri alma süreleri sırasıyla 38, 35 ve 37 yıldır. Çalışmanın metot kısmında öncelikle başlangıç hipotezi kurmuşlar ve bu hipoteze dayanarak 3 adet model belirlemişlerdir. Dağılım modelini inceleyebilmek için The Probability Plot Correlation Coefficient modelini kullanmışlardır. Bu metotta şekil parametresini tanımlayabilmek için grafik tekniği kullanmaktadır.

Chang (2011), makalede kullanılan rüzgar verilerini, Tayvan' da 3 farklı bölgeden 2006 ve 2007 yıllarında 10m yükseklikten almıştır. 2 parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull parametreleri olarak, Moment, Ampirik, Grafik, Maksimum Olabilirlik, Değiştirilmiş Maksimum Olabilirlik ve Enerji Modeli faktörü kullanılmıştır. Performansları, Kolmogorov-Smirnov testi, kriterlere göre parametre hatası, kök ortalama kare hatası ve rüzgar enerjisi hatası olarak Monte Carlo

simülasyonu ve gerçek rüzgar hızı analizi yoluyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Weibull parametreleri tahminde en kötü sonuç grafik metodunda olmak üzere ampirik ve enerji modeli faktöründe alınmıştır. Simülasyon testlerinde Maksimum Olabilirlik, Değiştirilmiş Maksimum Olabilirlik ve Moment Faktörleri birbirleriyle ilişkili sonuçlar vermiştir. En iyi sonuç ise Maksimum Olabilirlik Metodu'ndan alınmıştır. Hata oranı ise ortalama karekök yöntemi ile bulunmuştur.

Akpınar ve Akpınar, (2004) çalışmalarında; Elazığ'ın Maden bölgesine ait 1998-2002 yıllarına ait 10m yükseklikten alınan rüzgar hız verilerini kullanmışlardır. İstatistiki çalışma olarak, Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk dağılımlarından faydalanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda ölçek parametresi 1,51 ile 1,70 arasında, şekil parametresi ise 5,54 ile 6,12 m/s arasında çıkmıştır. Bölgenin ortalama güç yoğunluğu ise 244,65 W/m² olarak bulunmuştur. Hata analizleri olarak Ki-kare ve Ortalama Karekök Analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak Maden bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz vd., (2005) çalışmalarında; Türkiye rüzgar atlasında verilen 5 farklı istasyondaki 1989 ile 1998 yılları arasında alınan rüzgar hız verilerinin teorik dağılımının Weibull dağılımına uyumlu olup olmadığı araştırılmıştır. Bu 5 istasyon Afyon, Van, Sinop, Bozcaada ve Silifke'dir. Bu 5 istasyondan alınan rüzgar hız verilerinin istatistiksel analizi; En Çok Olabilirlik metodu, En Küçük Kareler metodu ve Moment metoduna göre yapılmıştır. Her bir metot için k ve c parametreleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Ayrıca Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov performans testleri yapılmıştır.

Yılmaz ve Çelik, (2008) çalışmalarında Gelibolu bölgesinde ölçülen rüzgar hızı verilerini temsil edebilecek uygun bir olasılık dağılımı 10 dağılım karşılaştırılarak belirlenmeye çalışmışlardır. Bu amaçla üç uyum iyiliği testi ve grafik yöntemi kullanılmıştır. 7 farklı istasyondan 2003 yılına ait rüzgar hız verileri kullanılmıştır. Uyum iyiliği testinde; Kolmogorov-Smirnov testi, Anderson-Darling testi ve Ki-Kare testi uygulanmıştır. k ve c parametrelerinin tahminleri için En Küçük Kareler metodu, En Çok Olabilirlik metodu ve Moment metodu kullanılmıştır. Sonuç olarak; hesaplanan

ve kritik Ki-Kare değeri, hesaplanan ve kritik Kolmogorov-Smirnov değeri, hesaplanan ve kritik Anderson-Darling değerlerine göre 10 dağılım karşılaştırılmış ve en iyi dağılımın Weibull olduğu bulunmuştur.

Aras vd., (2003) çalışmalarında; Afyon bölgesinden 2002 yılında alınan rüzgar hız verilerinin istatistiksel analizini yapmışlardır. Bu analizler sonucunda rüzgar hız değerlerinin 2 parametrelili Weibull dağılımı ile uyumlu olup olmadığı karşılaştırılmıştır. En Çok Benzerlik Metodu ve Grafiksel Metot ile tahminler yapılmıştır. Tahminler için Weibull++6 programı kullanılmıştır. Bu programda Grafiksel Metot X sıra regresyon ve Y sıra regresyon başlıkları altında ele alınmıştır. k ve c parametreleri X sıra regresyon, Y sıra regresyon ve En Çok Olabilirlik metotlarına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Afyon ilinden alınan rüzgar hızı verileri ile hesaplanan Weibull dağılımının uygunluğu tespit edilmiştir.

Kurban vd., (2007) çalışmalarında, Anadolu Üniversitesi' nde bulunan rüzgar gözlem istasyonundan 10m den 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli analiz etmişlerdir. Bu dağılımların parametrelerinin bulunmasında Maximum Likelihood Metodu kullanılmıştır. Ele alınan aylar için yapılan bu analizler sonucunda, Weibull dağılımının Rayleigh'e göre rüzgar hızını daha iyi modellediği görülmüştür. Ayrıca, Weibull dağılımından hesaplanan aylık güç yoğunluğu değerlerindeki hata oranı, Rayleigh dağılımından hesaplanan değerlere oranla daha küçük çıkmıştır.

Akdağ ve Güler, (2008) çalışma kapsamında Weibull dağılımı parametreleri, Grafik Metodu, En Yüksek Olabilirlik Metodu, Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu ve Moment Metodu kullanılarak belirlemişlerdir. Bu metodlar R^2 , RMSE hata analizleri ile güç yoğunluklarını, ortalama hızı tahmin yeteneklerine göre örnek olarak ele alınan bir bölgenin 2002-2006 yıllarına ait rüzgar hızı verileri için karşılaştırılmıştır. Ayrıca, R^2 ve RMSE hata analizleri ile belirlenen metot ile ortalama hızı ve güç yoğunluklarına göre değerlendirmelerde farklılıklar çıkabileceği ortaya konulmuştur.

Tavman (2006), çalışmada kullanılan rüzgar hız verileri Gökçeada'nın Kesikbaş tepesinden 2001-2002 yılları arasında 50m yükseklikten almıştır. Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile elde edilmesi incelenmiştir. Bir bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması konusunda genel prensipler araştırılmış Gökçeada için bir rüzgar enerjisi santrali tasarlanmıştır. Bunun için Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamak için türbin sayısı, ürettikleri enerji miktarları hesaplanmış, türbinlerin ihtiyacı karşılama oranı, kapasite faktörleri bulunmuştur. Rüzgar santrali için, De Wind marka ticari markanın çeşitli kapasitedeki türbinleri incelenmiş ve en uygun türbin tipi bu türbinler arasından seçilmiştir. Santralin maliyet analizi yapılmış ve geri ödeme süresi 2,66 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Gökçeada gibi elverişli rüzgar hızlarına sahip bölgelerde verimli, ucuz, temiz ve yenilenebilir enerji ile elektrik üretiminin sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Aras vd., (2004) makalelerinde; Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsünde bir rüzgar enerjisi santrali kurulumunda hangi bölgelerin uygun olabileceği yöneylem araştırma tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreci uygulanarak bulunmuştur. Bu yöntemle; hem çevresel koşullar hem altyapı, hem güvenlik hem de ulaşım kolaylığı gibi etkenler göz önünde bulundurulmuş ve bir gözlem istasyonu kurulumu için en uygun nokta belirlenmiştir. Sonuç olarak makalenin, muhtemel kurulacak rüzgar gözlem istasyonu donanımları ile rüzgar hızı ölçümü ve olası rüzgar veri yolu ekipmanları ile rüzgar türbini seçimi gibi aşamalar için çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Aras vd., (2006) çalışmalarında; içinde Eskişehir'in de bulunduğu İç Anadolu Bölgesi'ndeki 12 ili kapsayan ve yatay bir düzlem üzerine gelen günlük güneş ışıınının hesaplanmasına yönelik olarak geliştirilen hibrit bir modelle analiz yapmışlardır.

Zhou vd., (2010) çalışmalarında; meteorolojik verilerin uygulanabilirliği üzerinde durmuşlardır. Yazarlar, zaman serileri ve istatistiksel yöntemlerle elde edilen sonuçları meteorolojik verilerle karşılaştırmıştır. Ayrıca fotovoltaiik sistem, rüzgar enerjisi

sistemleri ve depolama sistemleri modellemeleri ile hibrit bir rüzgar-güneş enerjisi sistemi bileşiminin simülasyonunu yapmışlardır. Bu sonuçlarla sistemin güvenilirlik analizi ve maliyet analizine göre optimum sistem boyutlandırmasını yapmışlardır.

Ucar ve Balo, (2009) makalelerinde; Uludağ bölgesinin 2000-2006 yılları arasında toplanan rüzgar hızı değerleri ile rüzgar hızı potansiyeli ve rüzgar karakteristiği belirlemişlerdir. Rüzgar hızı dağılımı eğrileri Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplamaları ile bulunmuştur. Ayrıca ekonomik analizlerde yapılarak sistem kurulumu hakkında araştırma yapmışlardır.

Ullah vd., (2010) bu makalelerinde; Güneydoğu Pakistan sahilinde rüzgar enerjisi üretim potansiyeli araştırmışlardır. Rüzgar hızı verilerinden 1 yıllık sürede alınan ölçüm sonuçlarına göre, 3 farklı yüksekliğe ait rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları frekans dağılımları, mevsimsel değişimlere göre güç tahminleri ticari türbinler için incelemişlerdir.

Erdogdu (2009) bu makalede; Türkiye’deki rüzgar enerjisinin potansiyeli ve kullanılabilirliği, rüzgar enerjisi kanunlarının durumu ve uluslar arası görünüm, rüzgar enerjisi ekonomikliği ve kullanımının yararları üzerinde çalışmıştır.

Mohamad ve Karmeh, (2003) bu makalelerinde; Suriye için rüzgar enerjisi potansiyeli ve elektrik enerjisi üretimi incelemişlerdir. Kullanılan bilgisayar programı yardımıyla önceden belirlenmiş bir alanda rüzgar verileri kullanılarak Suriye’nin toplam elektrik tüketiminin rüzgar enerjisinden sağlanması durumunda karşılaşılabilecek sorunları araştırmışlardır.

Bilen vd., (2008) yeniden gözden geçirme çalışmalarında; Dünyada ve Türkiye’de fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynakları potansiyel ve kullanılabilirliğinin araştırılmasını yaparak karşılaştırmışlardır.

Karsli ve Geçit, (2003) bu makalelerinde; Nurdağı bölgesinin rüzgar enerji potansiyeli hesaplamış, bölgedeki güç yoğunluğunu bulurak gelecekte bu bölgede kurulabilecek rüzgar enerjisi santralinin ekonomik olabileceği vurgulamışlardır.

Şahin vd., (2005) makalelerinde; 1992-2001 yılları arasında Akdeniz bölgesinde bulunan 7 bölgenin rüzgar akıları hesaplamışlardır. Bu bölgede üretilebilecek toplam rüzgar enerjisi bulunarak özellikle santral kurulumu bakımından uygun olabilecek bölgeler belirlemişlerdir.

Özgür vd., (2009) çalışmalarında; Kütahya ilinde Bülenek Tepe bölgesinden alınan 36 aylık rüzgar hız ölçümleri kullanılarak istatistiksel analizler yapmışlardır. Analizler için CallAlog, Minitab, ve S-Plus programlarını kullanmışlardır. İstatistiksel analizde, parametre tahmininde; En Çok Olabilirlik Yöntemi, En Küçük Kareler Yöntemi ve Asimetrik Dağılım parametre tahmin tekniklerini Weibull, Gamma, ve Lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonlarına uygulamışlardır. Sonuç olarak, Asimetrik Dağılım Parametre Tahmini tekniğinin veriler için uygun bir teknik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Lognormal dağılımın Weibull ve Gamma dağılımından daha uygun olduğu belirlenmiştir.

3 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada kullanılan veriler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu tarafından 201015023 proje numarası ile desteklenen “Eskişehir’ de Enerji Üretimi Amaçlı Rüzgar Hız ve Güneş Işınım Potansiyellerinin Tespiti ve Analizi” projesi ile kurulan ölçüm istasyonundan alınmıştır. Bu projenin yürütücülüğünü Prof. Dr. Haydar Aras ve yardımcı araştırmacılığını ise Prof. Dr. Veysel Yılmaz yapmıştır.

3.1 Ölçüm Yapılan Yerin Özellikleri

30m boyundaki bir direk üzerine sensörlerin birbirlerini etkilemeleri minimum seviyede olacak şekilde önceden literatür bilgilerine ve 11/10/2002 tarih ve 24903 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren "Rüzgar ve Güneş Ölçümlerine İlişkin Tebliğ" e göre planlanmış yüksekliklerde cihaz yerleşimleri yapılmıştır. Ancak bu tebliğ 31.03.2012 tarih ve 28250 sayılı Resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Standardı Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Tebliğ” olarak değiştirilmiştir (REGA, 2002; REGA, 2006; REGA, 2012; REGA, 2012; REGA, 2012; REGA, 2013). Kurulumu yapılan ölçüm istasyonu her iki tebliğde de belirlenmiş kurallara uygundur. Rüzgar hız ve güneş ışıınım ölçümlerinde kullanılan ekipmanların istasyonda yerleştirildikleri yükseklikler aşağıda verilmiştir.

- 30.m de doğu ve batı yönlerinde birer adet olmak üzere rüzgar hızı ölçüm sensörü,
- 27.m de 1 adet kuzey yönünde rüzgar yönü ölçüm sensörü,
- 10.m de 1 adet doğu yönünde rüzgar hızı ölçüm sensörü,
- 5.m de 1 adet radyasyon kalkanlı sıcaklık ölçüm sensörü,
- 5.m de 1 adet güney yönünde ışıınım şiddeti ölçüm sensörü (piranometre),

- 3.m de basınç ölçüm sensörü,
- 3.m de nem ölçüm sensörü,
- 2 sn aralıklarla tüm sensörlerden gelen ölçüm sonuçlarını 10 dk'lık ortalamalar haline getirip tek bir değer olarak kayıt işlemini gerçekleştiren datalogger,
- Yıldırım önleme amaçlı paratonerdir.

3.2 Kurulum Bölgesinin Seçimi

Ölçüm istasyonunu, Prof. Dr. Haydar ARAS tarafından 2003 yılında Renewable Energy dergisinde yayınlanan “Multi-Criteria Selection for a Wind Observation Station Location Using Analytic Hierarchy Process, Renewable Energy” isimli makalesinde elde edilen sonuçlara göre bu noktaya konulmuştur (Aras vd., 2004).

Çalışmada çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için bir teknik geliştirilmeye çalışılmıştır. Rüzgar Gözlem İstasyonu için en uygun yerin seçilmesi için bu teknikle kısaca;

- Topografya ana kriterinde; Yapılaşma, doğal engel ve arazinin yapısına göre yön belirlenmesi,
- Güvenlik ana kriterinde; Hasar görme kriterinin belirlenmesi,
- Alt yapı ana kriterinde; Diğer (korunak vb.) kriteri elektrik güç kaynağına yakınlık kriterine göre,
- Maliyet ana kriterinde; Kurma, bakım onarım ve gözlem maliyeti kriteri ulaşım maliyetine göre daha önemli bulunmuştur.

kriterleri değerlendirilmiştir. Çalışmada belirtilen kriterlere uygun olarak farklı konumlardaki 5 alternatif yer göz önünde bulundurulmuş ve en iyi yer olarak göreceli önem ölçeğine göre 0,289 değerini alan Su Deposu-1 isimli bölge bulunmuştur. Çalışma verilerinin alındığı ölçüm istasyonu bu bölgeye kurulmuştur.

Rüzgar ve güneş verilerinin alındığı istasyon Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsünde Mühendislik-Mimarlık Fakültesinin güney bölgesinde bulunan su arıtma ve depolama kısmının üst bölgesinde yer almaktadır. $39^{\circ} 44' 49''$ ve $30^{\circ} 28' 49''$ enlem ve boylamlarında 854 m yükseklikte bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu bölge Meşelik kampüsüne göre yaklaşık 40m daha yüksekte olup istasyon çevresinde kendisine yakın bir yükselti bulunmamaktadır.



Şekil 3.1. Ölçüm bölgesinin görünümü

Ölçüm istasyonu Enisolar Ltd. Şti. tarafından monte edilmiştir. Kullanılan sensörler NRG markalıdır ve ölçüm aralıkları; rüzgar hızı ölçüm sensörleri için 0,4 - 96m/s, nem ölçüm cihazı için %0-100 aralığında, yön sensörü 0,3m/s rüzgar hızında 360⁰ dönebilen, sıcaklık ölçüm sensörü %0,1 ⁰C hassasiyetindedir. Rüzgar yönü ölçüm sensörü ise başlangıç noktası tam kuzey yönü olacak şekilde yönleri derece cinsinden vermektedir (kuzey 0⁰, doğu 90⁰, güney 180⁰, batı 270⁰). Işınım şiddeti ölçüm cihazı ise ölçüm sonuçlarını W/m² olarak verecek şekilde ve güney yönüne monte edilmiştir.

Datalogger kayıt sırasında ihtiyaç duyduğu enerji için 20cmx20cm boyutlarında bir güneş paneli kullanılmıştır. Ölçüm istasyonunun kurulumu 03-04.11.2010 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. Ancak gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla verilerin alınmaya başlanması 07.11.2010 tarihidir. Kurulum sırasındaki resimler ve sensörlerin resimleri Şekil 3.2–3.5 arasında verilmiştir.



a



b

Şekil 3.2. a. Radyasyon kalkanlı sıcaklık ölçüm sensörü ve ışıyım şiddeti ölçüm sensörü, b. Nem ölçüm sensörü



a



b

Şekil 3.3. a. Kepçe tip rüzgar hızı ölçüm sensörü, b. Rüzgar yönü ölçüm sensörü



Şekil 3.4. 30.m deki (a) ve 10.m deki (b) sensörler ve emniyet halatlarının görünümü.



Şekil 3.5. Ölçüm istasyonunun monte edilmiş durumdaki görünümü

4 VERİLERİN ANALİZİ

4.1 Ölçülen Rüzgar Hız Verileri

Rüzgar ve güneş gözlem istasyonunun kurulumunun yapıldığı 2010 yılı Kasım ayından itibaren veriler alınarak derleme yapılmıştır. Bu süreçte belirli zaman aralıklarında buzlanma ya da kötü hava koşulları kaynaklı veri kayıpları meydana gelmiştir. Bu kayıplar kısa süreli olduklarından genel durumu etkilememektedir. 10 dk'lık ortalamalar halinde rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, bağıl nem, basınç ve ışıınım şiddeti değerleri alınmıştır. Ölçüm sonuçlarının rüzgar hızları genel ortalamaları ile maksimum değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir. Genel ortalamalardan da anlaşılaacağı gibi 30m de bulunan her 2 sensörden de birbirleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Rüzgar esme hızları ise yıllar bazında büyük değişiklikler göstermemektedir. 30. metredeki iki hız ölçüm sensörü ile 10. metredeki sensörden alınan veriler aylık olarak incelendiğinde; rüzgar hızının bazı günlerde çok düşük değerlerde kaldığı, özellikle 2011 Ocak ayında 1 m/s nin altına indiği görülmektedir.

Çizelge 4.1. Rüzgar hızları genel ortalamaları

Sensörler		2010	2011	2012	2013	2014	Ort
30 m Doğu	Ortalama	4,1	3,8	4,0	4,1	3,9	4,0
	En Yüksek	23,8	27,6	31,6	26,4	26,0	27,1
30 m Batı	Ortalama	4,0	3,9	4,1	4,2	4,0	4,1
	En Yüksek	24,5	27,5	31,6	26,8	26,0	27,3
10 m Doğu	Ortalama	3,2	3,1	3,2	3,3	3,2	3,2
	En Yüksek	23,3	25,9	29,7	26,7	24,8	26,1

Çizelge 4.1 e göre 30.m de rüzgar hızı ortalaması 4,0 m/s ve 10.m deki rüzgar hızı ortalaması ise 3,2 m/s dir. Bu değerler verilerin alındığı dönemdeki hava olaylarının

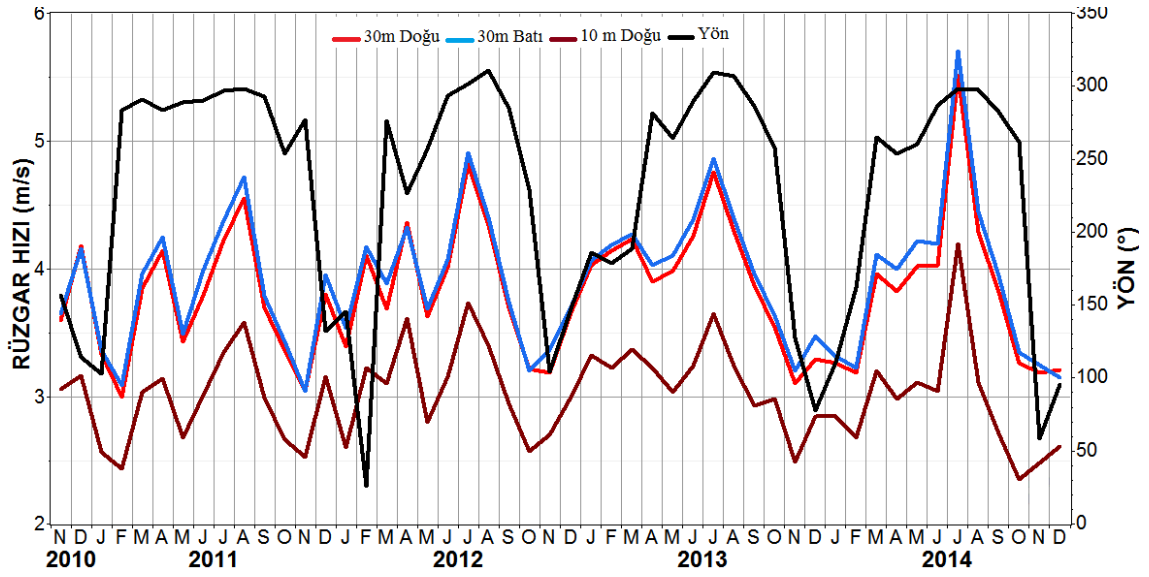
geçmiş yıllardaki ortalamaların altında kalmasından dolayı Eskişehir bölgesinin genel olarak meteorolojik ortalamalarının altındadır. Bu durum en yüksek rüzgar hız değerlerinin düşük olmasından da anlaşılabilmektedir.

Ölçüm istasyonunda rüzgar hız ve yön bilgileri dışında ölçülen diğer değerler Çizelge 4.2 de verilmiştir. Buna göre Eskişehir bölgesinde yaklaşık 4 yıllık sıcaklık ortalaması 10,7 °C dir. En yüksek sıcaklıklar Ağustos ayında, en düşük ise Ocak veya Şubat aylarında ölçülmüştür. Nem oranı ise yazları çok düşük rakamlara ulaşmasına rağmen yüksek değerlerdedir. En yüksek nem oranının %100 olarak ölçülmesinin nedeni, nem ölçüm sensörünün açıkta bulunduğundan dolayı doğa olaylarına (yağmur ve kar) maruz kalmasındandır.

Çizelge 4.2. Ölçüm ortalamaları

Parametre	Birimi	Ortalama	En Yüksek	En Düşük
Sıcaklık	°C	10,7	40,3	-17,6
Basınç	mbar	911,4	925	888,9
Hava yoğunluğu	kg/m ³	1,12	1,25	1,02
Nem oranı	%	74,1	100	13,3

Günlük ortalama rüzgar dağılımının aylara göre dağılımı incelendiğinde, bazı günlerde esme hızının 1 m/s nin altında kaldığı ancak bu günlerin oldukça az sayıda olduğu görülmektedir. Ancak, 7 m/s nin üzerinde olduğu gün sayısı ise yeterli düzeydedir. Şekil 4.1 incelendiğinde rüzgar esme hızlarında büyük değişiklikler göstermediği görülmektedir. Yani sürekli olarak belirli bir düzeyde esmektedir. Bu nedenle elektrik üretimi amaçlı türbin seçiminde belirleyici bir unsur olarak bu durum göz önüne alınmalıdır. Sensörlerden alınan değerlere bakıldığında aylık ortalama değerlerin 3 m/s den büyük, 5 m/s den küçük oldukları görülmektedir.



Şekil 4.1. Aylık ortalama rüzgar hızları değerleri

Çizelge 4.3. 30m Doğu sensörü rüzgar yön dağılımı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
0°	1,52	1,86	3,91	2,99	3,01	4,07	5,07	4,54	3,42	2,51	2,46	2,47	3,59
30°	1,42	1,93	2,31	2,67	2,50	2,93	3,45	3,22	2,94	2,40	1,87	1,44	2,56
60°	2,45	3,07	2,92	3,11	3,32	3,72	3,80	3,84	3,84	3,16	2,87	2,63	3,09
90°	3,88	4,11	3,85	3,72	3,76	3,82	3,94	4,07	3,81	3,76	3,87	3,85	3,87
120°	3,78	3,36	4,11	4,01	3,88	3,20	3,21	3,18	3,00	3,28	3,53	4,26	3,78
150°	3,32	2,45	3,13	4,05	3,96	4,25	1,31	1,61	1,19	2,99	3,24	3,67	3,30
180°	2,86	2,54	3,04	4,91	3,92	3,21	3,46	1,69	1,67	3,65	2,72	3,45	3,28
210°	4,08	3,06	3,55	4,50	3,90	3,09	2,73	2,11	2,59	2,98	3,28	3,76	3,49
240°	3,13	2,83	3,49	3,90	3,47	3,41	3,49	3,43	3,41	3,22	2,65	2,90	3,34
270°	3,01	3,27	3,65	3,69	3,35	3,92	4,58	4,39	3,80	3,47	2,80	3,45	3,70
300°	4,50	5,16	5,09	4,91	4,61	5,13	5,75	5,57	4,98	4,24	3,75	5,10	4,98
330°	3,25	3,68	4,88	4,35	4,48	4,94	5,58	5,42	4,79	3,83	3,62	4,13	4,70
Ort.	3,50	3,49	3,88	4,05	3,76	4,02	4,63	4,37	3,77	3,34	3,21	3,67	4,0

Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5 de ise 2010-2014 yılları arasında yönler göre rüzgar hız değerlerinin aylık ortalamaları görülmektedir. Çizelge 4.3 e bakıldığında en yüksek rüzgar esme hızlarının 300^0 ile 330^0 dereceler arasında gerçekleştiği görülmektedir. Bu dereceler yön olarak kuzey batıya karşılık gelmektedir. En düşük rüzgar hızlı esme ise 30^0 de yani kuzey- kuzey doğu yönünde gerçekleşmiştir. En yüksek rüzgar hızı ortalaması ise başta Temmuz ve Ağustos olmak üzere Nisan ve Hazirandır. En düşük hız değerleri Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında güney doğu yönünden elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. 30m Batı sensörü rüzgar yön dağılımı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
0^0	2,17	1,91	4,00	3,06	3,09	4,12	5,11	4,61	3,47	2,50	2,52	2,57	3,67
30^0	1,42	1,92	2,32	2,66	2,52	2,89	3,40	3,21	2,91	2,32	1,84	1,48	2,54
60^0	2,44	3,04	2,91	3,06	3,29	3,65	3,73	3,80	3,78	3,07	2,87	2,63	3,06
90^0	3,83	4,03	3,82	3,65	3,71	3,77	3,88	4,02	3,74	3,68	3,86	3,83	3,84
120^0	3,82	3,33	4,16	4,00	3,88	3,23	3,17	3,17	2,98	3,27	3,62	4,32	3,82
150^0	3,36	2,45	3,17	4,08	3,99	4,33	1,34	1,63	1,21	3,01	3,32	3,74	3,34
180^0	2,91	2,56	3,12	4,96	3,99	3,33	3,50	1,72	1,71	3,69	2,81	3,57	3,34
210^0	4,14	3,11	3,64	4,57	4,00	3,22	2,84	2,16	2,65	3,06	3,39	3,90	3,57
240^0	3,20	2,94	3,63	3,99	3,58	3,55	3,58	3,52	3,48	3,31	2,75	3,00	3,44
270^0	3,16	3,49	3,94	3,86	3,53	4,13	4,75	4,58	3,95	3,65	2,98	3,66	3,89
300^0	4,68	5,39	5,36	5,10	4,80	5,33	5,93	5,77	5,15	4,40	3,96	5,32	5,18
330^0	3,39	3,86	5,08	4,52	4,64	5,10	5,73	5,59	4,94	3,95	3,82	4,35	4,87
Ort.	3,57	3,55	4,02	4,15	3,87	4,16	4,75	4,49	3,86	3,40	3,29	3,75	4,1

Çizelge 4.4 de bakıldığında Çizelge 4.3 ile benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Ancak Batı yönündeki bu sensörden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Özellikle 300^0 yönünde yani kuzey batıda 5,18 m/s ile en yüksek sensör ölçüm sonuçları alınmıştır. Aylık ortalamalar bazında Temmuz ve Ağustos aylarında 4

m/s nin üzerinde hız değerleri elde edilmiştir. Özellikle Temmuz ayının Kuzey batı yönü ortalaması 6 m/s ye yakın değerlerdedir.

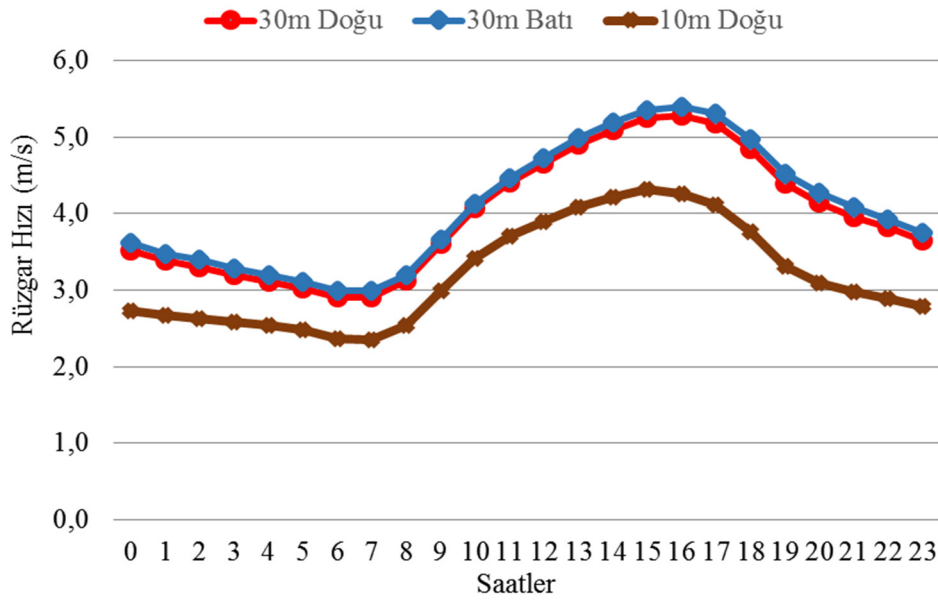
Çizelge 4.5. 10m Doğu sensörü rüzgar yön dağılımı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
0°	1,28	1,53	3,14	2,46	2,41	3,29	4,13	3,67	2,71	1,92	1,98	2,09	2,90
30°	1,23	1,64	2,00	2,29	2,05	2,41	2,89	2,66	2,44	1,96	1,55	1,26	2,14
60°	2,44	2,63	2,59	2,73	2,80	3,16	3,26	3,25	3,30	2,65	2,43	2,33	2,69
90°	3,24	3,34	3,20	3,08	3,06	3,13	3,22	3,32	3,19	3,03	3,11	3,21	3,19
120°	2,97	2,60	3,22	3,18	2,98	2,48	2,60	2,60	2,52	2,51	2,70	3,32	2,94
150°	2,29	1,90	2,21	2,65	2,47	2,69	1,42	1,57	1,51	2,27	2,32	2,44	2,30
180°	2,35	2,36	2,53	3,78	2,95	2,51	2,92	1,73	1,83	3,26	2,55	2,85	2,78
210°	3,64	3,00	3,29	4,01	3,36	2,72	2,56	2,27	2,42	2,95	3,27	3,50	3,23
240°	2,47	2,31	2,81	3,05	2,56	2,50	2,54	2,44	2,48	2,49	2,29	2,40	2,55
270°	2,08	2,29	2,64	2,58	2,24	2,67	3,10	2,89	2,50	2,31	2,00	2,48	2,53
300°	3,42	3,93	4,12	3,98	3,63	4,07	4,56	4,28	3,79	3,22	2,95	4,08	3,90
330°	2,67	2,89	4,04	3,66	3,70	4,10	4,62	4,44	3,88	3,07	3,01	3,48	3,87
Ort.	2,83	2,81	3,14	3,24	2,90	3,11	3,60	3,33	2,89	2,64	2,64	2,99	3,20

Çizelge 4.5 de sensör yüksekliği 10m de olduğundan düşük değerler ölçülmüştür. En yüksek hız değerleri 300° ve 330° den elde edilmiştir. Bu dereceler kuzey batı yönünü göstermektedir. En düşük kuzey doğu yönünden elde edilmiştir. Aylık olarak Nisan, Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek olmak üzere dengeli bir hızda esme gerçekleşmiştir.

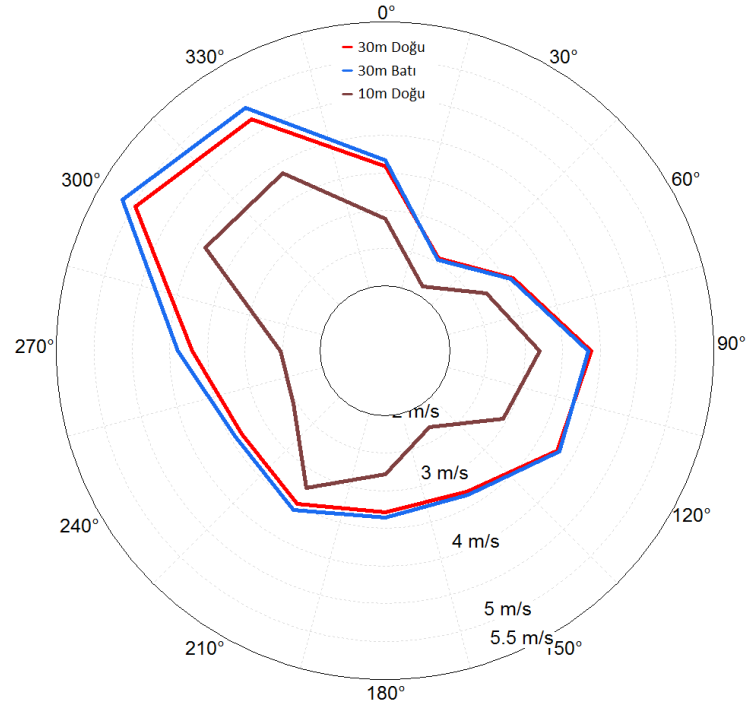
Aylık ortalama rüzgar hızları değerlerinin saatlere göre değişimi incelendiğinde, ölçüm yapılan bölgede rüzgar hızı değerleri gece boyunca en düşük değerlerde seyretmekte fakat sabah saatlerinden itibaren artmakta ve öğle saatlerinde en yüksek

değerlere ulaşmaktadır (Şekil 4.2). En düşük değerler sabah 6 ile 7 arası ve en yüksek değerler ise öğleden sonra saat 15 ile 18 arasında ölçülmüştür.

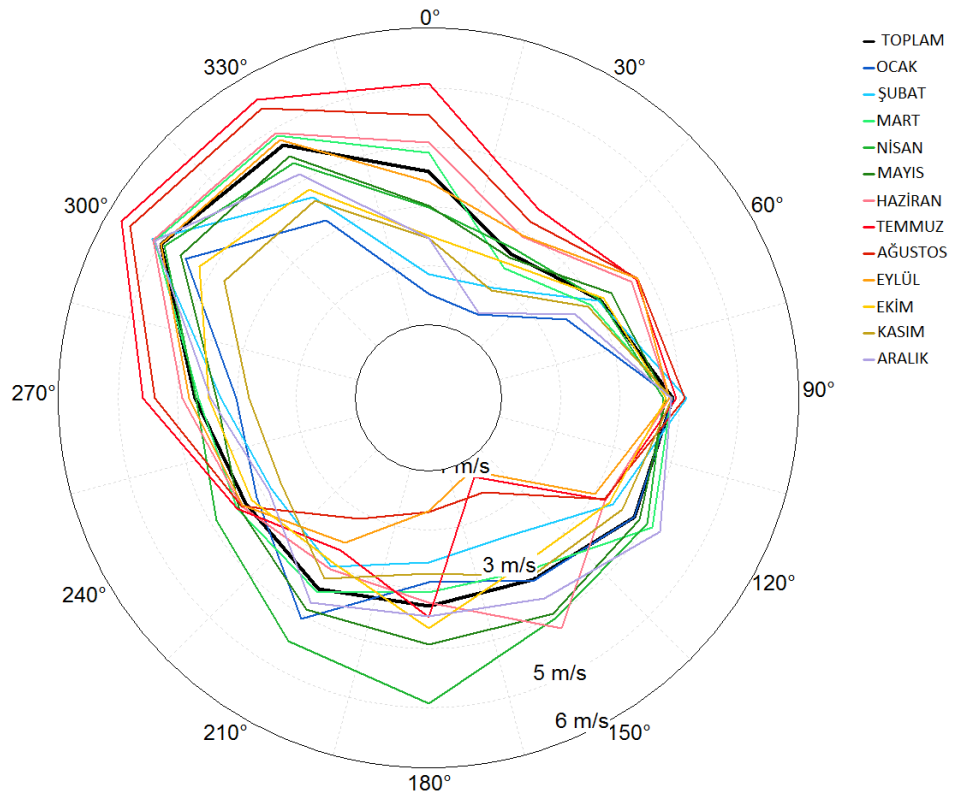


Şekil 4.2. Aylık ortalama rüzgar hızları değerlerinin saatlere göre değişimi

Şekil 4.3a da her 3 sensör için rüzgar esme hızı sonuçlarının yönler göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.3b de ise ölçüm yapılan aylar sonucunda genel olarak rüzgar esme yönü görülmektedir, buna göre ağırlıklı olarak rüzgar batı- kuzey batı yönünden esmektedir. Ancak her ne kadar güney batı ve kuzey batı yönlerinden esme sayısı çok olsa da kuzey batı yönünde esme hızı daha fazladır. Bu nedenle ölçüm yapılan bölgede hakim rüzgar yönü kuzeybatıdır. Hakim rüzgar yönünün tespiti hem enerji üretimi için önemlidir hem de kentsel yapılaşma için önem arz etmektedir. Yerleşim yerlerinde özellikle kış aylarında hava kirliliğinin önlenmesi için yapı planlarının hakim rüzgar yönünü kapatmayacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle, kuzeybatı yönü şehir planlamasında dikkat edilmesi gereken önemli bir etkidir.



(a)



(b)

Şekil 4.3: Aylara göre hakim rüzgar yönleri

4.2 Ölçülen Güneş Işınım Verileri

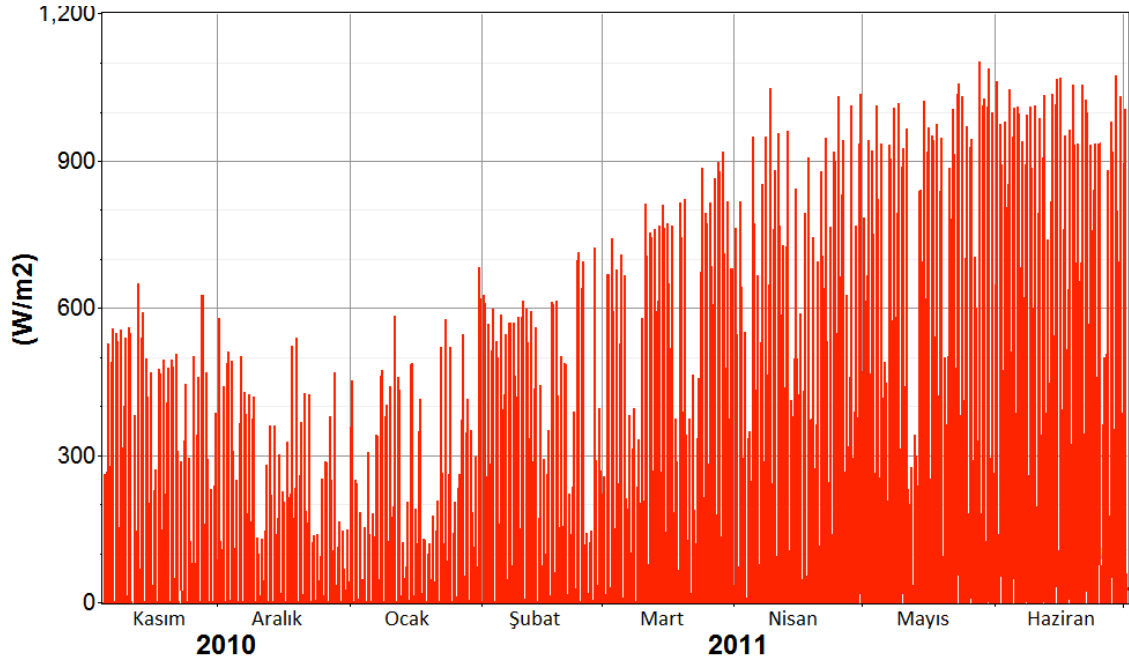
Işınım şiddeti aylık ortalama ölçüm sonuçlarına bakıldığında, kış sezonunda ışıınım şiddeti oranlarında belirli rakamlara ulaşılması hava olaylarının çok az sayıda olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.6 ya bakıldığında Aralık ve Ocak ayları dışındaki zaman diliminde ışıınım şiddeti oldukça yüksektir, Nisan ve Eylül ayları arasında ise en yüksek ışıınım değerleri elde edilmiştir. Işınım şiddeti ortalamaları alınırken 24 saatlik ortalamalar alınmıştır.

Çizelge 4.6. Aylık Ortalama ışıınım şiddetleri

Aylar	Işınım Şiddeti (W/m ²)
Ocak	61,0
Şubat	107,3
Mart	158,4
Nisan	194,4
Mayıs	224,5
Haziran	278,7
Temmuz	327,1
Ağustos	298,3
Eylül	229,0
Ekim	160,0
Kasım	102,5
Aralık	58,8

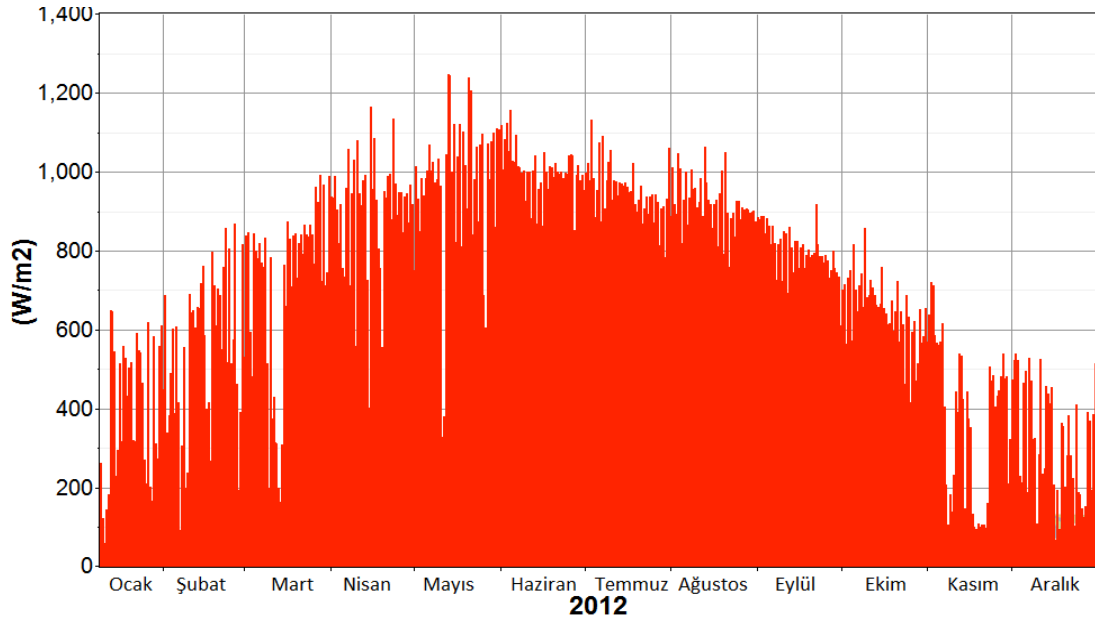
Çizelge 4.6 da verilen değerler güneşin batışından doğuşuna kadarki bölümü de kapsadığından sistem tasarımlarında aylık ortalamalar kullanılabilir. Ancak gündüz saatlerindeki değerlere bakmak gerektiğinde dataloggerdan 10dk lık aralıklarla alınan verilerin tamamını incelemek gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 4.4 e bakıldığında ölçümlerin başladığı 2010 Kasım ayından 2011 Temmuz ayına kadarki değerler görülmektedir. 2011 Temmuzdan itibaren 2012 Ocak ayına kadarki datalogger verileri hatalı ölçüm olarak alındığından hesaplamalara dahil edilmemiştir. Özellikle kış

aylarında 300 W/m^2 değerlerine kadar düşen ışıınım şiddeti Mayıs ve Haziran aylarında 1000 W/m^2 değerine kadar çıkmıştır. Bazı günlerde değerlerin oldukça düşük olması bulutluluk faktöründen kaynaklanmaktadır.



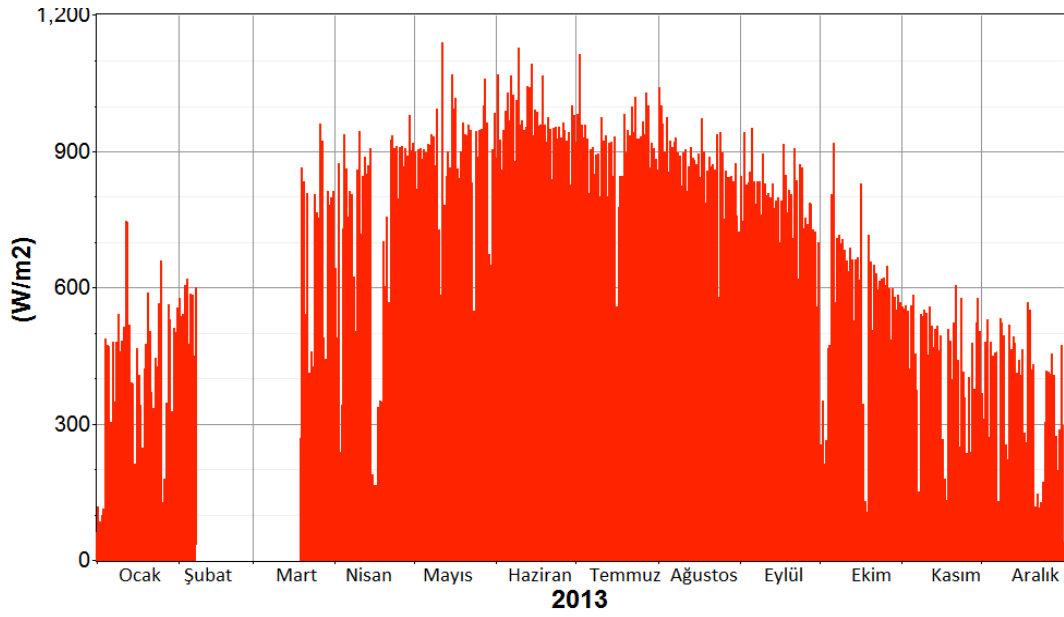
Şekil 4.4. 2010-2011 Ortalama ışıınım şiddeti değerleri

Şekil 4.5 de ise 2012 yılına ait ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında, en yüksek 1250 W/m^2 değerine ulaşılırken, Mayıs ayında 300 W/m^2 değerine kadar düşülmüş ancak kış aylarında 100 W/m^2 değerinin altı görülmüştür.



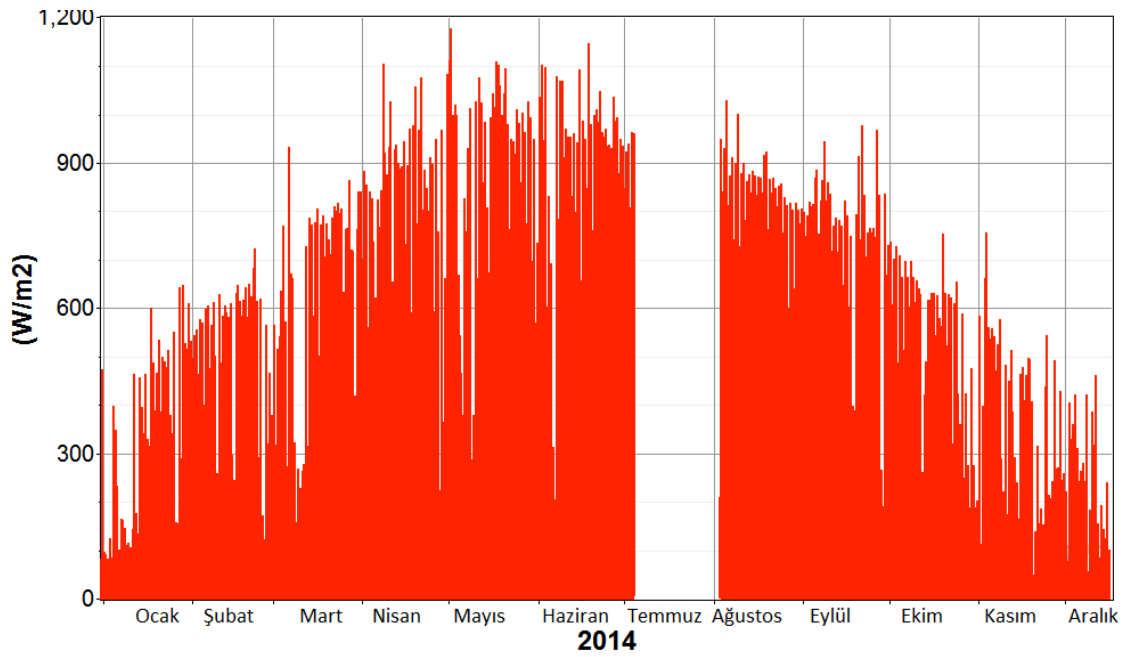
Şekil 4.5. 2012 yılı ortalama ışıınım şiddeti değerleri

Şekil 4.6 da 2013 yılına ait ışıınım şiddeti değerleri görölmektedir. Bu yıla ait ölçümlerin Şubat ayının 7 sinde Mart ayının 19 una kadar ölçüm alınamamıştır.



Şekil 4.6. 2013 yılı ortalama ışıınım şiddeti değerleri

Şekil 4.7 de 2014 yılına ait ortalama ışıınım şiddeti değeri verilmiştir. 4 Temmuz ile 3 Ağustos tarihleri arasında ölçüm alınamamıştır. En yüksek 1250 W/m^2 değerine ulaşan ışıınım değeri kış aylarında bulutluluk faktörünün yüksek olduğu günlerde 50 W/m^2 değerinin altına inmiştir.



Şekil 4.7. 2014 yılı ortalama ışıınım şiddeti değeri

Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 karşılaştırıldığında özellikle 2012 yılında ışıınım şiddetinin en yüksekte olduğu görülmektedir. Diğer aylarda ise ölçüm sonuçları birbirine yakın değerlerdedir. Kış aylarında bile birçok günün ortalaması 300 W/m^2 nin üzerindedir. Bu değer ölçüm bölgesinde, güneş enerjisi ile enerji üretimi için gerekli olan ışıının kış aylarında bile yeterli seviyede olduğunu göstermektedir.

5 İSTATİSTİKİ DAĞILIMLARA UYGUNLUK

Rüzgar istasyonundan 10 metre doğu, 30 metre doğu ve 30 metre batı yönlerinde alınan saatlik rüzgar hızı ölçümleri yardımıyla rüzgar hızlarını temsil eden en uygun dağılım belirlenerek rüzgar enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Rüzgar hızlarının enerji potansiyeli tahmin edilmesinde kullanılan istatistiksel yaklaşım aşağıdaki adımları içermektedir;

- Rüzgar hız verilerinin uyduğu olasılık dağılımının belirlenmesi
- Belirlenen dağılımın parametrelerinin tahmin edilmesi
- Belirlenen dağılımdan yararlanarak güç tahmini.

5.1 Rüzgar Hızı Verileri için Uygun Dağılımın Belirlenmesi

Rüzgar hızı verilerinin sahip olduğu dağılımın istatistiksel olarak belirlenmesi, rüzgar enerjisi potansiyelinin bilimsel bir yöntemle elde edilmesini sağlar. Rüzgar hızı olarak tanımlanan sürekli rassal değişkenin uyduğu olasılık dağılımını belirlemek için en sık kullanılan uyum iyiliği testleri Kolmogorov – Smirnov, Anderson Darling ve Ki-Kare testleridir. Bu nedenle izleyen kısımda bu bahsedilen uyum iyiliği testlerinin teorik yapısına kısaca değinilmiştir.

5.1.1 Ki-Kare Uygunluk Testi

Olasılık dağılımı, bilinmeyen $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ parametrelerine dayanan rassal bir X değişkeninin rassal bir örneği $X_1, X_2, \dots, X_n$ ile verilsin. Parametrelerin tahmininde, ana kütle momentlerine eşit örnek momentleri belirlenerek çözülür. Bir sıklık dağılımının öngörülen bir modele uygunluğu araştırılırken özetle aşağıdaki işlemler yapılır:

Öncelikle verilen dağılımın;

- Sıfır etrafındaki momentleri (M_1, M_2, M_3, M_4) hesaplanır,
- Aritmetik ortalama etrafındaki momentleri ($\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$) hesaplanır,
- Standart momentler (α_3 ve α_4) hesaplanır,
- Sıklık dağılımının momentleri ile öngörülen teorik modelin momentleri karşılaştırılır,
- Söz konusu momentler birbirine yakın ise dağılım önerilir,
- Önerilen dağılıma göre olasılıklar ve olasılıklardan yararlanılarak beklenen frekanslar hesaplanır,
- Ki – kare uygunluk sınaması yapılır

Hesaplanan standart momentler ile teorik momentler birbirine yeterince yakınsa öngörülen modelin sıklık dağılımına uygun bir model olarak sınanmasına geçilir. Öngörülen modelin teorik modeli yeterince temsil edip edilmediğini sınamak için teorik frekanslar (beklenen frekanslar) hesaplanır ve Ki- kare sınamasıyla beklenen frekanslarla teorik frekanslar karşılaştırılır. Ki-kare sınamasında gözlenen frekanslarla H_0 hipotezinin doğru olduğu varsayımına dayanarak hesaplanan beklenen (teorik) frekanslar arasındaki farkın anlamlılığını test eder. Ki-kare sınamasında sıfır ön savı aşağıdaki gibi yazılır.

- H_0 : Verilen sıklık dağılımı... dağılımına uygundur (g_i ve b_i arasında anlamlı bir fark yoktur. Gözlemlenen frekanslarla beklenen frekanslar birbirine oldukça yakındır).
- H_1 : Verilen sıklık dağılımı ... dağılımına uygun değildir (g_i ve b_i arasında anlamlı bir fark vardır).
- Serbestlik derecesi (SD); ana kitle parametrelerinin bilinip bilinemediği durumlara göre farklı şekilde hesaplanır.

Ana Kitle parametresi biliniyor ise: $SD = k-1$ (k: grup sayısı), ana kitle parametresi bilinmiyor ise (örneklemden tahmin ediliyor ise): $SD=k-1-m$ (k: grup sayısı; m: parametre sayısı) şeklindedir. Bu sınama için test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(g_i - b_i)^2}{b_i} \quad 5.1$$

burada; Ki-kare hesap değeri > Ki-kare tablo değeri ise Sıfır hipotezi ret edilir (veya $\alpha > p$ ise sıfır hipotezi ret edilir) (Yılmaz, 2012).

5.1.2 Kolmogorov - Smirnov Uygunluk Testi

Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi amacıyla kullanımı sırasında test edilen kuramsal birikimli dağılım fonksiyonu $F_o(x)$ ve gözlenen birikimli dağılım fonksiyonu $S_n(x)$ olmak üzere iki dağılım fonksiyonu ile ilgilenilmektedir. Gerçek ama dağılımı bilinmeyen bir fonksiyon olan $F(x)$ den alınan rassal bir örneklemin gözlenen birikimli dağılım fonksiyonu olan $S_n(x)$ den hareketle X rassal değişkeninin her değeri için $F(x)$ ile $F_o(x)$ arasında bir fark olup olmadığı araştırılmaktadır. Bu doğrultuda oluşturulan hipotezler;

$$\begin{aligned} H_0 : F(x) &= F_o(x) \text{ (Tüm } X\text{'ler için)} \\ H_1 : F(x) &\neq F_o(x) \text{ (En az bir } X \text{ için)} \end{aligned} \quad 5.2$$

biçiminde olmaktadır.

Hipotezlerin yukarıdaki biçimde oluşturulmasından sonra, kuramsal birikimli dağılım fonksiyonu ile gözlenen birikimli dağılım fonksiyonu arasında ilişki olup olmadığını ortaya koymak amacıyla; söz konusu dağılım fonksiyonları karşılaştırılarak, dağılımlar arasındaki en büyük mutlak fark en büyük sapma olarak ele alınmaktadır. Kolmogorov-Smirnov Uygunluk testinin test istatistiği;

$$D = \max |F_x(x) - S_T(x)| \quad 5.3$$

formülünden hareketle elde edilmektedir. Verilen herhangi bir x gözlemi için $S_T(x) = m / T$ dir. Burada m , gözlem sayısının x 'e eşit veya ondan küçük olanların sayısıdır. Rassal örneklemin elde edildiği, gerçek ama bilinmeyen dağılım fonksiyonu $F(x)$ 'in kuramsal birikimli dağılım fonksiyonu $F_0(x)$ 'e uygun olduğunu ileri süren H_0 hipotezinin geçerli olması her gözlem değeri için formülde verilen iki birikimli dağılım fonksiyonunun birbirine yakın olmasına bağlıdır. Bu ise elde edilen test istatistiğinin belirli bir örneklem büyüklüğü ve seçilen anlamlılık düzeyindeki Kolmogorov-Smirnov tablo değerine eşit ya da küçük olması demektir. Test istatistiğinin tablo değerinden büyük olması durumunda ise H_0 reddedilmektedir. Kolmogorov - Smirnov uygunluk testinin Ki-Kare uygunluk testine göre iki önemli üstünlüğe sahip olduğu ileri sürülmektedir. Bu üstünlükler;

- Küçük hacimli örneklemeler söz konusu olduğunda Ki-Kare testi hataya elverişli olmasına karşın, Kolmogorov - Smirnov testinin güvenilir sonuçlar vermesi,
- Herhangi bir örneklem büyüklüğü için çoğu zaman Ki-Kare testinden daha güçlü sonuçlar ortaya koyması biçiminde özetlenebilir (Yılmaz, 2012).

5.1.3 Anderson – Darling Testi

Anderson – Darling test istatistiği, uyum iyiliği testlerinden Ki – Kare ve Kolmogorov-Smirnov test istatistiklerine alternatif bir testtir. Anderson – Darling testi, kritik değerler hesaplamada belirli dağılımlardan yararlanır. Avantajı daha duyarlı bir test olması, dezavantajı ise her bir dağılım için kritik değerler hesaplamasıdır. Anderson – Darling testi için kritik değer; test edilen belirli dağılımlara bağlıdır. Birkaç özel dağılım için (Normal, Lognormal, Üstel, Weibull ve Lojistik Dağılım) sınıflandırılmış değer ve formüller yayınlanmıştır. Test, tek taraflı bir testtir. Eğer test istatistiği kritik değerden daha büyükse hipotez reddedilir.

Anderson – Darling testi şöyle tanımlanır: H_0 : veri özel bir dağılımdan gelir; H_1 : veri özel bir dağılımdan meydana gelmez. Anderson – Darling testi, bir örneğin belirgin

bir dağılımdan gelip gelmediğini değerlendirir. Eğer veri $\{Y_1 < \dots < Y_N\}$ (veriler düzenlenmiş olmalı) birikimli dağılım fonksiyonla bir dağılımdan gelirse test istatistiğini hesaplamak için formül;

$$A^2 = -N - S \text{ ve}$$

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln(1 - F(Y_{N+1-k}))] \quad 5.4$$

şeklindedir. F, belirtilen dağılımın birikimli olasılık fonksiyonudur. (Y, düzenlenmiş veri olmalıdır). P değerine karar vermek için teorik dağılımın (kullanılan F' in bağlı olduğu) kritik değerine karşı test istatistiği kıyaslanabilir. Normallik için Anderson – Darling testi, bir mesafe ya da ampirik dağılım fonksiyon testidir. Bir hipoteze bağlı dağılımı veren kavram, verinin uniform dağılıma dönüştürülebildiğine dayanır. Anderson – Darling, En küçük kareler yöntemi ile Maksimum Olasılık için Pearson Korelasyon Katsayının karesini alarak dağılıma uygunluğu karşılaştırmamıza yardımcı olur. Anderson – Darling istatistiği, verilerin olasılık grafiğinde çizilen çizgiden ne kadar uzakta olduğunu gösteren bir ölçüdür. Bu nedenle sonuçların karşılaştırılmasında etkilidir (Yılmaz, 2002).

Ele alınan değişkene ilişkin ölçülen değer sayısı işlemlerin elle çözümünü imkansız hale getirdiğinden yukarıda ifade edilen testlerin istatistiksel yazılımlar kullanılarak yapılması gerekmektedir. Bu nedenle; hesaplamalarda bilgisayar programlarından yardım almak zorunludur. En bilinen istatistik programları Minitab ve Easyfit programları olduğundan, uyum iyiliği test sonuçları bu programlardan alınan çıktılar ile hesaplanmıştır.

5.2 Programlarla Uygunluk Testleri

5.2.1 Minitab programı ile dağılıma uygunluk testi

Rüzgar hızı için Minitab programı, Anderson Darling test istatistiğini kullanarak uygun dağılımı belirlemede kullanılmıştır. Bu analizde rüzgar hızlarının uyabileceği olası dağılımlardan Weibull, Lognormal, Üstel, Loglogistic, 2 Parametrelili Üstel, 3 Parametrelili Loglogistic, Normal ve Logistic dağılımları ele alınarak kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda en küçük Anderson Darling test istatistik değerine ve en büyük korelasyon katsayısına sahip dağılım verilere en temsil eden dağılım olduğundan tahminler için uygun bulunan bu dağılım kullanılarak yapılmıştır.

Test sırasında 30m Doğu, 30m Batı ve 10m Doğu için elde edilmiş verilere ayrı ayrı uyum testi yapılmış sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 30m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Test Değeri	Korelasyon Katsayısı
Weibull	16,4	0,989
Lognormal	196,6	0,961
Üstel	1678,9	*
Loglogistic	192,1	0,957
2 Parametrelili Üstel	1184,3	*
3-Parametrelili Loglogistic	42,2	0,986
Normal	28,8	0,988
Logistic	52,9	0,981

Çizelge 5.2. 30m Batı Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Test Değeri	Korelasyon Katsayısı
Weibull	13,3	0,990
Lognormal	185,2	0,963
Üstel	1673,0	*
Loglogistic	181,2	0,959
2 Parametrelili Üstel	1186,1	*
3-Parametrelili Loglogistic	42,7	0,985
Normal	31,7	0,988
Logistic	56,8	0,981

Çizelge 5.3. 10m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Test Değeri	Korelasyon Katsayısı
Weibull	13,0	0,990
Lognormal	88,2	0,980
Üstel	1601,9	*
Loglogistic	93,4	0,974
2 Parametrelili Üstel	960,4	*
3-Parametrelili Loglogistic	40,7	0,986
Normal	75,9	0,979
Logistic	99,7	0,973

Minitab programı Anderson Darling test istatistiği sonuçlarına göre her 3 veri seti için en uygun dağılım Weibull olarak belirlenmiştir. Bu belirlemede yapıldıktan sonra şekil ve ölçek parametreleri bu dağılım üzerinden hesaplanacaktır.

5.2.2 Easyfit programı ile dağılıma uygunluk testi

Easyfit programı ile, Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling ve Ki-Kare test istatistiklerini kullanarak dağılıma uygunluk sınaması yapılmıştır. Sınama için Üstel, 2 parametrelili Üstel, Gamma, Lognormal, Normal ve Weibull Dağılımlarını kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları olarak test istatistikleri ve önerilme sırası verilmiştir. Burada da en küçük test istatistiğine sahip dağılım verilere en uygun dağılımdır. Test sırasında 30m Doğu, 30m Batı ve 10m Doğu için elde edilmiş verilere ayrı ayrı uyumluluk testi yapılmış sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 da verilmiştir.

Çizelge 5.4. 30m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Ki-Kare	
	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası
Üstel	0,22	6	792,82	6	4007,30	6
2 Parametrelili Üstel	0,20	5	603,43	5	3031,70	6
Gamma	0,06	3	86,08	3	573,71	3
Lognormal	0,11	4	194,8	4	1438,0	4
Normal	0,05	2	28,54	2	186,34	1
Weibull	0,04	1	18,91	1	228,08	2

Çizelge 5.5. 30 m Batı Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Ki-Kare	
	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası
Üstel	0,21558	6	790,9	6	4117,6	6
2 Parametrelili Üstel	0,19164	5	583,08	5	2995,8	6
Gamma	0,05414	3	78,87	3	511,99	3
Lognormal	0,1062	4	183,8	4	1405,4	4
Normal	0,04586	2	31,179	2	164,95	2
Weibull	0,03598	1	15,109	1	158,49	1

Çizelge 5.6. 10m Doğu Uyum İyiliği Test Sonuçları

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Ki-Kare	
	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası	İstatistik	Önerilme Sırası
Üstel	0,22	6	795,61	6	3711,0	6
2 Parametrelili Üstel	0,18	5	506,29	5	2200,7	5
Gamma	0,04	2	22,92	2	211,99	2
Lognormal	0,08	4	88,22	4	725,87	4
Normal	0,08	3	75,11	3	576,04	3
Weibull	0,03	1	9,28	1	144,35	1

Easyfit paket programı 30m Doğu rüzgar verileri için Kolmogorov Smirnov ve Anderson Darling sınamasına göre 1. sırada Ki-Kare sınamasına göre de 2. sırada Weibull dağılımı önerilmiştir. 30m Batı ve 10m Doğu rüzgar verileri içinse her üç test istatistiği de Weibull dağılımı en uygun dağılım olarak önerilmiştir. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik 4.3’de verilmiştir (Akdağ ve Dinler, 2009; Akdağ ve Güler, 2008; Aras vd., 2006; Burton, 2002; Carta vd, 2008; Chang, 2001; Erişoğlu, 2003; Kurban vd, 2007; Ulgen ve Hepbaşlı, 2002; Weisser, 2003).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad 5.5$$

Burada, k:şekil parametresi; c:ölçek parametresi; v: rüzgar hızını göstermektedir.

Her iki program kullanılarak elde edilen ve üç test istatistiğine göre en uygun dağılım 2 parametrelili Weibull dağılımı olarak belirlenmiştir. Birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da Weibull dağılımı rüzgar hızı verilerini temsil eden en uygun dağılımdır (Yılmaz ve Çelik, 2012; Deaves ve Lines, 1997; Kurban, 2007; Garcia vd., 1998; Dorylo, 2002; Sulaiman vd., 2002; Jacoyides vd., 2002; Ulgen ve Hepbasli, 2002; Özerdem ve Turkeli, 2003; Karşı ve Geçit, 2003, Bivona vd., 2003; Weisser, 2003).

Rüzgar hızı verilerinin uyduğu dağılım belirlendikten sonra, dağılımın parametreleri belirlenir. İstatistiksel analizlerde dağılımın parametrelerinin tahmin edilmesinde yaygın olarak En Çok Olabilirlik Tekniği ve En küçük kareler tekniği kullanılır. Bu nedenle; parametre tahmininin teorik yapısı ve rüzgar hızlarını temsil etmek için en uygun dağılım olarak belirlenen Weibull dağılımı için bahsedilen parametre tahminleri bu teknikler ile hesaplanmıştır.

5.3 Parametre Tahmini

5.3.1 En çok olabilirlik tekniği

En çok olabilirlik tekniği ilk kez Edgewort tarafından 1908 yılında kullanılmıştır. 1921 yılında Fisher, bu teknik ile tahmin edilen tahmincinin varyansı için genel bir formül bulmuş ve böylece bu teknik daha da önem kazanmıştır (İnal ve Günay, 1999).

Parametre tahmini yapmadan önce en çok olabilirlik tekniğinin bilinmesi gereklidir:

$X_1, X_2, \dots, X_n$ rassal değişkenleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x_i, \theta)$ olmak üzere olabilirlik fonksiyonu

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad 5.6$$

şeklinde dir. $X=x$ olarak gözlemlendiğinde θ nın bir fonksiyonu olan,

$$L(\hat{\theta}; x) = \max_{\theta \in \Theta} \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad 5.7$$

fonksiyonunu elde edilir. Logaritma fonksiyonunun monotonluğu göz önüne alındığında,

$$\ln L(\hat{\theta}; x) = \max_{\theta \in \Theta} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i, \theta) \quad 5.8$$

yazılabilir (Özgür, 2006). Bazı durumlarda $\max_{\theta \in \Theta} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i, \theta)$ optimizasyon problemini çözmek daha kolay olmaktadır. Bu sebepten dolayı genellikle, olabilirlik fonksiyonu yerine onun doğal logaritması olan ve log-olabilirlik fonksiyonu kullanılabilir. Bu durumda $\hat{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ analitik çözümünü elde etmek kolaylaşmaktadır. Fakat bazı durumlarda bu çözümü bulmak mümkün olmamaktadır. Analitik çözüm elde edilmediğinde en çok olabilirlik tahmin edicisi biçimsel olarak bilinmemekte, yani örneklemin bir fonksiyonu olarak açık bir biçimde yazılamamaktadır. Böyle durumlarda, optimizasyon problemi belli bir algoritma ile çözülüp parametrenin tahmini yapılmaktadır. Elde edilen tahmin en çok olabilirlik tahmin edicilerinin taşıdığı özellikler açısından değerlendirilebilir. Ancak, böyle durumlarda esas sıkıntılı olan nokta zayıf koşulluluk problemidir. Zayıf koşulluluk durumunda sayısal yöntemler yuvarlatma hataları gibi sebeplerden dolayı gerçek çözümlerden uzak olan çözümler ortaya çıkabilmektedir (Öztürk ve Akdi, 2006).

5.3.2 Weibull dağılım parametreleriyle En Çok Olabilirlik tahmini

$X_1, X_2, \dots, X_n$ birbirinden bağımsız ve k ve c parametreleri ile iki parametrelili Weibull dağılımına sahip kitleden çekilmiş rassal örneklemeler olduğu varsayıldığında, bu durumda iki parametrelili Weibull dağılımı için en çok olabilirlik fonksiyonu

$$L(k, c) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad 5.9$$

$$L(k, c) = \prod_{i=1}^n c k^{-c} x_i^{c-1} \exp(-k^{-c} x_i^c) \quad 5.10$$

şeklinde dir. Olabilirlik fonksiyonun doğal logaritması alınır

$$\ln L(k, c) = \sum_{i=1}^n \ln c - c \ln k + (c - 1) \ln x_i - k^{-c} x_i^c \quad 5.11$$

$$\ln L(k, c) = n \ln c - n c \ln k + (c - 1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - k^{-c} \sum_{i=1}^n x_i^c \quad 5.12$$

eşitliği elde edilir. Olabilirlik fonksiyonunun parametrelere göre kısmi türevlerinin alınıp sıfıra eşitlenmesiyle

$$\frac{\partial \ln L(k, c)}{\partial k} = -n c k^{-1} + c k^{-(c+1)} \sum_{i=1}^n x_i^c = 0 \quad 5.13$$

$$\frac{\partial \ln L(k, c)}{\partial c} = n c^{-1} - n \ln k + \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{x_i}{k} \right) x_i^c k^{-c} = 0 \quad 5.14$$

eşitliklerin çözülmesiyle k ve c parametrelerinin tahmini yapılmış olur. Bu durumda $\hat{k}$ ve $\hat{c}$ tahmin değerleri

$$(1 - \hat{c}) \sum_{i=1}^n x_i^{-1} + n \hat{c} (\sum_{i=1}^n x_i)^{-1} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}-1} = 0 \quad 5.15$$

ve

$$\begin{aligned} n \hat{c}^{-1} - n \hat{c}^{-1} \ln \left[n (\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}})^{-1} \right] + \sum_{i=1}^n x_i - n (\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}})^{-1} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} \ln x_i - \\ n \hat{c}^{-1} (\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}})^{-1} \ln \left[n (\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}})^{-1} \right] \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} = 0 \end{aligned} \quad 5.16$$

eşitlikleri yardımıyla belirlenir ve bu tahmin değerleri yardımıyla da

$$\hat{c} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{k}}}{n} \right)^{1/\hat{k}} \quad 5.17$$

$$\hat{k} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{k}} \ln(x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{k}}} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \right)^{-1} \quad 5.18$$

olarak belirlenir (Erişoğlu, 2003; Özgür, 2006; Gülersoy ve Çetin, 2010).

5.3.3 En Küçük Kareler tekniği

En Küçük Kareler Tekniği, parametre tahmininde yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Büyük hacimli örneklem için oldukça iyi çözümler vermesine karşın küçük hacimli örneklemelerde diğer tekniklere göre yetersiz kalmaktadır.

En Küçük Kareler Yöntemi, genel olarak, gözlem noktalarına eğri uydurmada kullanılan istatistiksel bir yaklaşım yöntemi olarak bilinmektedir. Bununla birlikte regresyon, doğrusal ve doğrusal olmayan modellerde parametre tahmininde çok kullanılan bir tahmin yöntemidir.

X ve Y'nin ortak dağılımında $X=x$ olarak verildiğinde Y'nin koşullu dağılımının beklenen değeri için,

$$E(Y/X = x) = k + cx \quad 5.19$$

bağıntısı söz konusu olduğunda ve k, c parametreleri tahmin edildiğinde, X değişkeni ile ilgili gözlemler sabit sayılar olduğunda;

$$Y_i = k + cx_i + \varepsilon_i \quad 5.20$$

basit doğrusal regresyon modeli yazılabilir. Burada ε_i 'ler sıfır ortalamalı ve sabit varyanslı rassal değişkenlerdir.

$$\min_{k,c} \sum_{i=1}^n (Y_i - k - cx_i)^2 \quad 5.21$$

probleminin çözümü olan $\hat{k}$ ve $\hat{c}$ istatistiklerine en küçük kareler tahmincileri denir. Bu hata terimlerinin toplamının minimize edilmesidir (İnal ve Günay, 1999; Özgür, 2006).

5.3.4 Weibull dağılımı ile En Küçük Kareler tahmini

X in rassal bir değişken kabulü ve X in olasılık dağılımı bir bütün olarak tanımlanırsa, bu durumda kümülatif olasılık fonksiyonu $F(x_i)$;

$$F(x_i) = 1 - \exp\left(-\frac{x_i^c}{k^c}\right) \quad 5.22$$

$$1 - F(x_i) = \exp\left(-\frac{x_i^c}{k^c}\right) \quad 5.23$$

$$[1 - F(x_i)]^{-1} = \exp\left(\frac{x_i^c}{k^c}\right) \quad 5.24$$

şeklindedir. Eşitlik 5.4 ün logaritması alınır;

$$-\ln[1 - F(x_i)] = \frac{x_i^c}{k^c} \quad 5.25$$

elde edilir. Eşitlik 5.25 in tekrar logaritması alındığında,

$$\ln[-\ln[1 - F(x_i)]] = -c \ln k + c \ln x_i \quad 5.26$$

eşitliği elde edilir. Burada $\ln[-\ln[1 - F(x_i)]]$ ile $\ln x_i$ arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Bu durumda iki parametrelili Weibull dağılımının parametreleri

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \ln[-\ln[1 - F(x_i)]] - n \left[-\ln[1 - E(F(x_i))]] \right] \right\}^2 \quad 5.27$$

Eşitliği ile tahmin edilir. k ve c parametrelerinin tahmini için aşağıdaki eşitlikler kullanılır (Yılmaz, 2012):

$$\hat{c} = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln x_i \ln[-\ln\{1 - F(x_i)\}] - \sum_{i=1}^n \ln x_i \ln[-\ln\{1 - F(x_i)\}]}{n \sum_{i=1}^n \ln x_i^2 - [\sum_{i=1}^n \ln x_i]^2} \quad 5.28$$

$$\hat{k} = \frac{\hat{c} \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln[-\ln\{1-F(x_i)\}]}{n\hat{c}} \quad 5.29$$

5.4 Minitab Programı ile Parametre Tahmini

Veriler Minitab programına girildikten sonra hem En Küçük Kareler hem de En Çok Olabilirlik Tekniğine göre tahmin yapılmıştır. Bu durumda önce En Küçük Kareler Tekniğine göre 30m Doğu, 30m Batı ve 10m Doğu verileri için ayrı ayrı parametre tahmini yapıp sonuçlar Çizelge 5.7 de verilmiştir. Daha sonra ise, En Çok Olabilirlik Tekniğine göre üç veri seti için tahmin yapılmış sonuçlar Çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.7. En Küçük Kareler Tekniğine Göre Parametre Tahmini Sonuçları

Parametre	30m Doğu için Tahmin	30m Batı için Tahmin	10m Doğu için Tahmin
Şekil (α, k)	1,902	1,910	2,042
Ölçek (β, c)	4,233	4,323	3,283

Çizelge 5.8. En Çok Olabilirlik Tekniğine Göre Parametre Tahmini Sonuçları

Parametre	30m Doğu için Tahmin	30m Batı için Tahmin	10m Doğu için Tahmin
Şekil (α, k)	1,945	1,945	1,925
Ölçek (β, c)	4,236	4,328	3,321

Bir bölge rüzgar enerjisi üretimine uygun olup olmadığını bilmek önemli olduğundan; bölgeye ait rüzgar hızlarından elde edilen parametreler yardımıyla hesaplanan en yüksek rüzgar hızı, en olası rüzgar hızı, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının güç yoğunluğu gereklidir. Bu hesaplamalar Weibull dağılımına güç formüllerini

entegre edilerek hesaplanabilir. Bu istatistikler rüzgar hızının verimliliği hakkında karar verebilmek için bilgi sağlar.

5.5 Rüzgar Verileri İçin Güç Hesabı

Weibull dağılımı, boyutsuz şekil (k) ve rüzgar hızı (v) ile aynı birime sahip ölçek (c) parametrelerinden oluşan iki parametrelili bir dağılımdır. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi;

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad 5.30$$

şeklindedir (Ulgen ve Hepbaşlı, 2002; Özerdem ve Türkeli, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Bivona vd., 2003; Weisser, 2003; İnal ve Günay, 1999; Öztürk ve Akdi, 2006; Erişoğlu, 2003; Gülersoy ve Çetin, 2010). Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu,

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad 5.31$$

şeklindedir (Chang, 2011; Yıldırım ve Gazibey, 2012). Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük yada eşit gerçekleşme olma olasılığını verir. Ortalama rüzgar hızı v_{ort} eşitlik (5.32) yardımıyla hesaplanır.

$$v_{ort} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad 5.32$$

Weibull dağılımı bir fonksiyondur ve bu fonksiyonun bir tepe noktası vardır. Bu noktanın bulunması en olası hızın (v_{mod}) bulunması yani en fazla esen rüzgar hızının bulunması anlamına gelmektedir. Bunun bulunması için eşitlik (5.33)' den yararlanılabilir.

$$v_{\text{mod}} = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad 5.33$$

Enerji akısına en fazla katkı yapan hız yani maksimum hız ($v_{\text{max } E}$) değeri eşitlik (5.34)'de ifade edilmiştir.

$$v_{\text{max } E} = c \left(\frac{k+2}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad 5.34$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (P_w) eşitlik (5.35)'de gösterilmiştir.

$$\frac{P_w}{\rho A} = \frac{1}{2} c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) \quad 5.35$$

Burada A (m²) süpürme alanı, $\rho=1,1309$ (kg/m³) bölgenin konumuna, basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan hava yoğunluğudur.

6 KULLANILABİLİRLİK ANALİZİ

Önceki bölümlerde enerji üretimine etkiyen faktörler, Betz limiti ve güç katsayıları incelenerek istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu bölümde ise termodinamik analizler yapılarak kullanılabilirlik analizi (ekserji) üzerinde durulacaktır. Kullanılabilirlik analizi ile sistemdeki kayıplar çok daha net olarak görülebilmektedir. Bu nedenle, sistemin çevre ile etkileşimi detaylı olarak anlaşılabilir hale gelmektedir.

Enerjinin işe dönüştürülemeyen bölümü, atık ısı olarak çevreye verildiğinden dolayı önemli bir konudur. Bu nedenle enerjinin yararlı iş potansiyeli yada diğer bir ifadeyle kullanılabilirliğinin bulunması gerekmektedir. Enerji, genellikle iş yada iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra, kullanılabilirlik; iş ya da iş yapabilme kabiliyeti olmaktadır. Enerji, bir proseste daima korunabilirken, kullanılabilirlik ise daima tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde ise, tersinmezlikler nedeniyle tüketilmektedir. Bu yüzden, kullanılabilirlik analizi, bu sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Çünkü, bu analiz, mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlamının mümkün olup olmayacağını ortaya koymaktadır (Özgener ve Hepbaşlı, 2003).

Rüzgar olarak ifade edilen hareketli kütlenin sahip olduğu kinetik enerji:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \quad 6.1$$

şeklinde ifade edilmektedir. V local hız ve $\dot{m}$, hareket halindeki hava moleküllerinin kütleli debisidir.

$$\dot{m} = \rho A V = \rho \Pi R^2 V \quad 6.2$$

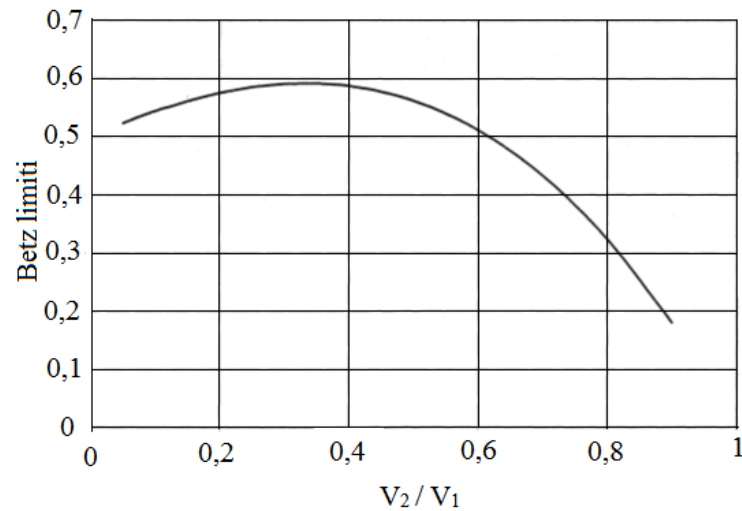
burada; ρ yoğunluk, A alan, R yarıçaptır. Bu durumda Denklem 6.1 ile Denklem 6.2 birleştirildiğinde V hızına sahip rüzgar kütlesinin gücüne Denklem 6.3 e ulaşılır.

$$P = \frac{\rho A V^3 C_p}{2} \quad 6.3$$

Burada; C_p Betz katsayısını ifade etmektedir. Betz yasası teorik olarak bir rüzgar türbinin enerjini veriminin maksimum 0,593 (16/27) olabileceğini ifade etmektedir (Şekil 7.1). Denklem 3 incelendiğinde elde edilen güç rüzgar hızının 3. dereceden katına doğrudan bağlıdır. Bu nedenle rüzgar hızındaki çok küçük değişiklikler elde edilen güç değerinde önemli artışlar sağlamaktadır. Betz katsayısı;

$$C_p = \frac{\left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right]}{2} \quad 6.4$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada; V_1 türbine giren havanın hızı, V_2 ise türbinden çıkan havanın hızını vermektedir (Patel, 1999)



Şekil 6.1. Betz katsayısının türbin giriş çıkış rüzgar hızlarına oranı

Sıcaklık ve basıncın ölçüm yüksekliğindeki havanın yoğunluğunun hesaplanması için mükemmel gaz denkleminde faydalanır.

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad 6.5$$

Burada; P basınç, T sıcaklık ve R ise ideal gaz sabitini ifade etmektedir ve hava için 0,287 kJ/kg K dir.. Türbin hub yüksekliğindeki havanın yoğunluğu deniz seviyesindeki hava referans alınarak da hesaplanabilir (Burton vd., 2002; Patel, 1999).

$$\rho = \rho_0 e^{-\left(\frac{0,297 H_m}{3048}\right)} \quad 6.6$$

Burada, ρ_0 referans yükseklikteki yoğunluğu, H_m ise türbin hub yüksekliğini temsil etmektedir. Denklem 6.6 da olduğu gibi deniz seviyesindeki havanın sıcaklığı referans alınarak ölçülen yüksekliğe göre sıcaklık değişimi de bulunabilir (Burton vd., 2002; Patel, 1999).

$$T = T_0 - \frac{19,83 H_m}{3048} \quad 6.7$$

Burada; T_0 referans alınan deniz seviyesindeki sıcaklığı ifade etmektedir.

Kullanılabilirlik hesaplamalarında ölçülen sıcaklık yerine rüzgar soğutma sıcaklığı (hissedilen sıcaklık) kullanılmaktadır. Bu değer ortam sıcaklığının rüzgar hızı ile değişimini belirlemektedir ve wild chill olarak isimlendirilmektedir. Literatürde rüzgar soğutma sıcaklığı hesaplamalarında birim farklılıklarına göre iki farklı katsayılı formül karşımıza çıkmaktadır. Bunlar;

$$T_{wc} = 13,12 + (0,6215 \times T_{hava}) - (11,37 \times V^{0,16}) + (0,3965 \times T_{hava} \times V^{0,16}) \quad 6.8$$

yada

$$T_{wc} = 35,75 + (0,6215 \times T_{hava}) - (35,75 \times V^{0,16}) + (0,4274 \times T_{hava} \times V^{0,16}) \quad 6.9$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; Denklem 6.8 de, T_{hava} değeri $^{\circ}\text{C}$, V değeri km/h olarak, Denklem 6.9 da ise T_{hava} , değeri F, V ise mil/h dir.

Kullanılabilirlik ifadesinin genel denklemi ise,

$$E_x = E_{\text{üretilen}} + \Delta H + \Delta S \quad 6.10$$

şeklindedir. Burada $E_{\text{üretilen}} = \Delta K_e$ dir (Şahin vd., 2006; Dincer ve Rosan, 2007; Öztürk, 2011; Pope vd., 2010; Redha vd., 2011; Hepbaşlı ve Alsuhaibani, 2011; Dincer ve Cengel, 2001). Entalpi değişimi ΔH ise,

$$\Delta H = \dot{m} C_p (T_2 - T_1) \quad 6.11$$

dir. Buradaki C_p , özgül ısı değeridir ve havanın mükemmel gaz varsayımı ile 1,005 kJ/kg K olarak kabul edilmiştir. Denklem 6.10 da ΔS ile belirtilen entropi değişimi ise, $\Delta S = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}}$ olarak bulunur. Genel formülü,

$$\Delta S = \dot{m} T_{atm} \left(C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} - \frac{Q_{\text{kayıplar}}}{T_{atm}} \right) \quad 6.12$$

şeklindedir (Şahin vd., 2006; Dincer ve Rosan, 2007; Öztürk, 2011; Pope vd., 2010; Redha vd., 2011; Hepbaşlı ve Alsuhaibani, 2011; Dincer ve Cengel, 2001). Burada,

$$Q_{\text{kayıplar}} = \dot{m} C_p \left(T_{atm} - \frac{T_1 + T_2}{2} \right) \quad 6.13$$

olarak bulunur. Kullanılabilirlik ifadesi bu durumda Denklem 6.10 da, Denklem 6.11, 6.12 ve 6.13 yerine konularak

$$E_x = (\rho A V^3) + \dot{m} C_p (T_2 - T_1) + \dot{m} T_{atm} \left(C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} - \frac{\dot{m} C_p \left(T_{atm} - \frac{T_1 + T_2}{2} \right)}{T_{atm}} \right) \quad 6.14$$

elde edilir.

Çalışmada ölçüm istasyonundan alınan rüzgar hızı verileri 30m de olduğundan bu yükseklikte olabilecek maksimum türbin kanadı yarıçapı 25m seçilebilir. Ancak Bölüm 7 de farklı yüksekliklerde türbin yerleştirilmesi durumu incelenmiştir. Atmosfer sıcaklığı ve basıncı, ölü hal olarak bilinen 25 °C ve 101,325 kPa değerleri kabul edilmiştir (Çengel ve Boles, 2009). Rüzgar türbin çıkış hızı oranı $v_2/v_1 = 1/3$ olarak kullanılmıştır.

7 TİCARİ TÜRBİNLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Elde edilen enerji istatistiklerine göre bölgede düşük kurulu güçteki türbinlerin kurulabilir olduğu görülmektedir. Bu bölümde ülkemizde en çok kullanılan türbin markalarının ticari türbinlerinin ölçüm yapılan bölgede kurulması durumunda elde edilecek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı yükseklikler için 30m de ölçülen rüzgar hız değerleri 50, 70 ve 90m yüksekliklere Helmann bağıntısı ile taşınmıştır. Bu bağıntıda pürüzlülük katsayısı literatüre bağlı kalarak 0,2 alınmıştır. Bu bağıntıya göre yükseklik değerleri Çizelge 7.1 de verilmiştir. Çizelge 7.1 e göre birçok türbin için tercih edilen rüzgar hızları literatürden de anlaşılabileceği gibi 70m den itibaren alınabilmektedir. Küçük ölçekli türbinlerin hesaplamalarında 30, 50 ve 70m yükseklikler kullanılırken daha büyük ölçekli türbinlerin hesaplamalarında 50,70 ve 90m yüksekliklerdeki rüzgar hızları kullanılmıştır.

Çizelge 7.1. Farklı yüksekliklerde rüzgar hızı değerleri

Aylar/Yükseklik	50m	70m	90m	110m
	m/s			
Ocak	4,2	4,5	4,9	5,2
Şubat	4,1	4,5	4,9	5,2
Mart	4,6	5,0	5,3	5,7
Nisan	4,8	5,2	5,6	6,0
Mayıs	4,6	5,0	5,4	5,8
Haziran	4,9	5,3	5,7	6,2
Temmuz	5,6	6,0	6,5	6,9
Ağustos	5,3	5,8	6,3	6,7
Eylül	4,6	5,0	5,5	5,9
Ekim	4,1	4,5	4,9	5,2
Kasım	3,9	4,2	4,6	4,8
Aralık	4,4	4,7	5,2	5,4
Ortalama	4,6	5,0	5,4	5,8

Ticari markalara ait türbinlerin farklı yüksekliklere göre değerlendirilmesi Çizelge 7.2 ile Çizelge 7.9 arasında verilmiştir. Çizelgelerde her bir türbine ait enerji-kullanılabilirlik değerleri ile kapasite faktörleri aylara göre ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Türbin hub yüksekliği olarak 3 farklı yükseklik değeri için hesaplamalar yapılmıştır. Böylece; 30, 50, 70 ve 90m hub yüksekliklerinde rüzgar hızlarına karşılık gelen üretim miktarları belirlenmiştir

Endurance Wind Power firmasına ait “E-3120” isimli 50 kW gücünde ve 19,2m rotor çapındaki ticari türbinin çalışma performansı Çizelge 7.2 de verilmektedir (Endurance, 2013). Buna göre elde edilen aylık rüzgar hız verilerine göre Temmuz ve Ağustos aylarında olmak üzere ortalama en yüksek değer 70m de 7,3 kW ve dönemsel üretim ise 63640 kWh/yıl olarak gerçekleşmektedir. Ancak en yüksek kullanılabilirlik 5,3 kW değerinde kalırken kapasite faktörü 14,5 olabilmektedir.

Çizelge 7.2. E-3120 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	30m				50m				70m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	5,4	3,9	4019	9,8	7,2	4,9	5368	13,1	8,8	5,8	6561	16
Şubat	5,7	4,1	3816	10,3	7,5	5,0	5037	13,6	9,1	5,9	6085	16,5
Mart	5,1	4,0	3782	9,2	6,6	4,8	4892	12,0	7,8	5,5	5824	14,2
Nisan	5,3	4,1	3831	9,7	6,6	4,9	4787	12,1	7,7	5,5	5542	14,0
Mayıs	3,2	3,1	2394	5,8	4,3	3,8	3230	7,9	5,3	4,4	3970	9,7
Haziran	3,8	3,5	2761	7,0	5,1	4,2	3695	9,3	6,2	4,9	4492	11,3
Temmuz	6,7	5,0	5012	12,2	8,9	6,2	6614	16,2	10,7	7,2	7933	19,4
Ağustos	5,3	4,3	3961	9,7	7,0	5,3	5238	12,8	8,5	6,1	6294	15,4
Eylül	3,1	3,0	2240	5,7	4,4	3,8	3146	7,9	5,5	4,5	3947	10,0
Ekim	2,7	2,7	2007	4,9	3,7	3,3	2777	6,8	4,6	3,9	3442	8,4
Kasım	3,1	2,8	2201	5,6	4,1	3,4	2939	7,4	5	3,9	3577	9,0
Aralık	6,3	4,4	4708	11,5	8,1	5,4	5995	14,6	9,4	6,1	6984	17,1
Tümü	4,6	3,7	40106	9,2	6	4,6	52882	12,1	7,3	5,7	63640	14,5

Endurance Wind Power firmasının ürettiği diğer bir model olan “G-3120” türbini ise 35 kW gücünde ve 19,2 m rotor çapındadır (Endurance, 2013). Bu ticari türbin ile ilgili çalışma kapsamında hesaplanan rüzgar hızlarına göre üretim değerleri Çizelge 7.3 de verilmiştir. Bu türbin seçildiğinde dönemsel üretim en fazla 48569 kWh/yıl olarak gerçekleşmektedir. Çizelge 7.3 e bakıldığında en yüksek üretimin Temmuz ayında gerçekleştiği ve dönemsel toplam üretimin 7933 kWh/yıl olduğu görülmektedir. Kapasite faktörü ise en yüksek 19,4 ile yine Temmuz ayına aittir.

Çizelge 7.3. G-3120 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	30m				50m				70m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	3,7	3,2	2778	10,7	5,2	4,4	3854	14,8	6,4	5,4	6561	16
Şubat	4,0	3,3	2660	11,3	5,4	4,5	3603	15,3	6,5	5,5	6085	16,5
Mart	3,6	3,0	2654	10,2	4,7	4,0	3532	13,6	5,7	5,0	5824	14,2
Nisan	3,6	3,1	2621	10,4	4,7	4,0	3371	13,4	5,5	4,8	5542	14
Mayıs	2,2	1,7	1643	6,3	3,1	2,5	2306	8,9	3,9	3,1	3970	9,7
Haziran	2,7	2,0	1912	7,6	3,7	2,6	2665	10,6	4,6	3,9	4492	11,3
Temmuz	4,7	4,1	3500	13,4	6,4	5,1	4787	18,4	7,8	7,1	7933	19,4
Ağustos	3,7	3,2	2750	10,6	5,1	4,8	3771	14,5	6,1	5,3	6294	15,4
Eylül	2,1	1,6	1534	6,1	3,2	2,6	2296	9,1	4,1	3,4	3947	10
Ekim	1,8	1,3	1331	5,1	2,6	2,1	1952	7,5	3,3	2,4	3442	8,4
Kasım	2,1	1,4	1509	6,0	2,9	2,6	2116	8,4	3,7	2,9	3577	9
Aralık	4,4	3,6	3246	12,5	5,7	4,3	4239	16,3	6,7	5,4	6984	17,1
Tümü	3,6	2,9	31547	10,3	4,7	3,8	40926	13,3	5,5	4,6	48569	15,8

Broadwind Energy, Inc tarafından üretilen “Energy MS E15” türbini 65 kW güce sahiptir ve rotor çapı 15,2 m dir (Bwen, 2013). Hesaplanan rüzgar hızlarına göre

üretileen enerji miktarlarına bakıldığında Temmuz ve Aralık aylarında en yüksek üretimin olduğu Çizelge 7.4 den görölmektedir. Kapasite faktörünün ise en yüksek değeriinin Temmuz ayında ulaştığı ve 70m yükseklikten artan rüzgar hızından dolayı 10,8 e yükseldiği görölmektedir.

Çizelge 7.4. Energy MS E15 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	30m				50m				70m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	3,2	2,6	2383	4,9	4,6	4,0	3405	7	5,8	5,1	4339	9
Şubat	3,4	2,7	2289	5,2	4,8	4,1	3227	7,4	6,1	5,4	4077	9,3
Mart	3,1	2,3	2305	4,8	4,3	3,6	3173	6,6	5,3	4,6	3919	8,1
Nisan	3,4	2,4	2477	5,3	4,6	4,1	3320	7,1	5,6	5,0	4010	8,6
Mayıs	1,9	1,5	1425	2,9	2,8	2,1	2056	4,3	3,5	2,9	2634	5,4
Haziran	2,3	1,9	1630	3,5	3,2	2,6	2328	5	4,1	3,5	2943	6,3
Temmuz	4,0	3,6	2988	6,2	5,7	5,1	4208	8,7	7,1	6,4	5247	10,8
Ağustos	3,2	2,5	2360	4,9	4,5	3,8	3342	6,9	5,6	5,0	4175	8,6
Eylül	1,8	1,3	1274	2,7	2,7	2,1	1923	4,1	3,5	2,9	2516	5,4
Ekim	1,6	1,2	1202	2,5	2,4	1,7	1801	3,7	3,1	2,6	2342	4,8
Kasım	1,8	1,3	1319	2,8	2,6	2,0	1891	4	3,3	2,5	2400	5,1
Aralık	3,9	3,2	2905	6,0	5,4	4,8	4031	8,3	6,7	5,8	4966	10,3
Tümü	3,2	2,4	27888	4,9	4,3	3,5	37384	6,6	5,2	4,3	45771	8,0

Gamesa Corporacion Tecnologica şirketi tarafından üretilen G80-2.0 isimli ve 2 MW gücündeki türbinin rotor çapı 80m dir (Gamesa, 2013). Bu türbine ait çalışma performansı Çizelge 7.5 de verilmiştir. Çizelge 7.5 e göre türbin gücünün yüksek olmasından kaynaklı olarak üretilen gücünde yüksek olduğu ancak kullanılabilirlik

değerlerinin aynı oranda artış göstermediği görülmektedir. Kapasite faktörünün ise düşük hızlarda küçük ölçekli türbinlere göre daha düşük olduğu ancak daha yüksekte rüzgar hızının artmasıyla dengelendiği Çizelge 7.5 de görülmektedir.

Çizelge 7.5. G80-2.0 MW türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	50m				70m				90m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	129,3	90,1	96231	6,5	168,0	117,0	124964	8,4	204,9	142,7	152412	10,2
Şubat	136,4	95,0	91653	6,8	176,8	123,1	118829	8,8	215,0	149,7	144492	10,8
Mart	120,1	83,7	89338	6,0	151,6	105,6	112785	7,6	180,9	126,0	134592	9,0
Nisan	137,2	95,6	98793	6,9	168,4	117,3	121255	8,4	194,9	135,7	140358	9,7
Mayıs	76,1	53,0	56651	3,8	99,7	69,5	74177	5,0	122,0	85,0	90786	6,1
Haziran	88,1	61,4	63439	4,4	114,4	79,7	82353	5,7	139,1	96,9	100187	7,0
Temmuz	155,6	108,4	115775	7,8	199,7	139,1	148603	10,0	240,9	167,7	179204	12,0
Ağustos	123,6	86,1	91922	6,2	158,6	110,5	118014	7,9	191,3	133,2	142353	9,6
Eylül	70,6	49,2	50814	3,5	94,1	65,6	67747	4,7	116,8	81,4	84116	5,8
Ekim	68,7	47,9	51089	3,4	90,8	63,3	67573	4,5	111,3	77,5	82791	5,6
Kasım	73,9	51,5	53202	3,7	94,6	65,9	68128	4,7	113,6	79,1	81793	5,7
Aralık	159,4	111,0	118599	8,0	200,8	139,8	149432	10,0	236,0	164,3	175601	11,8
Tümü	111,7	77,7	978902	5,6	142,7	99,7	1249978	7,1	171,2	119,9	1499745	8,6

Clipper Windpower firmasına ait Clipper Liberty C89 isimli rüzgar türbini 2,5 MW gücünde ve 89m rotor çapındadır (Clipper, 2014). Rüzgar ölçüm istasyonunun bulunduğu bölgede bu türbin konumlandırıldığında 50, 70 ve 90m yüksekliklerde Çizelge 7.6 da verilen sonuçlar elde edilmektedir. Çizelgeye bakıldığında kapasite faktörü 50m yükseklikte % 3 e kadar düştüğü halde 70m yükseklikte Temmuz ve Aralık aylarında % 11,1 e kadar çıkmaktadır.

Çizelge 7.6. Clipper Liberty C89 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	50m				70m				90m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	143,7	100,1	106908	5,7	190,7	132,8	141854	7,6	236,0	164,3	175561	9,4
Şubat	154,3	107,5	103675	6,2	203,8	141,9	136960	8,2	251,0	174,8	168676	10,0
Mart	135,9	94,6	101104	5,4	174,2	121,3	129568	7,0	210,2	146,4	156415	8,4
Nisan	158,9	110,7	114404	6,4	197,4	137,5	142099	7,9	230,3	160,4	165813	9,2
Mayıs	83,5	58,2	62098	3,3	111,5	77,7	82970	4,5	138,5	96,5	103012	5,5
Haziran	96,4	67,2	69392	3,9	127,9	89,1	92109	5,1	158,3	110,2	113942	6,3
Temmuz	173,8	121,0	129331	7,0	227,6	158,5	169344	9,1	278,5	193,9	207207	11,1
Ağustos	138,7	96,6	103218	5,5	181,5	126,4	135019	7,3	221,8	154,4	165051	8,9
Eylül	75,0	52,3	53975	3,0	103,2	71,9	74269	4,1	130,8	91,1	94206	5,2
Ekim	75,6	52,7	56259	3,0	102,2	71,2	76053	4,1	127,1	88,5	94577	5,1
Kasım	80,3	55,9	57785	3,2	105,0	73,1	75601	4,2	127,9	89,1	92100	5,1
Aralık	183,6	127,9	136589	7,3	234,9	163,6	174749	9,4	278,7	194,0	207337	11,1
Tümü	125,0	87,0	1097333	5,0	162,9	113,7	1426944	6,5	198,0	138,6	1734103	7,9

DeWind firmasına ait DeWind D6 türbininin gücü 1.25MW, rotor çapı ise 62m dir (DeWind, 2014). Bu türbine ait farklı yükseklikteki karakteristik değerler Çizelge 7.7 de verilmiştir. Çizelgeye göre kapasite faktörlerinin diğer türbinlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun en büyük sebebi Cut-In hızının oldukça yüksekte olmasındandır. En yüksek kapasite faktörü %8,4 ile 90m yükseklikte Aralık ayında en düşük ise 50m de Eylül ayında %1,9 olarak elde edilmektedir.

Çizelge 7.7. DeWind D6 türbinine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	50m				70m				90m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	47,5	33,1	35313	3,8	64,6	45,0	48026	5,2	82,1	57,2	61074	6,6
Şubat	51,6	36,0	34673	4,1	70,6	49,2	47439	5,6	89,7	62,5	60264	7,2
Mart	46,1	32,1	34267	3,7	60,5	42,2	44987	4,8	74,4	51,8	55346	6,0
Nisan	57,6	40,1	41464	4,6	73,3	51,1	52753	5,9	87,3	60,8	62876	7,0
Mayıs	28,1	19,6	20916	2,2	38,2	26,6	28433	3,1	48,3	33,7	35906	3,9
Haziran	31,5	22,0	22656	2,5	42,5	29,6	30571	3,4	53,6	37,4	38566	4,3
Temmuz	56,6	39,5	42111	4,5	76,1	53,0	56596	6,1	95,3	66,4	70906	7,6
Ağustos	45,7	31,9	33980	3,7	61,4	42,8	45712	4,9	77,0	53,7	57287	6,2
Eylül	23,5	16,4	16890	1,9	32,8	22,9	23620	2,6	42,6	29,7	30650	3,4
Ekim	26,5	18,5	19710	2,1	36,4	25,4	27114	2,9	46,1	32,1	34274	3,7
Kasım	27,3	19,1	19679	2,2	36,2	25,3	26064	2,9	44,7	31,2	32181	3,6
Aralık	64,8	45,2	48241	5,2	86,2	60,1	64128	6,9	104,6	72,9	77828	8,4
Tümü	45,8	29,5	401110	3,7	60,8	42,7	532994	4,9	75,3	51,4	659712	6,0

Vestas Wind System firmasına ait V80 tipi türbinin gücü 2 MW ve rotor çapı 80m dir (Vestas, 2014). Bu türbine ait farklı yükseklikteki karakteristik değerler Çizelge 7.8 de verilmiştir. Çizelgeye göre en düşük kapasite faktörü % 3,3 ile 50m yükseklikte Ekim ayında, en yüksek kapasite faktörü ise 90m yükseklikte Temmuz ayında elde edilmiştir.

Çizelge 7.8. Vestas V80-2MW türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	50m				70m				90m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	125,2	87,2	93179	6,3	164,3	114,4	122228	8,2	201,6	140,4	150023	10,1
Şubat	133,4	92,9	89622	6,7	174,3	121,4	117099	8,7	212,9	148,2	143059	10,6
Mart	117,4	81,8	87373	5,9	149,2	103,9	110977	7,5	178,8	124,5	133017	8,9
Nisan	134,8	93,9	97056	6,7	166,4	115,9	119800	8,3	193,2	134,5	139097	9,7
Mayıs	72,7	50,7	54084	3,6	96,5	67,2	71771	4,8	119,0	82,9	88544	6,0
Haziran	84,6	58,9	60898	4,2	111,3	77,5	80129	5,6	136,4	95,0	98206	6,8
Temmuz	151,9	105,8	113017	7,6	196,8	137,0	146436	9,8	238,5	166,1	177413	11,9
Ağustos	120,7	84,1	89774	6,0	156,3	108,8	116266	7,8	189,3	131,8	140817	9,5
Eylül	67,0	46,7	48244	3,4	91,1	63,5	65583	4,6	114,2	79,5	82218	5,7
Ekim	65,4	45,6	48672	3,3	87,9	61,2	65396	4,4	108,7	75,7	80875	5,4
Kasım	70,1	48,8	50465	3,5	91,1	63,5	65610	4,6	110,5	77,0	79544	5,5
Aralık	156,6	109,1	116507	7,8	198,4	138,2	147611	9,9	233,9	162,9	174003	11,7
Tümü	108,5	75,5	950400	5,4	139,8	97,7	1225042	7,0	168,7	118,2	1477858	8,4

Suzlon Powering Co. firması tarafından üretilen S60/1000 türbininin rotor çapı 60m ve gücü 1MW dır (Suzlon,2013). Ölçüm istasyonunun bulunduğu bölgeye bu türbin monte edildiğinde farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızlarında üretebileceği enerji miktarı Çizelge 7.9 da verilmiştir. Çizelgeye göre 50m yükseklikte ortalama 58,1 kW enerji üretirken bu enerjinin kullanılabilir kısmı ise 40,4 kW olmakta, ancak 90m yükseklikte ise bu değerler sırasıyla 89,4 ve 62,7 kW a çıkmaktadır. Kapasite faktörü ise en yüksek % 12,6 olurken en yüksek ortalama % 8,9 da kalmaktadır

Çizelge 7.9. Suzlon S60/1000 türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	50m				70m				90m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	67,3	46,9	50061	6,7	87,4	60,9	65056	8,7	106,7	74,3	79374	10,7
Şubat	70,9	49,4	47650	7,1	92,2	64,2	61946	9,2	112,4	78,3	75553	11,2
Mart	62,5	43,6	46487	6,2	79,1	55,1	58869	7,9	94,7	66,0	70438	9,5
Nisan	71,5	49,8	51501	7,2	87,8	61,2	63241	8,8	101,7	70,8	73199	10,2
Mayıs	39,8	27,8	29595	4,0	52,0	36,3	38712	5,2	63,7	44,4	47363	6,4
Haziran	45,8	31,9	32994	4,6	59,7	41,6	43019	6,0	73,0	50,9	52535	7,3
Temmuz	80,6	56,2	59971	8,1	104,2	72,6	77527	10,4	126,5	88,1	94095	12,6
Ağustos	64,3	44,8	47843	6,4	83,0	57,8	61782	8,3	100,8	70,2	74989	10,1
Eylül	36,4	25,4	26217	3,6	48,8	34,0	35107	4,9	60,8	42,4	43797	6,1
Ekim	35,7	24,9	26573	3,6	47,2	32,9	35092	4,7	57,8	40,3	43013	5,8
Kasım	38,4	26,8	27613	3,8	48,9	34,1	35236	4,9	58,7	40,9	42278	5,9
Aralık	83,1	57,9	61852	8,3	104,8	73,0	77985	10,5	123,1	85,7	91622	12,3
Tümü	58,1	40,4	509187	5,8	74,4	52,0	651525	7,4	89,4	62,7	783394	8,9

Vestas Wind System firmasına ait V17 tipi türbinin gücü 75 kW ve rotor çapı 17m dir (Vestas, 2014). Bu türbine ait farklı yüksekliklerdeki üretebileceği güç, kullanılabilirlik ve kapasite faktörleri Çizelge 7.10 da verilmiştir. Türbin küçük güç üreten türbinler sınıfında olduğundan ve rotor çapı 17m olduğundan 30, 50 ve 70m yüksekliklerdeki performans sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre; kapasite faktörü yüzdesel olarak yükseklik arttıkça rüzgar hızının artmasından dolayı artmaktadır. En yüksek kapasite faktörü ise 70m hub yüksekliğinde %11 olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.10. Vestas V17 türbine ait farklı hub yüksekliklerinde çalışma performansları

	30m				50m				70m			
	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü	Güç	Kullanılabilirlik	Dönemsel Üretim	Kapasite Faktörü
	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%	kW	kW	kWh/yıl	%
Ocak	3,8	2,7	2794	5,0	5,4	3,8	4001	7,2	6,8	4,8	5094	9,1
Şubat	4,0	2,8	2704	5,4	5,6	4,0	3791	7,5	7,1	5,0	4777	9,5
Mart	3,7	2,6	2723	4,9	5,0	3,5	3736	6,7	6,2	4,4	4600	8,2
Nisan	4,0	2,8	2898	5,4	5,4	3,8	3876	7,2	6,5	4,6	4665	8,6
Mayıs	2,2	1,6	1672	3,0	3,2	2,3	2407	4,3	4,1	2,9	3086	5,5
Haziran	2,7	1,9	1916	3,5	3,8	2,7	2735	5,1	4,8	3,4	3455	6,4
Temmuz	4,7	3,3	3530	6,3	6,7	4,7	4959	8,9	8,3	5,8	6164	11,0
Ağustos	3,7	2,6	2785	5,0	5,3	3,7	3937	7,1	6,6	4,6	4901	8,8
Eylül	2,1	1,5	1490	2,8	3,1	2,2	2267	4,2	4,1	2,9	2973	5,5
Ekim	1,9	1,4	1398	2,5	2,8	2,0	2101	3,8	3,7	2,6	2737	4,9
Kasım	2,1	1,5	1537	2,8	3,1	2,2	2213	4,1	3,9	2,8	2815	5,2
Aralık	4,6	3,3	3417	6,1	6,3	4,4	4716	8,5	7,8	5,5	5795	10,4
Tümü	3,7	2,8	32759	5,0	5,0	4,1	43583	6,7	6,1	5,0	53621	8,2

8 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kampus alanında yapılan rüzgar hız ve güneş ışıyım değerleri irdelenmiş ve farklı güçteki türbinlerden elde edilecek güç değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 30m Doğu yönüne ait ortalama rüzgar hızı 4,0 m/s, Batı yönüne ait ortalama rüzgar hızı 4,1 m/s ve 10m Doğu yönüne ait rüzgar hızı da 3,2 m/s dir. Çalışmada ölçümlenen 30m yükseklikteki rüzgar hızları hafif sınıfa dahil edilebilir durumdadır. Dolayısıyla hafif sınıfta kalan rüzgar hızlarıyla, ikinci derece güç üretimi yapılabilir. 10m Doğu yönündeki rüzgar hızları da çok hafif sınırına girmekte olup bu hızlarla enerji üretiminin ekonomik olamayacağı anlaşılmaktadır.

Bölüm 5 de bulunan dağılım parametrelerinden en iyi dağılım olarak hesaplanan Weibull dağılım parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan üç ayrı veri seti için güç hesabı yapıldığında ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 8.1’de verilmiştir. Bölüm 5 de yapılan tüm hesaplamalar 30m yükseklikten alınan ölçüm sonuçlarıdır.

Çizelge 8.1. Tüm parametre tahminleri için hesaplama sonuçları

Veri Seti	Ortalama rüzgar hızı	En fazla esen rüzgar hızı	Enerji akışına en fazla katkı yapan hız	Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu
		m/s		W/m ²
30m Doğu	4,0	3,3	6,2	65,34
30m Batı	4,1	3,4	6,3	66,91
10m Doğu	3,2	2,4	4,5	26,1

Çizelge 8.1 incelendiğinde 30m Doğu ve 30m Batı için güç yoğunlukları 10m Doğu güç yoğunluğundan yüksek çıkmıştır. Çizelgeye göre en yüksek hız ve en yüksek güç yoğunluğu 30m Batı için 6,3 m/s olmuştur. En yüksek hız ve en yüksek güç

yoğunluğunun 30m Batı yönünde olduğu görülmektedir. Analiz sonucunda en fazla esen rüzgar hızı oldukça düşük değerlerdedir. Ancak ortalama rüzgar hızının belirli değerlerde olması türbin kurulumu için yeterli olduğunu göstermektedir.

Bölüm 7 de 9 adet farklı ticari türbin tipi için değerlendirmeler ve karşılaştırmalar verilmiştir. Türbin seçiminde rüzgar hızına göre küçük yada büyük ölçekli türbinlerin üreteceği enerji miktarları belirlenmiştir. Küçük ölçekli türbinler için 30, 50 ve 70m yüksekliklerde çalışma performansı hesaplanırken büyük ölçekli (≥ 1000 kW) türbinlerde ise 50,70 ve 90 m yüksekliklerdeki çalışma performansı göz önünde bulundurulmuştur. Bunun nedeni küçük ölçekli türbinlerin rotor çapı küçük olduklarından daha düşük yüksekliklerde çalışabilmektedir. Ayrıca Cut-In hızlarının oldukça düşük olması (≤ 3 m/s) nedeniyle yeryüzüne daha yakın mesafede düşük rüzgar hızlarında çalışabilmektedir. Ancak büyük ölçekli türbinlerin rotor çapları da oldukça büyüktür. Bu nedenle hub yükseklikleri en az 50 m olmak zorundadır. Bu özelliklere bağlı olarak ölçüm yapılan bölgede hangi türbin tipinin kurulmasının uygun olacağına dair karşılaştırma yapılmıştır.

Toplam dört adet küçük ölçekli türbin karşılaştırması yapılmıştır, bu türbinler 35, 50, 65 ve 75 kW güçlerindedir (Çizelge 8.2). Kapasite faktörleri karşılaştırıldığında Endurance Wind Power firmasına ait “E-3120” isimli 50kW gücündeki türbin az bir fark olsa da daha yüksektir ($\sim 1,5$). Broadwind Energy, Inc tarafından üretilen “Energy MS E15” türbini ise aynı rüzgar hızlarında % 43,6 oranında daha az enerji üretebilmiştir. Üretilen güç ise 30, 50 ve 70m yüksekliklerde sırasıyla 7,3-5,4 ve 5 kW iken kullanılabilirlik 5,3 - 4,5 ve 4,3 kW olmaktadır. Burada anlaşıldığı üzere hub yüksekliği arttıkça üretilen güç ve kullanılabilirlik azalmakta ancak kapasite faktörü artmaktadır.

5 farklı firmanın büyük ölçekli türbinleri karşılaştırılmıştır. Bu türbinler 1-1,25-2 ve 2,5 MW gücündedirler. Çizelge 8.2 ye bakıldığında bu büyük ölçekli türbinler arasında en fazla enerji Liberty C89 türbini tarafından üretilmiştir. Ölçüm istasyonunun potansiyel ölçümü yapıldığı bölgede bu türbin kurulduğu takdirde yıllık güç üretimi 50-70 ve 90m yüksekliklerde sırasıyla 91228, 119216, 145325 kWh/yıl olacaktır.

Çizelge 8.2. Türbinlerin karşılaştırılması

			Küçük Ölçekli Türbinler					Büyük Ölçekli Türbinler			
Hub Yüksekliği	Türbin Üreticisi		Endurance	Endurance	Energy	Vestas	Gamesa	Clipper	DeWind	Vestas	Suzlon
	Türbin Modeli		E-3120	G-3120	MS E15	V17	G80-2.0	Liberty C89	D6	V80-2.0	S60/1000
30m	Güç	kW	4,6	3,6	3,2	3,7	-	-	-	-	-
	Kullanılabilirlik	kW	3,7	2,9	2,4	2,8	-	-	-	-	-
	Dönemsel Üretim	kWh/yıl	40106	31547	27888	32759	-	-	-	-	-
	Kapasite Faktörü	%	9,2	10,3	4,9	5,0	-	-	-	-	-
50m	Güç	kW	6,0	4,7	4,3	5,0	111,7	125,3	45,8	108,5	58,1
	Kullanılabilirlik	kW	4,6	3,8	3,5	4,1	77,7	87	29,5	75,5	40,4
	Dönemsel Üretim	kWh/yıl	52882	40926	37384	43853	978902	1097333	401110	950400	509187
	Kapasite Faktörü	%	12,1	13,3	6,6	6,7	5,6	5,0	3,7	5,4	5,8
70m	Güç	kW	7,3	5,5	5,2	6,1	142,7	162,9	60,8	139,8	74,4
	Kullanılabilirlik	kW	5,7	4,6	4,3	5,0	99,7	113,7	42,7	97,7	52
	Dönemsel Üretim	kWh/yıl	63640	48569	45771	53621	1249978	1426944	532994	1225042	651525
	Kapasite Faktörü	%	14,5	15,8	8,0	8,2	7,1	6,5	4,9	7,0	7,4
90m	Güç	kW	-	-	-	-	171,2	198,0	75,3	168,7	89,4
	Kullanılabilirlik	kW	-	-	-	-	119,9	138,6	51,4	118,2	62,7
	Dönemsel Üretim	kWh/yıl	-	-	-	-	1499745	1734103	659712	1477858	783394
	Kapasite Faktörü	%	-	-	-	-	8,6	7,9	6,0	8,4	8,9

Yapılan bu çalışma ile meteoroloji istasyondan alınan veriler analiz edilmiş ve Eskişehir bölgesine bir türbin konulduğu takdirde alınacak sonuçlar irdelenmiştir.

Mevcut ticari türbinlerden ülkemizde en çok tercih edilen markaların uygun olan modelleri ile enerji üretimi yapıldığı takdirde sonuçlar araştırılmıştır. Elde edilen değerlere göre bölgede enerji üretimi amaçlandığı takdirde büyük ölçekli türbinlerin kullanımı durumda kapasite faktörlerinin düşük olduğu bu nedenle küçük ölçekli türbinler ile enerji üretimi yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

İncelenen türbinlerde küçük ölçekli türbinlerin kapasite faktörleri 70m de % 13,4 e çıkabilmekte iken büyük ölçekli türbinlerin aynı hub yüksekliğinde %7,5 da kaldığı diğer hesaplanan yükseklik olan 90m ise ancak % 9 a çıkabildiği ortaya çıkarılmıştır.

Bu tezde; Eskişehir bölgesinde rüzgar ve güneşten elektrik üretilmek istendiği taktirde elde edilecek değerler irdelenmiştir. Tez kapsamında bir meteoroloji istasyonu kurulmuş ve 10 ile 30m yükseklikte rüzgar hızı ile güneş ışıyım şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler ile öncelikle potansiyel belirleme çalışması yapılmıştır. Farklı yüksekliklerde rüzgar hızı değişimleri arazi yapısına bağlı kalarak hesaplanmış ve aylık ortalamalar halinde sunulmuştur. İstatistiki olarak rüzgar gücü ve en fazla esen rüzgar hızları gibi değerler hesaplanmıştır. Literatür taraması sırasında sıklıkla karşılaşılan Weibull dağılımı kullanımının sebepleri araştırılmış ve bu nedenle 7 farklı dağılım uygulanmıştır. Bu dağılım sonuçlarına göre Weibull dağılımın uygunluğu karşılaştırmalar ile belirlenmiştir. Eskişehir bölgesinde türbin konulması durumunda elde edilecek değerler belirtilmiş ve farklı ticari markalı türbinlerin ürettikleri gücü, bu gücün kullanılabilirliği ve kapasite faktörleri farklı yükseklikler için hesaplanmıştır

9 KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdag, S.A. ve Dinler, A., 2009, A New Method to Estimate Weibull Parameters for Wind Energy Applications, *Energy Conversion ve Management*, 50, 1761–1766
- Akdağ, S.A. ve Güler, Ö., 2008, Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 707-714
- Akdag, S.A. ve Güler, Ö., 2010, Evaluation of Wind Energy Investment Interest ve Electricity Generation Cost Analysis for Turkey, *Applied Energy*, 87, 2574–2580
- Akpınar, E.K. ve Akpınar S., 2004, Determination of The Wind Energy Potential for Maden-Elazığ, Turkey, *Energy Conversion ve Management*, 45, 2901–2914
- Akpınar, E.K. ve Akpınar S., 2005, A Statistical Analysis Of Wind Speed Data Used In Installation Of Wind Energy Conversion Systems, *Energy Conversion ve Management*, 46, 515–532
- Akpınar, S. ve Akpınar, E.K., 2007, Wind Energy Analysis Based On Maximum Entropy Principle (MEP)-Type Distribution Function, *Energy Conversion ve Management*, 48 1140–1149
- Akpınar, S. ve Akpınar E.K., 2009, Estimation of Wind Energy Potential Using Finite Mixture Distribution Models, *Energy Conversion ve Management*, 50, 877–884
- Aksas, M. ve Gama, A., 2011, Assessment of Wind ve Solar Energy Resources in Batna, Algeria, *Energy Procedia*, 6, 459–466
- Alamdari, P., Nematollahi, O. ve Mirhosseini, M., 2012, Assessment of Wind Energy in Iran: A Review, *Renewable ve Sustainable Energy Reviews*, 16, 836– 860
- Americas Wind Energy Inc. (AWE), 2013, <http://www.awe-wind.com>
- Aras, H., Yılmaz, V. ve Çelik H.E., 2003, Afyon İli Rüzgar Hız Verilerinin Weibull Dağılımına Uyumu, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, 233-237

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Aras H., 2003, Wind Energy Status ve its Assessment in Turkey, Renewable Energy, 28, 2213–2220
- Aras H., Erdogmus S. ve Koc E., 2004, Multi-criteria Selection for a Wind Observation Station Location Using Analytic Hierarchy Process, Renewable Energy, 29, 1383–1392
- Aras H., Balli O. ve Hepbasli A., 2006, Estimating the Horizontal Diffuse Solar Radiation Over the Central Anatolia Region of Turkey, Energy Conversion ve Management, 47, 2240–2249
- Bakos, G.C. ve Tsagas, N.F., 2003, Technoeconomic Assessment of a Hybrid Solar/Wind Installation for Electrical Energy Saving, Energy ve Buildings, 35, 139–145
- Bergey WindPower Co., 2013, <http://www.bergey.com>
- Bilen K., Ozyurt O., Karşlı E., Bakırcı K., Erdogan S., Yılmaz M. ve Comaklı O., 2008, Energy Production, Consumption, ve Environmental Pollution for Sustainable Development: A Case Study in Turkey, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 12, 1529–1561
- Bilgili, M., Sahin, B. ve Kahraman, A., 2004, Wind Energy Potential In Antakya ve Iskenderun Regions, Turkey, Renewable Energy, 29, 1733–1745
- Bivona, S., Burlon, R. ve Leone, C., 2003, Hourly Wind Speed Analysis in Sicily, Renewable Energy, 28(9):1371-1385
- Broadwind Energy, Inc., 2013, www.bwen.com
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. ve Bossanyl, E., 2002, Wind Energy Hvebook, John Wiley & Sons, Ltd., 643 p.
- Carta, J.A., Ramire, P. ve Bueno, C., 2008, A Joint Probability Density Function of Wind Speed ve Direction for Wind Energy Analysis, Energy Conversion ve Management, 49, 1309–1320

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Carta, J.A., Bueno, C. Ve Ramirez, P., 2008, Statistical Modelling of Directional Wind Speeds Using Mixtures of von Mises Distributions: Case Study, Energy Conversion ve Management, 49, 897–907
- Carta, J.A, Ramirez, P. ve Velazquez, S., 2009, A Review of Wind Speed Probability Distributions Used in Wind Energy Analysis Case Studies in The Canary Islves, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 13, 933–955
- Chang T.P., 2011, Performance Comparison of Six Numerical Methods in Estimating Weibull Parameters for Wind Energy Application, Applied Energy, 88, 272–282
- Çelik, A.N., 2003, Weibull Representative Compressed Wind Speed Data For Energy Ve Performance Calculations Of Wind Energy Systems, Energy Conversion ve Management, 44, 3057–3072
- Çelik, A.N., 2003, Assessing the Suitability of Wind Speed Probabilty Distribution Functions Based on Wind Power Density, Renewable Energy, 28, 1563–1574
- Çelik A.N., A, 2004, Statistical Analysis of Wind Power Density Based On The Weibull Ve Rayleigh Models At The Southern Region Of Turkey, Renewable Energy, Volume29, Issue4, 593-604 p.
- Çengel, Y. ve Boles, M.A, 2011, Thermodynamics An Engineering Approach, McGraw Hill, 5. Edition, 883 p.
- Clipper Windpower, LLLC, 2014, www.clipperwind.com
- Deaves, D.M. ve Lines, I.G., 1997, On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution, 66, 169-78
- Devlet Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM), 2013, Türkiye Rüzgar Atlası, <http://www.mgm.gov.tr>
- Dincer, I. ve Cengel, Y.A., 2001, Energy, Entropy ve Exergy Concept ve Their Roles in Thermal Engineering, Entropy, 3, 116-149

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Dorvlo, A.S.S., 2002, Estimating Wind Speed Distribution. Energy Conversion ve Managment, 43:2311-2318
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2013, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, www.eie.gov.tr
- Endurance Wind Power, 2013, <http://www.endurancewindpower.com>
- Enercon Energy, 2013, <http://www.enercon.de/de-de>
- Erdogdu E., 2009, On the Wind Energy in Turkey, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 13, 1361–1371
- Ergür Ö., 2006, Rüzgar Türbinleri ile Enerji Üretimi, Sakarya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya
- Erişoğlu, M., 2003, İstatistiksel Kestirim Tekniklerinin Weibull Dağılımı Parametrelerinin Kestiriminde Kullanımı ve Weibull Dağılımının Deprem Verilerine Uygulanması
- Eskin, N., Artar, H. Ve Tolun S., 2008, Wind Energy Potential of Gökçeada Islve in Turkey, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 12, 839–851
- Esteban, M., Zhang, Q., Utama, A., Tezuka, T. ve Ishihara K.N., 2010, Methodology to Estimate the Output of a Dual Solar–Wind Renewable Energy System in Japan, Energy Policy, 38, 7793–7802
- Ettoumi, F.Y., Sauvageot, H. ve Adane, H.A., 2003, Statistical Bivariate Modelling of Wind Using First-Order Markov Chain ve Weibull Distribution, Renewable Energy, 28, 1787–1802
- European Commission Report, 2013, <http://re.jrc.ec.europa.eu>
- DeWind Co., 2014, www.Dewindco.com

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Dincer, İ. ve Rosen, M.A., 2007, Exergy: Energy, Environment ve Sustainable Development, Elsevier, 459 p.

Fuhrlander Inc., 2013, www.fuhrlander.de

Gamesa Corporacion Tecnologica, 2013, <http://www.gamesacorp.com>

Garcia, A., Torres, J.L., Prieto, E. ve Defrancisco, A., 1998, Fitting Wind Speed Distributions : A Case Study. Solar Energy, 62, 139-144

General Electric Company, 2013, <http://www.ge-energy.com/wind>

Ge, Y. ve Xiang, H., 2002, Statistical Study for Mean Wind Velocity in Shanghai Area, Journal of Wind Engineering ve Industrial Aerodynamics, 90, 1585–1599

Global Wind Energy Council (GWEC), 2013, Wind Energy Report, 77 p.

Gökçek, M., Bayülken, A. ve Bekdemir Ş., 2007, Investigation Of Wind Characteristic Ve Wind Energy Potential In Kırklareli, Turkey, Renewable Energy, 32, 1739-1752

Gökçınar R.E., Uyumaz A., 2008, Rüzgar Enerjisi Maliyetleri ve Tespitleri, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 699-706 s.

Gülersoy, T. ve Çetin, N.S., 2010, Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması, Politeknik Dergisi Cilt:13 Sayı: 3 s. 209-213

Hepbaşlı, A. ve Alsuhaibani, Z., 2011, Exergetic ve Exergoeconomic Aspects Of Wind Energy Systems In Achieving Sustainable Development, Renewable Ve Sustainable Energy Reviews, 15, 2810– 2825

Islam, M.R., Saidur, R. ve Rahim, N.A., 2011, Assessment of Wind Energy Potentiality at Kudat ve Labuan, Malaysia Using Weibull Distribution Function, Energy, 36, 985-992

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Karlı, V. M. ve Geçit, C., 2003, An Investigation on Wind Power Potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, Renewable Energy 28(5):823-830
- İnal, H.C. ve Günay, S., 2013, Olasılık ve Matematiksel İstatistik, Hacettepe Üniv. Yayınları, 404 s.
- Jacovides, C. P, Theophilou, C., Tymvios, F. S. ve Pashiardes, S., 2002, Wind Statistics for Coastal Stations in Cyprus. Theoretical ve Applied Chlimatology. 72: 259-263
- Jong, P., Sanchez, A.S., Esquerre, K., Kalid, R.A. ve Torres E.A., 2013, Solar ve Wind Energy Production in Relation to the Electricity Load Curve ve Hydroelectricity in the North East Region of Brazil, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 23, 526–535
- Karsli V.M. ve Gecit C., 2003, An Investigation on Wind Power Potential of Nurdagi-Gaziantep, Turkey, Renewable Energy, 28, 823-830
- Keyhani, A., Varnamkhasti M.G., Khanali M., Abbaszadeh R., 2010, An Assessment Of Wind Energy Potential As a Power Generation Source in The Capital of Iran, Tehran, Energy, 35, 188–201
- Koç, T., 1996, Kapıdağ Yarımadasında Rüzgar ve Ortam, Türk Coğrafya Dergisi Sayı: 31, 167-182
- Köse, R., 2004, An Evaluation of Wind Energy Potential as a Power Generation Source in Kütahya, Turkey, Energy Conversion ve Management, 45, 1631-1641
- Kose, R., Ozgur, M.A., Erbas, O. ve Tugcu A., 2004, The Analysis of Wind Data ve Wind Energy Potential in Kutahya, Turkey, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 8, 277–288
- Kurban, M., Hocaoglu, F.O. ve Kantar, Y.M., 2007, Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırmalı Analizi, Pamukkale Üniv. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 103-109

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Kurban M., Kantar Y.M., ve Hoccoğlu F.O., 2007, Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız Ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 205-218
- Li, M. ve Li, X., 2005, Investigation of Wind Characteristics ve Assessment of Wind Energy Potential for Waterloo Region, Canada, Energy Conversion ve Management, 46, 3014–3033
- Liu, L. ve Wanga, Z., 2009, The Development ve Application Practice of Wind–Solar Energy Hybrid Generation Systems in China, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 13, 1504–1512
- McIntyre, J.H., Lubitz, W.D. ve Stiver, W.H., 2011, Local Wind-Energy Potential For The City Of Guelph, Ontario (Canada), Renewable Energy, 36, 1437-1446
- Malek, E., Biltoftw, C., Klewickiz, J. ve Giles, B, 2002, Evaluation of Annual Radiation ve Windiness Over a Playa: Possibility of Harvesting the Solar ve Wind Energies, Journal of Arid Environments, 52, 555–564
- Mirhosseini, M., Sharifi, F. ve Sedaghat, A., 2011, Assessing the Wind Energy Potential Locations in Province of Semnan in Iran, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 15, 449–459
- Mohamad A.A. ve Karmeh H., 2003, Wind Energy Potential in Syria, Renewable Energy, 28, 1039–1046
- Nemaa, P., Nemab, R.K. ve Rangnekar, S., 2009, A Current ve Future State of Art Development of Hybrid Energy System Using Wind ve PV-Solar: A Review, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 13, 2096–2103
- Nordex SE, 2013, <http://www.nordex-online.com/en>
- Sinovel Wind Group Co.,Ltd., 2013, <http://www.sinovel.com>
- Northern Power Systems, 2013, <http://www.northernpower.com/>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Ozdamar, A., Ozbalta, N., Akin, A. ve Yildirim, E.D., 2005, An Application of a Combined Wind ve Solar Energy System in Izmir, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 9, 624–637
- Özgener, L., Hepbaşlı, A., 2003, HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliği Ve Uygulamaları, 6. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 1-13
- Özerdem, B. ve Turkeli, M., 2003, An Investigation of Wind Characteristics on The Campus of Izmir Institute of Technology, Turkey. Renewable Energy, 28(7):1013-1027
- Öztürk, F. ve Akdi, Y., 2006, Parametre Tahmini ve Hipotez Testi, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 274 s.
- Özgür, M.A., 2006, Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, Eskişehir Osmangazi Üniv., Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 262 s.
- Özgür, M.A., Arslan, O., Kose, R., Peker, K.O., 2009, Statistical Evaluation of Wind Characteristics in Kutahya, Turkey, Energy Sources, Part A, 31:1450–1463
- Öztürk, M., 2011, Energy ve Exergy Assessments For Potential Wind Power In Turkey, International Journal of Exergy, Vol. 8, No. 2, 211-226
- Patel, M.R., 1999, Wind ve Solar Power Systems, CRC Press, New York, 348 p.
- Pop, K., Dinçer, İ. ve Naterer, G.F., 2010, Energy and Exergy Efficiency Comparison of Horizontal and Vertical Axis Wind Turbines, Renewable Energy, 35, 2102-2113
- Redha, A.M., Dincer, I. ve Gadalla, M., 2011, Thermodynamic Performance Assessment Of Wind Energy Systems: An Application, Energy, 36, 4002-4010
- Safari, B., 2001, Modeling Wind Speed ve Wind Power Distributions In Rwvea, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 15, 925–935
- Safari, B. ve Gasore, J., 2010, A Statistical Investigation of Wind Characteristics ve Wind Energy Potential Based On The Weibull ve Rayleigh Models in Rwvea, Renewable Energy, 35, 2874-2880

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Samsun B., 2004, Türkiye'deki Rüzgar gücü Potansiyeline Göre Türbin Güçlerinin Saptanması ve Tasarımı, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Seguro, J.V. ve Lambert, T.W., 2000, Modern Estimation of The Parameters of The Weibull Wind Speed Distribution For Wind Energy Analysis, Journal of Wind Engineering ve Industrial Aerodynamics, 85, 75-84
- Siemens Co., 2013, <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/>
- Sulaiman, M. Y., Akaak, A. M., Wahab, M. A., Zakaria, A., Sulaiman, Z. A. ve Suradi, J., 2002, Wind Characteristics of Oman. Energy, 27:35-46
- Suzlon Powering, 2013, www.suzlon.com
- Şahin, A.D., Dincer, I. ve Rosen, M.A., 2006, Thermodynamics Analysis Of Wind Energy, International Journal of Energy Research, Vol. 30, 553–566.
- Şahin B., Bilgili M. ve Akıllı H., 2005, The Wind Power Potential of the Eastern Mediterranean Region of Turkey, Journal of Wind Engineering ve Industrial Aerodynamics, 93, 171-183
- Tavman, İ.H., 2006, Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılanması, DEKTMK Türkiye 10. Enerji Kongresi, İstanbul, 201-209
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Raporu, 2012, Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Görünümü, 1-70 s.
- T.C. Resmi Gazete, 2002, Rüzgar ve Güneş Ölçümlerine İlişkin Tebliğ, Sayı: 24903, rega.basbakanlik.gov.tr
- T.C. Resmi Gazete, 2006, Rüzgar ve Güneş Ölçümlerine İlişkin Tebliğin Yürürlükten Kaldırılmasına Dair Tebliğ, Sayı: 26054, rega.basbakanlik.gov.tr
- T.C. Resmi Gazete, 2007, Enerji Verimliliği Kanunu, Sayı: 6510, rega.basbakanlik.gov.tr

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

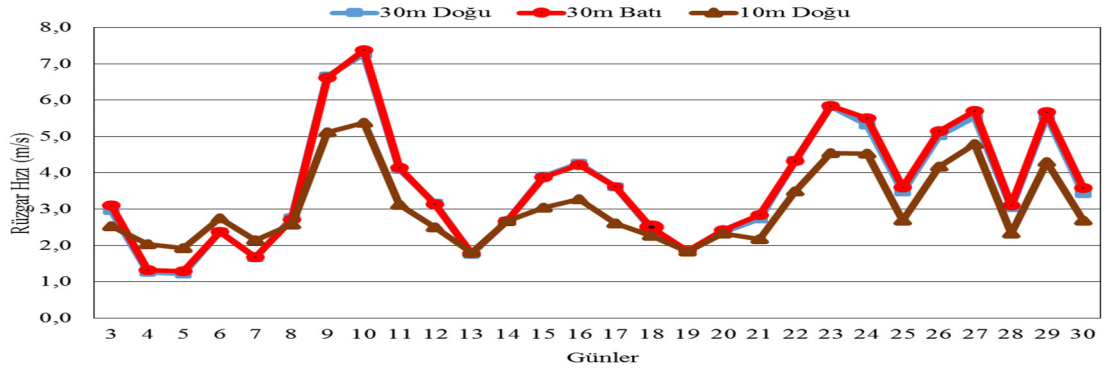
- T.C. Resmi Gazete, 2012, Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Stveardı Tebliği'nin İlk Hali, Sayı: 28212, rega.basbakanlik.gov.tr
- T.C. Resmi Gazete, 2012, Rüzgar Ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Stveardı Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Tebliğ, Sayı: 28250, rega.basbakanlik.gov.tr
- T.C. Resmi Gazete, 2012, Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Stveardı Tebliği - (Son Hali), rega.basbakanlik.gov.tr
- T.C. Resmi Gazete, 2013, Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Stveardı Tebliğinin Yürürlükten Kaldırılmasına Dair Tebliğ, Sayı: 28841, rega.basbakanlik.gov.tr
- TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, 2014, Türkiye Elektrik Enerjisi İstatistikleri www.emo.org.tr
- Turhan, F., 2009, Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelemesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2013, Enerji İstatistikleri, www.teias.gov.tr
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB), 2014, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 36 s.
- Ucar A. ve Balo F., 2009, Investigation of Wind Characteristics ve Assessment of Wind-Generation Potentiality in Uludag-Bursa, Turkey, Applied Energy, 86, 333-339
- Ulgen K. ve Hepbasli A., 2002, Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir,Turkey, International Journal of Energy Research, 26:495-506
- Ullah I., Chaudhry Q.Z. ve Chipperfield A.J., 2010, An Evaluation of Wind Energy Potential at Kati Bvear, Pakistan, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, 14, 856–861

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

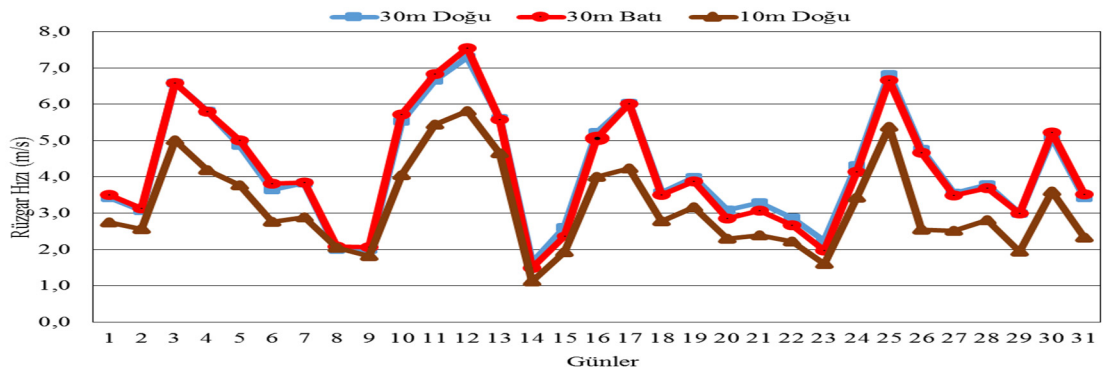
- Ültanır M. Ö., 1996, Şimdi Rüzgar Çiftliği Zamanı, Enerji Dergisi, Yıl:1 Sayı:5, 48-57
- Vestas Wind Systems, 2013, <http://www.vestas.com>
- Weisser, D., 2003, A Wind Energy Analysis of Granada: An Estimation Using the “Weibull” Density Function. Renewable Energy, 28 (11):1803-1812
- World Wind Energy Association (WWEA), 2013, A Global Strategy for Wind Energy, <http://www.wwindea.org/default.htm>
- Yıldırım, U., Gazibey, Y. ve Güngör A., 2012, Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, 37-47.
- Yılmaz, V. ve Çelik, H.E., 2012, Matematiksel İstatistik II Ders Notları, 66-69
- Yılmaz, V., Aras, H. ve Çelik H.E., 2005, Statistical Analysis of Wind Speed Data, ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Dergisi, 18, 41-54
- Yılmaz, V. ve Çelik H.E., 2008, A Statistical Approach to Estimate The Wind Speed Distrubition: The Case of Gelibolu Region, Doğuş Üniv. Dergisi, 9, 122-132
- Yörükoğulları, E., Aras, H., Parlaktuna, M., Koçkar, M., Tanışlı, M., Karakoç, H., Durmaz, Ş., Erbay, B., Altan, M. ve Orhun, Ö., 2010, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Yayın No:2116, 140 s.
- Zhou W., Lou C., Li Z., Lu L. ve Yang H., 2010, Current Status of Research on Optimum Sizing of Stve-Alone Hybrid Solar–Wind Power Generation Systems, Applied Energy, 87, 380-389

EK AÇIKLAMALAR

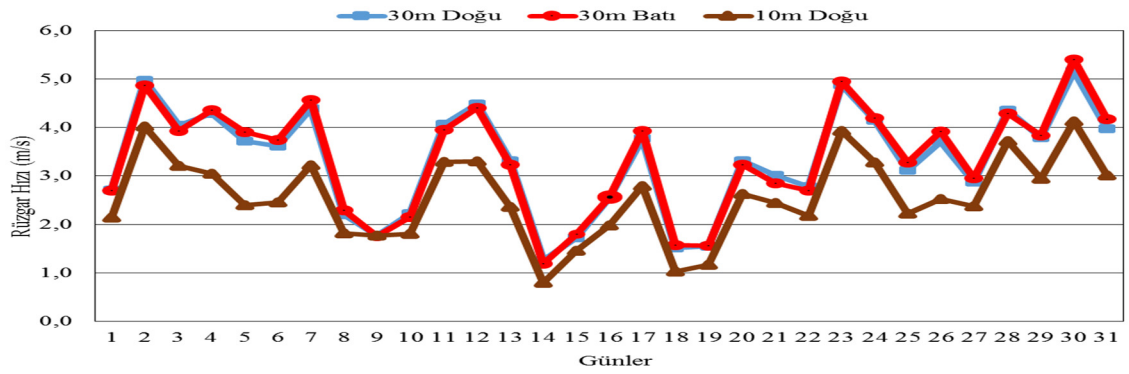
Ek Açıklamalar A: Aylık Rüzgar Hızı Ölçüm Sonuçları



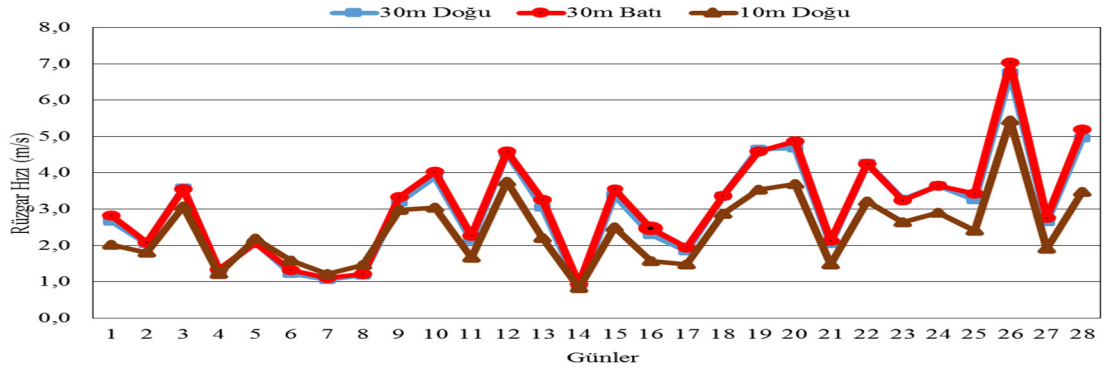
Şekil A.1. Kasım 2010 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



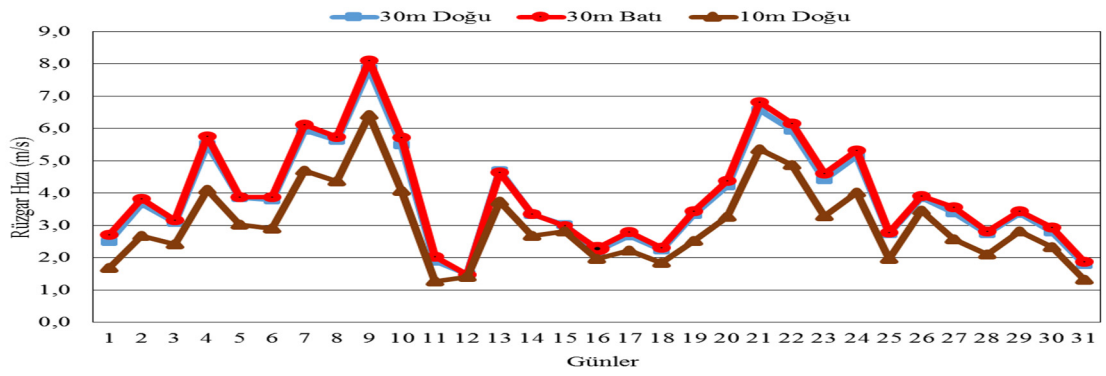
Şekil A.2. Aralık 2010 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



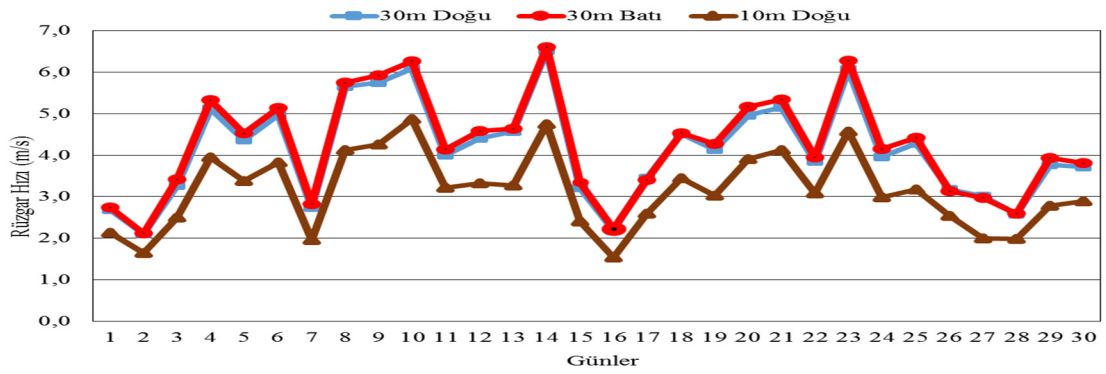
Şekil A.3. Ocak 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



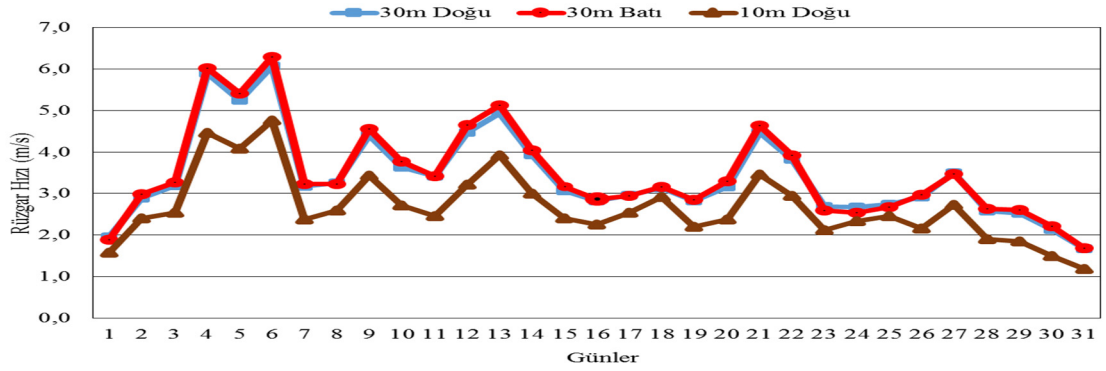
Şekil A.4. Şubat 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



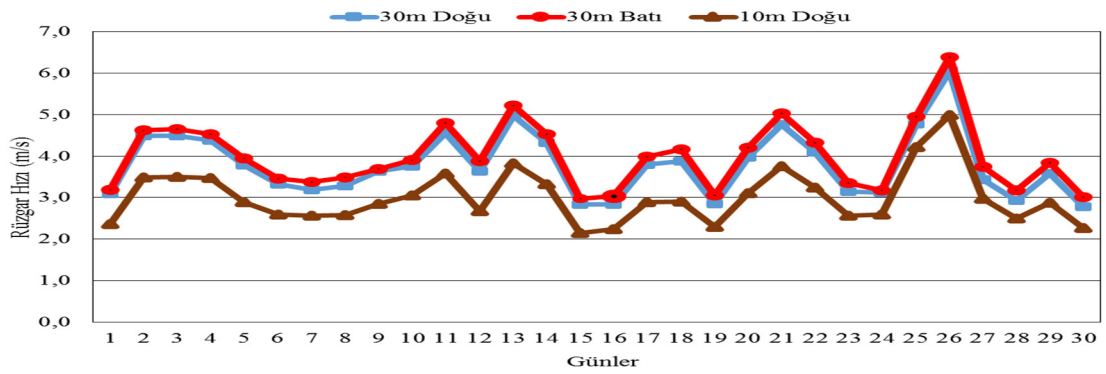
Şekil A.5. Mart 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



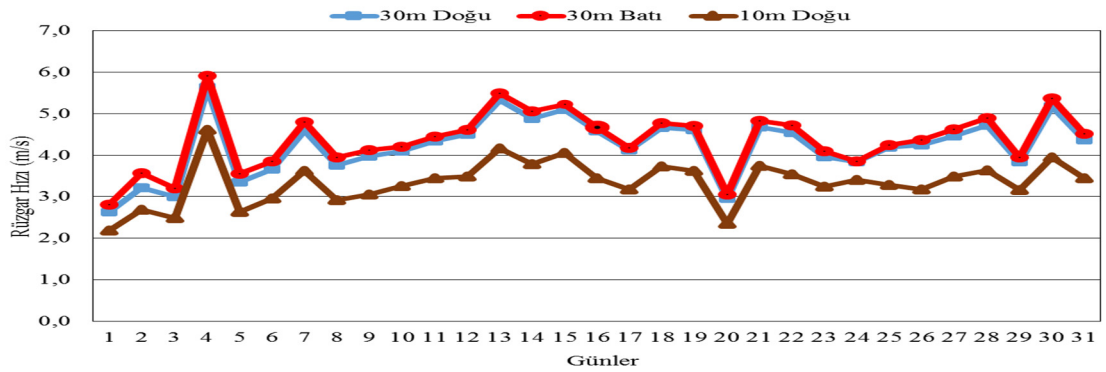
Şekil A.6. Nisan 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



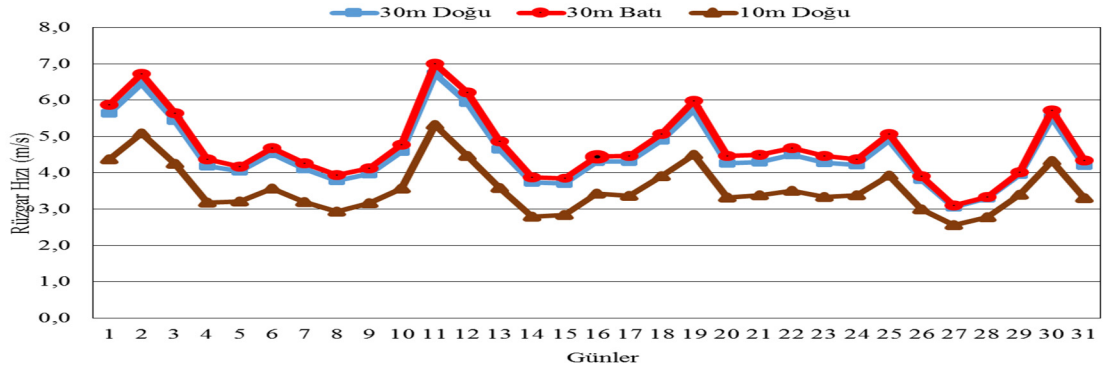
Şekil A.7. Mayıs 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



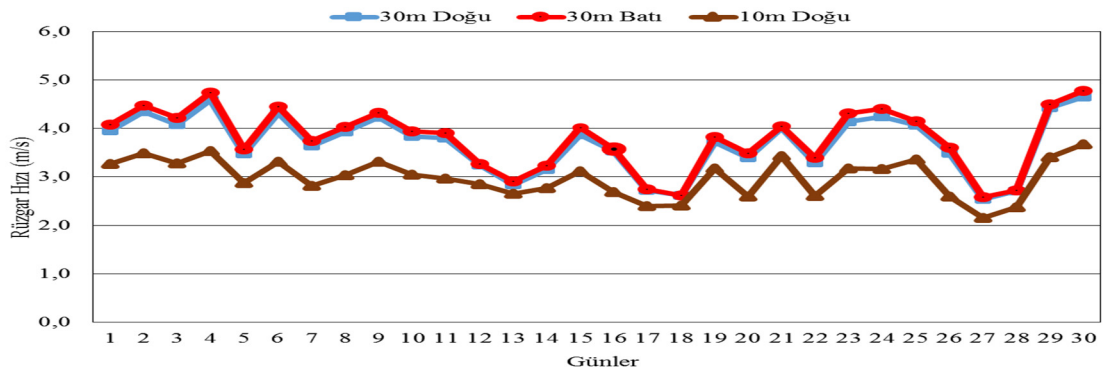
Şekil A.8. Haziran 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



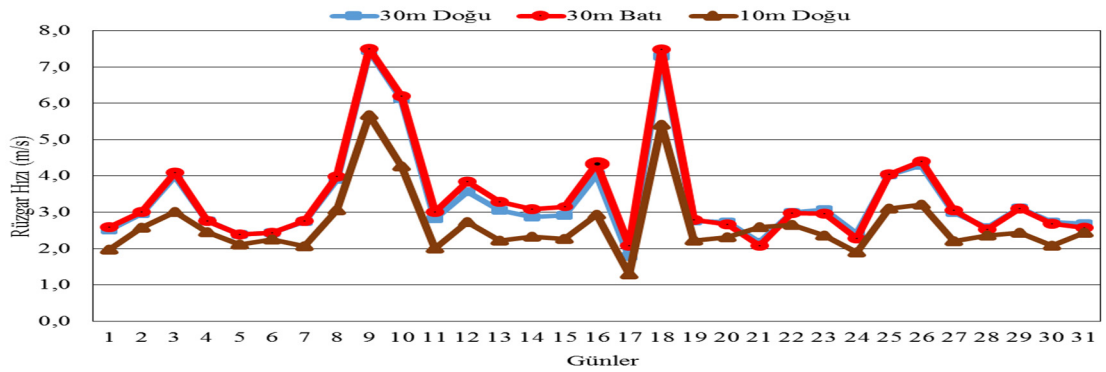
Şekil A.9. Temmuz 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



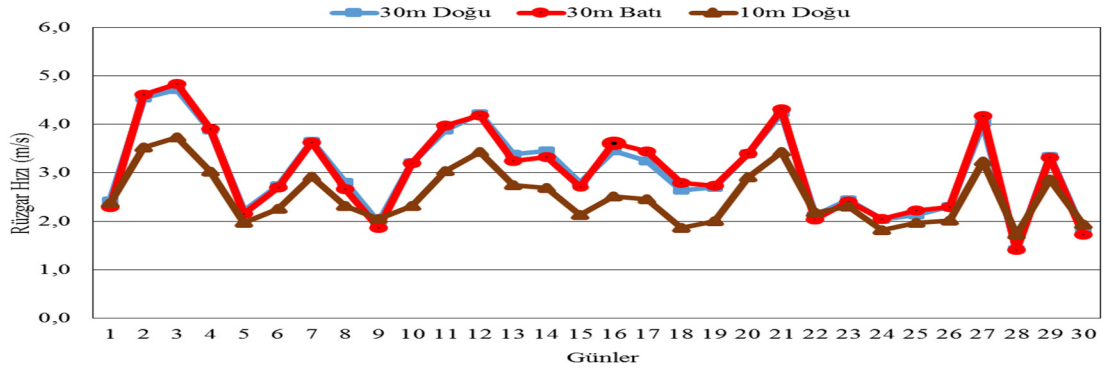
Şekil A.10. Ağustos 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



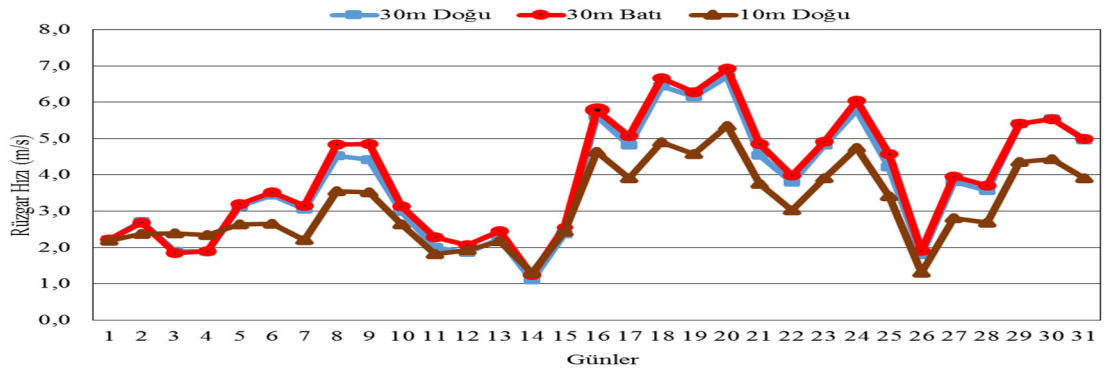
Şekil A.11. Eylül 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



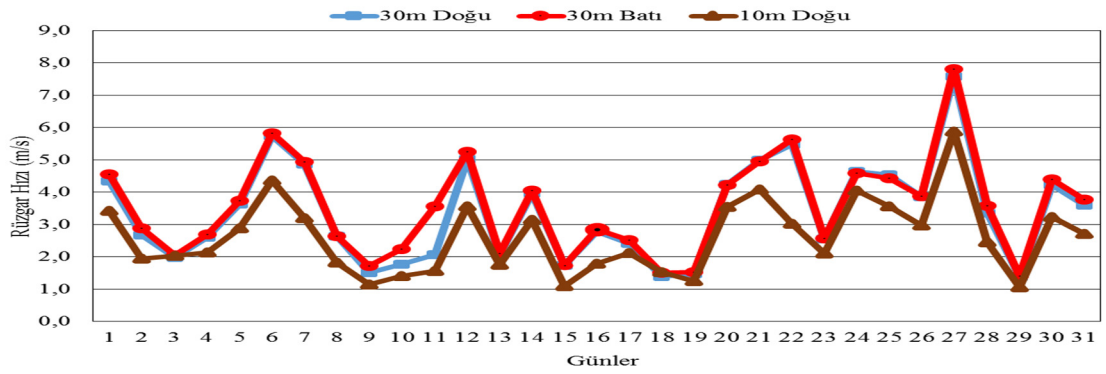
Şekil A.12. Ekim 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



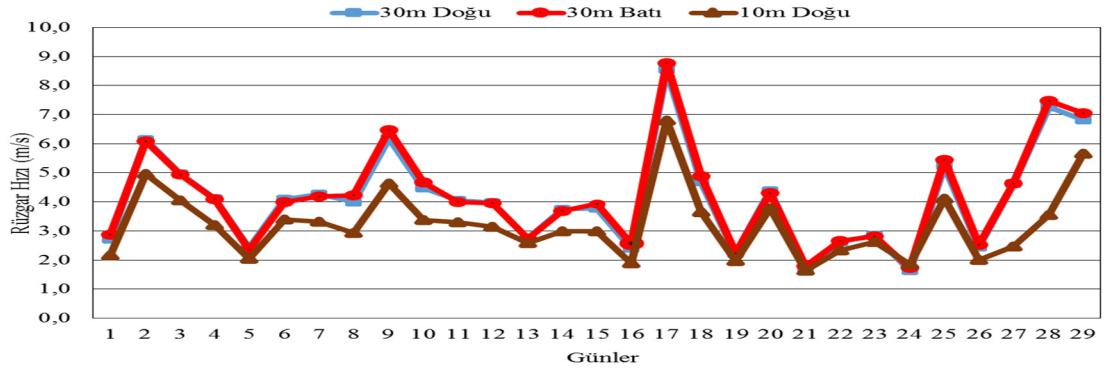
Şekil A.13. Kasım 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



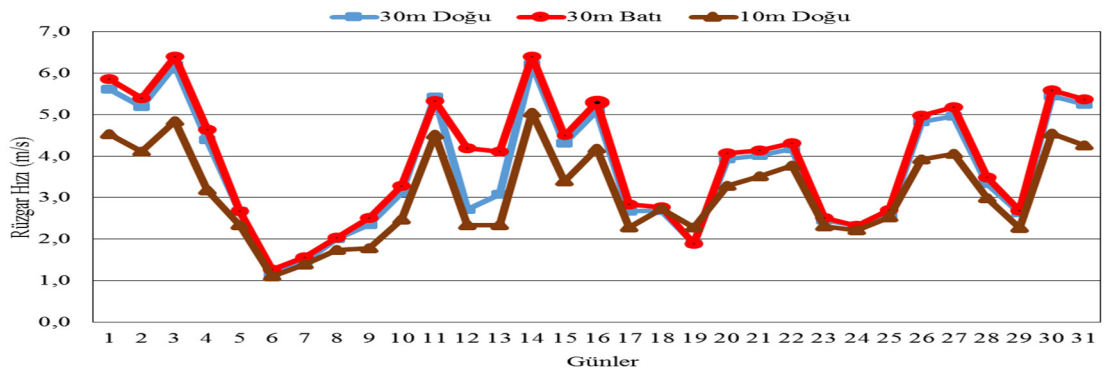
Şekil A.14. Aralık 2011 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



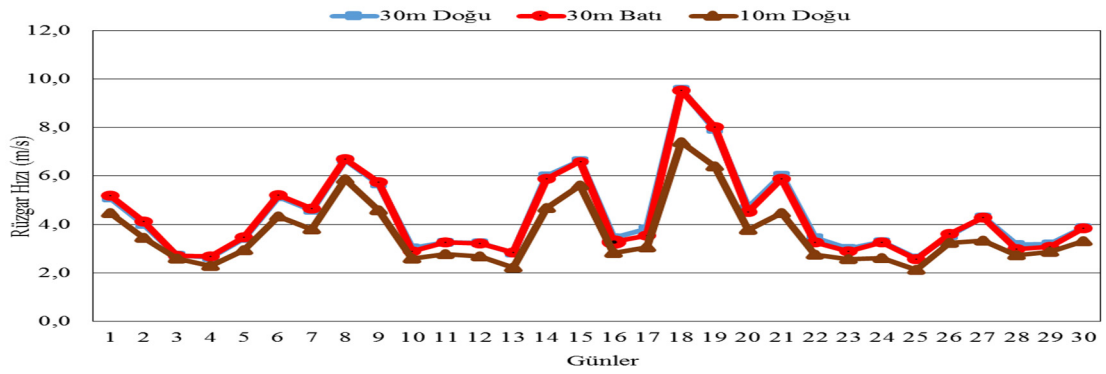
Şekil A.15. Ocak 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



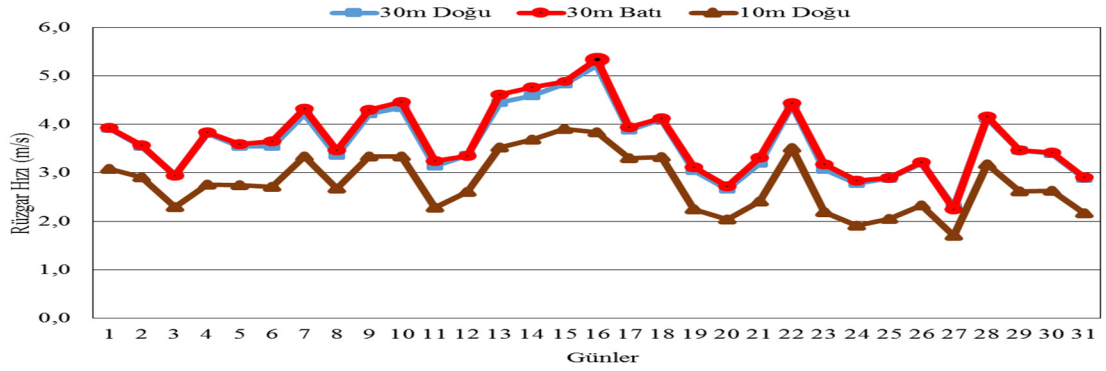
Şekil A.16. Şubat 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



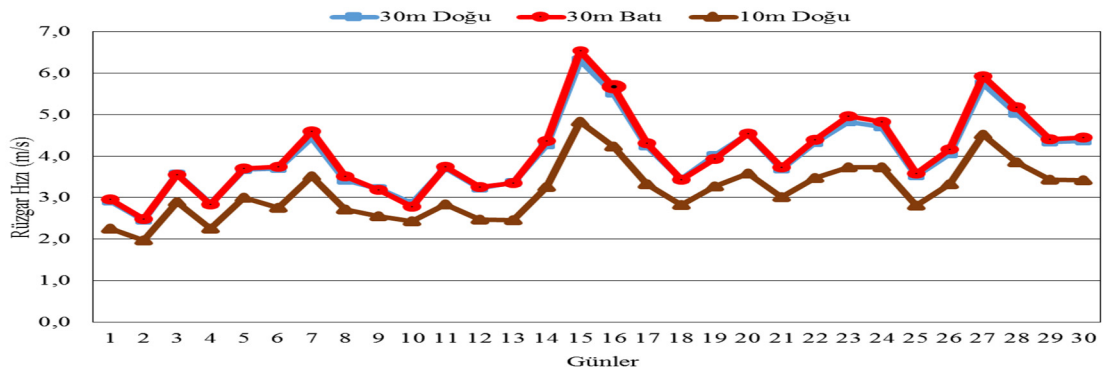
Şekil A.17. Mart 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



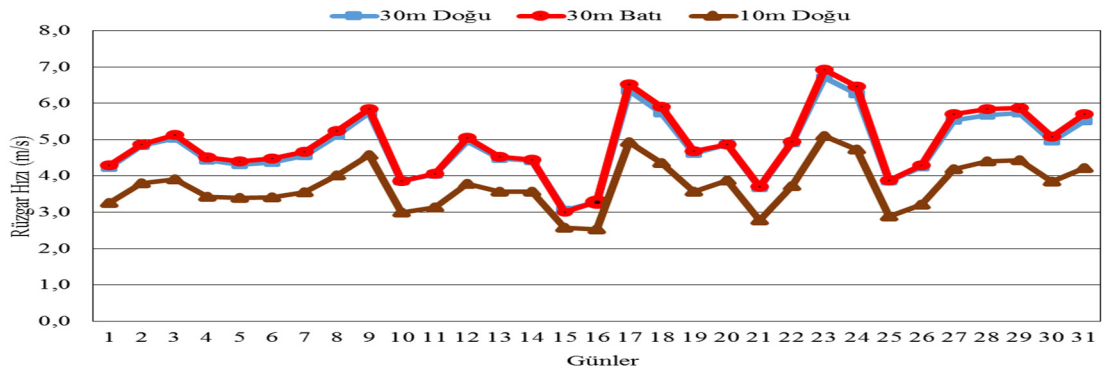
Şekil A.18. Nisan 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



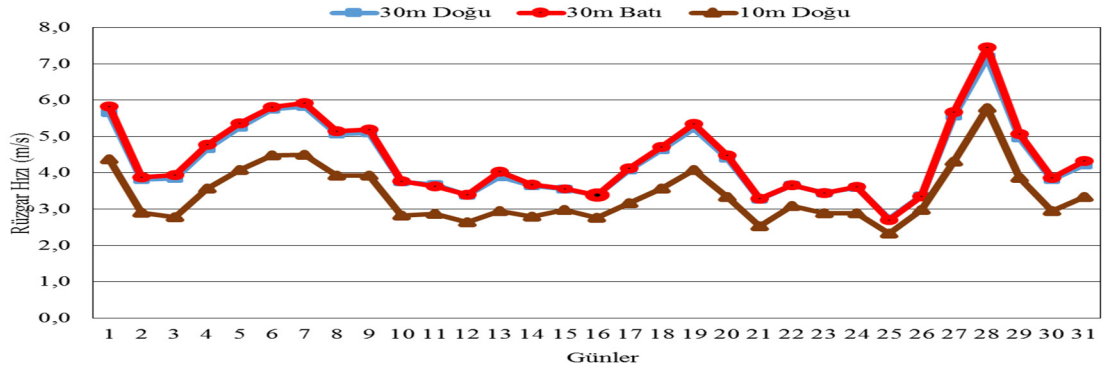
Şekil A.19. Mayıs 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



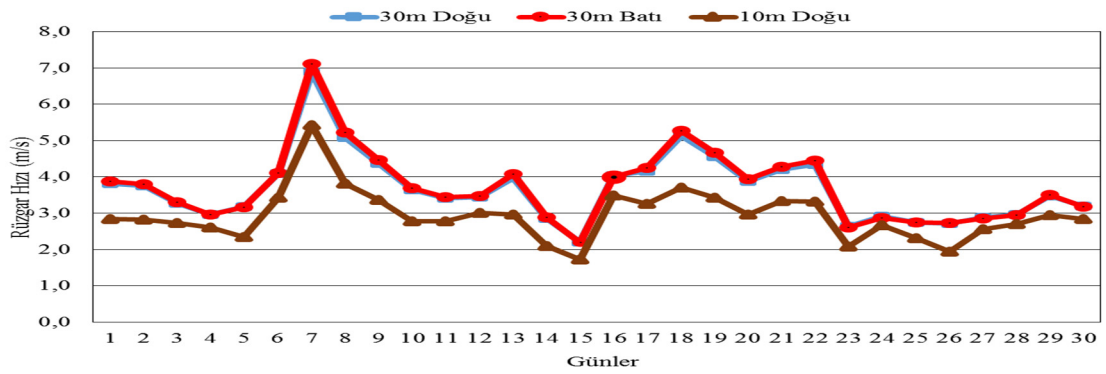
Şekil A.20. Haziran 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



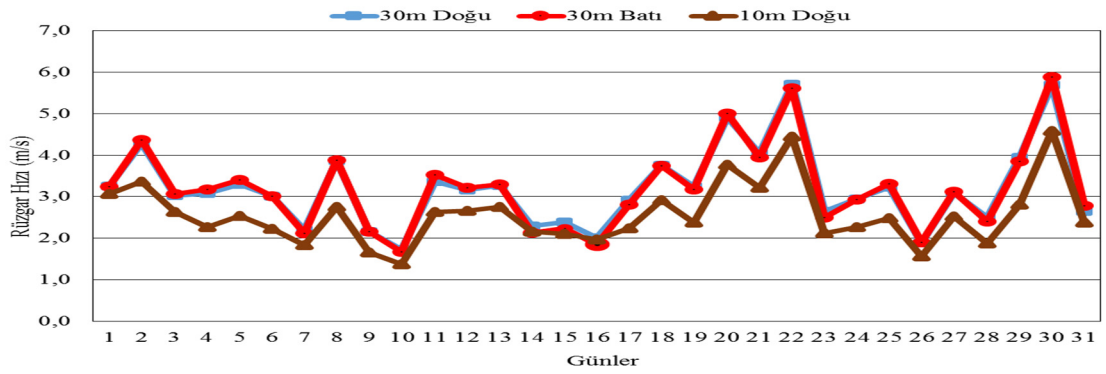
Şekil A.21. Temmuz 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



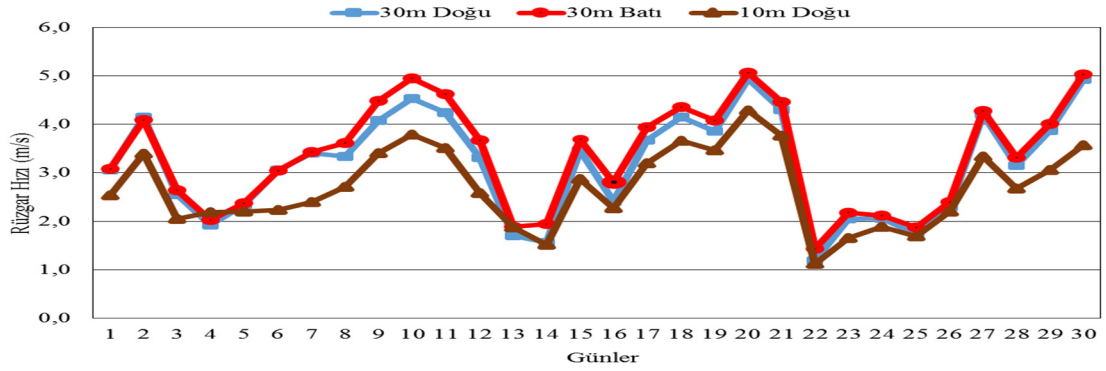
Şekil A.22. Ağustos 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



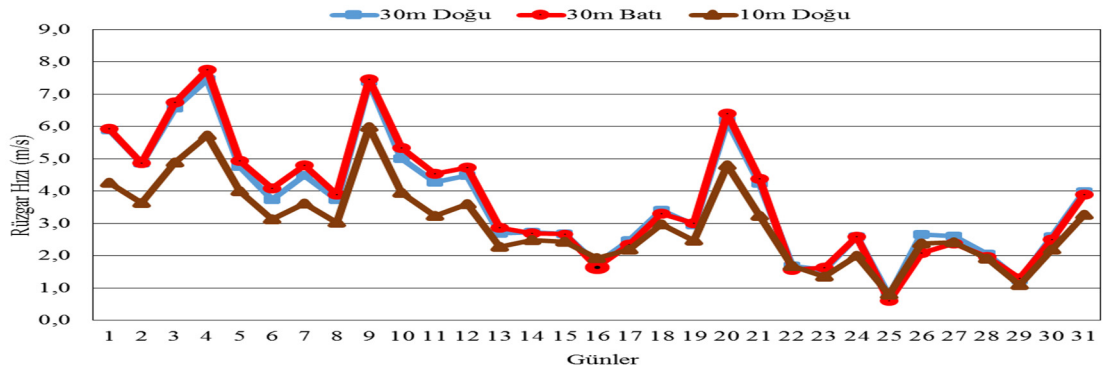
Şekil A.23. Eylül 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



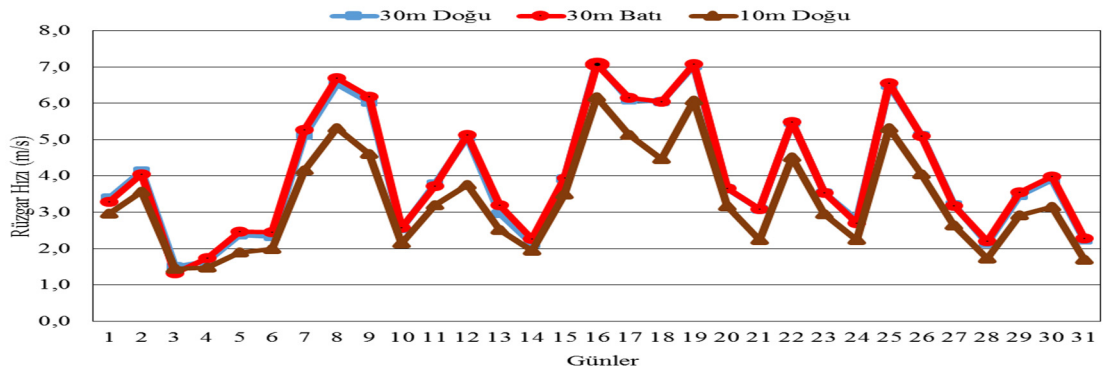
Şekil A.24. Ekim 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



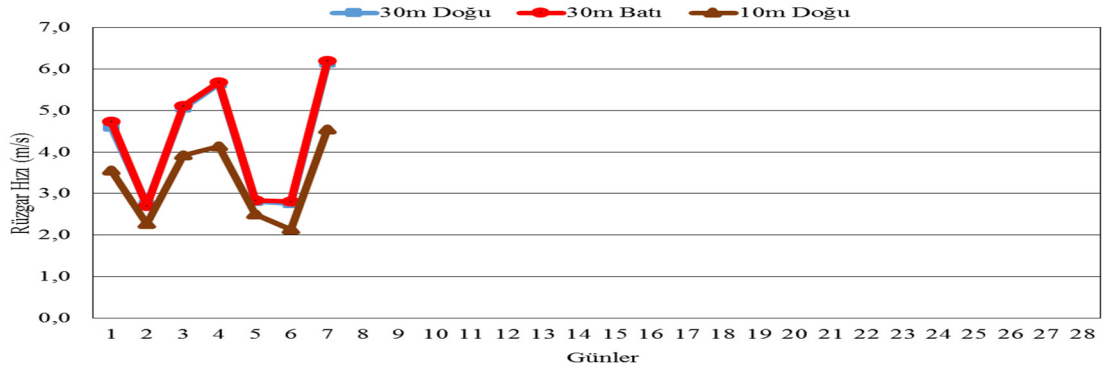
Şekil A.25. Kasım 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



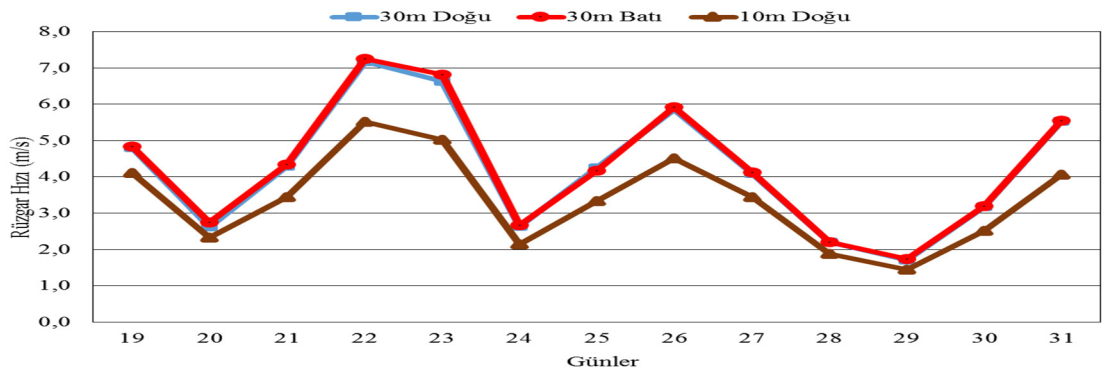
Şekil A.26. Aralık 2012 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



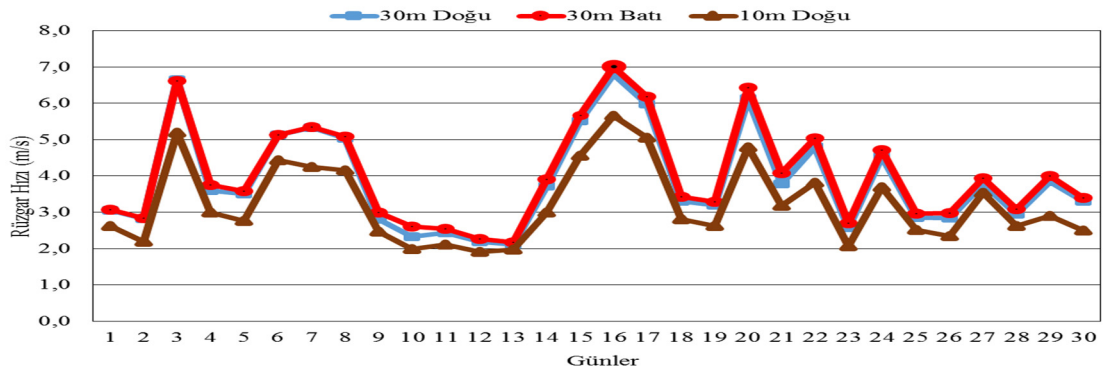
Şekil A.27. Ocak 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



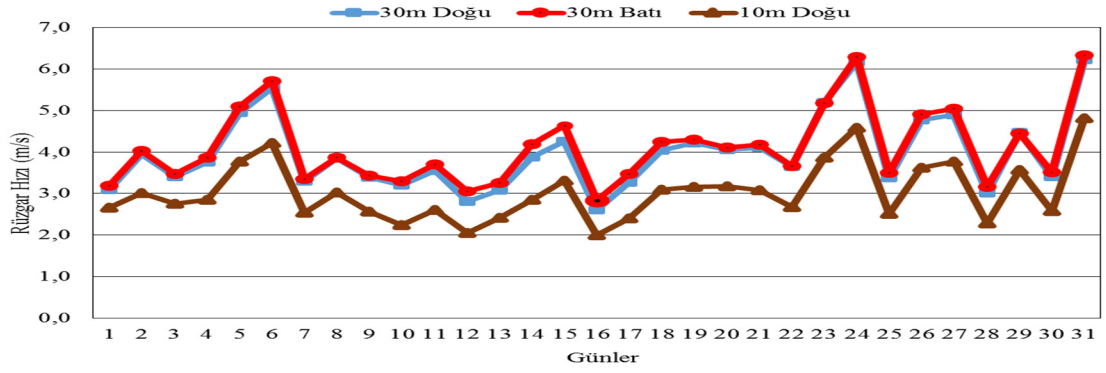
Şekil A.28. Şubat 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



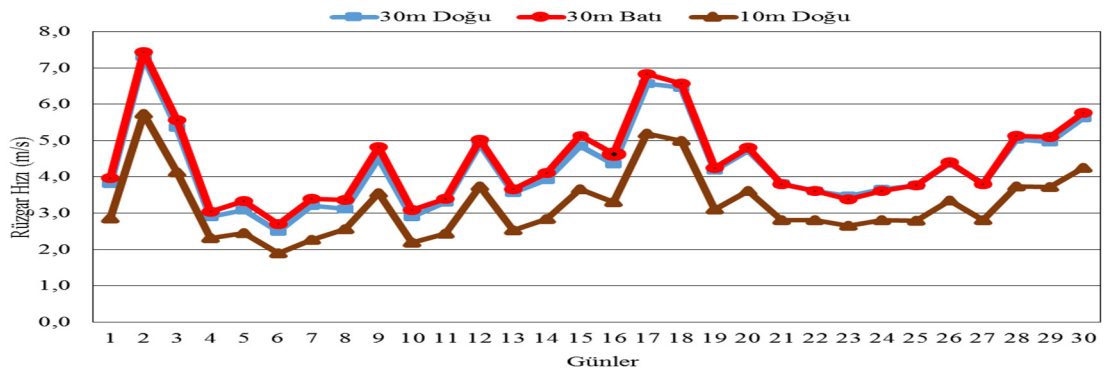
Şekil A.29. Mart 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



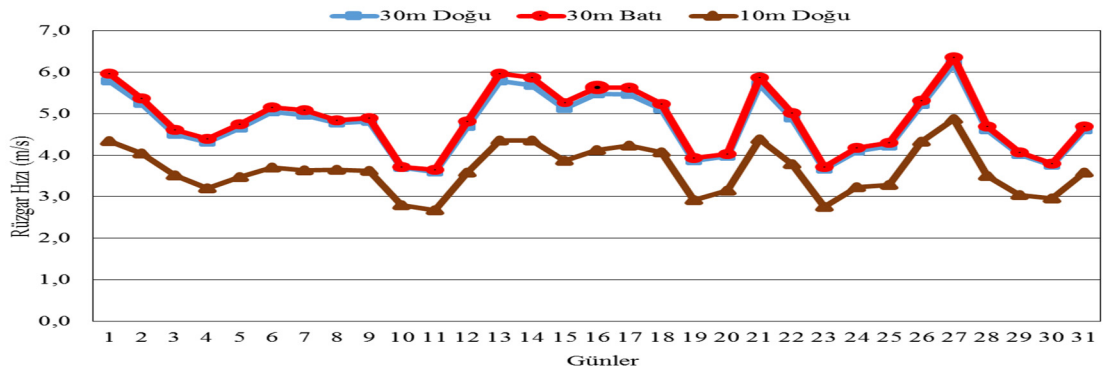
Şekil A.30. Nisan 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



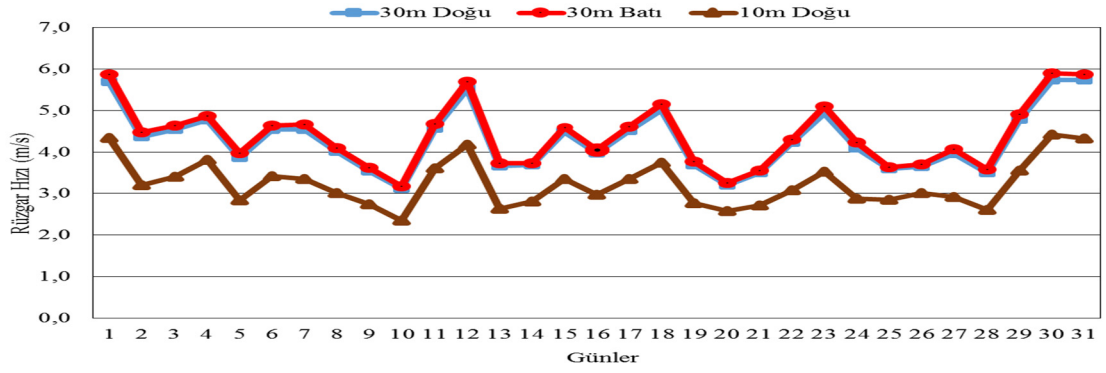
Şekil A.31. Mayıs 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



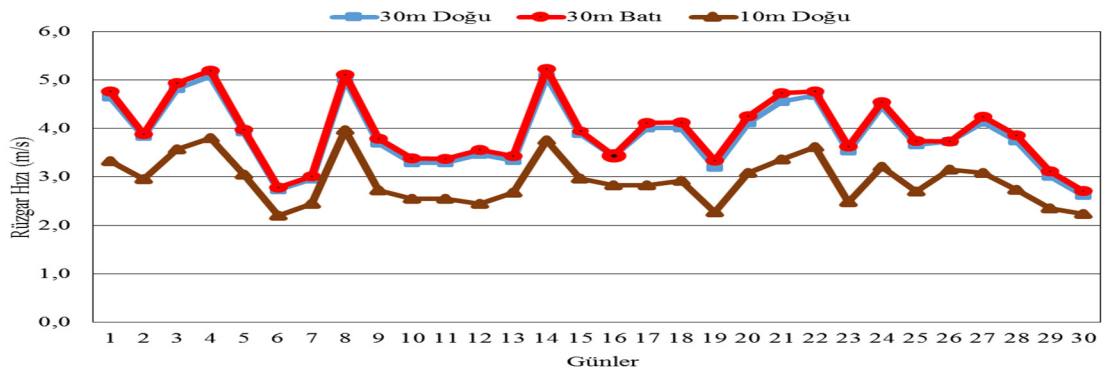
Şekil A.32. Haziran 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



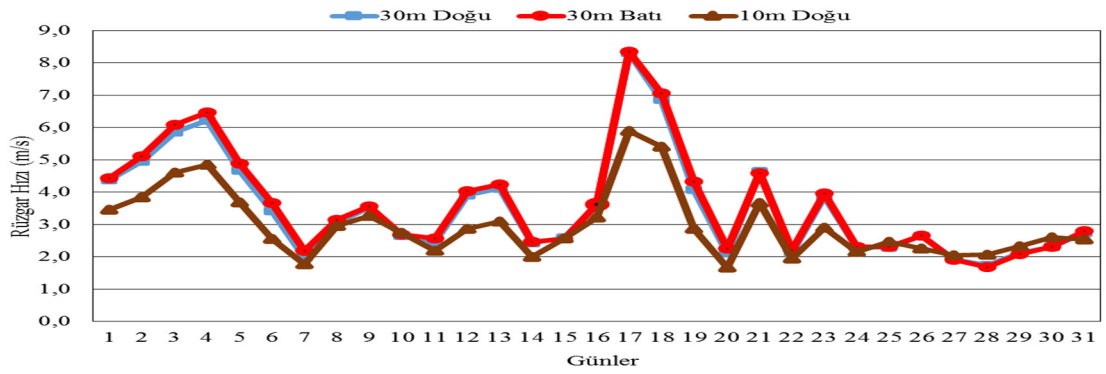
Şekil A.33. Temmuz 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



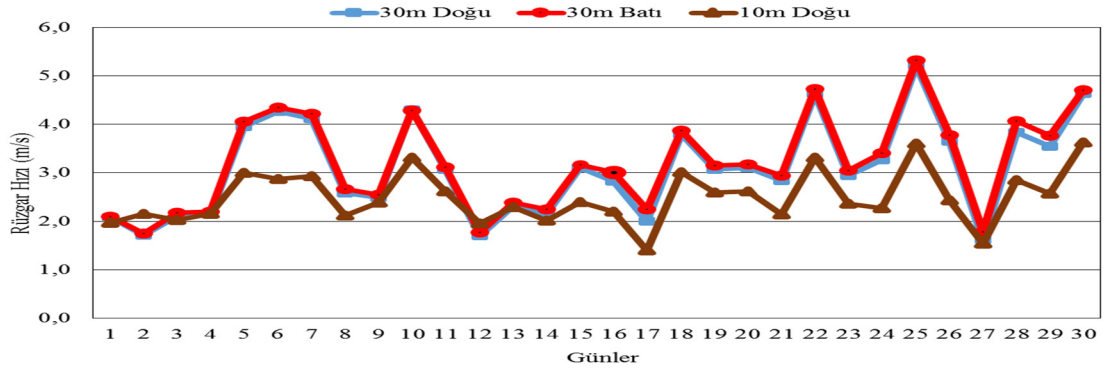
Şekil A.34. Ağustos 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



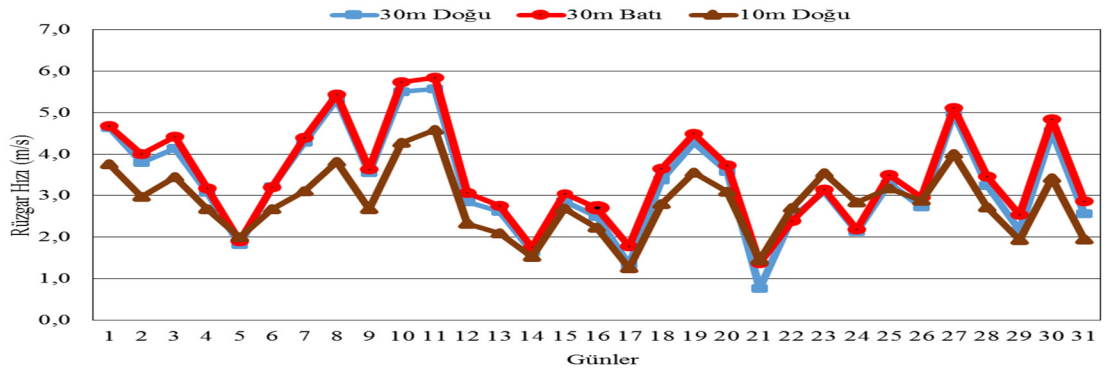
Şekil A.35. Eylül 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



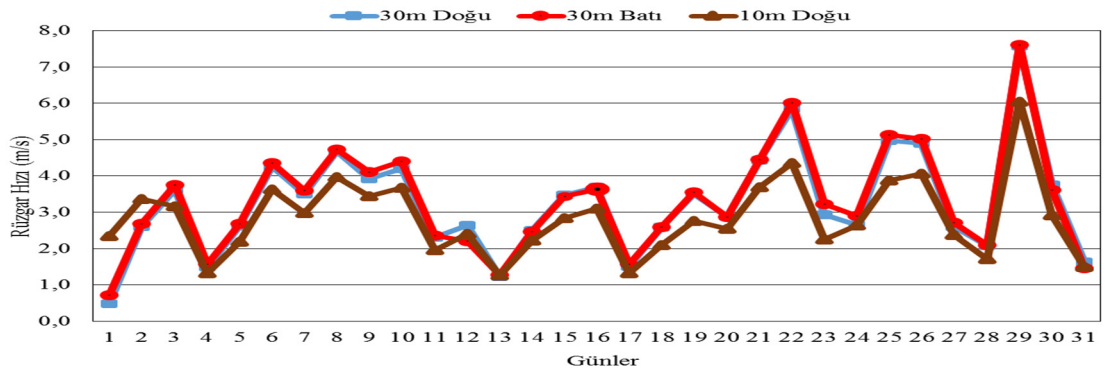
Şekil A.36. Ekim 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



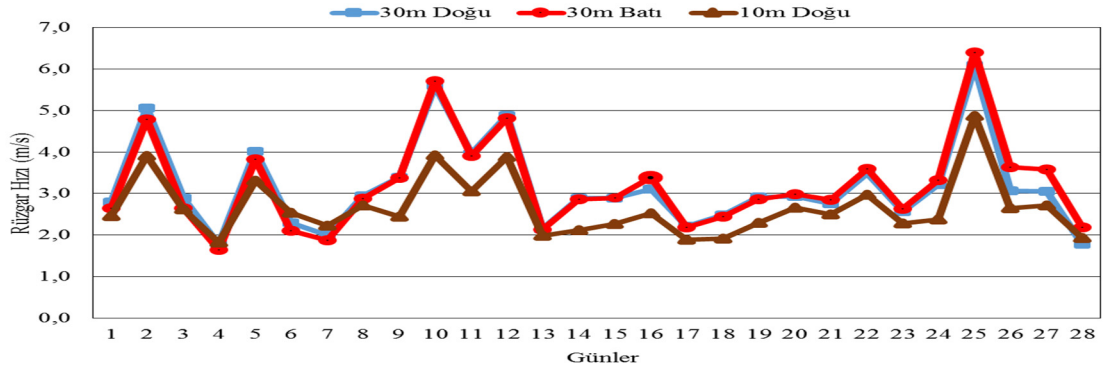
Şekil A.37. Kasım 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



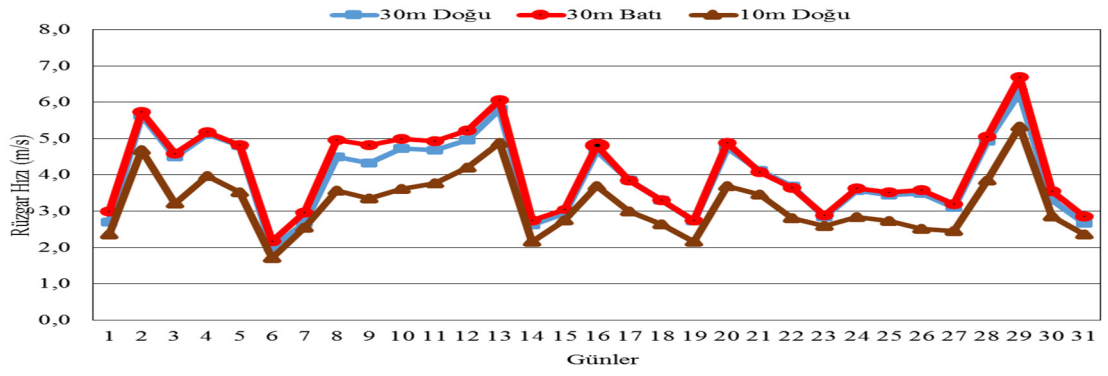
Şekil A.38. Aralık 2013 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



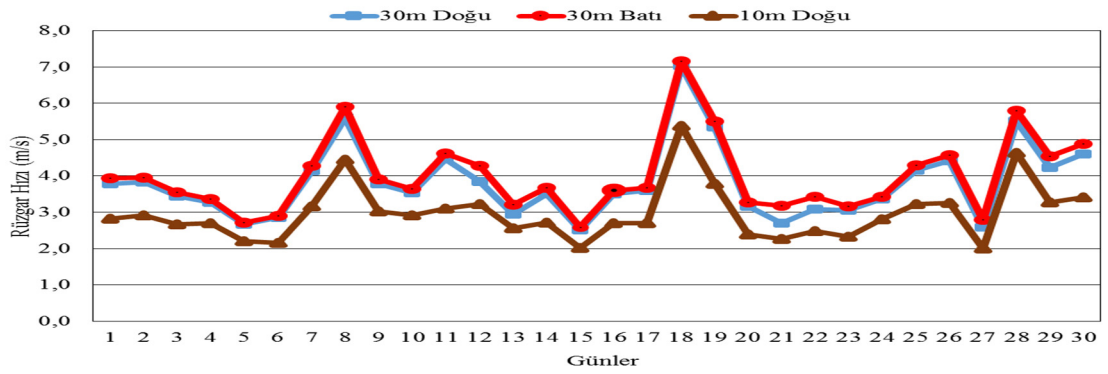
Şekil A.39. Ocak 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



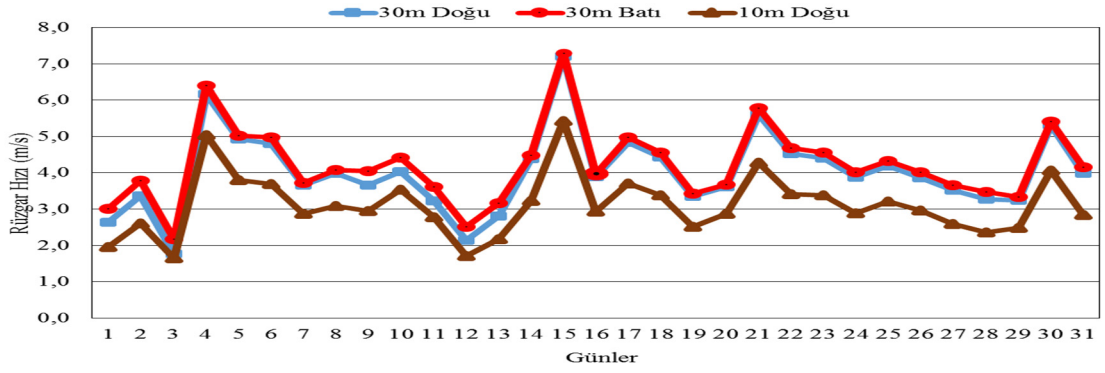
Şekil A.40. Şubat 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



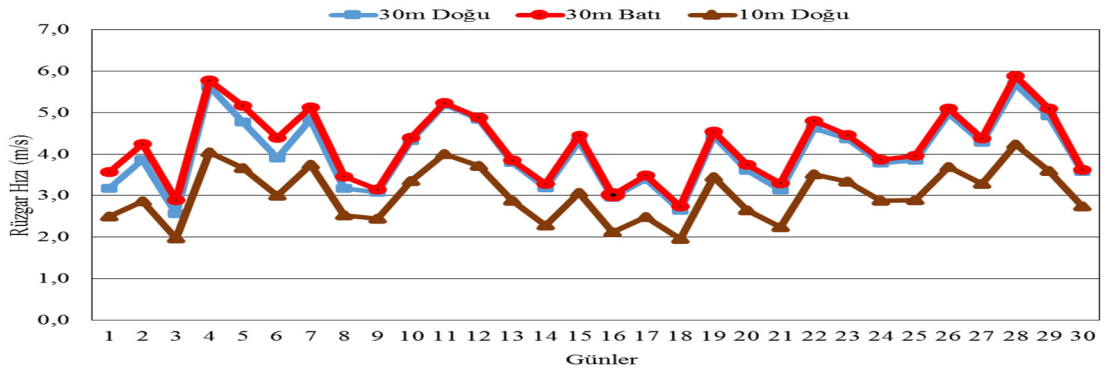
Şekil A.41. Mart 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



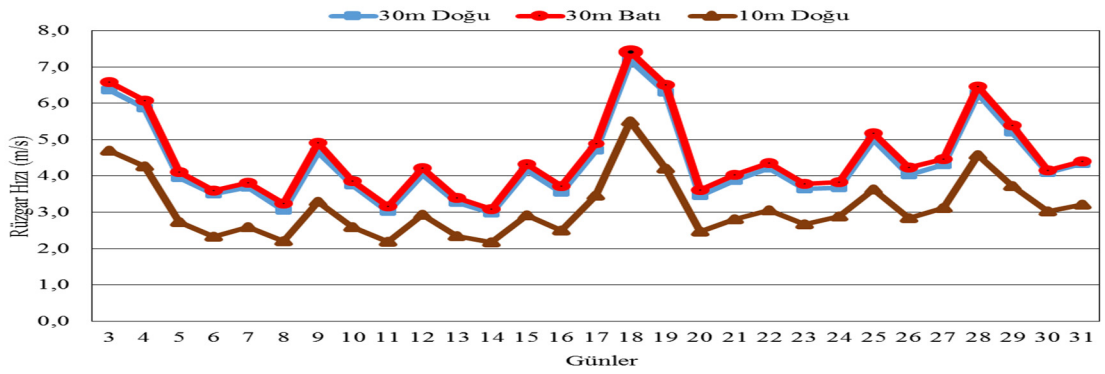
Şekil A.42. Nisan 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



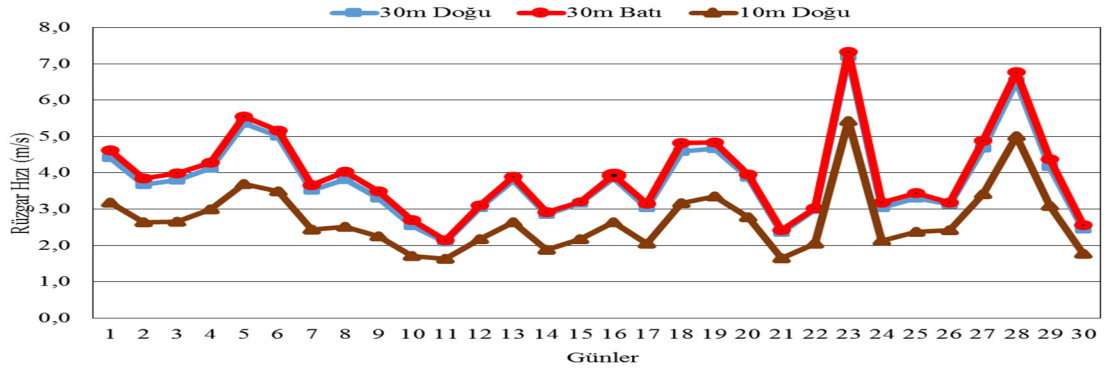
Şekil A.43. Mayıs 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



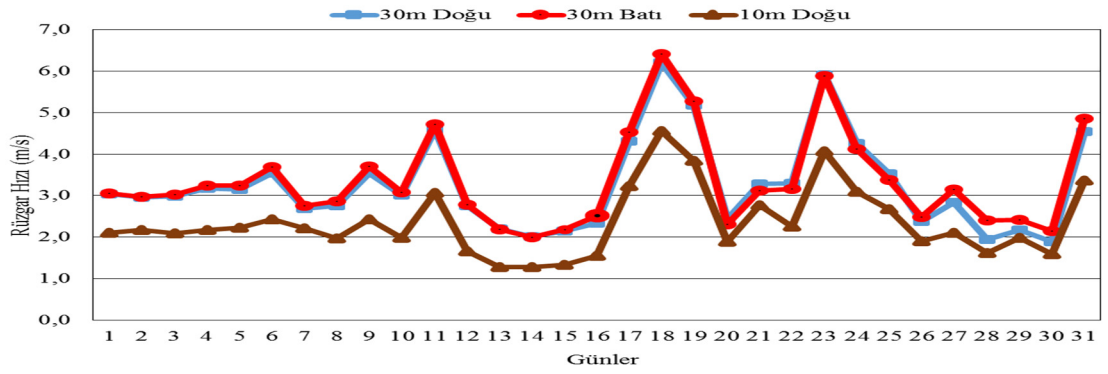
Şekil A.44. Haziran 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



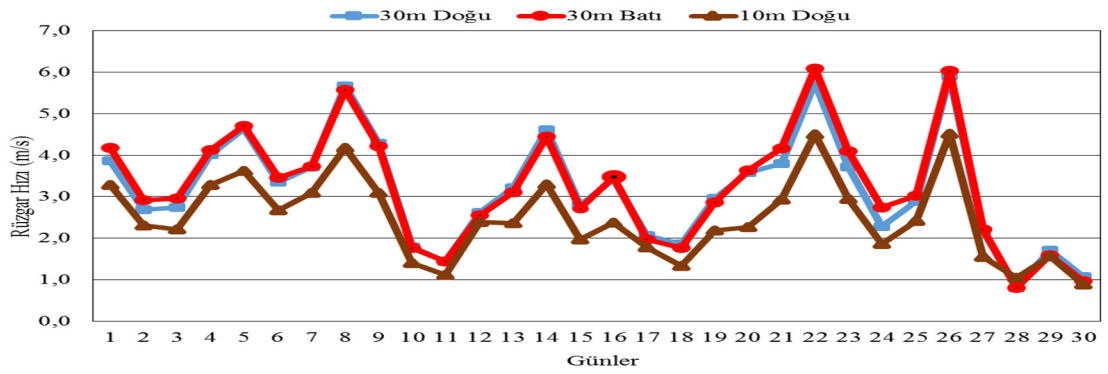
Şekil A.45. Ağustos 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



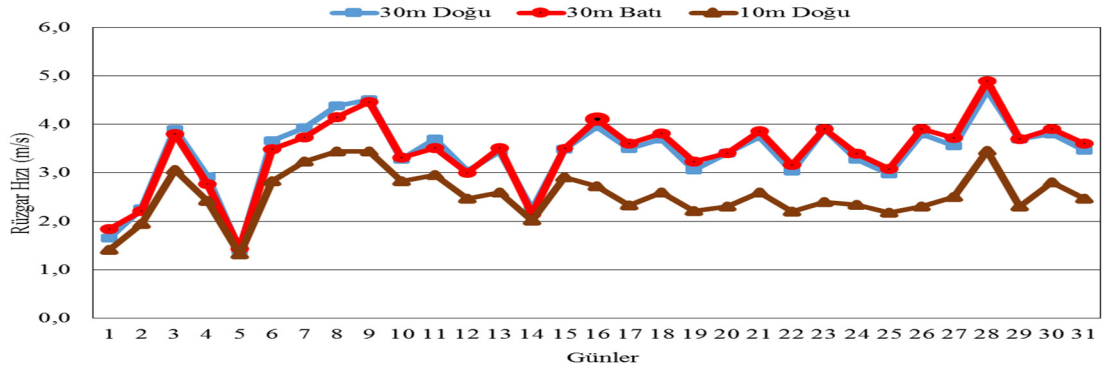
Şekil A.46. Eylül 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri



Şekil A.47. Ekim 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri

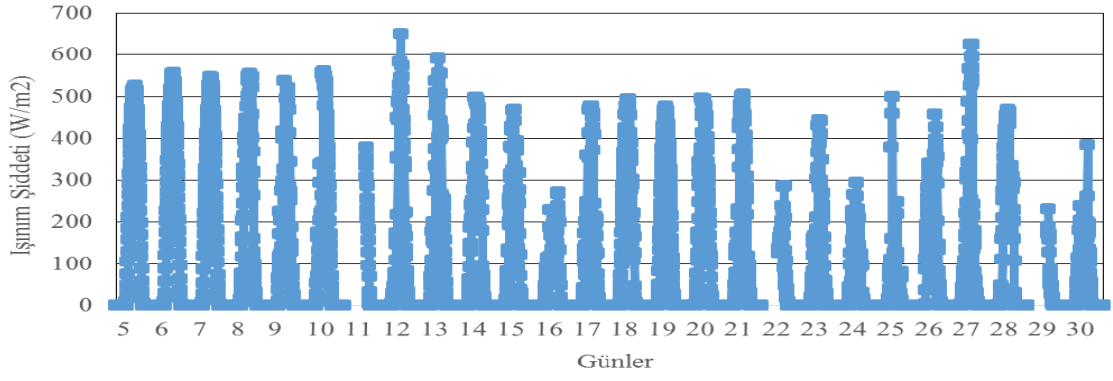


Şekil A.48. Kasım 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri

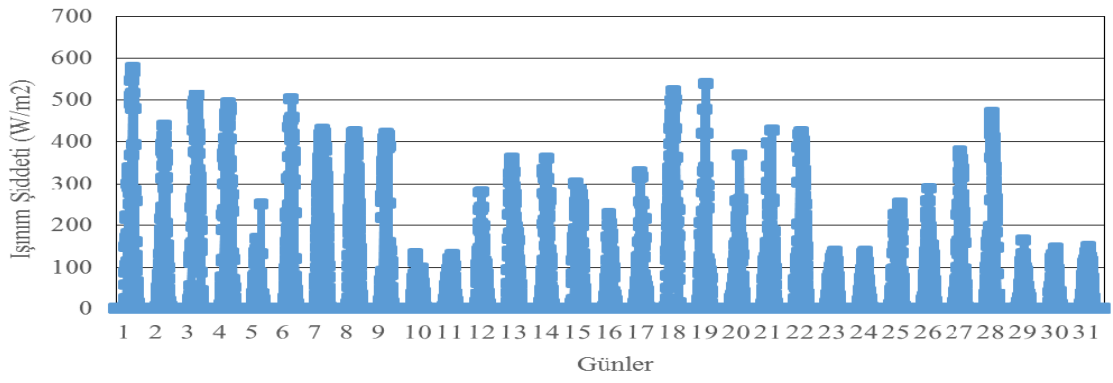


Şekil A.49. Aralık 2014 günlük ortalama rüzgar hızı değerleri

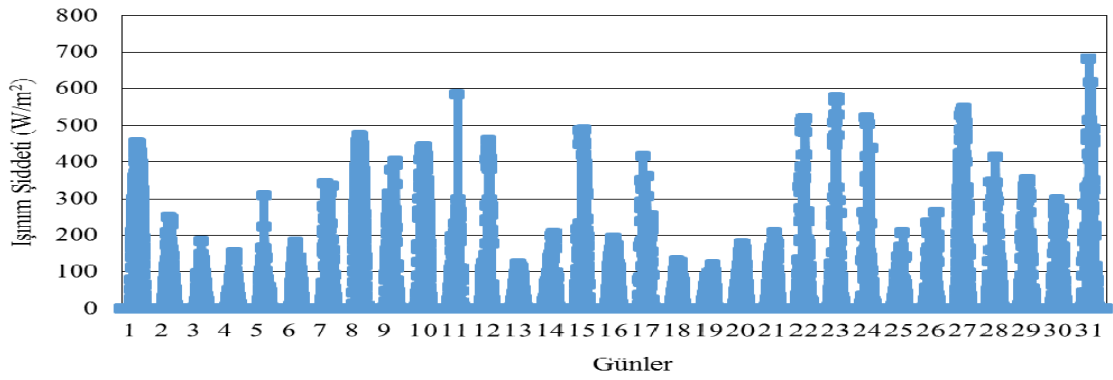
EK AÇIKLAMALAR B: Aylık Ortalama Işınım Şiddeti Sonuçları



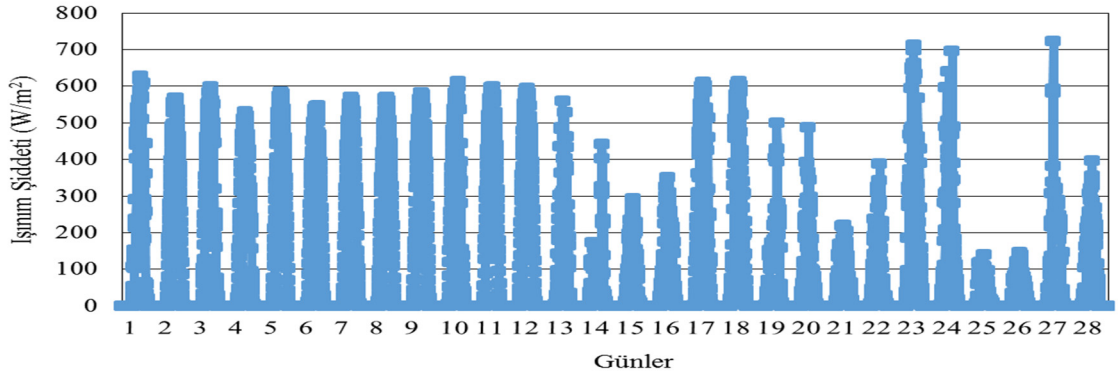
Şekil B.1. Kasım 2010 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



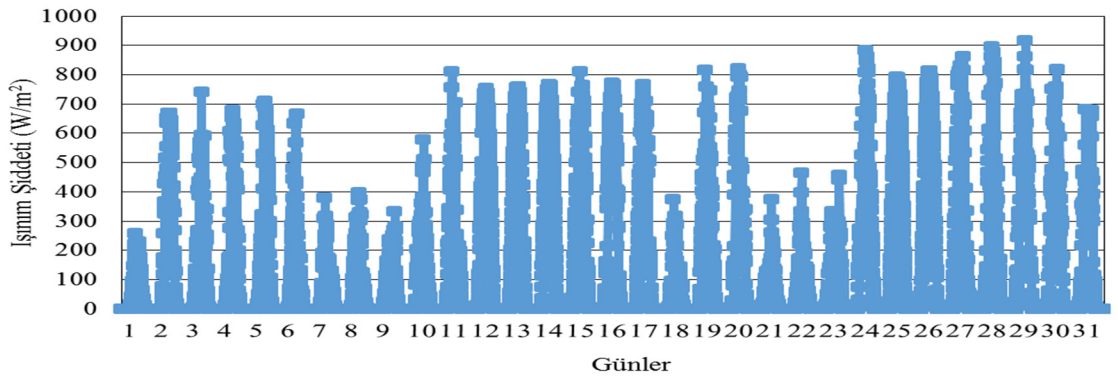
Şekil B.2. Aralık 2010 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



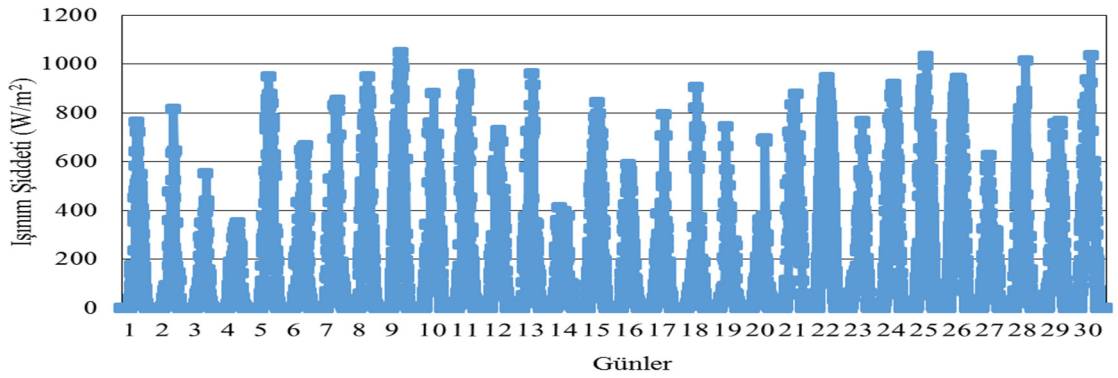
Şekil B.3. Ocak 2011 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



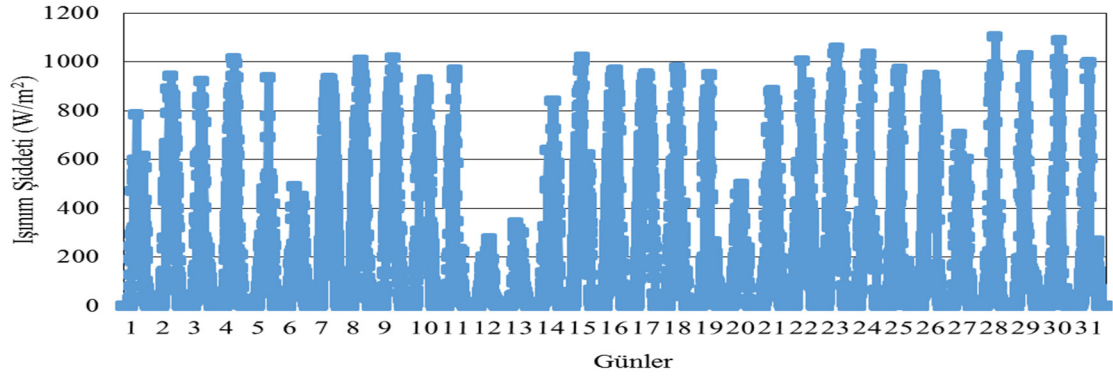
Şekil B.4. Şubat 2011 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



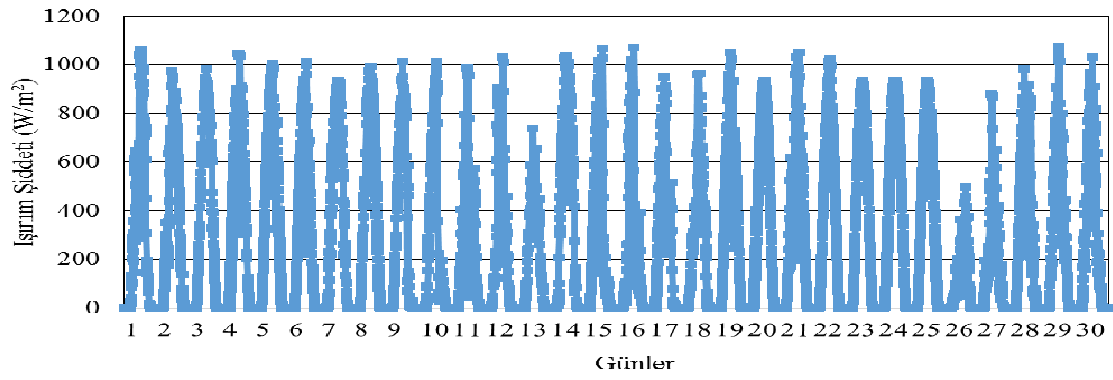
Şekil B.5. Mart 2011 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



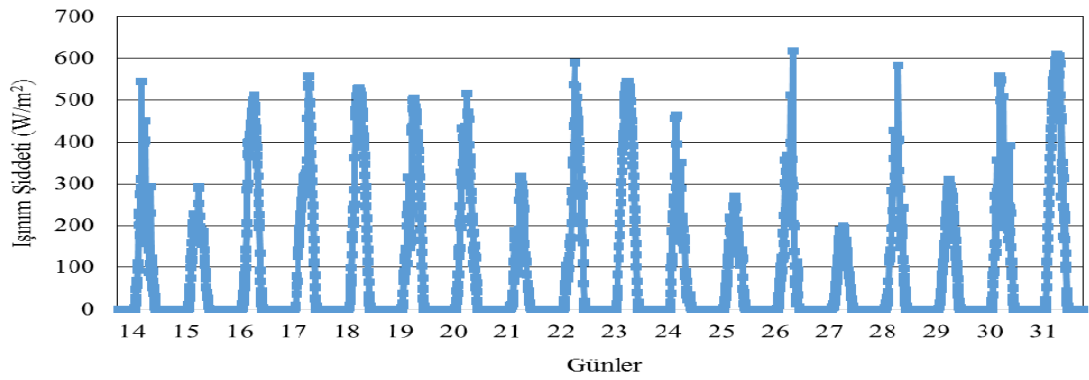
Şekil B.6. Nisan 2011 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



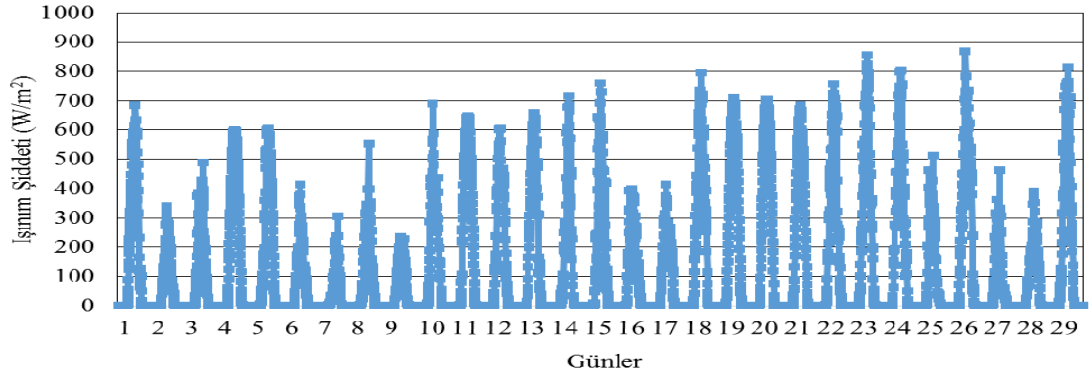
Şekil B.7. Mayıs 2011 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



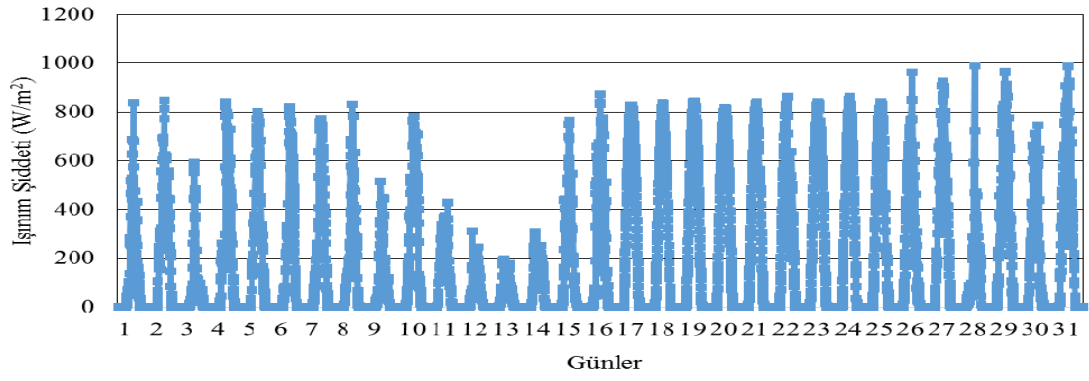
Şekil B.8. Haziran 2011 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



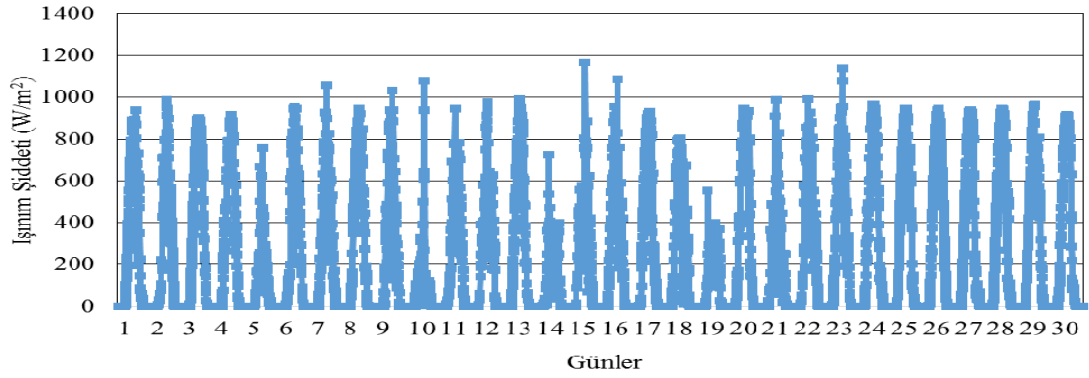
Şekil B.9. Ocak 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



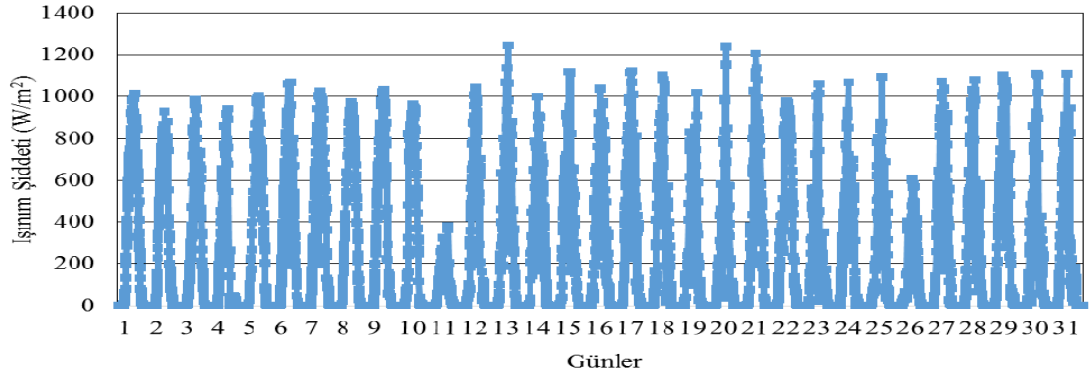
Şekil B.10. Şubat 2012 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



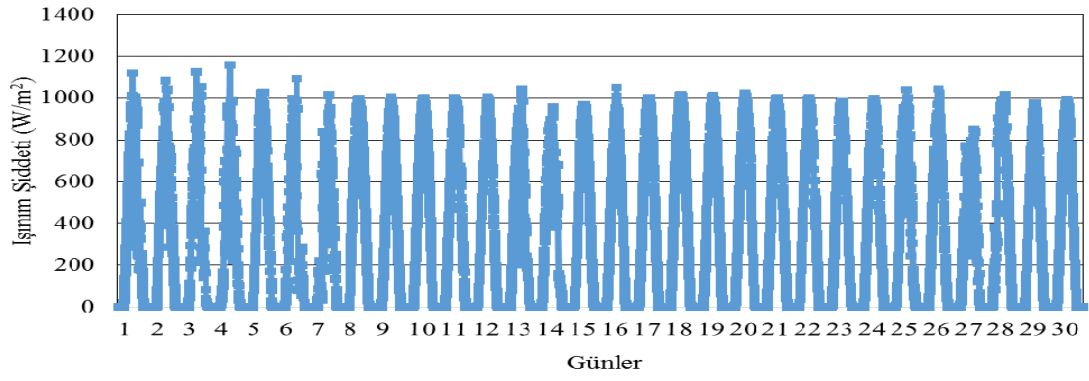
Şekil B.11. Mart 2012 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



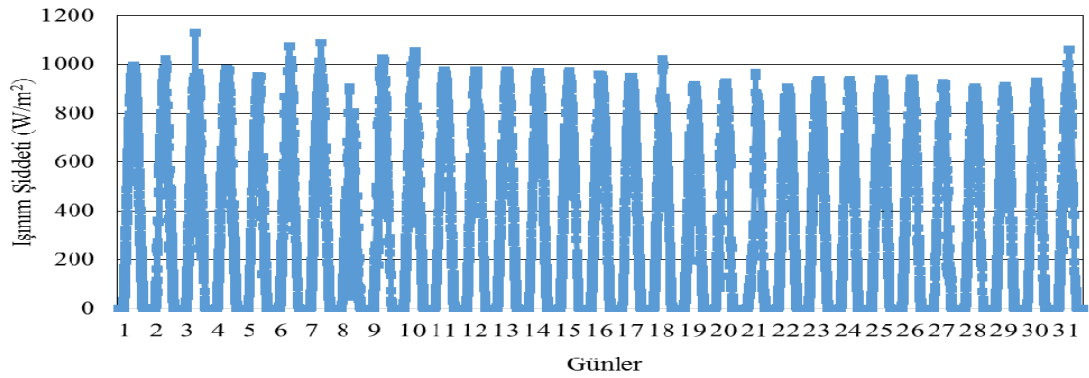
Şekil B.12. Nisan 2012 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



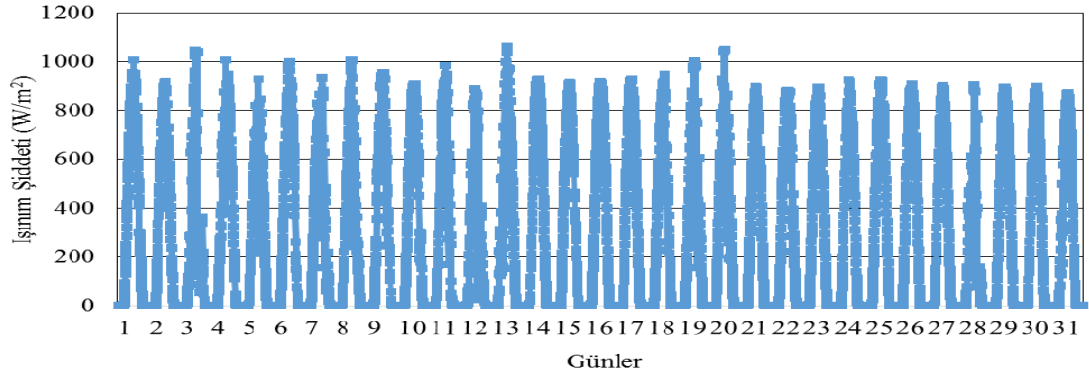
Şekil B.13. Mayıs 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



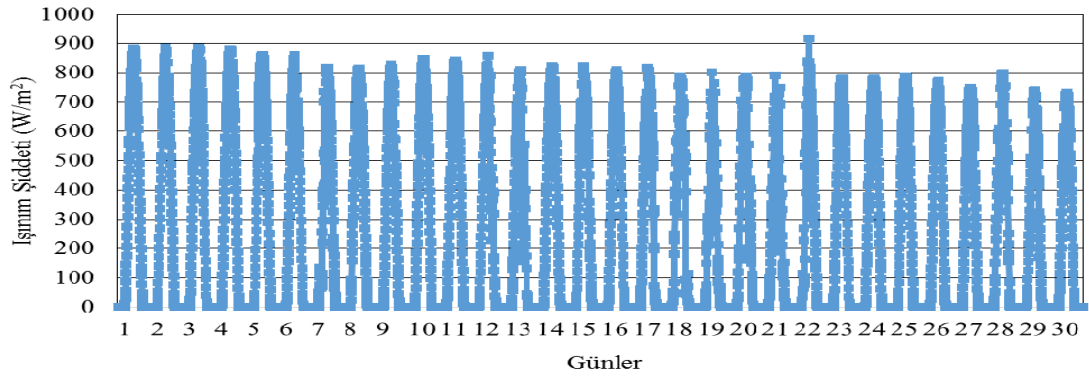
Şekil B.14. Haziran 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



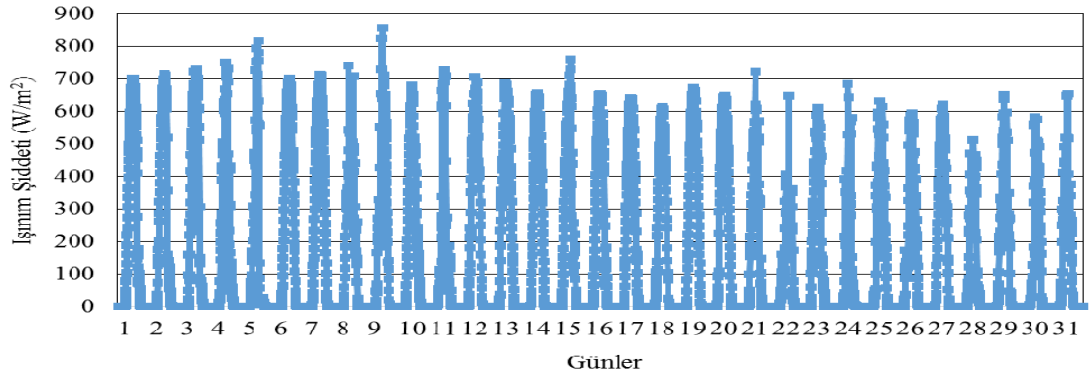
Şekil B.15. Temmuz 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



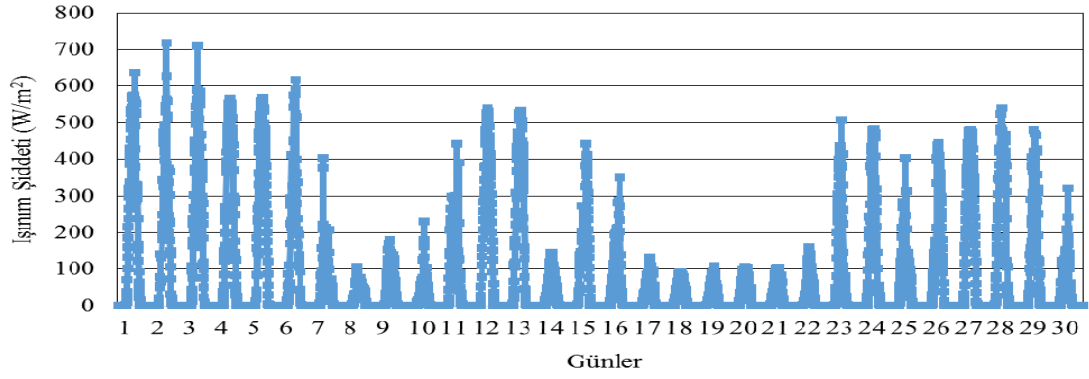
Şekil B.16. Ağustos 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



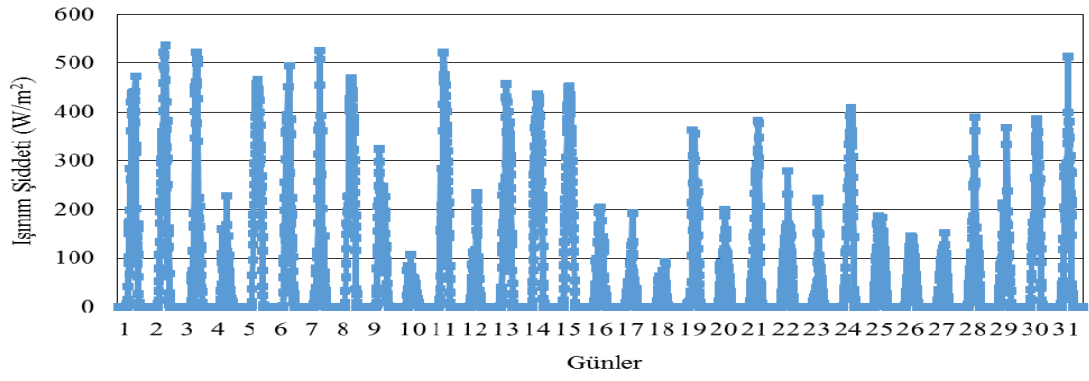
Şekil B.17. Eylül 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



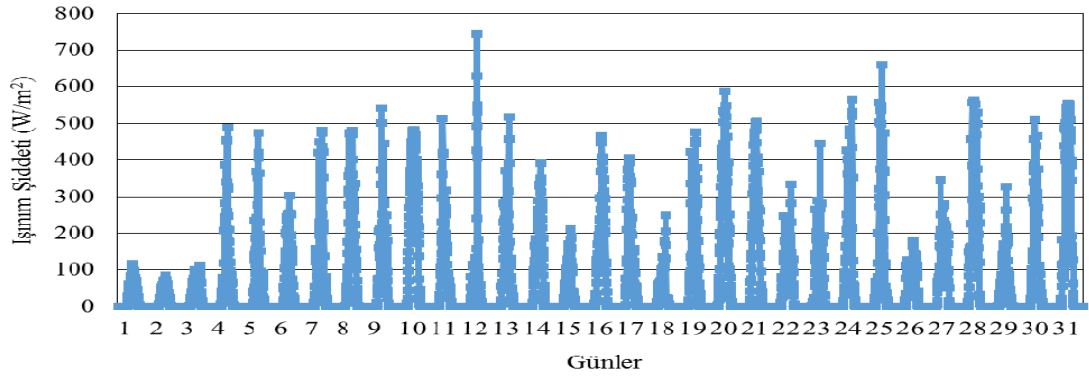
Şekil B.18. Ekim 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



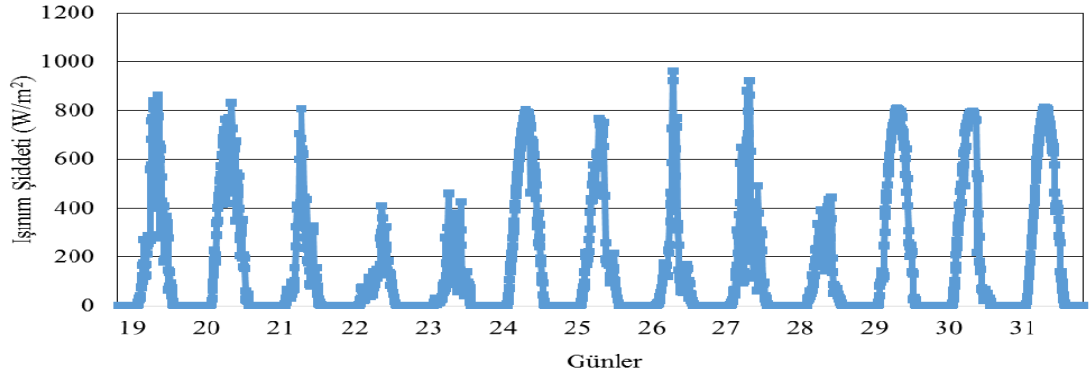
Şekil B.19. Kasım 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



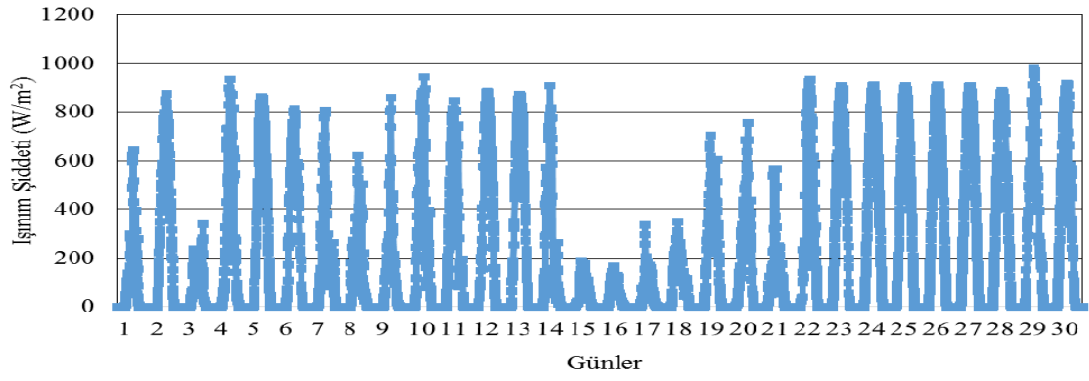
Şekil B.20. Aralık 2012 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



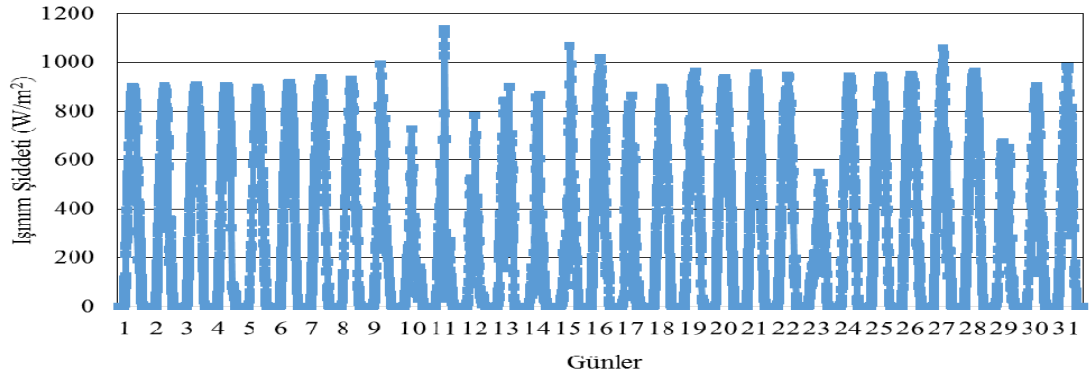
Şekil B.21. Ocak 2013 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



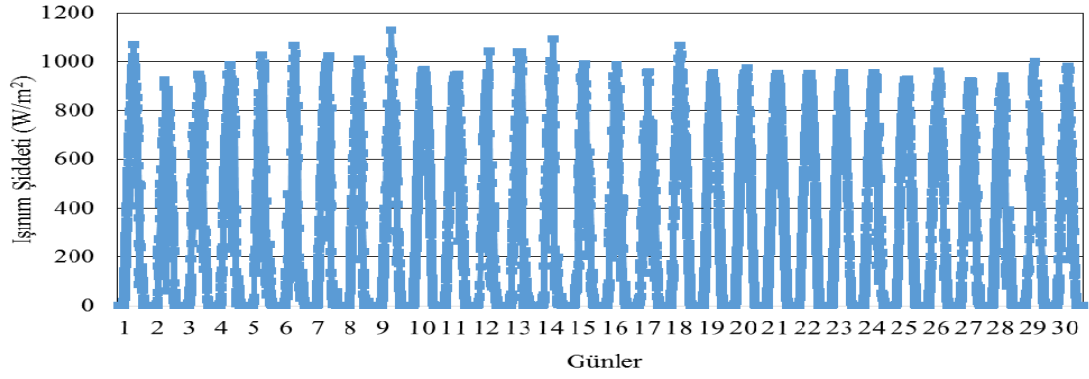
Şekil B.22. Mart 2013 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



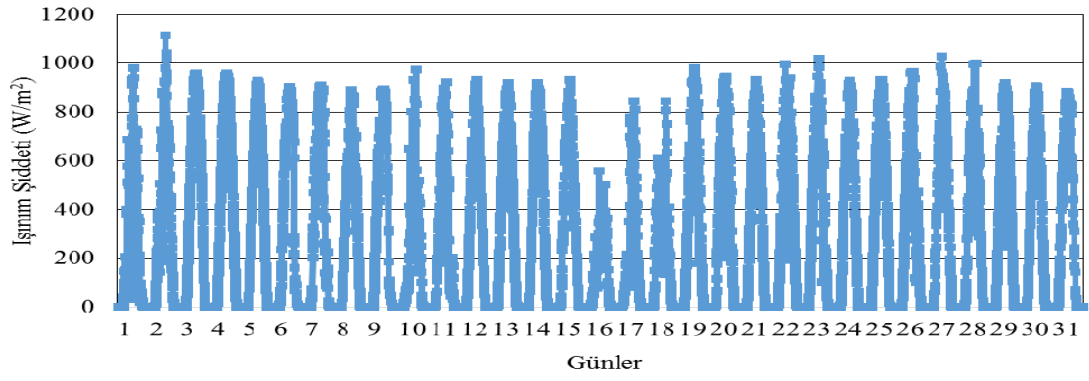
Şekil B.23. Nisan 2013 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



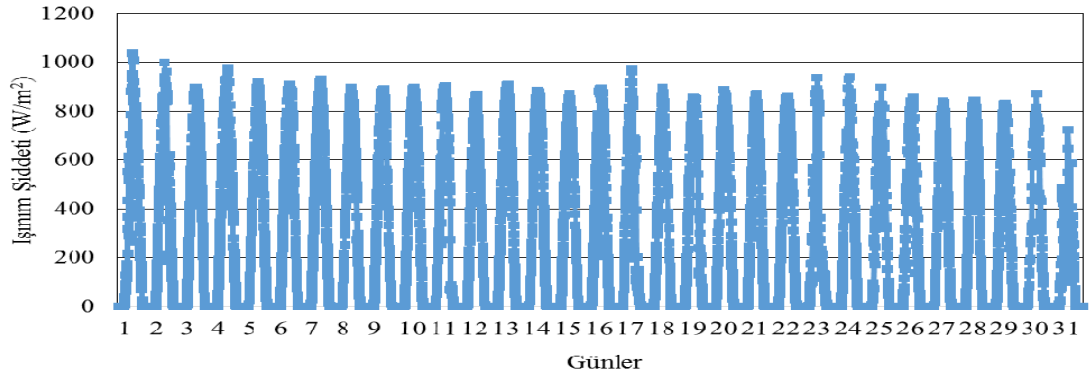
Şekil B.24. Mayıs 2013 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



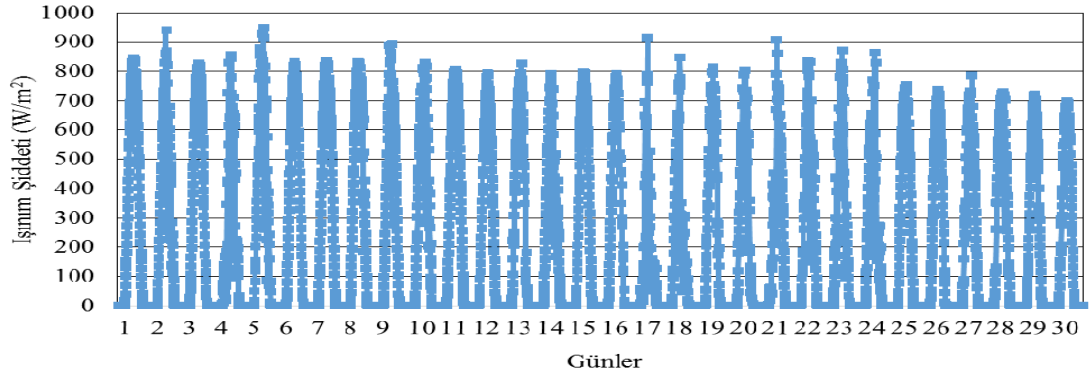
Şekil B.25. Haziran 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



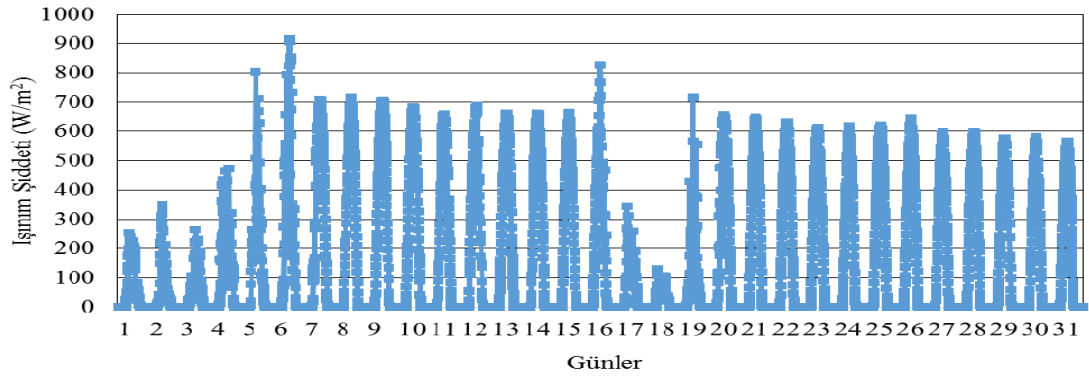
Şekil .B.26. Temmuz 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



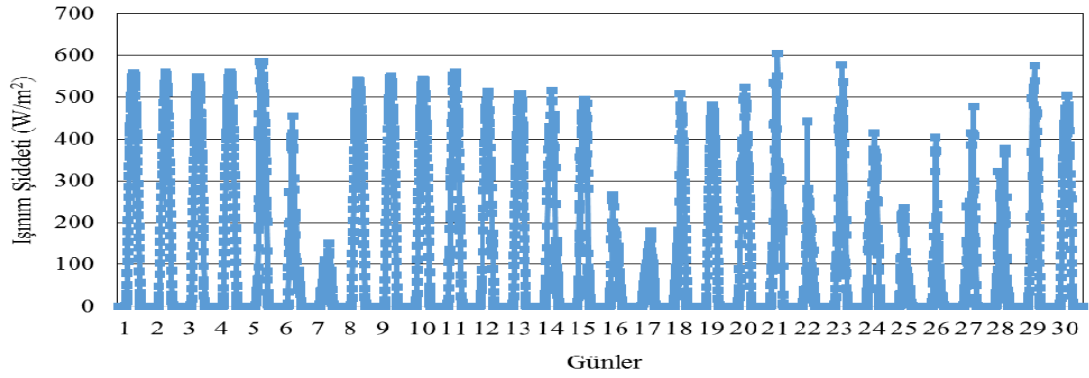
Şekil B.27. Ağustos 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



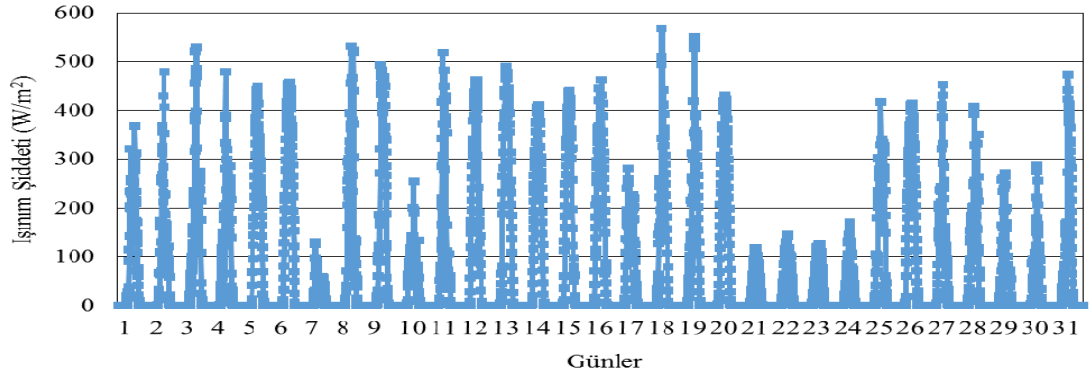
Şekil B.28. Eylül 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



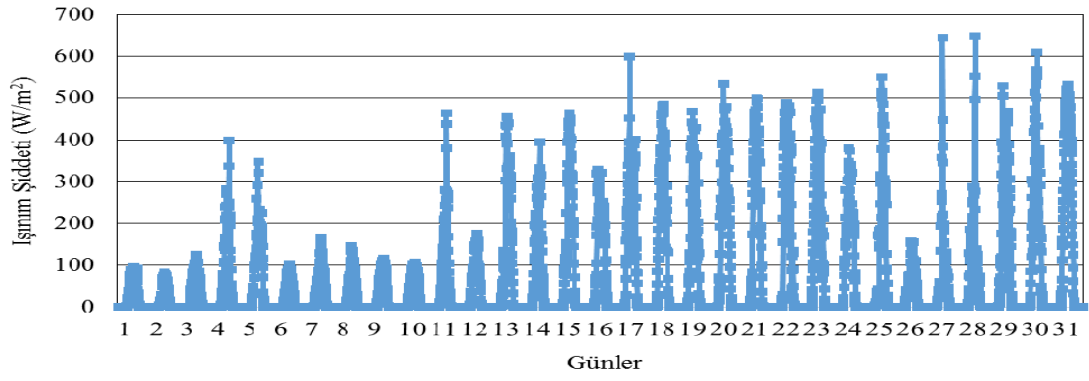
Şekil B.29. Ekim 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



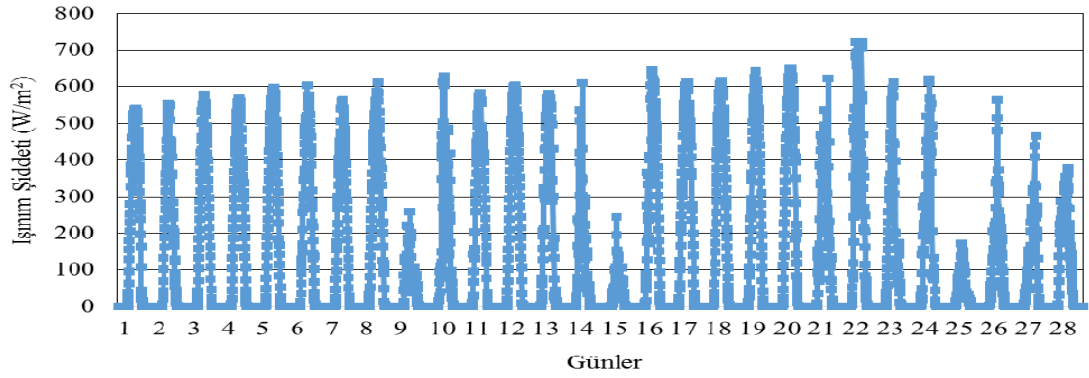
Şekil B.30. Kasım 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



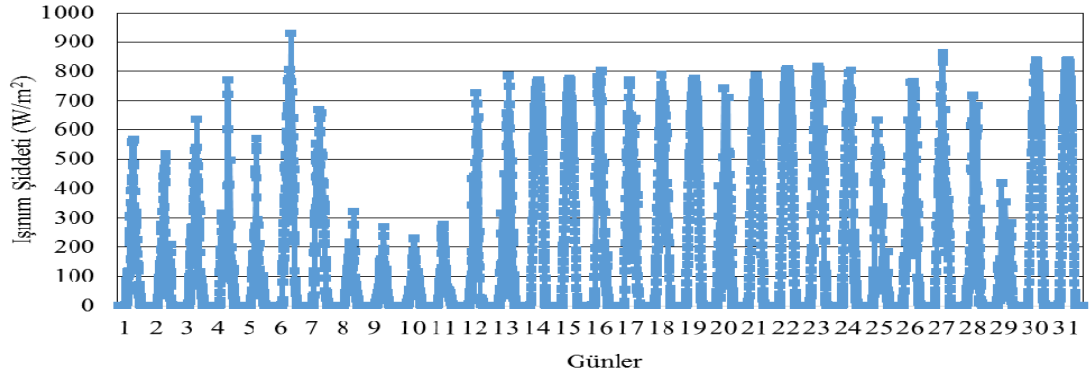
Şekil B.31. Aralık 2013 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



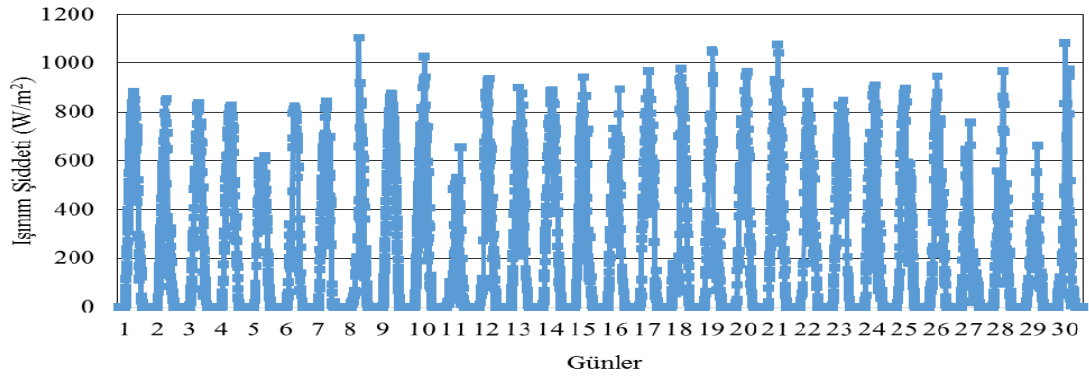
Şekil B.32. Ocak 2014 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



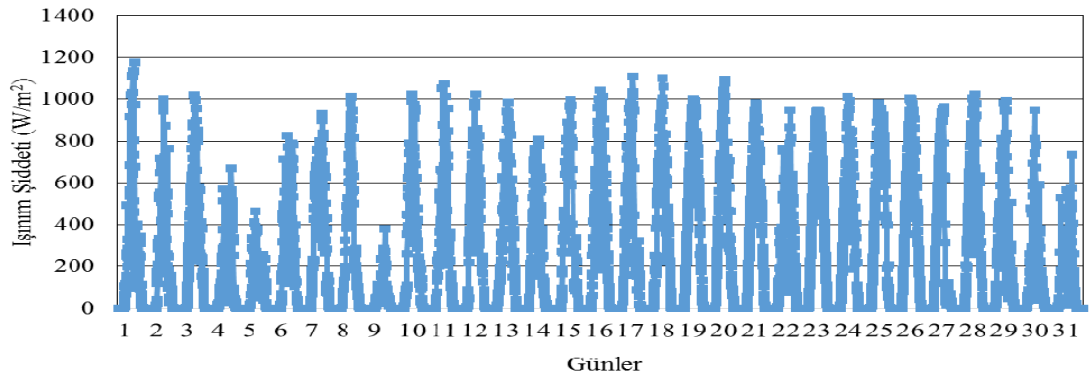
Şekil B.33. Şubat 2014 ışınlm şiddeti ölçüm sonuçları



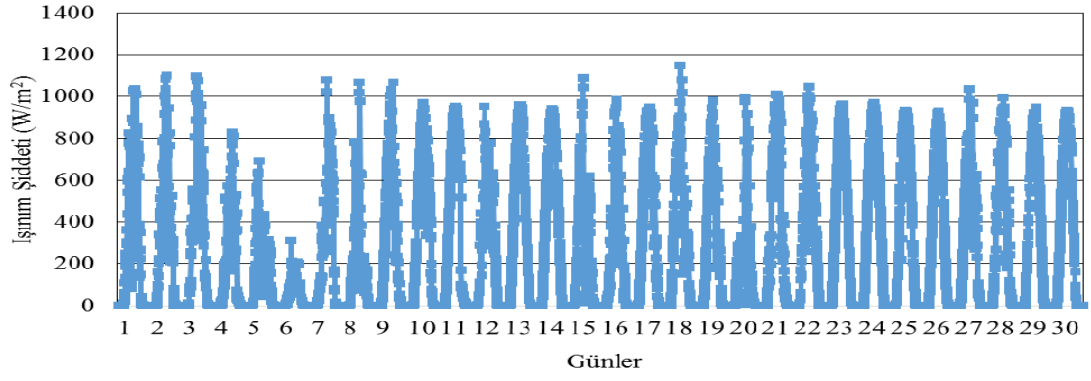
Şekil B.34. Mart 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



Şekil B.35. Nisan 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



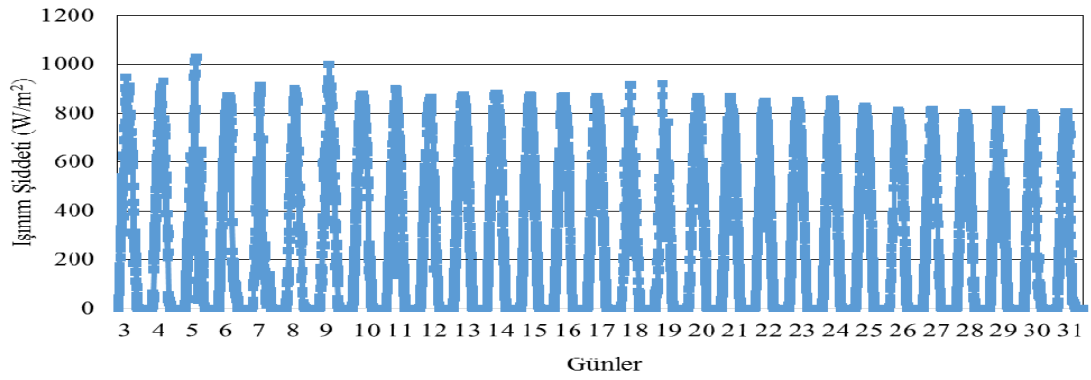
Şekil B.36. Mayıs 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



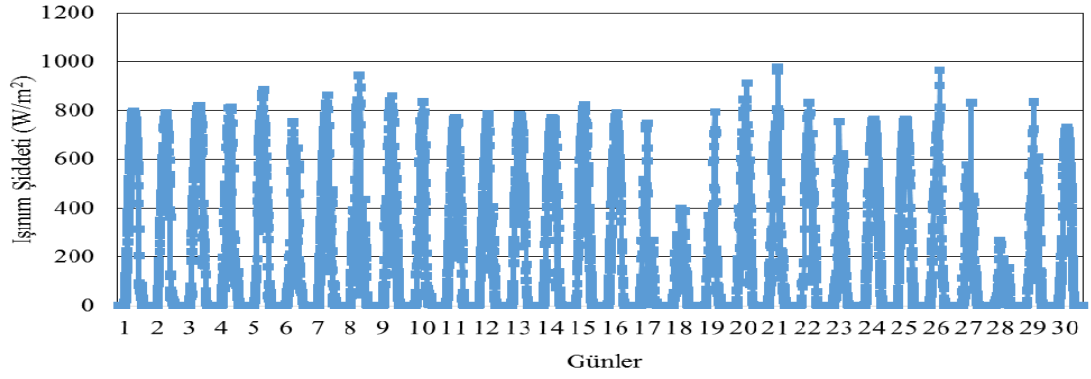
Şekil B.37. Haziran 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



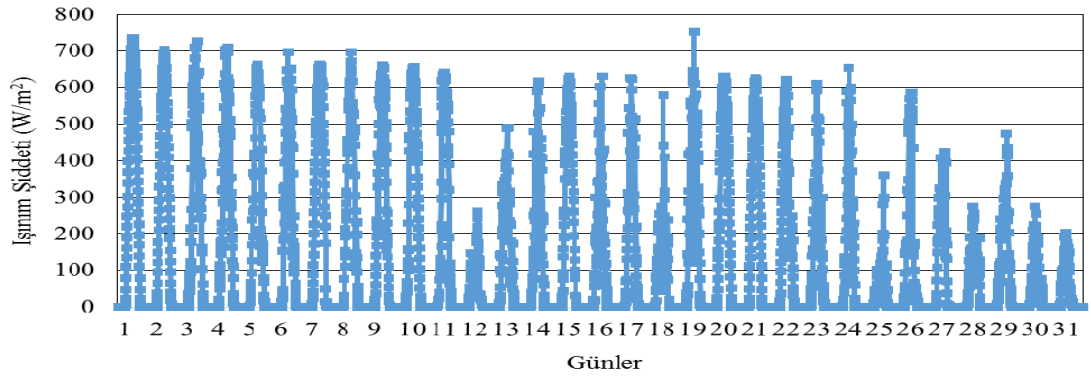
Şekil B.38. Temmuz 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



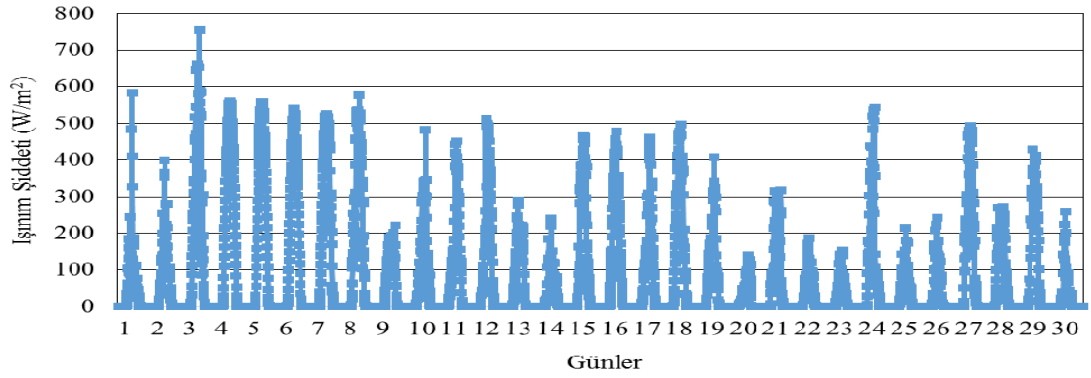
Şekil B.39. Ağustos 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



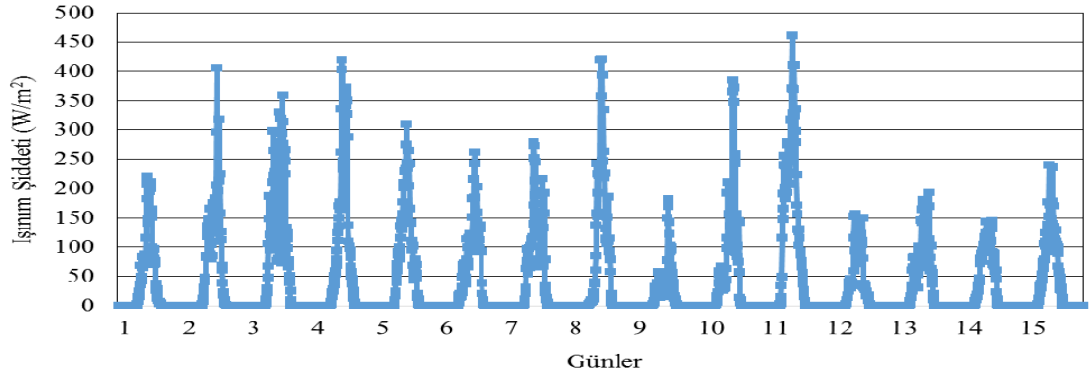
Şekil B.40. Eylül 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



Şekil B.41. Ekim 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



Şekil B.42. Kasım 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları



Şekil B.43. Aralık 2014 ışıınım şiddeti ölçüm sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Eskişehir’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. Lisans eğitimini Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamladıktan sonra sanayide çeşitli sektörlerde tasarım ve bakım-onarım kısımlarında çalışırken Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2005-2009 yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2009 yılından itibaren Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve doktora eğitimine devam etmektedir. 3 adedi SCI kapsamında olmak üzere toplam 21 adet bilimsel yayını ve 3 ü tamamlanmış toplam 4 adet (BAP, TÜBİTAK, SANTEZ) proje görevi bulunmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.