

KONUT DIŞI BİR BİNADA RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİLİ HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI

BURHAN BAYHAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN – 2015**

KONUT DIŞI BİR BİNADA RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİLİ HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI

BURHAN BAYHAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN**

**MERSİN
HAZİRAN – 2015**

Burhan BAYHAN tarafından Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN danışmanlığında hazırlanan “Konut Dışı Bir Binada Rüzgâr ve Güneş Enerjili Hibrit Güç Sistemi Tasarımı” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN

Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ

Yrd. Doç. Dr. Cihan YILDIRIM



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14./09./2015 tarih ve 2015.23./858 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ayla CELİK
Enstitü Müdürü

KONUT DIŞI BİR BİNADA RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİLİ HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI

Burhan BAYHAN

ÖZ

Bu tez çalışması kapsamında, Mersin ilinde yer alan konut dışı bir binada rüzgâr ve güneş enerji teknolojilerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Konut dışı bina olarak kamuya ait bir poliklinik incelenmiştir. Rüzgâr ve güneş enerji teknolojilerini incelemek amacıyla Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden veriler temin edilmiştir. Mersin'de bulunan Mersin istasyonuna ait olan bu veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu bölgede 0,9 kW gücünde rüzgâr türbini kullanılarak yılda 2223,5 kWh ve %20 panel verimine ve toplamda 15 m² alana sahip fotovoltaik paneller (toplam güç = 5kW) kullanılarak yılda 4240 kWh elektrik enerjisinin üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için Matlab programında kod hazırlanmıştır. EnergyPlus benzetim programı kullanılarak polikliniğin yıllık enerji tüketimi 26107,52 kWh olarak hesaplanmıştır. Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yüklerini karşılamak amacıyla hava kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Konut dışı binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin % 8,51'ini rüzgâr türbininden ve % 16,24'ünü fotovoltaik panellerden karşılanabileceği hesaplanmıştır. Kullanılan teknolojilerin maliyet analizi yapılarak; incelenen bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin düşük olması, rüzgâr türbini fiyatının yüksek olması ve amortisman süresinin sistemde kullanılan bileşenlerin kullanım ömrüne yakın olmasından ötürü kurulması düşünülen rüzgâr-güneş hibrit sistemin incelenen bölge için yapılabilir olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer yandan, elektrik üretimi için sadece fotovoltaik panel sisteminin kullanılmasıyla amortisman süresinin 17 yıldan 11 yıla düşeceği hesaplanmıştır. Bu sonuca dayanarak, bu sistemin uygulanabilir olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Türbini, Fotovoltaik Panel, Isıtma ve Soğutma Yüğü

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi

HYBRID SOLAR AND WIND ENERGY POWER SYSTEM DESIGN FOR A NON-RESIDENTIAL BUILDING

Burhan BAYHAN

ABSTRACT

In this study, applicability of wind and solar energy technologies in a non-residential building located in Mersin is investigated. As non-residential building, a publicly owned polyclinic was examined. Meteorological data was obtained from Turkish State Meteorological Service to investigate the solar and wind energy technologies. The data was examined statistically. By using wind turbine with 0.9 kW rated power 2223,5 kWh electricity energy was generated similarly PV panel (total power = 5kW) with 20 % panel efficiency and 15 m² surface area 4240 kWh electricity energy is generated. Matlab code for this calculation was prepared. EnergyPlus simulation program was used to calculate the annual energy consumption (26107,52 kWh) of the polyclinic. To meet heating and cooling loads of the non-residential building, the air source heat pump was preferred. Wind energy potential of the region is low and only 8.51 % of the total demand can be supplied from wind turbine. Solar energy potential of the region is high when compared with the other region of the Turkey. However, only 16.24 % of the total demand can be supplied by PV panel. As a result of cost analysis, the low of the wind energy potential of the region investigated, the high price of the wind turbine and the proximity to the lifetime of the components utilized within the system of the depreciation period the establishment of a proposed wind-solar hybrid system for investigated region is not feasible. On the other hand, by using only photovoltaic panel system to generate electricity, it was determined that depreciation period will decrease from 17 to 11 years. Based on this result, that the system applicability was found.

Key Words: Renewable Energy, Wind Turbine, Photovoltaic Panel, Heating and Cooling Loads

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gökhan ARSLAN, Department of Mechanical Engineering, Mersin University

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN'a, maddi ve manevi desteği ile her zaman yanımda olan AİLEME teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi (BAP) tarafından "BAP-FBE MMB (BB) 2013-4 YL" proje numarası altında desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	İ
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
EKLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. RÜZGÂR VERİLERİNİN TEORİK ANALİZİ.....	10
3.1.1. Giriş	10
3.2. RÜZGÂR VERİLERİNİN İSTATİKSEL ANALİZİ.....	11
3.2.1. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu	12
3.2.2. Weibull Dağılım Fonksiyonu.....	12
3.3. RÜZGÂR GÜÇ YOĞUNLUĞU.....	13
3.4. İDEAL RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ	14
3.5. RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN GERÇEK ENERJİ	15
3.6. RÜZGÂR TÜRBİN VERİMİ, KAPASİTE VE UYGUNLUK FAKTÖRLERİ	16
3.7. RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI.....	18
3.7.1. Mersin İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	18
3.7.2. Rüzgâr Hız Dağılımlarının Hesaplanması	20
3.7.3. Rüzgâr Enerjisinin Hesaplanması	22
3.8. GÜNEŞ ENERJİSİ HESAPLAMALARI	23
3.8.1. Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	23
3.8.2. Güneş Açıları	23
3.8.2.1. Güneş denklasyon açısı (d).....	24
3.8.2.2. Saat açısı (h).....	25
3.8.2.3. Zenit açısı (z)	26
3.8.2.3. Güneş yükseklik açısı (y).....	26
3.8.2.4. Güneş azimut açısı (ag).....	28

3.8.3. Eğik Yüzey Açılıarı	28
3.8.3.1. Güneş geliş açısı (g).....	29
3.8.3.2. Profil açısı (p)	30
3.8.4. Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı	30
3.8.5. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı	32
3.8.5.1. Güneş ışınımı ölçmeleri	32
3.8.5.2. Tüm güneş ışınımı	33
3.8.5.2. Direkt ve yayılı güneş ışınımı	34
3.8.6. Fotovoltaik Panellerden Elde Edilen Enerjinin Hesaplanması	35
3.9. KONUT DIŞI BİNANIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİNİN HESAPLANMASI.....	36
3.9.1. EnergyPlus Benzetim Programı	36
3.9.2. Mersin İli İçin İklim Verisi Dosyasının Oluşturulması.....	36
3.9.3. Konut Dışı Binanın Mimari ve Yapısal Özellikleri	37
3.9.4. EnergyPlus Programına Veri Girişi	39
3.9.5. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Elektrik Tüketiminin Hesaplanması.....	41
3.10. HİBRİT SİSTEM MALİYET ANALİZİ.....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. MERSİN İLİNİN RÜZGÂR HIZI DAĞILIMI	43
4.2. RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ	45
4.3. MERSİN İLİNİN İŞİNİM DEĞERLERİ	45
4.4. FOTOVOLTAİK PANELLERDEN ELDE EDİLEN ENERJİ.....	48
4.5. KONUT DIŞI BİNANIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜ	49
4.5.1. Isıtma ve Soğutma Yüğü.....	49
4.5.2. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Elektrik Tüketimi	50
4.5.3. Diğer Elektrik Tüketimleri.....	50
4.5.4. Toplam Elektrik Tüketimi ve Karşılama Oranı	50
4.6. HİBRİT SİSTEMİN MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	54
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Meteoroloji istasyonlara ait bilgiler	19
Çizelge 3.2. Konut dışı binanın yapı bileşenleri	38
Çizelge 3.3. Aylara göre hesaplanan toprak sıcaklıkları	39
Çizelge 3.4. Her bir zonun tasarım kriteri.....	40
Çizelge 4.1. Mersin aylık ve yıllık ortalama Weibull hız dağılım katsayıları.....	43
Çizelge 4.2. En sıcak ve en soğuk tasarım günlerinin iklim verileri.....	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Türkiye rüzgâr santralleri atlasından bir kesit	18
Şekil 3.2. Meteoroloji istasyonlarının harita üzerindeki konumları.....	19
Şekil 3.3. Rüzgâr hız dağılımı hesabı için Matlab programı akış şeması	21
Şekil 3.4. Rüzgâr enerjisinin hesabı için Matlab programı akış şeması	22
Şekil 3.5. Gökküre üzerinde önemli güneş açıları	24
Şekil 3.6. Zaman düzeltmesinin değişimi	26
Şekil 3.7. Türetilen güneş açıları	27
Şekil 3.8. Eğik düzlem açıları	29
Şekil 3.9. Toplam ışınımın bileşenleri	32
Şekil 3.10. Konut dışı binanın genel görünümü.....	37
Şekil 3.11. Her bir zonun zemindeki dağılımı ve kapladığı alan.....	38
Şekil 3.12. Isı pompası genel çizimi	41
Şekil 4.1. Mersin istasyonu aylık ortalama rüzgâr hızları.....	44
Şekil 4.2. Ocak ve Mayıs ayının hız dağılımları.....	44
Şekil 4.3. Yıllık hız dağılımı	44
Şekil 4.4. Rüzgâr türbininden elde edilen günlük enerji.....	45
Şekil 4.5. Yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım	46
Şekil 4.6. Eğik düzleme gelen günlük toplam ışınım.....	46
Şekil 4.7. En soğuk gün için ışınım değerleri	48
Şekil 4.8. En sıcak gün için ışınım değerleri.....	48
Şekil 4.9. Fotovoltaik panellerden elde edilen günlük enerji.....	49
Şekil 4.10. Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yükü.....	49
Şekil 4.11. Hava kaynaklı ısı pompasının tükettiği elektrik enerjisi.....	50
Şekil 4.12. Toplam Tüketilen Enerji.....	51
Şekil 4.13. Güneş ve rüzgâr enerjisinin enerji ihtiyacını karşılama oranları	51

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Türkiye Rüzgâr Atlası.....	58
Ek 2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	59
Ek 3. Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	60
Ek 4. Traverre 0,9 kW Rüzgâr Türbininin Teknik Özellikleri	61
Ek 5. Sunpower E20/333 güneş panelinin teknik özellikleri	62
Ek 6. Rüzgâr dağılım grafikleri.....	63
Ek 6. Devamı Rüzgâr dağılım grafikleri	64
Ek 7. Rüzgâr enerjisi hesapları için Matlab program kodu.....	65
Ek 7. Devamı Rüzgâr enerjisi hesapları için Matlab program kodu	66
Ek 8. Güneş enerjisi hesaplamaları için Matlab progrma kodu	67
Ek 8. Devamı Güneş enerjisi hesaplamaları için Matlab progrma kodu.....	68
Ek 9. Baymak HP-RS 140 hava kaynaklı ısı pompasının teknik özellikleri.....	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

- A_F : Uygunluk faktörü
 A : Türbin süpürme alanı [m^2]
 c : Weibull ölçü faktörü [m/s]
 C_F : Kapasite Faktörü
 C_{pmax} : Güç katsayısı
 E : Enerji [kWh]
 E_{TI} : İdeal rüzgâr türbininden elde edilebilecek enerji [kWh]
 E_{TG} : Toplam gerçek enerji [kWh]
 E_{TR} : Rüzgâr türbininin maksimum hızda çalışması durumunda elde edilebilecek enerji [kWh]
 $f(V)$: Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyonu
 $F(V)$: Weibull kümülatif olasılık fonksiyonu
 k : Weibull şekil faktörü
 d : Denklinasyon açısı [$^\circ$]
 n : Gün sayısı
 GS : Güneş saati
 ZD : Zaman düzeltmesi
 MS : Memleket saati
 β_y : Boylam
 z : Zenit açısı [$^\circ$]
 y : Yükseklik açısı [$^\circ$]
 t_g : Gün uzunluğu
 H : Güneş doğduğu ve battığı andaki saat açısı [$^\circ$]
 a_g : Güneş azimut açısı [$^\circ$]
 h : Saat açısı
 H_p : Güneş ışınlarının yüzeye paralel geldiği andaki saat açısı [$^\circ$]
 p : Profil açısı [$^\circ$]
 e : Enlem açısı [$^\circ$]
 I_{gs} : Güneş sabiti [W/m^2]
 f : Güneş sabitinin günlere göre düzeltme faktörü
 I_o : Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına bir anda gelen güneş ışınımı [W/m^2]
 Q_o : Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına bir günde gelen güneş ışınımı [$MJ/m^2gün$]
 Q_{og} : Atmosfer dışında eğik düzleme gelen güneş ışınımı [$MJ/m^2gün$]
 R_d : Atmosfer dışında eğik düzleme gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranı
 Z : Rakım [m]
 K_y : Yatay düzleme gelen yayılı güneş ışınımının tüm güneş ışınımına oranı
 K_t : Berraklık indeksi
 t : Güneşlenme süresi [saat]
 t_o : Gün uzunluğu [saat]
 Q_d : Direkt güneş ışınımı [$MJ/m^2gün$]
 Q_y : Yayılı güneş ışınımı [$MJ/m^2gün$]

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında fosil yakıtların sınırlı bir ömrü olması ve doğaya vermiş oldukları zarardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmıştır.

Ülkemiz açısından enerjide dışa bağımlılığı azaltacağı için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çok daha önemli bir konu olarak gündemde yer almaktadır. Ülkemizde harcanan enerji miktarının üçte birinin konut dışı binalarda, özellikle ofis amaçlı binalar için harcandığı ve iklimlendirme sistemleri ile donanımlı binaların bu grup içinde önemli bir yekûn tuttuğu bilinmektedir [1]. Bu nedenle konut dışı binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımının artırılması önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında Mersin ilinde yer alan konut dışı bir binada rüzgâr ve güneş enerji teknolojilerinin uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Konut dışı bina olarak kamuya ait bir poliklinik incelenmiştir. Rüzgâr ve güneş enerji teknolojilerinin temel ortak uygulamaları elektrik üretimi üzerinedir. Bu nedenle rüzgâr türbini ve fotovoltaik paneller üzerinde durulmuştur.

Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanmasında kullanılan EnergyPlus benzetim programı için gerekli olan iklim verisi dosyası, Türkiye’de sadece İstanbul, İzmir ve Ankara illeri için mevcuttur. Mersin ilinin iklim verisi dosyası bu çalışma kapsamında oluşturulmuştur. Oluşturulan iklim verisi dosyası, bu bölgede ileride yapılacak çalışmalarda kullanılabilir olacaktır.

Bu çalışma genel olarak bölgesel bir yapılabirlik değerlendirmesi olarak ele alınmıştır. Özellikle kamuda enerjinin verimli tüketilmesi konusunun yoğun gündem oluşturduğu bugünlerde elde edilen olan sonuçlar ilerleyen süreçte yapılacak çalışmalar için önemli bir altyapı oluşturacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Rüzgâr ve güneş enerjileri ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Literatür özeti hazırlanırken özellikle son yıllarda yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak tarih sıralamasına göre aşağıda verilmiştir.

Bhattacharjee ve Acharya 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada [2], Düşük rüzgâr topoğrafyasına sahip Hindistan'ın Tripura Eyaleti'nde hibrit teknoloji aracılığıyla güneş enerjisi destekli rüzgâr kaynağından optimum yararlanılması amaçlanmıştır. Bir eğitim binasında küçük ölçekli bir uygulama için hibrit benzetim modeli oluşturularak tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Aynı zamanda, benzer bir sistemin gerçek şartlardaki performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, yılda üretilen enerjinin hemen hemen hepsinin fotovoltaik panellerden sağlandığı anlaşılmıştır. Benzetim modelinden elektrik maliyeti 0,488 \$/kWh olarak bulunmuştur. Ayrıca elektriğin %66' sını güneş panellerinden, %24'ü ise rüzgâr enerjisinden üretildiği bulunmuştur. Bu da %90 oranında şebeke elektriğinin kullanılmamasını sağlamıştır.

Ma, Yang ve Lu 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada [3], Uzak bir ada için bataryalı bağımsız bir fotovoltaik-rüzgâr hibrit sisteminin tekno-ekonomik değerlendirmesi ve fizibilite çalışması detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu adadaki 2009 yılına ait güneş radyasyonu ve rüzgâr verileri kaydedilmiştir. Benzetim ve tekno-ekonomik analiz için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Detaylandırılmış bir analizle, önerilen sistemin tanıtımı ve sistemden beklenen performans sunulmuştur. Bunlara ek olarak, fotovoltaik panelin boyutlandırılması, rüzgâr türbininin boyutlandırılması ve batarya kapasitesinin sistemin güvenilirliği ve ekonomik performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Tekno-ekonomik fizibilite çalışmaları sonucunda, fotovoltaik-rüzgâr-batarya sisteminin bu adaya güç sağlayabileceği anlaşılmıştır.

Belmili ve arkadaşlarının 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada [4], bağımsız fotovoltaik-rüzgâr hibrit sistemlerinin detaylı boyutlandırma yöntemi önerilmiş olup Nesne Yönelimli Programlama kullanılarak ve tekno-ekonomik analiz tabanlı esnek bir yazılım geliştirilerek değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın başında, farklı boyutlandırma programlarının kısa bir derlemesi verilmiş, daha sonra fotovoltaik-rüzgâr hibrit sistemleri için detaylı boyutlandırma metodolojisi

sunulmuştur. Sonuç olarak, bu tür boyutlandırma sistemleri için yeni yazılım tasarlanmıştır.

Nogueira ve arkadaşlarının 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada [5], Benzetim araçları ve doğrusal programlama kullanılarak bataryalı bağımsız bir fotovoltaik-rüzgâr hibrit sisteminin boyutlandırılması ve benzetimi için bir metodoloji sunulmuştur. Güneş ve rüzgâr enerjilerini hesaplamak için sırasıyla Beta ve Weibull olasılık dağılım yoğunluk fonksiyonları kullanılmıştır. Bazı senaryolar oluşturulup birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sistemin tamamen boyutlandırılması ve uzun dönem maliyet değerlendirilmesi sunulmuştur.

Rohani ve Nour 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada [6], Abu Dabi'nin batısında yer alan Ras Musherib'de uzak bölge için bir hibrit yenilenebilir enerji sistemi modellemeyi ve tasarlamayı amaçlamışlardır. Fotovoltaik dizisi, türbinler, bataryalar ve dizel jeneratörlerini içeren hibrit sistem, bilinen üç elektrik yükünü karşılamak için tasarlanmıştır. Bu yükler sırasıyla; 200 haneye 500 kW, 500 haneye 1 MW ve 2500 haneye 5 MW şeklindedir. Daha düşük Net Bugünkü Maliyet (NPC) yöntemine dayalı hibrit sistemin optimum kombinasyonunu tanımlamak için rüzgâr türbinleri, fotovoltaikler, bataryalar ve jeneratörlerin farklı kombinasyonları değerlendirilmiştir. Önerilen hibrit sistemin modellenmesi, optimizasyonu ve benzetimi HOMER yazılımı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, ortalama 500 kW yük için, %15 PV ve %30 rüzgâr türbinini kapsayan hibrit sistemi olup 25 yılı aşkın süre için ilk maliyeti 4,040,000 \$ ve toplam net bugünkü maliyeti 14,504,952 \$'dır. Geleneksel dizel jeneratör tek güç sistemiyle karşılaştırıldığında, 500 kW optimum hibrit sistemi ile %37 oranında CO₂ emisyonunda azalma sağlanmıştır.

Ma ve arkadaşlarının 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada [7], En geleneksel ve oturmuş depolama teknolojisi olan pompalanmış hidro-depolama (PHS), bağımsız mikro şebeke güneş-rüzgâr hibrit sistemle desteklenmiştir. Enerjinin depolanması konusundaki zorluklar için yeni bir çözüm incelenmiştir. Hibrit sistemin matematiksel bir modeli geliştirilmiş ve çalışma prensibi tanıtılmıştır. Önerilen sistem Hong Kong'ta bulunan uzak bir adaya güç sağlamak için durum çalışması yapılmış ve daha sonra teknik fizibilitesi incelenmiştir. Saatlik benzetim sonuçları, yenilenebilir enerjilerin kesintili yapısının PHS teknolojisine başvurularak telafi edilebileceği gösterilmiştir. Böylece, güvenli ve çevre dostu bir güç sistemi temin edilebilir. PHS

destekli yenilenebilir enerji sistemi uzakta bulunan topluluklar için %100 enerji özerkliği sağlanması için ideal bir çözüm olduğu gösterilmiştir.

Liu ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada [8], Tayvan'da yer alan binalarda yenilenebilir enerji uygulamalarını incelemişlerdir. Ülkenin enerji politikasının şekillenmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmesi vurgulanmıştır. Bu nedenle yeni teknolojilerin geliştirilmesi, verimli enerji strateji planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında gelişmiş ülkelerde güneş enerjisinden ne ölçüde faydalandığı incelenmiştir. Buna göre 2010 yılında fotovoltaik teknolojileri kullanarak elektrik üreten ülkeler sıralanmıştır. 7408 MW üretim kapasitesi ile Almanya ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra 2321 MW kapasite ile İtalya gelmektedir. Güneş enerji potansiyeli açısından her iki ülkeden daha zengin bir konumda olan ülkemiz ise bu çalışmada ilk 10 sıralamaya girememiştir.

Bataineh ve Dalalah 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada [9], Ürdün genelinde yüksek kapasiteli rüzgâr türbinlerinin uygulanabilirliğini istatistiksel ve ekonomik açıdan irdemişlerdir. Her ne kadar mevcut proje kapsamında düşük kapasiteli küçük rüzgâr türbinleri incelenecek ise de bu çalışma son zamanlarda Rüzgâr enerjisinin olumlu ve olumsuz yanlarını tespit etmede faydalı olacağı görülmektedir. Araştırmacılar öncelikli olarak enerjide dışa bağımlılık ve yıllık enerji ihtiyacındaki artıştan dolayı Rüzgâr enerjisinden faydalanılmasını stratejik bir gereklilik olarak görmüşlerdir. Ürdün genelinde 10 farklı noktada rüzgâr hızı ve yönü ölçülmüştür. İnceledikleri rüzgâr türbinleri 1.65 – 3 MW kapasite aralığındadır. Coğrafi özelliklerin rüzgâr türbini yerleştirilecek yer seçiminde önemli olduğu vurgulanmıştır. Bölgenin bitki örtüsü, yüksek katlı binalar, yer profili gibi etkenlerin rüzgâr hızını yavaşlattığı bu nedenle rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı olarak değişiminin bilinmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Maliyet analizinin bu tür sistemlerin uygulanabilirliğini ortaya koyması açısından çok önemli olduğu belirtilmiştir. Maliyet analizi kapsamında yatırım maliyeti (türbin, kurulum, elektrik tesisatı, elektrik bağlantıları, danışmanlık, arazi, güvenlik, ulaşım), bakım ve sürdürülebilirlik maliyeti, çalışma şartları ve türbinin konumu ele alınmıştır. Sonuç olarak ortalama yıllık rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğuna göre bölgesel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Abarkan ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada [10], gerçek zamanlı bir binanın enerji tüketiminin doğrusal olmayan dinamiklerini anlamaya çalışmışlardır. Böylece havaya bağlı olarak gerçek zamanda enerji ihtiyacının tahmin edilebileceği vurgulanmıştır. Çoklu yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (PV, termal, rüzgâr ve depolama sistemi) donatılmış bir evin enerji üretim ve tüketim benzetim modeli geliştirilmiştir. Aynı zamanda depolama için bataryaların kullanılması düşünülmüştür.

Türkay ve Telli 2011 yılında yapmış oldukları çalışmada [11], pilot bölge olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi seçilmiş olup şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız yenilenebilir kaynaklarının kullanımı ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Kullanılacak enerji kaynağı seçimi, optimum boyutlandırma ve hibrit sistemlerin işletme stratejisi için farklı senaryolar incelenmiştir. Teknik ve ekonomik parametreleri hesaplamak ve sistemin benzetimi için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Araştırma sonuçları şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemlerin bağımsız sistemlere göre daha avantajlı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen enerjinin kullanımında kesinti olmaması için sistem boyutlarının büyük olması gerektiği görülmüştür. Çalışmada aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti, bölgenin rüzgâr enerjisi kapasitesi ve donanım maliyetleri değerlendirildiğinde PV, hidrojen ve şebeke bağlantısı ile oluşturulan hibrit sistemin en iyi çözüm olduğu görülmüştür. Bu sistemin birim elektrik maliyeti 0,307 \$ / kWh olarak bulunmuştur.

Chen ve arkadaşlarının 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada [12], rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemlerini açıklamış olup başarı ölçütlerini geliştirilmeye çalışmışlardır. Güneş-rüzgâr hibrit enerji üretiminde uygun bir proje seçimi için; faydaları, fırsatları, maliyetleri ve riskleri ile birlikte analitik hiyerarşi sürecini oluşturmuşlardır.

Bekele ve Palm 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada [13], Etiyopya'da ana elektrik şebekesinden bağımsız uzakta bulunan model bir topluma, güneş ve rüzgârdan oluşan bir hibrit sistemden elektrik enerjisi tedarik etmenin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Addis Ababa şehri için detaylı araştırmalar yapıp sonuçları ayrıntılı şekilde verilmiştir. Diğer şehirler için ise diyagramlar kullanmışlardır. Toplamda 1000 kişiyi kapsayan, 200 ailelik bir toplum modeline enerjiyi nasıl

sağlanacağını değerlendirmişlerdir. Elektrik yükünü; aydınlatma, su pompalama, radyo alıcıları ve bazı ekipmanlar oluşturmaktadır. Analiz için yapılan hibrit sistemlerin benzetiminde HOMER yazılımı kullanmışlardır. Analiz sonuçları, net bugünkü değer yöntemine göre sınıflandırılmış olası enerji arz sistemleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. En optimum çözümden rüzgâr hızlarının etkisini gösteren hassas diyagramlar, PV maliyetleri ve dizel fiyatları verilmiştir.

Nema ve arkadaşlarının 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada [14], hibrit sisteminin telefon baz istasyonları için uygulanabilirliğini araştırmışlardır. İşletme ve bakım maliyetleri dikkate alındığında hibrit sistemin geri ödeme süresinin 2-4 yıl kadar çok kısa bir süre olacağını belirlemişlerdir. Hibrit sistemin, dizel sisteme göre daha az işletme ve bakım maliyetlerinin olduğu ve hibrit sistemin çevre dostu olduğunu vurgulamışlardır.

Arslan'ın 2009 yılında yaptığı çalışmada [15], Kütahya'da rüzgâr enerjisinden elektrik üretilebilme potansiyelini araştırmıştır. Bu amaçla, Kütahya'nın Bünelek Tepesi'nde bulunan istasyon ölçümlerinden 36 aylık dönemde (Temmuz 2001-Haziran 2004) rüzgâr verileri toplanmıştır. Toplanan bilgiler kullanılarak farklı tip rüzgâr türbinlerinden üretilen elektrik enerjileri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, Dumlupınar Üniversitesi'nin ana kampüsünün elektrik ihtiyacına göre yapılmıştır. Son olarak, ömür döngüsü maliyet analizi yapılarak ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu analizde sosyal ve karbondioksit maliyetleri de hesaba katılmıştır. Çalışmasının sonucunda, kampüsün gelecek enerji üretim statüsü için en iyi tasarım tanımlanmıştır. Türkiye'de fosil kaynaklar elektrik üretiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Fakat rüzgâr enerjisi yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji olduğundan önem arz etmektedir. Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda, Kütahya ili için rüzgâr enerjisinin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Kenfack ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada [16], Kamerun'da bulunan bir köyün enerji ihtiyacını karşılamak için, fotovoltaik ve küçük hidroelektrik santrali kullanarak bir hibrit sistem oluşturmuşlardır. Ayrıca, bu sisteme dizel jeneratör ve akü grubu da ilave etmişlerdir. Sonuçta, oluşturulan sistemin Net Bugünkü Maliyeti (NPC) 70042 \$ ve bir değere getirilmiş enerji maliyetini de (levelized cost of energy) 0,278 \$/kWh olarak bulmuşlardır.

Karaghoulî ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada [17], Arap bölgelerinde su arıtma işlemlerinde güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İçme suyu artırılması için en uygun enerjinin güneş enerjisi olduğunu belirlemişlerdir. Küçük ölçekli arıtma tesislerinde güneş enerjisinin teknik ve ekonomik açıdan uygunluğunu vurgulamışlardır.

Nandi ve Ghosh 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada [18], ortalama toplam günlük tüketimi 169kWh olan 120 köy evinin bulunduğu bir bölgenin enerji talebini, şebekeden bağımsız hibrit bir sistem ile karşılamayı düşünmüşlerdir. Rüzgâr türbini-PV-akü, rüzgâr türbini-akü ve PV-akü sistemleri arasında, net bugünkü değer (NPV) ve enerji maliyeti değerlerine göre karşılaştırma yapılmış ve optimum sistem, en düşük NPV 319,132\$ değerine sahip olan, 11 RT-PV-akü olarak bulunmuş. Ayrıca birim enerji maliyeti de 0,363\$/kWh olarak belirlemişlerdir. Bu değerlere en yakın sistem ise 461,600\$ ve 0,525 \$/kWh değerleri ile PV-akü grubu olarak hesaplanmıştır.

Eskin ve arkadaşlarının 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada [19], dört farklı ölçüm istasyonuna ait rüzgâr verilerini kullanarak Kuzey Ege Denizinde bulunan Gökçeada adasının rüzgâr enerjisi potansiyelini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Uğurlu ve Çınaraltı istasyonlarında 3 yıllık, Aydıncık ve Ulusal Hava İstasyonu'ndan ise 10 yıllık rüzgâr verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, rüzgârın 10 ve 30 m yerden yüksekliğindeki verileridir. Bu verilerden yola çıkılarak ve Güç Kanunu kullanılarak 50 m'deki rüzgâr verileri hesaplanmıştır. Çıkarım yapılarak elde edilmiş bu verilerden bir rüzgâr hızı dağılım eğrisi bulmak için Weibull olasılık dağılım fonksiyonundan yararlanılmıştır. Weibull fonksiyonunun parametreleri olan şekil faktörü k ve ölçü faktörü c , Fortran programı ile hesaplanarak aylık ve yıllık rüzgâr dağılımları elde edilmiştir. Dağılımların uygunluğuna karar vermek için gözlenen ve hesaplanan aylık ortalama rüzgâr hızları arasındaki fark değerlendirilmiştir. Sonuçta, Gökçeada adasının genel olarak rüzgâr potansiyelinin uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Köse ve Özgören'in 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada [20], Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü bölgesinde kurulan ölçüm istasyonunda yapılan ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilerek, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. Uluslararası standartlara uygun olarak yapılan ölçümler 2003-2005 yılları arasında 21 aylık periyodu kapsamakta olup, yerden 10 m ve 20 m

yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr hızını ve 20 m yükseklikteki rüzgâr yönü değerlerini içermektedir. Ölçülen değerler ve yerli imalat faktörleri göz önüne alınarak kapasite, yatırım maliyeti ve basit geri ödeme süreleri hesaplamışlardır. Bölgeye kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için minimum maliyet ve geri ödeme süresi verecek şekilde uygun türbin tipi seçmişlerdir. Yapılacak yatırımın, ilk yatırım maliyetini 6 yıldan daha az sürede karşılayacağını bulmuşlar ve bu değer rüzgâr türbinlerinin literatürde verilen kullanım sürelerine göre oldukça kısa olduğunu belirtmişlerdir.

Engin ve Çolak'ın 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada [21], Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından 4 yıl süreyle ölçülen güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda güneş ve rüzgârdan elde edilebilecek enerjilerin birbirlerini tamamlayıcı özellik gösterdiklerini belirlemişlerdir. Bu sonuçtan yola çıkarak Enstitü binasının gece güvenlik aydınlatmasını yapabilecek boyutta bir güneş-rüzgâr hibrit enerji üretim sistemini tasarlamışlardır. Kurulan sistemde, bir yıl süreyle temel değişkenlerin onar dakikalık aralıklarla ortalama değerlerini alarak değerlendirmişlerdir.

Kaygusuz ve Işık'ın 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada [22], Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli ve uygulamaları üzerine yapmış oldukları çalışma da öncelikli olarak coğrafi konumundan ötürü Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli açısından son derece zengin bir ülke olduğunu vurgulamışlardır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını yurt dışından temin eden ve kullandığı yakıtların fosil kaynaklı olmasından ötürü hava kirliliği sorunu yaşayan Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini en iyi şekilde kullanması gerektiği ifade edilmiştir.

Kaygusuz ve Ayhan 1999 yılında Türkiye genelinde yerel nitelikte çalışmalar kapsamında [23], Trabzon ili için 4 yıllık ölçülen ve hesaplanan güneş ışınımı verileri ile ilgili parametrelerin analizini sunmuşlardır. Kipp- Zonen (CC2) piranometresi kullanılarak toplam ve yayılı güneş ışınımı ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak açıklık endeksi (clearness index) tespit edilmiştir. Ayrıca bu değeri tahmin edebilecek bir bağıntı geliştirmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasında hemen hemen bütün araştırmacılar ülke enerji politikalarında yenilenebilir enerjinin belli bir oranda payı olması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca doğaya en az zararı verecek enerjinin tüketilmesinin teşvik

edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Yerel bazda yapılan çalışmalar konunun önemini vurgulamak açısından değer taşımaktadır. Konut dışı binalarda rüzgâr ve güneş enerjilerinin kullanılması konusunda, Mersin ili şartlarında yapılan herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu tez kapsamında bu boşluğun giderilmesine çalışılmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. RÜZGÂR VERİLERİNİN TEORİK ANALİZİ

3.1.1. Giriş

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden Mersin istasyonuna ait 10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgâr verileri temin edilmiştir. Bu veriler Güç Kanunu Profili ve Logaritmik Profil olmak üzere iki metotla farklı yüksekliklerdeki rüzgâr verilerini elde etmede kullanılabilir. Logaritmik Profil yüzey pürüzlülüğünü esas alan bir yaklaşımdır. Güç Kanunu Profili ise yükseklik ve rüzgâr hızı arasındaki oranı esas alan daha basit bir yaklaşımdır [24].

Rüzgâr profili güç kanunu ilişkisi denklem 3.1’de verilmektedir.

$$\frac{u}{u_r} = \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

Burada z yükseklik (metre), u ise o yükseklikteki rüzgâr hızıdır (m/s). u_r , z_r referans yüksekliğindeki bilinen rüzgâr hızıdır. α , atmosferin kararlılığına göre değişen, deneyden türetilen bir katsayıdır. Dengedeki kararlılık şartları için α yaklaşık olarak 1/7 veya 0,143’dür. α için 1/7 değeri yaygın olarak sabit kaldığı varsayılır. Çünkü iki seviye arasındaki fark hesaplamalarda önemli hatalara neden olacak şekilde aşırı değildir (genellikle < 50 m). Yine de sabit bir bileşen kullanıldığında yüzeyin pürüzlülüğünü, bulunan engellerden dolayı yüzeydeki durağan rüzgârların yer değişimini veya atmosferin kararlılığını hesaplamaz. Ağaç ve yapı gibi engellerin bulunduğu yerlerde yakın yüzey rüzgârı, sabit 1/7 üssünü kullanma oldukça yanlış hesaplamaya sebep olabilir ve kayıt rüzgâr profili önerilir. Dengeli kararlılık şartları altında bile 0,11 üssü açık denizde 0,143’den daha uygundur [25].

Çalışmada rüzgâr türbininin 10 m yükseklikte kurulacağı düşünülerek bu yükseklikte ölçülmüş olan veriler kullanılmıştır. Farklı yüksekliklerde rüzgâr türbininin kurulması istenirse, Güç Kanunu Profili kullanılabilir.

3.2. RÜZGÂR VERİLERİNİN İSTATİKSEL ANALİZİ

Bir bölgedeki rüzgâr potansiyelinin belirlenmesinde, istatistiksel analizler önemli bir rol teşkil eder. Bu analizlerde Ağırlıklı Olasılık Fonksiyonu'nun tanımlanması gerekmektedir. Matematiksel bir tanımlamayla; eğer x sürekli bir değişkense onun ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonu f şu özellikleri taşımaktadır [26]:

$$f(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

$$-\infty < a < b < +\infty$$

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x)dx$$

Rüzgâr hız verilerinin V_1 ve V_2 gibi iki hız arasında olma olasılığı denklem 3.2 ile gösterilmektedir [26]:

$$p(V_1 \leq V \leq V_2) = \int_{V_2}^{V_1} p(V)dV \quad (3.2)$$

Burada olasılık dağılım fonksiyonu eğrisi altında kalan toplam alan 1'e eşittir. Diğer önemli istatistiksel parametre ise, kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$ 'dir. Kümülatif dağılım fonksiyonu $F(V)$, rüzgâr hızının verilen bir hıza eşit veya o hızdan büyük olma olasılığını gösterir [24]. Bu olasılık, denklem 3.3 ile hesaplanabilir.

$$F(V) = \int_A^V f(V)dV \quad (3.3)$$

Ayrıca kümülatif dağılım fonksiyonunun eğimi, ağırlıklı olasılık fonksiyonuna eşittir.

$$f(V) = \frac{dF(V)}{dV} \quad (3.4)$$

Rüzgâr verilerinin analizinde Rayleigh ve Weibull olmak üzere iki çeşit olasılık dağılımı kullanılmaktadır [26].

3.2.1. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgârın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önem arz eder. Türbin tasarım şirketleri; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgâr dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Bir yerde sadece ortalama rüzgâr hızı biliniyorsa; Rayleigh Dağılım Fonksiyonu yardımıyla herhangi bir rüzgâr hızının esme saati yüzdesi bulunabilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan rüzgâr hızları bir olasılık yoğunluğu dağılımıdır. Dağılım şematik olarak çizilirse bu dağılımın altında kalan alan 1'e eşittir. Çünkü rüzgârın sıfır dahil herhangi bir hızda esme olasılığı % 100'dür [27].

Rayleigh yöntemi için olasılık dağılım fonksiyonu denklem 3.5'ten, kümülatif dağılım fonksiyonu ise denklem 3.6'dan hesaplanmaktadır [26]:

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right) \exp \left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right) \quad (3.5)$$

$$F(V) = 1 - \exp \left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right) \quad (3.6)$$

3.2.2. Weibull Dağılım Fonksiyonu

Weibull dağılımı, 1939 yılında İsveçli fizikçi Waloddi Weibull tarafından geliştirilmiştir. Waloddi Weibull bu dağılımı ilk kez malzemenin çekme gerilmesinin dağılımını açıklamak için kullanmıştır [28,29]. Rüzgâr hızının dağılımının belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım vardır. İki parametrelili Weibull ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları en yaygın kullanılan dağılımlardır. Rayleigh dağılımı, tek parametrelili olduğu için Weibull'a göre daha az esnektir; ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Weibull dağılımı (WD) birçok çalışmada rüzgâr enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Rüzgâr verilerinin genelde bu dağılıma uyduğu bilinmektedir [30-32].

Weibull olasılık fonksiyonunun bulunması için iki parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar k, şekil ve c, ölçek faktörleridir. Weibull ağırlıklı olasılık fonksiyonu denklem 3.7'den ve kümülatif dağılım fonksiyonu ise denklem 3.8'den hesaplanmaktadır [26]:

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (3.7)$$

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (3.8)$$

Buradaki k , β ve c , ölçek parametreleri maksimum yaklaşıklık metodu kullanılarak ve iteratif bir yaklaşımla sırasıyla denklem 3.9 ve 3.10 yazılabilir [33].

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n} \right)^{-1} \quad (3.9)$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{1/k} \quad (3.10)$$

Ortalama hız ise olasılık dağılım fonksiyonundan hesaplanarak denklem 3.11 deki gibi yazılabilir.

$$V_{ort} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3.11)$$

Burada Γ , gama fonksiyonudur ve her $(1+1/k)$ değeri için hesaplanması gerekmektedir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (3.12)$$

3.3. RÜZGÂR GÜÇ YOĞUNLUĞU

Rüzgâr türbin kanatlarına çarpmadan önce belli bir enerjiye sahiptir. Bu enerji rüzgâr hızının 3. Kuvvetiyle orantılı olarak değişir. Bu durum denklem 3.13'deki gibi ifade edilebilir.

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (3.13)$$

Burada ρ akışkan yoğunluğu, A türbin kanadının süpürdüğü dairesel alan, V ise rüzgâr hızıdır.

Weibull olasılık fonksiyonu kullanılarak bulunan rüzgâr güç yoğunluğu denklem 3.14'teki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} P(V)f(V)dV = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(k + \frac{3}{k}\right) \quad (3.14)$$

Bu denklem belli bir zaman dilimi için düşünülürse T zaman periyodu (saat) ile çarpılarak denklem 3.15'teki gibi düzenlenebilir [33].

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(k + \frac{3}{k}\right) T \quad (3.15)$$

3.4. İDEAL RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ

Bir rüzgâr türbini rüzgâr enerjini elektrik enerjisine çevirmek için tasarlanmıştır. İdeal bir rüzgâr türbininde rüzgârdaki enerjinin tamamı elektrik enerjisine çevrilebilir. Böylece türbin rotoru V_K hızıyla çalışmaya başlar ve üretilen güç artan rüzgâr hızıyla artar. Güç artışı V_R hızına kadar devam eder. Maksimum güç için gerekli hız V_R ile V_B hızları arasındaki rüzgâr hızlarında sabit güç üretimi söz konusudur. Bu durumda üretilen güç, denklem 3.16'daki gibi ifade edilebilir.

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A V_R^3 \quad (3.16)$$

V_B hızından yüksek hızlarda türbin tamamen durmaktadır. Sonuç olarak ideal bir rüzgâr türbini güç üretimi V_K ile V_R hızları arasında artan hıza göre değişim gösterirken V_R ile V_B hızları arasında sabit bir P_R değerinde bulunmaktadır. Bu durumda, ideal bir türbinden elde edilen rüzgâr enerjisi denklem 3.17'deki gibi ifade edilebilir.

$$E_{TI} = T \int_0^{\infty} P(V)f(V)dV = T \left(\int_{V_K}^{V_R} P(V)f(V)dV + \int_{V_R}^{V_B} P(V)f(V)dV \right) \quad (3.17)$$

$P(V) = 1/2\rho AV^3$ ve $P_R = 1/2\rho AV_R^3$ denklem 3.17’de yerine konulursa denklem 3.18 yazılabilir.

$$E_{TI} = \frac{\rho}{2} TA \left(\int_{V_K}^{V_R} V^3 \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + V_R^3 \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \right) \quad (3.18)$$

Burada T zaman periyodunu göstermektedir. İntegral sınırlarını oluşturan V_K , V_R ve V_B değerleri sırasıyla; rüzgâr türbini çalışmaya başlama hızı, türbinden maksimum güç üretilen hız ve türbinin son çalışma hızına karşılık gelmektedir. Bu denklemlerin normal çözümü zor olduğundan integralleri çözmek için trapez kuralı uygulanmıştır.

3.5. RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN GERÇEK ENERJİ

Rüzgâr sahip olduğu potansiyel enerjinin tamamını rotora aktarabilmesi için rotor alanındaki hava kütesinin hızının sıfırlanması gerekmektedir. Gerçekte hiçbir türbin rüzgâr enerjisini tamamen elektrik enerjisine dönüştüremez.

Güç katsayısı C_p , türbinden elde edilebilecek maksimum enerjiyi belirtmek için kullanılan bir parametredir. Bu parametre denklem 3.19’deki gibi ifade edilebilir.

$$C_p = \frac{\text{Rotor Gücü}}{\text{Rüzgârın Sahip Olduğu Güç}} = \frac{P_{rotor}}{\frac{1}{2}\rho V^3 A} \quad (3.19)$$

Bu ifadenin alacağı maksimum değer 0,5926 olarak hesaplanmıştır [26]. Buna göre V_K ile V_R hızları arasında artan güç değerleriyle V_R ile V_B hızları arasında ise sabit P_R gücüyle çalışan bir rüzgâr türbininden elde edilen gerçek güç değeri P_T türbin güç eğrisiyle ifade edilebilir. Bu değerlere göre türbin güç eğrisi denklem 3.20’deki gibi ifade edilebilir.

$$P_T(V) = \begin{cases} 0 & V < V_K \\ (a_1V^3 + a_2V^2 + a_3V + a_4)P_R & V_K \leq V < V_R \\ P_R & V_R \leq V < V_B \\ 0 & V \geq V_B \end{cases} \quad (3.20)$$

Bu ifadede a_1, a_2, a_3, a_4 sayıları rüzgâr türbin güç eğrişinin regresyon katsayılarını göstermektedir. Burada regresyon, türbinin harekete başlama hızı V_K ile türbinden maksimum güç üretildiği V_R hızı arasındaki bölgeyi ifade etmekte kullanılmaktadır.

Rüzgâr türbininden elde edilebilecek gerçek güç, 3.8, 3.13 ve 3.20 denklemlerinin birleştirilmesiyle elde edilebilir. Böylece her hızdaki elektrik gücü $P_T(V)$ o hızın olasılığı $f(V)$ ile çarpılarak olası tüm hız değerleri üzerinden integre edilerek elde edilen gerçek güç hesaplanabilir.

$$E_{TG} = T \int_{V_K}^{V_B} P_T(V) f(V) dV = TP_R \int_{V_K}^{V_R} (a_1 V^3 + a_2 V^2 + a_3 V + a_4) \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + TP_R \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (3.21)$$

Yukardaki denklemdeki integraller, çeşitli nümerik yöntemlerle hesaplanabilmektedir [34]. Bu çalışmada trapez kuralı kullanılmıştır. Trapez kuralında, sınır değerleri a ve b olan integralin yaklaşık değeri denklem 3.22’de verilmiştir.

$$\int_a^b f(x) dx \approx (b-a) \left[\frac{f(a) + f(b)}{2} \right] \quad (3.22)$$

3.6. RÜZGÂR TÜRBİN VERİMİ, KAPASİTE VE UYGUNLUK FAKTÖRLERİ

Rüzgârın sahip olduğu enerjinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemeyeceği için tasarım sırasında η türbin veriminin tanımlanması gerekmektedir. Türbin verimi ifadesi denklem 3.23’te gösterilmektedir [33].

$$\eta = \frac{\text{Türbinden Elde Edilebilecek Gerçek Enerji}}{\text{İdeal Rüzgâr Türbininden Elde Edilebilecek Enerji}} = \frac{E_{TG}}{E_T} \quad (3.23)$$

Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi türbin verimi sadece türbin güç eğrisinin değil, aynı zamanda rüzgâr hız dağılımının da fonksiyonudur. Betz tarafından 1926’da yapılan çalışmada geçiş kayıpları ihmal edilerek teorik olarak rüzgârın sahip olduğu enerjinin maksimum %59’unun dönüştürülebileceği ortaya konmuştur. Buna göre hiçbir rüzgâr türbininin verimi 0,59’dan fazla olamamaktadır [33].

Rüzgâr türbini etkinliğini belirlemede bir diğer önemli parametre de kapasite faktörüdür. Bu parametre belli bir zaman aralığında rüzgâr türbininden elde edilen gerçek enerji miktarıyla aynı zaman aralığında maksimum kapasiteyle çalışması durumunda elde edilecek enerji miktarını karşılaştırmaktadır. Rüzgâr türbininin tam kapasitede T zaman aralığında üreteceği enerji denklem 3.24'teki gibi ifade edilebilir [33].

$$E_{TR} = TP_R \quad (3.24)$$

Rüzgâr türbininden elde edilen gerçek enerjinin tam kapasitedeki enerjiye bölünmesiyle elde edilen değer kapasite faktörü olarak tanımlanır. Bu faktör denklem 3.25'deki gibi ifade edilebilir [33].

$$C_F = \frac{E_{TG}}{E_{TR}} = \int_{V_K}^{V_B} (a_1 V^3 + a_2 V^2 + a_3 V + a_4) \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + \int_{V_R}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (3.25)$$

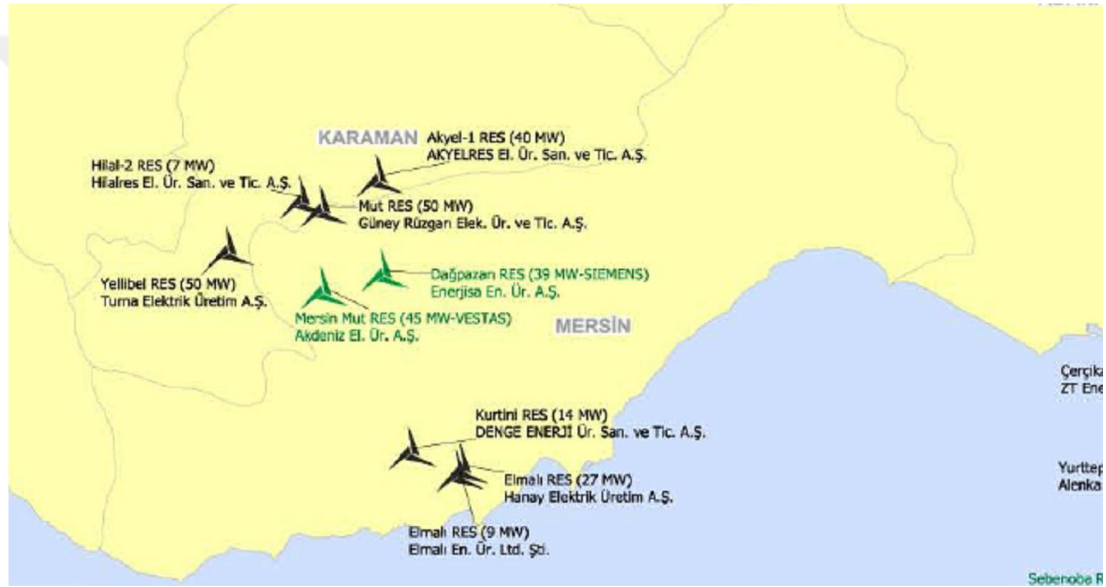
Uygunluk faktörü rüzgâr türbininin operasyon yüzdesinin bir ölçütü olarak tanımlanabilir. Türbinin aktif olduğu zaman yüzdesine bağlı bir değer olduğu için türbin karakteristiklerine ve rüzgâr enerjisi potansiyeliyle de doğrudan bağlantılıdır. Çalışmaya başlama hızı V_K , maksimum çalışma hızı ise V_B olan bir rüzgâr türbininde uygunluk faktörü A_F , rüzgâr hızının bu iki değer arasında kalma olasılığı olarak $P(V_K \leq V < V_B)$ denklem 3.26'daki gibi hesaplanabilir.

$$A_F = P(V_K \leq V < V_B) = \int_{V_K}^{V_B} \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV \quad (3.26)$$

3.7. RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI

3.7.1. Mersin İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Devlet Meteoroloji Müdürlüğünün yayınlamış olduğu Ek-1'deki Türkiye rüzgâr atlası, bölgede ortalama rüzgâr hızının 50 m yükseklikte 5,5 – 6,5 m/s olduğunu göstermektedir. Türkiye geneli göz önüne alındığında bu ortalama hız değerleri ortalama seviyede gözükmemektedir. Bölgesel olarak daha detaylı bir analiz yapabilmek için Şekil 3.1'de Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından yayınlanan Türkiye rüzgâr santralleri atlasından (2013/2) bir kesit verilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye rüzgâr santralleri atlasından bir kesit [35]

Bu atlas incelendiğinde Mersin ili sınırları içerisinde toplam 181 MW kapasiteli 6 adet Rüzgâr enerji santrali olduğu görülmektedir. Bunlar Silifke ve Mut ilçesi sınırları içerisindedir. Bu bölgeler yüksek rakımlı ve nüfus yoğunluğunun az olduğu bölgelerdir. Buna göre çalışmanın amacına ulaşabilmek için rüzgâr enerji potansiyelinin Mersin ili içerisinde Devlet Meteoroloji Müdürlüğüne bağlı farklı istasyonlardan temin edilecek veriler kullanılarak yapılması uygun görülmüştür. Çizelge 3.1'de tespit edilen istasyonlara ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseklik	Enlem	Boylam
17330	SİLİFKE	10 m	36,3824 K	33,9373 D
17340	MERSİN	7 m	36,7808 K	34,6031 D
17978	TARSUS	12 m	36,8942 K	34,9597 D

İstasyonların tespit edilmesinde nüfus yoğunluğu göz önüne alınmıştır. Meteoroloji verilerinin DMİ Genel Müdürlüğünden alınacak olması yapılacak seçimleri kısıtlamıştır. Bu şartlar altında Çizelge 3.1’de bilgileri verilen istasyonlar Şekil 3.2’de ayrıntılı olarak Mersin İl haritası üzerinde gösterilmiştir.

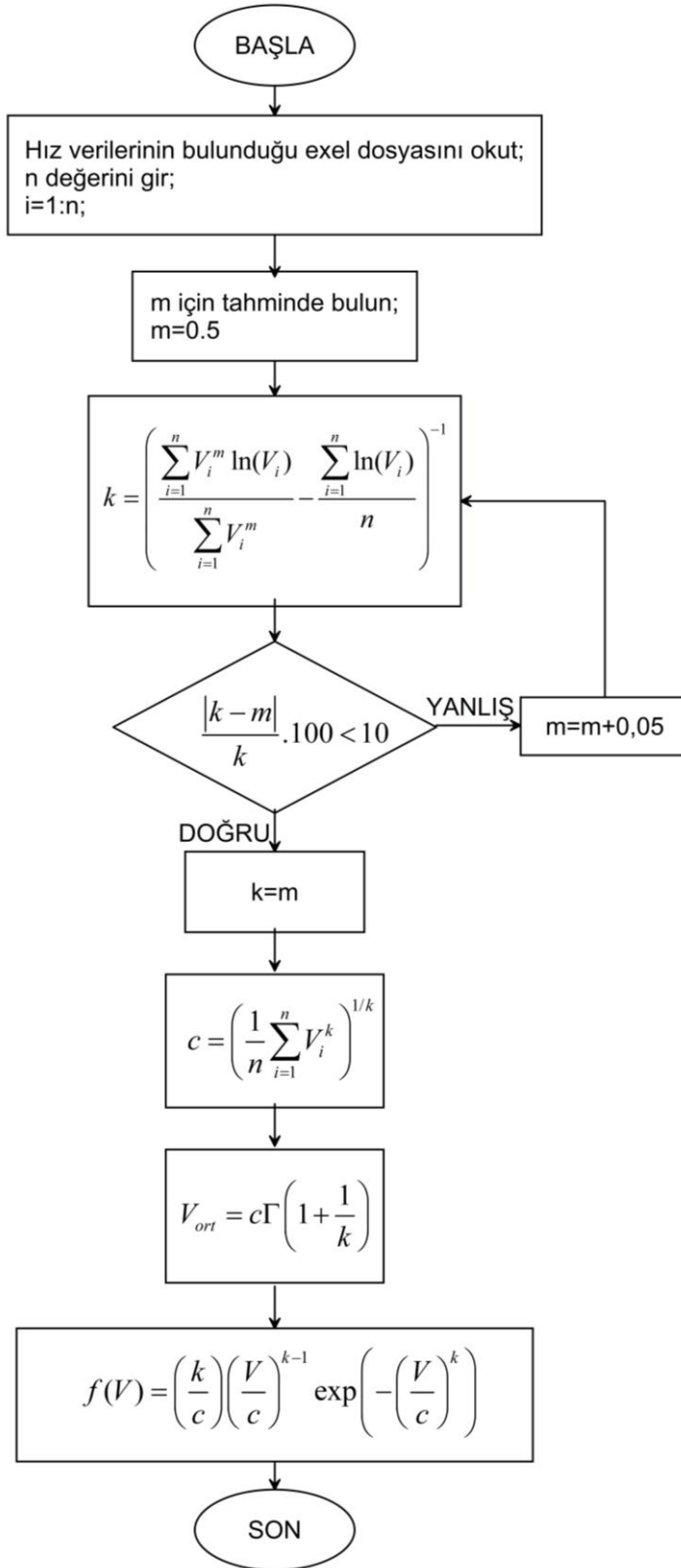


Şekil 3.2. Meteoroloji istasyonlarının harita üzerindeki konumları

3.7.2. Rüzgâr Hız Dağılımlarının Hesaplanması

Rüzgâr hız dağılımının hesaplanması için Matlab programında kod hazırlanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan 10 m yükseklikte ölçülmüş saatlik rüzgâr verileri Ms Office Excel programında düzenlenerek Matlab programına tanıtılmıştır.

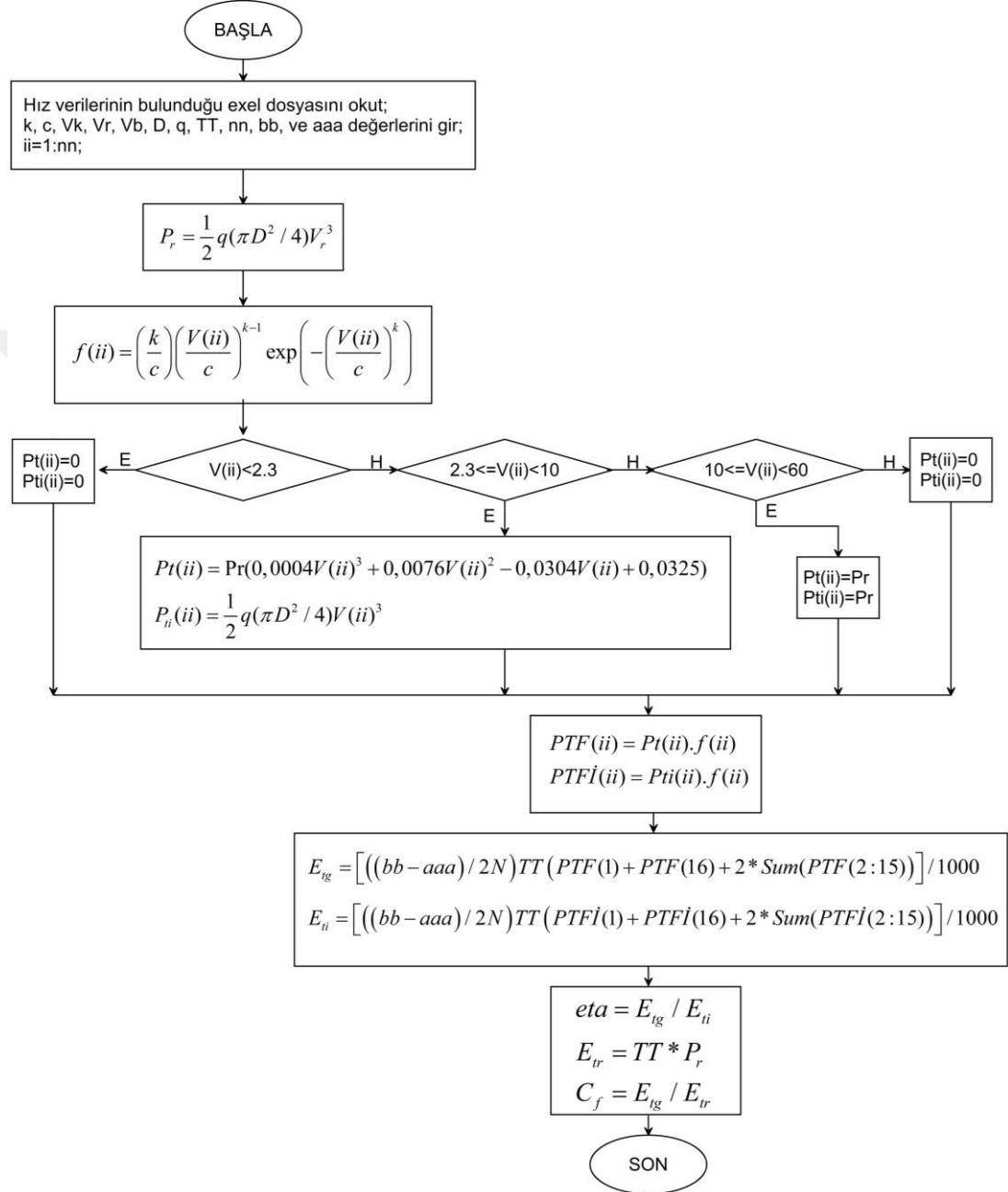
Denklem 3.9'daki k ifadesi eşitliğin her iki tarafında bulunduğu ve eşitlikte yalnız bırakılması zor olduğundan iterasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu denklemde eşitliğin sağ tarafında bulunan k ifadesi başlangıçta 0,5 olacak şekilde tahmin edilmiştir. Matlab programında hazırlanan kodla k ifadesinin %10 ve daha düşük bir hatayla hesaplanması sağlanmıştır. Bu hatanın %10'un üzerinde olması durumunda ise başlangıçta 0,5 olarak tahmin edilen k ifadesine 0,05'lik değerler eklenerek yeni k ifadeleri hesaplanmıştır. Matlab programı bu işlemi hata istenilen değer aralığına geldiğinde sonlandırır. Matlab programı akış şeması şekil 3.3'te verilmiştir. Matlab programında hazırlana kod ise Ek-7'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Rüzgâr hız dağılımı hesabı için Matlab programı akış şeması

3.7.3. Rüzgâr Enerjisinin Hesaplanması

Rüzgâr enerjisinin hesaplanması için Matlab programının akış şeması şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Rüzgâr enerjisinin hesabı için Matlab programı akış şeması

Rüzgâr enerjisinin hesaplanmasında Matlab programında hesaplanan hız dağılımlarından yararlanılmıştır. Bu hız dağılımları dikkate alınarak teknik özellikleri Ek-4'te verilen düşük hızlarda çalışmaya başlayan rüzgâr türbini seçilmiştir. Bu

türbinden elde edilebilecek teorik ve gerçek enerji miktarları sırasıyla denklem 3.18 ve 3.20'den hesaplanabilmektedir. Bu denklemlerde bulunan integrallerin hesaplanmasında trapez kuralından yararlanılmıştır. Ek-4'te verilen rüzgâr türbini güç eğrisi verileri kullanılarak Ms Office Excel programında Denklem 3.20'de bulunan üçüncü dereceden denklemin regresyon katsayıları ve $R^2=0,9996$ olarak bulunmuştur.

$$y = 0,0004x^3 + 0,0076x^2 - 0,0304x + 0,0325 \quad (3.20)$$

3.8. GÜNEŞ ENERJİSİ HESAPLAMALARI

Bu bölümde Mersin ilinin güneş enerji potansiyeline yer verilmiş olup güneş enerjisi hesaplamalarındaki teorik bilgiler için Kılıç ve Öztürk'ün ders notlarından [36] yararlanılmıştır.

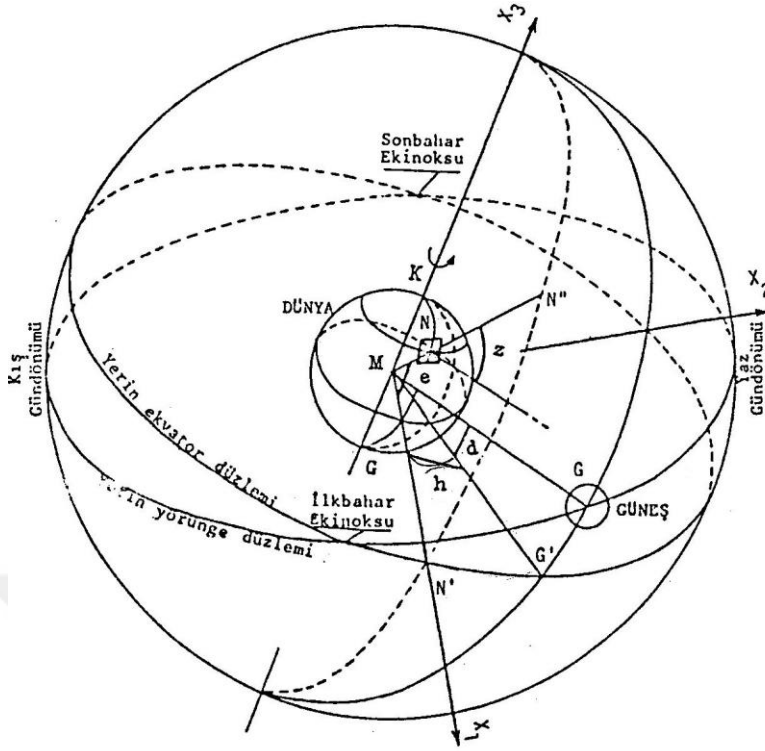
3.8.1. Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Mersin ili Türkiye genelinde güneş enerji potansiyeli açısından oldukça ortalamanın üstünde bir konuma sahiptir. Ülkemiz genelindeki toplam güneş ışınımı haritası, aylık global radyasyon grafiği, aylık güneşlenme süreleri ve fotovoltaik panelin tipi ve alanına bağlı olarak yılda üretilebilecek enerji miktarları grafiği Ek-1'de, Mersin ili için ise Ek-2'de verilmiştir. İl bazında dağlık kesimlerde ışınım değerlerinin çok yüksek olduğu nüfusun yoğun olarak yaşadığı sahil kesimlerinde ise ışınım değerlerinin 1600 – 1700 kWh / m² - yıl olduğu görülmektedir.

3.8.2. Güneş Açıları

Dünyanın güneş etrafında ve kendi ekseni etrafında olmak üzere iki değişik hareketi olduğu bilinmektedir. Bu hareketler güneş enerjisi uygulamalarında önemlidir. Ayrıca yerin güneş etrafındaki yörünge düzleminin normali ile kendi dönüş ekseni arasında 23,45°'lik bir açı vardır ve bu açı da yeryüzünde aynı noktaya gelen güneş ışınlarının doğrultusunun değişmesine sebep olur ve mevsimler oluşur.

Dünyaya gelen güneş ışınımının bulunmasında dünyaya göre güneşin hareketi incelenir. Bunun için de, dünya merkez olmak üzere çok büyük yarıçaplı ve üzerinde noktalar halinde güneşin ve yıldızların bulunduğu gökküreden faydalanılır. (Şekil 3.5). Gökküre üzerinde güneşin yeri ve dolayısıyla dünyaya nazaran hareketi güneş açıları ile tayin edilir.



Şekil 3.5. Gökküre üzerinde önemli güneş açıları [36]

Yeryüzünde enlemi e olan bir N noktasına düşen direkt güneş ışınımının doğrultusu denklinasyon açısı d ve saat açısı h ile tayin edilebilir.

3.8.2.1. Güneş denklinasyon açısı (d)

Dünya güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Şekil 3.5'de GMG' açısıdır. Dünya-güneş doğrultusu ekvator düzleminin kuzey tarafında ise denklinasyon açısı pozitif kabul edilir. Buna göre denklinasyon açısı $-23,45^\circ$ (21 Aralıkta kış gündönümünde) ile $23,45^\circ$ (21 Haziranda yaz gün dönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Martta) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylülde) denklinasyon açısı sıfır olur. Denklinasyon açısı, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere, denklem 3.27'deki ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.

$$d = 23.45 \sin\left(360 \frac{n+284}{365}\right) \quad (3.27)$$

Denklinasyon açısı aynı gün için yıldan yıla değişmektedir. Bu bakımdan formülde bulunan değerlerdeki küçük hata güneş ışınımı hesapları için pratik olarak önemli değildir.

3.8.2.2. Saat açısı (h)

Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır. Güneşin ve göz önüne alınan yerin ekvator düzlemindeki iz düşümleri alınır, şekil 3.5'te N'MG' açısıdır. Saat açısı güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile çakıştığı güneş öğlesinden itibaren ölçülür: Güneş öğlesinden önce pozitif, sonra negatif alınır. Ayrıca, bilindiği gibi, her 15° saat açısı (boylam farkı) 1 saat zamana tekabül eder.

Genellikle güneş ışınımı ölçmeleri ve hesaplamaları güneş zamanına göre yapılır. Güneş öğlesinde güneş saati (GS) 12'dir. Buna göre saat açısı (h) ile güneş saati arasındaki ilişki denklem 3.28'de gösterilmiştir.

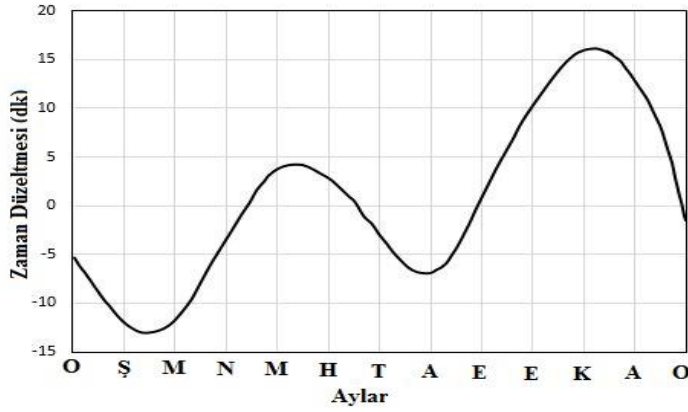
$$h(drc) = 15(12 - GS) \quad (3.28)$$

Standart saati (memleket saatini) güneş saatine dönüştürürken boylam farkı (bulunan yerin boylamı ile standart saat boylamı arasındaki fark) ile birlikte zaman düzeltmesi (ZD) denilen günlere göre değişen bir faktör göz önüne alınır. Zaman düzeltmesi dünyanın dönme hızındaki permütasyondan ve yörüngesindeki düzensizlikten ileri gelir ve günden güne değişir. Bu değişim eğrisi şekil 3.6'de görülmektedir. Ayrıca bu düzeltme; n, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı ve $x(drc) = 360 \frac{n-1}{365,242}$ olmak üzere

denklem 3.29 ile de yaklaşık olarak bulunabilir. Böylece, Türkiye için standart boylam 30° olmak üzere, denklem 3.30 güneş saati ile memleket saati arasındaki bağıntıyı verir.

$$ZD(saati) = 0,0043 \cos x - 0,1236 \sin x - 0,0608 \cos 2x - 0,1538 \sin 2x \quad (3.29)$$

$$GS = MS - \frac{30 - \beta_y}{15} + ZD \quad (3.30)$$



Şekil 3.6. Zaman düzeltmesinin değişimi [36]

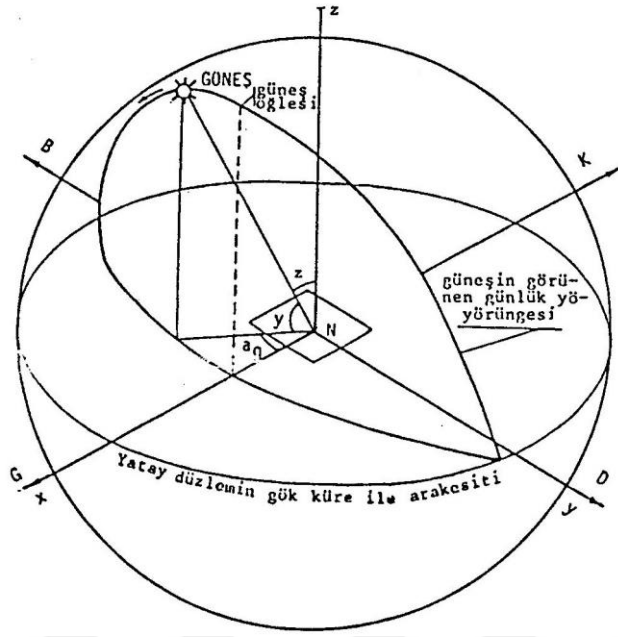
Yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanmasında güneş ışınımının ve eğik düzlemin doğrultusunu veren açılardan yararlanılır.

3.8.2.3. Zenit açısı (z)

Yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının (güneş-yer doğrultusunun) yaptığı açıdır. Güneş doğuşunda ve batışında $z = 90^\circ$ ve güneş ışınları yatay düzleme dik geldiği zaman $z = 0^\circ$ 'dir. Şekil 3.5'te $G''NN''$ açısı zenit açısıdır.

3.8.2.3. Güneş yükseklik açısı (y)

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemlerle yaptığı açıdır. Şekil 3.7'de zenit ve yükseklik açıları görülmektedir. Açıkça görüldüğü gibi $y + z = 90^\circ$ 'dir; böylece $\sin y = \cos z$ olur.



Şekil 3.7. Türetilen güneş açıları [36]

Şekil 3.5'te görülen X_1 , X_2 (ekvator düzleminde göz önüne alınan yerin boylamından geçen ve buna dik doğrular) ve X_3 (kuzey kutbundan geçen) eksen takımına göre bir yerdeki yatay düzlemin normalinin doğrultu kosinüsleri $a_1 = \cos e$, $a_2 = 0$, $a_3 = \sin e$ ve güneş ışınlarının doğrultu kosinüsleri $b_1 = \cos d \cos h$, $b_2 = \cos d \sin h$, $b_3 = \sin d$ olduklarına göre zenit açısının kosinüsü denklem 3.31'deki gibi ifade edilebilir.

$$\cos z = \cos d \cos e \cos h + \sin d \sin e \quad (3.31)$$

Güneş doğduğu ve battığı anda saat açıları $z = 90^\circ$ alınarak denklem 3.32 elde edilir.

$$\cos H = -\frac{\sin d \sin e}{\cos d \cos e} = -\tan d \tan e \quad (3.32)$$

Buradan gün uzunluğu 3.33'deki gibi ifade edilebilir.

$$t_g(\text{saat}) = 2 \frac{H(drc)}{15} = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d \tan e) \quad (3.33)$$

Gün uzunluğu ekvatorunda ($e = 0^\circ$) her zaman ve denklinasyon açısı $d = 0$ olduğunda her yerde gün uzunluğu 12 saattir. Kuzey yarıkürede denklinasyon açısının pozitif değerlerinde kuzeye doğru gidildikçe gün uzunluğu artar, denklinasyon açısının

negatif değerlerinde azalır. Genellikle aylık ortalama gün uzunluğuna ihtiyaç duyulur. Aylık ortalama gün uzunluğu (t_o) bir aydaki gün uzunluklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunabileceği gibi aylık ortalama denklinasyon açısı ile de hesaplanan değer kullanılabilir:

$$t_o = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d_o \tan e) \quad (3.34)$$

3.8.2.4. Güneş azimut açısı (a_g)

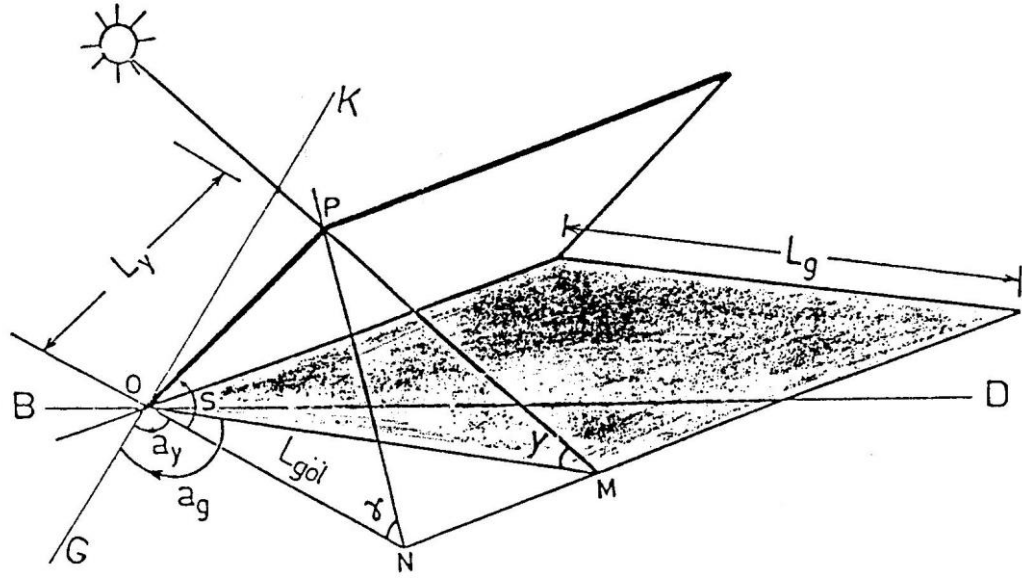
Güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Burada, güneyden doğuya doğru (sabahları) + ve batıya doğru (öğleden sonraları) – alınacaktır. Böylece zenit ve azimut açıları ile güneş ışınlarının doğrultusu tayin edilebilir.

Güneş azimut açısı denklem 3.35'ten bulunabilir ve maksimum mutlak değeri güneş doğuşunda veya batışında denklinasyon açısına bağlı olarak 90° civarında, 90° 'den büyük veya küçük olabilir. Doğru değer bulunmasına ve işaretine dikkat edilmelidir.

$$\sin a_g = \cos d \sinh / \cos y \quad (3.35)$$

3.8.3. Eğik Yüzey Açıları

Eğik bir yüzeyin konumu, yatay düzlemle yaptığı eğim açısı (s) ve yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güneyden doğuya doğru ölçüldüğü yüzey azimut açısı (a_y) ile belirlenir (şekil 3.8).



Şekil 3.8. Eğik düzlem açıları [36]

3.8.3.1. Güneş geliş açısı (g)

Güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Bu açı uygun bir eksen takımına göre doğrultu kosinüslerinden denklem 3.36 elde edilir. Güneye doğru eğik düzlem için $a_y = 0$ olur ve denklem 3.37 elde edilir. Dik bir yüzey için $s = 90^\circ$ dir ve denklem 3.38 elde edilir.

$$\cos g = \cos d \cos e \cosh \cos s + \cos a_y \cos d \sin e \cosh \sin s + \sin a_y \cos d \sinh \sin s + \sin d \sin e \cos s - \cos a_y \sin d \cos e \sin s \quad (3.36)$$

$$\cos g_g = \cos d \cosh \cos(e-s) + \sin d \sin(e-s) \quad (3.37)$$

$$\cos g_d = \cos a_y \cos d \sin e \cosh + \sin a_y \cos d \sinh - \cos a_y \sin d \cos e \quad (3.38)$$

Güneye dönük eğik bir düzlemde güneş ışınlarının ilk gelişi (d'nin negatif olduğu zamanlarda gün doğuşu, pozitif olduğu zamanlarda ışınların yüzeye paralel geldiği anda) ve son gelişinde $z = 90^\circ$ veya $g_g = 90^\circ$ olur. Denklem 3.37'den ışınların yüzeye paralel geldiği anlar için saat açısı denklem 3.39'den bulunur.

$$\cos H_p = -\tan d \tan(e-s) \quad (3.39)$$

Gün doğuşu ver batışı için de 3.33 denklemi kullanılır. Bu iki değerden minimum olanında sabahları ışınlar yüzey üzerine düşmeye başlar.

3.8.3.2. Profil açısı (p)

Bir yüzeye düşen güneş ışınlarının gölge meydana getirdiği gölgeleme düzlemi ile yatay düzlemin yaptığı açıdır. Güneş yükseklik açısının yüzeyin normalinden geçen dik düzleme izdüşümüdür ve şekil 3.8'den kolayca görülebilir.

$$\tan p = \frac{\tan y}{\cos(a_g - a_y)} \quad (3.40)$$

Profil açısı yardımıyla değişen gölge genişliğinin, L_y yüzey genişliği olmak üzere denklem 3.41 bulunur.

$$L_{göl} = L_y \frac{\sin(p - s)}{\sin p} \quad (3.41)$$

Güneye bakan yüzeyler için $a_y = 0$ olduğuna göre, senenin ortalama gününde $d = 0$ alınarak denklem 3.42 elde edilir.

$$\frac{L_{göl}}{L_y} = \cos(e - s) / \cos e \quad (3.42)$$

Eğer $s = e$ alınırsa bu oranın $L_{göl} / L_y = 1 / \cos e$ olduğu neticesine varılır.

3.8.4. Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında güneş ışınlarına dik birim alana bütün dalga boylarında bir anda gelen güneş ışınımının değeri, dünya güneş mesafesi değiştiğinden sabit değildir. Bununla beraber ortalama dünya-güneş mesafesindeki güneş ışınımı değerinin kullanılması kolaylık sağlar. Bu değere güneş sabiti denir ve burada, $I_{gs} = 1353 \text{ W/m}^2$ alınacaktır. Güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü, n gün sayısı olmak üzere denklem 3.43'te verilmektedir.

$$f = 1 + 0,033 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (3.43)$$

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabında, daha ziyade atmosfer dışında yatay ve eğik düzleme gelen ışınımına dayanılır. Atmosfer dışında yatay düzlemin birim alanına biranda gelen güneş ışınımı, z zenit açısı (3.31 denkleminde) olmak üzere denklem 3.44'de verilmiştir.

$$I_o = I_{gs} f \cos z \quad (3.44)$$

Buna göre, dt zamanında gelen ışınım $dQ_o = I_{gs} f \cos z dt$ ve saat açısı cinsinden, $dt = (12/\pi) dh$ konularak denklem 3.45 elde edilir.

$$dQ_o = \frac{12}{\pi} I_{gs} f \cos z dh \quad (3.45)$$

Zenit açısının değeri, yerine konularak gün boyunca integre edilirse atmosfer dışında birim alana bir gün boyunca gelen güneş ışınımı denklemi bulunur.

$$Q_o = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left(\cos d \cos e \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e \right) \quad (3.46)$$

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen güneş ışınımı, güneş geliş açısına bağlı olarak değişir. Denklem 3.45'te $\cos z$ yerine, 3.37 denkleminde $\cos g_g$ konularak güneye dönük düzlem için $H_g = \min(H_p, H)$ olmak üzere denklem 3.47 bulunur.

$$Q_{og} = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[\cos d \cos(e-s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin(e-s) \right] \quad (3.47)$$

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranı, direkt güneş ışınımı için yeryüzünde de aynı kaldığı kabul edilir. Böylece bir anda gelen direkt güneş ışınımı için eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı (güneye dönük düzlemler için) denklem 3.48'deki gibi yazılabilir.

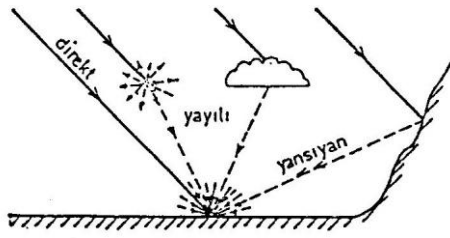
$$R_d = \frac{\cos d \cosh \cos(e-s) + \sin d \sin(e-s)}{\cos d \cosh \cos e + \sin d \sin e} \quad (3.48)$$

Bir gün boyunca eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen güneş ışınımına oranı, güneye dönük düzlemler için 3.46 ve 3.47 denklemlerinden denklem 3.49 yazılabilir.

$$R_d = \frac{\cos d \cos(e-s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin(e-s)}{\cos d \cos e \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e} \quad (3.49)$$

3.8.5. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Güneş enerjili sistemlerin boyutlandırılması için gerekli büyüklükler içinde en önemlisi, faydalanılabilir güneş ışınımı şiddetidir. Atmosfer dışına gelen güneş ışınımı atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar tarafından yutulur, saçılır, böylece azalarak ilerler ve atmosfer dışına gelen ışınımın belli bir kesri yeryüzüne ulaşır. Doğrudan yeryüzüne gelen kısmına “direkt güneş ışınımı”, saçılan ışınlardan yeryüzüne gelene ise “yayıllı güneş ışınımı” adı verilir. Direkt ve yayıllı güneş ışınımı pratik olarak 0,1–3,0 μm dalga boyu aralığında olduğundan kısa dalga boylu ışınımlardır ve toplamları “tüm (global) güneş ışınımı” olarak bilinir. Atmosferdeki gazlar (özellikle su buharı ve karbondioksit) tarafından neşredilenlerden yeryüzüne gelenler “atmosfer ışınımı” olarak ve yer tarafından neşredilen ışınımlar da “yer ışınımı” olarak göz önüne alınan uzun dalga boylu ışınımlardır. Bütün bu ışınımların toplamına “toplam (total) ışınım” denir. Şekil 3.9’da, toplam ışınımın bileşenleri şematik olarak görülmektedir. Atmosfer ışınımı küçük mertebelerde olduğundan, yerin yansıttığı ve neşrettiği ışınımların olmadığı bir durumda (yatay düzlem) tüm güneş ışınımı aşağı yukarı toplam ışınımına eşittir.



Şekil 3.9. Toplam ışınımın bileşenleri [36]

3.8.5.1. Güneş ışınımı ölçmeleri

Meteoroloji istasyonlarında genellikle yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı ölçülür. Piranometre adı verilen bu tür ışınımölçerlere solarimetre, aktinometre veya ölçülen ışınımı kaydetme imkânı varsa, piranograf, solarigraf veya aktinograf isimleri

kullanılmaktadır. Direkt güneş ışınımı ölçülen aletlere de pirheliometre denilmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen tüm güneş ışınımı değerlerinin hatalı olduğu belirtilmektedir. Komşu ülkelerde ölçülen tüm güneş ışınımı değerleri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarında ölçülen tüm güneş ışınımı değerlerinden yaklaşık %30 daha büyüktür. Ayrıca, Dünya Meteoroloji Örgütü'nün Türkiye'de de kullanılan bimetalik aktinograflarla yapılan ölçmeleri esas almadığını da belirtmek gerekir.

Güneşlenme süresi helyograflarla kaydedilir. En çok kullanılanı Campbell-Stokes helyograflarıdır. Güneş ışınımı bir kağıt üzerine yoğunlaştırılır, kağıdın yanması sebebiyle bıraktığı iz ölçülerek güneşlenme süresi tespit edilir. Campbell-Stokes helyografları, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından standart ölçü olarak kabul edilmiştir.

3.8.5.2. Tüm güneş ışınımı

Yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı bağıntıları, daha ziyade, güneşlenme süresi, izafi nem, atmosferik basınç, sıcaklık ve bulutluluk oranı gibi meteoroloji verilerinden birine veya birkaçına bağlı olarak verilmektedir. En yaygın kullanılanı, güneşlenme süresinin fonksiyonu olarak verilen bağıntılardır. Yatay birim düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımı Q , atmosfer dışına gelen güneş ışınımı Q_0 , güneşlenme süresi t ve gün uzunluğu t_0 olmak üzere denklem 3.50'de verilen bağıntı Angström denklemi olarak bilinir.

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{t}{t_0} \quad (3.50)$$

Burada, a ve b sabitleri tüm güneş ışınımı ve güneşlenme süresi ölçümlerine dayanarak istatistik metotlarla tayin edilmektedir. Sabitler bölgenin bitki örtüsüne, iklim durumuna ve topoğrafik yapıya bağlı olarak belli değerler arasında değişmektedir. Kullanılan ölçüm değerlerinin uzun yıllar (15 yıldan fazla) ortalaması gereklidir. Türkiye'de, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ölçümlerine dayanan a ve b katsayıları çok sayıda araştırmacı tarafından tayin edilmiştir. Bununla beraber, bunlar ölçüm değerlerine dayandığı ve ölçümler hatalı olduğundan tavsiye edilmemektedir. Teorik olarak hesaplanan ve komşu ülkelerdeki ölçülen değerlerle çok iyi uyum gösteren denklem 3.51'de verilen bağıntılarla hesaplanan değerlerin daha az hatalı

olduğu belirtilmektedir. Burada, Z deniz seviyesinden olan yükseklik (m), e enlem ve d denklınasyon açısıdır.

$$\begin{aligned} a &= 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(e - d) \\ b &= 0,533 - 0,165 \cos(e - d) \end{aligned} \quad (3.51)$$

Güneş enerjisi ile ilgili birçok mühendislik probleminde yatay düzleme bir anda gelen tüm güneş ışınımına ihtiyaç duyulur. Pratik olarak, anlık güneş ışınımı, günlük güneş ışınımına bağlı olarak hesaplanır. Anlık tüm güneş ışınımının (I) günlük tüm güneş ışınımına (Q) oranı,

$\psi = \exp \left[-4 \left(1 - \frac{|h|}{H} \right)^2 \right]$ olmak üzere denklem 3.52'den bulunabilir.

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4t_o} \left[\cos \left(90 \frac{h}{H} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right] \quad (3.52)$$

Böylece günlük tüm güneş ışınımı biliniyorsa istenilen saatteki saat açısı ve verilen gün için güneş doğuş açısı hesaplanarak 3.52 denkleminde anlık tüm ışınım bulunabilir.

3.8.5.2. Direkt ve yayılı güneş ışınımı

Tüm güneş ışınımı direkt ve yayılı güneş ışınımının toplamıdır. Tüm güneş ışınımından yayılı veya direkt ışınımın hesaplandığı çok sayıda, değişik parametrelere bağlı ampirik denklem sunulmuştur. Ampirik bağıntılarda, genellikle yayılı ışınım oranı (yatay düzleme gelen yayılı güneş ışınımının tüm güneş ışınımına oranı, $K_y = Q_y / Q$), berraklık indeksinin (yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımının atmosfer dışına gelen güneş ışınımına oranı, $K_t = Q / Q_o$) veya izafî güneşlenme süresinin (güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı, t / t_o) fonksiyonu olarak verilmektedir. Basitliği ve uygunluğu sebebiyle en çok kullanılanı denklem 3.53'teki Page bağıntısıdır.

$$K_y = Q_y / Q = 1 - 1,13Q / Q_o = 1 - 1,13K_t \quad (3.53)$$

Şayet tüm güneş ışınımı biliniyorsa son bağıntıdan günlük yayılı güneş ışınımı ve denklem 3.54'ten direkt güneş ışınımı hesaplanabilir.

$$Q_d = Q - Q_y \quad (3.54)$$

Yatay düzleme bir anda gelen yayılı ışınımın uzun yıllar ortalaması (aylık ortalama) günlük toplam yayılı ışınımına oranı $r_y = I_y / Q_y$, atmosfer dışında yatay düzleme bir anda gelen ışınımın (aylık ortalama) günlük ışınımına oranı denklem 3.55'te verildiği şekilde kabul edilerek, buradan yatay düzleme bir anda gelen yayılı güneş ışınımı I_y bulunur.

$$r_y = \frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_o}{Q_o} = \frac{\pi}{24} \frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \quad (3.55)$$

3.49 denklemiyle, eğik düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımına oranı daha önce şu şekilde verilmişti:

$$R_d = \frac{Q_{ed}}{Q_d} = \frac{\cos d \cos(e-s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin(e-s)}{\cos d \cos e \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e}$$

Eğik düzleme bir gün boyunca gelen toplam ışınımın yatay düzleme gelen tüm ışınımına oranı ise denklem 3.56'da verilmiştir.

$$\bar{R} = \frac{Q_e}{Q} = \bar{R}_d (1 - K_y) + K_y \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.56)$$

3.8.6. Fotovoltaik Panellerden Elde Edilen Enerjinin Hesaplanması

Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjiyi hesaplama için Matlab programında oluşturulan kod Ek-8'de verilmiş olup denklem 3.57'de verilen basit model kullanılmıştır.

$$P = A_{surf} \cdot f_{activ} \cdot G_T \cdot \eta_{cell} \cdot \eta_{invert} \quad (3.57)$$

3.9. KONUT DIŞI BİNANIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİNİN HESAPLANMASI

3.9.1. EnergyPlus Benzetim Programı

EnergyPlus binalardaki enerji ve su kullanımını modellemek için; mühendisler, mimarlar ve araştırmacıların kullandığı güvenilir bir bina enerji benzetim programıdır. EnergyPlus, bina tasarımında daha az enerji ve su kullanılmasını optimize etmeyi sağlar. Isıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, diğer enerji akımları ve su kullanımını modeller.

EnergyPlus, çok yenilikçi benzetim yeteneklerini içerir: bir saatten daha az zaman adımları, modüler sistemler, çok zonlu hava akımı, termal konfor, su kullanımı, doğal havalandırma ve fotovoltaik sistemler [37].

EnergyPlus'ın kökeni BLAST ve DOE-2 programlarıdır. Bu iki program Fortran programlama dili kullanılarak hazırlanmış olup bina ısıtma ve soğutma yüklerini analiz eden benzetim programlarıdır. EnergyPlus da bu iki program gibi ısı yükleri ve enerji analizleri yapmaktadır. EnergyPlus aynı zamanda binada kullanılan ekipmanların harcadıkları enerji miktarlarının da hesaplayabilmektedir. Program bir kullanıcı ara yüzü olmadığı için programa girilen verilerin doğruluğunu sorgulamaz [38].

Saatlik enerji tüketimi EnergyPlus programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu program ABD Enerji Bakanlığı (US Department of Energy) tarafından geliştirilmiş ve birçok bilimsel çalışmada kaynak olarak kullanılan bir programdır. Bilimsel çalışmalarda kaynak teşkil etmesinden ötürü uluslararası ortamda herhangi bir lisans gerektirmeden ücretsiz dağıtılmaktadır.

3.9.2. Mersin İli İçin İklim Verisi Dosyasının Oluşturulması

Literatürde yer alan çalışmaların birçoğu Amerika ve Avrupa kıtasını içermesinden ötürü bölgemize ait programa tanıtılacak meteoroloji verisi kısıtlıdır. Sadece İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük illerimizi içermektedir. Mersin ili için bu programın kullanılabilmesi için elde edilen meteoroloji verilerin bu programa tanıtılması için epw uzantılı iklim verisi dosyasına ihtiyaç duyulmuştur. Oluşturulan

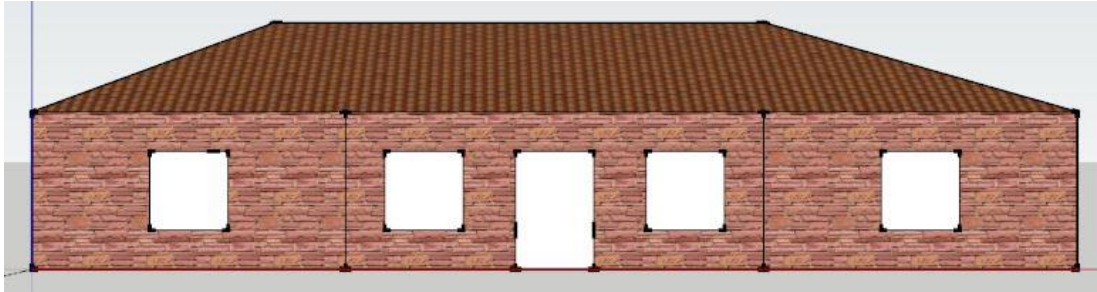
bu iklim verisi dosyası daha sonra birçok benzer çalışmada kullanılabileceği göz önüne alındığında çalışmanın önemi daha net ortaya çıkmaktadır.

Mersin ili için epw uzantılı iklim verisi dosyası oluşturulurken ihtiyaç duyulan parameterelerin bir kısmı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Diğer kısmı ise Matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, atmosfer basıncı (101073 Pa), rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ve bulutluluk oranı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çiğ noktası sıcaklığı (t_d), atmosfer dışı yatay düzleme gelen ışınım (I_o), atmosfer dışı normal düzleme gelen ışınım (I_n), yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı (I) ve bu ışınımı oluşturan direkt (I_d) ve yayılı (I_y) güneş ışınımı parametreleri matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır. Matlab programında hazırlanan kod Ek-8'de verilmiştir.

3.9.3. Konut Dışı Binanın Mimari ve Yapısal Özellikleri

Bu çalışmada ele alınan konut dışı bina, poliklinik binası olarak kullanılan tek katlı bir bina olup, toplam 200 m² net zemin alanına sahiptir. Binanın genel görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Konut dışı binanın genel görünümü

Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin incelenmesi için bina 7 zona (bölgeye) ayrılmıştır. Her bir zonun zeminde bulunduğu yer ve kapladığı alan şekil 3.11'de verilmiştir.

ZONE 4 WC 12 m ²	ZONE 5 BEKLEME HOLÜ 56 m ²	ZONE 6 OFİS 30 m ²
ZONE 3 LABORATUVAR 18 m ²		ZONE 7 KLİNİK 2 30 m ²
ZONE 2 KLİNİK 1 30 m ²	ZONE 1 GİRİŞ 24 m ²	

Şekil 3.11. Her bir zonun zemindeki dağılımı ve kapladığı alan

Konut dışı binanın yapı bileşenleri ise çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Konut dışı binanın yapı bileşenleri

	İÇ DUVAR	DİŞ DUVAR	DÖŞEME
ÇATI	Kiremit, 100 mm	Alçı kaplama levhası, 5.9 mm	
	Çatı padavrası, 9.5 mm	Alçı taşı levha, 19 mm	
	Tahta, 25 mm	Tuğla, 100 mm	
	Tavan hava boşluk direnci	Yalıtım levhası, 50 mm	
	Cam yünü yalıtım, 75 mm	Alçı taşı levha, 19 mm	
	Asfalt kaplama	Alçı kaplama levhası, 5.9 mm	
	Hafif ağırlıklı beton blok, 150 mm	Çimento sıva, 10 mm	
TAVAN	Suni mermer, 25 mm	Yalıtım levhası, 75 mm	
	Çimento sıva, 10 mm	Tuğla, fırınlanmış kil, 102 mm	
	Ağır yoğunlukta beton, 100 mm	Duvar hava boşluk direnci	
PENCERE	Cam, 3 mm	Alçı taşı levha, 19 mm	
	Hava, 13 mm	Suni mermer, 25 mm	
	Cam, 3 mm	Çimento sıva, 10 mm	
KAPI			Ağır yoğunlukta beton, 100 mm

3.9.4. EnergyPlus Programına Veri Girişi

- EnergyPlus'ın son sürümü olan 8.2.0 programa tanıtıldı.
- Benzetim sırasında kullanılacak meteoroloji veri dosyasının bulunduğu kaynak seçildi.
- Benzetim kontrolü için iklim verisi periyodunun kullanılmasına izin verildi.
- Binanın ismi (Poliklinik), kuzey eksenle yaptığı açı (0°) girildi ve bulunduğu yer olarak kırsal alan seçildi.
- İç ve dış yüzeyler için konveksiyon algoritması olarak sıcaklık farkına bağlı olarak değişen doğal konveksiyonu dikkate alan TARP algoritması seçildi.
- Isı dengesi algoritması olarak İletimle Transfer seçildi.
- Programın analizi kısa sürede tamamlaması için zaman adımı 4 olarak girildi.
- Binanın bulunduğu yerin ismi (Mersin), enlemi (36,89), boylamı (34,95), deniz seviyesi (7 m) ve zaman dilimi (+2) bilgileri girildi.
- İklim verilerinin uygulanacağı zaman periyodu bir yıl için saatlik olarak seçilmiştir.
- EnergyPlus programının Slab eklentisinden hesaplanan toprak sıcaklıkları girildi. Bu toprak sıcaklıkları çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Aylara göre hesaplanan toprak sıcaklıkları

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Toprak Sıcaklığı (°C)	18	18	18	20	22	22	23	23	23	23	22	21

- Sıcaklık (-100°C , +200°C), nem (%10 – %90), açma/kapatma (0-1), kontrol tipi (0-4) ve kesir (0-1) sınır değerleri girildi.
- Aydınlatma, insan yoğunluğu ve elektrik ekipmanları gibi verilerin zaman çizelgesi oluşturuldu. Bu çizelge oluşturulurken konut dışı binada mesai saatleri dikkate alınarak çizelgeye sadece hafta içi 08.00 – 17.00 saat aralığı eklenmiştir.
- Binada kullanılan malzemelerin ismi, pürüzlülüğü, kalınlığı, ısı iletim katsayısı, yoğunluğu ve özgül ısı girildi.
- Kütlesi ihmal edilebilir malzemelerin ismi, pürüzlülüğü ve ısı direnci girildi.

- Opak yapılardaki hava boşluğu ısı direnci girildi. Duvar için $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve tavan boşluğu için $0,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ olarak girildi.
- Pencereler için kullanılan cam malzemesinin özellikleri girildi.
- Pencerelerde camlar arasında kullanılan gaz malzemesinin özellikleri girildi.
- Dış katmandan iç katmana doğru yapı malzemelerinin özellikleri girildi.
- Binadaki yüzeylerin koordinatlarının girilmesi için geometrik kural seçildi. Örneğin, dört köşeden oluşan pencereyi tanımlarken sol alt köşeden başlayıp saat yönünün tersi yönünde diğer köşeler tanımlanacak şekilde geometrik kural seçildi.
- Binadaki zonlar (bölgeler) programa tanıtıldı.
- Binadaki ısı transfer yüzeylerinin ismi, yüzey tipi, malzemesi, bulunduğu zon ismi, güneş ve rüzgâra maruz kalıp kalmama bilgileri ve bulunduğu koordinatlar girildi.
- Binadaki insan yoğunluğu, aydınlatma ve elektrik ekipmanları bilgileri girildi.

Isıl hesaplamalarda zonlara ait; aydınlatma şiddeti, insan yoğunluğu, cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlar, havalandırma debisi, birim alan başına sızan hava miktarı ve ısıtma soğutma için istenilen sıcaklık değerleri ASHRAE standartlarına göre tespit edilmiştir [39-42]. Bu değerler çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Her bir zonun tasarım kriteri

	Aydınlatma Şiddeti (W/m^2)	İnsan Yoğunluğu (m^2/insan)	Cihaz Kaynaklı Isı Kazancı (W/m^2)	Havalandırma Debisi (m^3/s)	Birim Alan Başına Sızıntı Debisi ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$)	Isıtma İçin İstenilen Sıcaklık Değeri ($^{\circ}\text{C}$)	Soğutma İçin İstenilen Sıcaklık Değeri ($^{\circ}\text{C}$)
ZON 1 (Giriş)	2	4	15,42	-	0,001	24	26
ZON 2 (Klinik 1)	8	5	4,6	0,4	0,001	24	26
ZON 3(Laboratuvar)	8	4,5	46	0,37	0,001	24	26
ZON 4 (WC)	5	3	0	0,46	0,001	24	26
ZON 5 (Bekleme Holü)	8	28	17,86	0,5	0,001	24	26
ZON 6 (Ofis)	8	5	42,27	0,3	0,001	24	26
ZON 7 (Klinik 2)	8	5	4,6	0,4	0,001	24	26

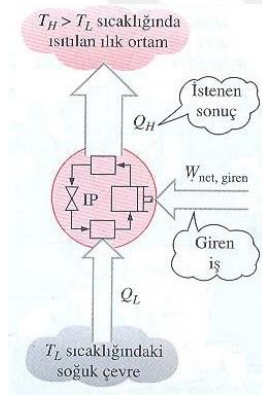
- Zon kontrolü için termostat bilgileri girildi.

- İdeal sistem için; maksimum ısıtma ve minimum soğutma kaynaklarının sıcaklık ve bağıl nem verileri girildi.
- Zon ekipman listesi ve bağlantıları düzenlendi.
- Raporlamaya dahil edilecek çıktılar olarak ısıtma ve soğutma yükleri seçildi.

3.9.5. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Elektrik Tüketiminin Hesaplanması

Bu çalışmada konut dışı binanın EnergyPlus programı kullanılarak hesaplanan ısıtma soğutma yüklerinin karşılanabilmesi için hava kaynaklı ısı pompasının kullanılması düşünülmüştür. Bu ısı pompasına ait teknik bilgiler Ek-9'da verilmiştir.

Isı pompası, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı enerjisi aktaran bir makinedir. Bu makinenin genel çizimi şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Isı pompası genel çizimi [43]

Bir ısı pompasının verimi etkinlik katsayısı COP_{IP} ile denklem 3.57'deki gibi ifade edilir. Bu denklem ısı pompasının harcadığı elektrik enerjisinin hesaplanmasında kullanılabilir. Konut dışı binanın ısıtılması ve soğutulmasında kullanılacak olan ısı pompasının etkinlik katsayısı COP değeri 4,13 ve enerji etkinlik oranı EER değeri 2,28'dir.

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{net, giren}} \quad (3.57)$$

3.10. HİBRİT SİSTEM MALİYET ANALİZİ

Konut dışı binada rüzgâr ve güneş enerjilerinden oluşan hibrit sistemin toplam maliyetini sermaye maliyeti (C_{SM}), işletme süresince enerji maliyeti (C_E) ve işletim maliyetidir (C_i).

$$C_{Toplam} = C_{SM} + C_E + C_i \quad (3.58)$$

Sermaye maliyeti, yıllık değer kaybı veya amortisman bedelini içermektedir. Rüzgâr türbini sisteminin temin ücreti (I_{RT}) ve Fotovoltaik panel sisteminin temin ücreti (I_{FP}) sermaye maliyetinin bileşenleridir.

$$C_{SM} = \left(\frac{1}{n} + \frac{z}{2} \right) (I_{RT} + I_{FP}) = \alpha (I_{RT} + I_{FP}) \quad (3.59)$$

Burada n yıl olarak geri dönüşüm süresini, z faiz oranını ve α değeri ise geri ödeme katsayısını ifade etmektedir. $n = 5-20$ ve $z = \% 5-15$ için $\alpha = 0,1/ yıl - 0,25/ yıl$ arasında değişen bir değer alır.

İşletme süresince enerji maliyeti (C_E), rüzgâr türbini ve fotovoltaik panellerin ürettiği enerjinin elektrik enerjisi birim fiyatıyla çarpımıdır ve bu değer toplam maliyeti düşürecektir.

$C_E = (C_{HS}) * c_{el}$ burada c_{el} , 1 kWh elektrik enerjisinin Türk lirası cinsinden ücretini ifade etmektedir.

İşletim maliyeti (C_i), güneş ve rüzgâr enerji sisteminin bakım, temizlik ve tamir gibi kalemlerden oluşur ve pratik olarak denklem 3.60 gibi kullanılır [50].

$$C_i(TL) = \text{Üretilen enerji (MWh)} \times \text{Birim işletim gideri (100 TL/MWh)} \quad (3.60)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. MERSİN İLİNİN RÜZGÂR HIZI DAĞILIMI

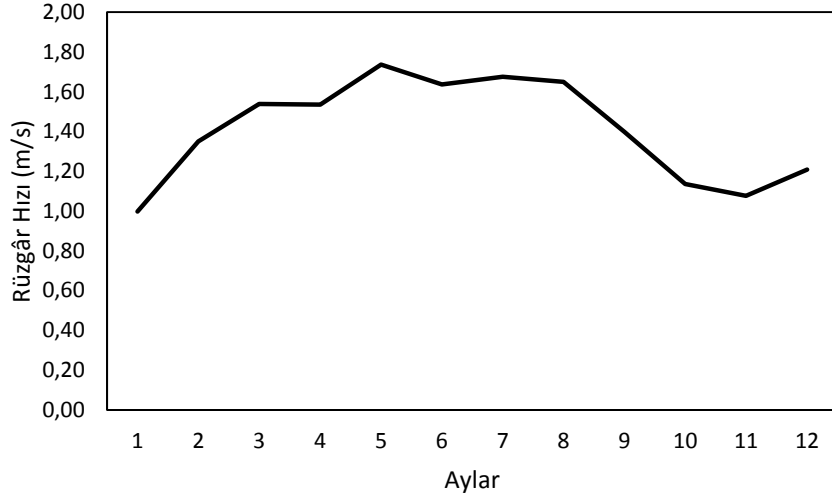
Bu bölümde Mersin ilinde bulunan Mersin istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülmüş saatlik rüzgâr verileri kullanılarak elde edilen hız dağılımları aylık ve yıllık olarak incelenmiştir.

Mersin İstasyonundan alınan saatlik ortalama hız verileri kullanılarak hesaplanan aylık ve yıllık ortalama rüzgâr karakteristikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

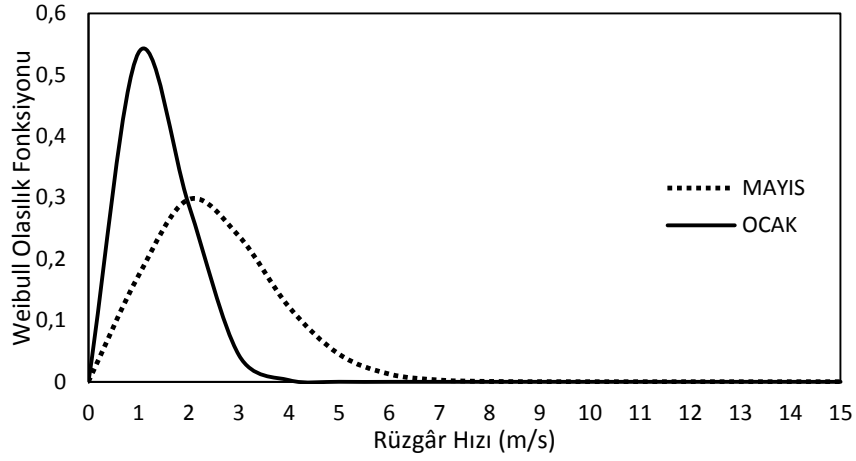
Çizelge 4.1. Mersin aylık ve yıllık ortalama Weibull hız dağılım katsayıları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
k	1.70	1.45	1.45	1.35	1.70	1.90	1.9	1.75	1.65	1.7	1.55	1.5	1.55
c	1.14	1.54	1.68	1.72	2.1	1.83	1.89	1.87	1.57	1.27	1.21	1.37	1.66
Vort	1	1.35	1.54	1.54	1.74	1.64	1.68	1.65	1.40	1.14	1.08	1.21	1.41

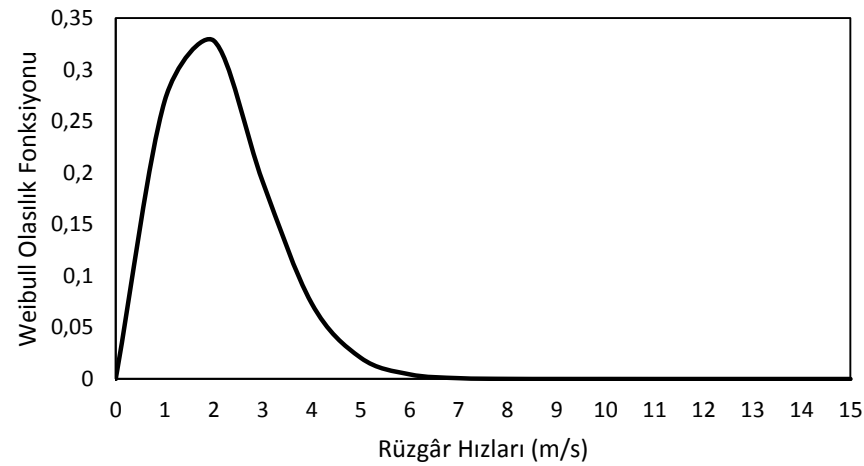
Matlab programında hazırlanan kod yardımıyla aylık ve yıllık ortalama rüzgâr hızları hesaplanmıştır. Mersin istasyonuna ait 10 m yükseklikteki rüzgâr verileri kullanılarak elde edilen yıllık ortalama hız 1.41 m/s’dir. Günlük ortalama hızların aylara göre değişimi şekil 4.1’de gösterilmiştir. Burada günlük ortalama rüzgâr hızının en yüksek olduğu ayın mayıs ve en düşük olduğu ayın ise ocak ayı olduğu anlaşılmaktadır. Mayıs ve ocak ayı için Weibull olasılık fonksiyonu grafiği şekil 4.2’de verilmiştir. Bu grafikte, yüksek hızlar için olan rüzgâr frekans değerlerinin mayıs ayında ocak ayına göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda ocak ayındaki rüzgâr hızlarının 1-2 m/s aralığında ve mayıs ayındaki rüzgâr hızları ise 2-4 m/s aralığında yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Yıllık Weibull olasılık fonksiyonu grafiği şekil 4.3’te verilmiştir. Bu grafikte rüzgâr hızlarının 1-3 m/s aralığında yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Yıllık ve aylık weibull olasılık fonksiyonu grafikleri Ek-6’da verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, yüksek hızlar için olan rüzgâr frekans değerlerinin yaz aylarında kış aylarına göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1. Mersin istasyonu aylık ortalama rüzgâr hızları



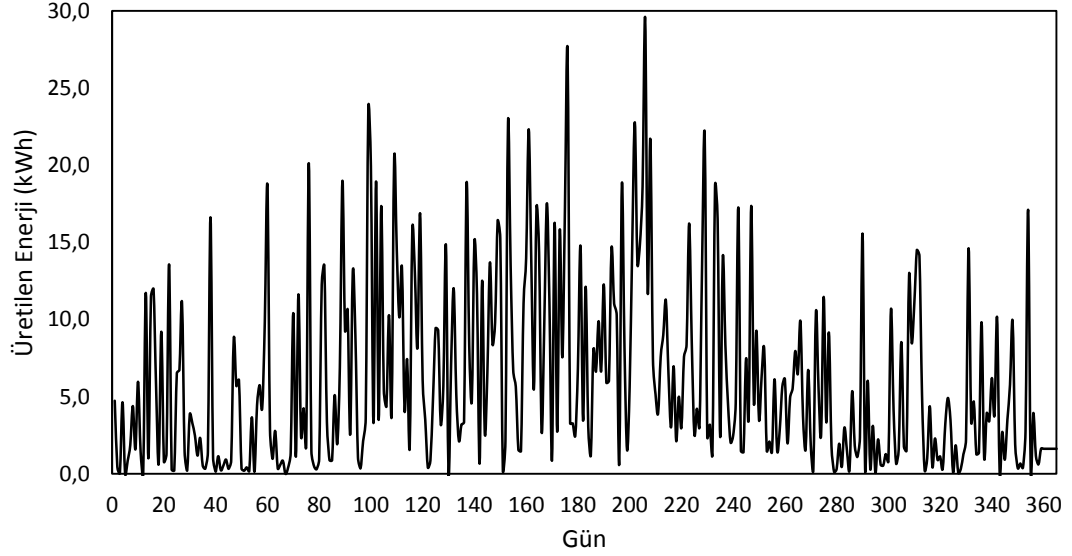
Şekil 4.2. Ocak ve Mayıs ayının hız dağılımları



Şekil 4.3. Yıllık hız dağılımı

4.2. RÜZGÂR TÜRBİNİNDEN ELDE EDİLEN ENERJİ

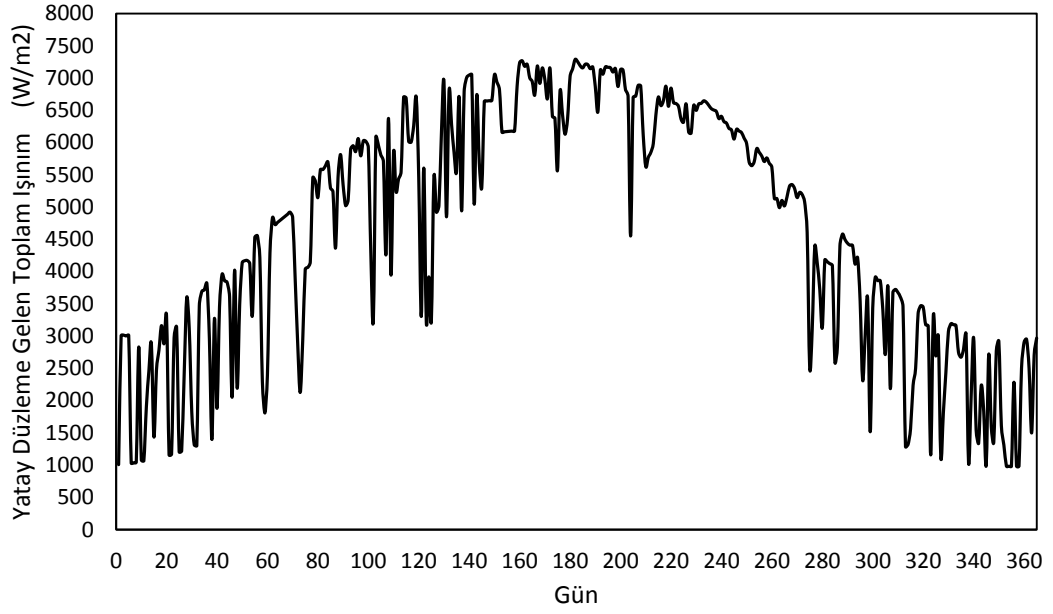
Ek-4'te teknik özellikleri verilen 0,9 kW kapasiteli rüzgâr türbininden elde edilen günlük enerji olarak şekil 4.4'te verilmiştir. Bu rüzgâr türbininden yılda toplam 2223,5 kWh enerji üretilebilir. Günlük ortalama enerji üretimi ise 6,1 kWh'tir.



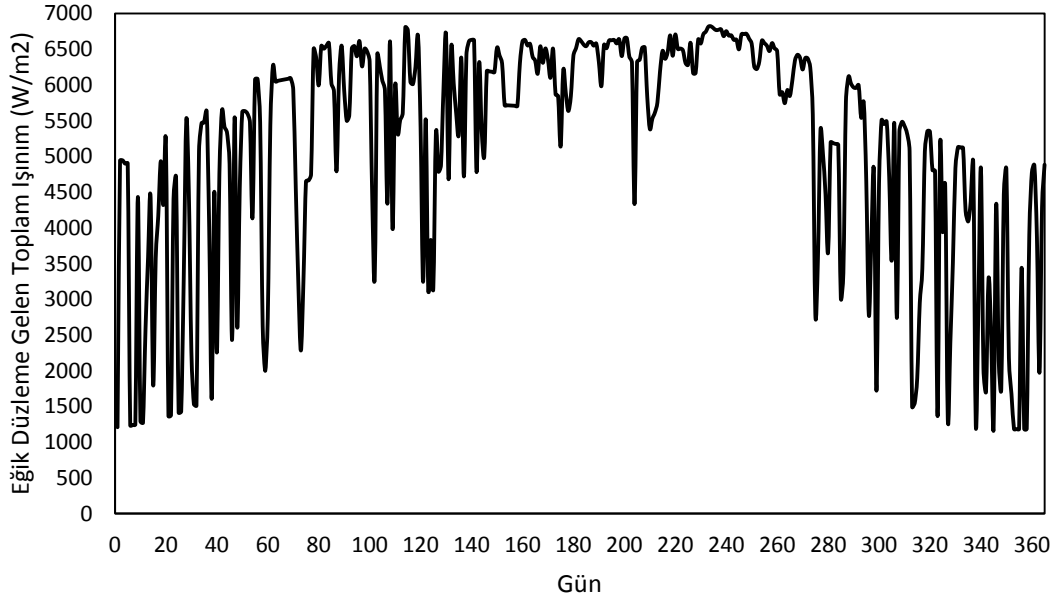
Şekil 4.4. Rüzgâr türbininden elde edilen günlük enerji

4.3. MERSİN İLİNİN İŞINIM DEĞERLERİ

Matlab programında oluşturulan kod ile hesaplanan yatay düzleme gelen toplam ışıınım şekil 4.5'te verilmiştir. Yatay düzleme gelen günlük ortalama ışıınım 4642 W/m^2 'dir. Yaz günlerinde bu değer 7287 W/m^2 'ye kadar çıkmaktadır. Eğik düzleme gelen toplam ışıınım şekil 4.6'da verilmiştir. Eğik düzleme gelen günlük ortalama güneş ışıınımını ise 5144 W/m^2 'dir. Yaz günlerinde bu değer 6697 W/m^2 'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.5. Yatay düzleme gelen günlük toplam ışıınım



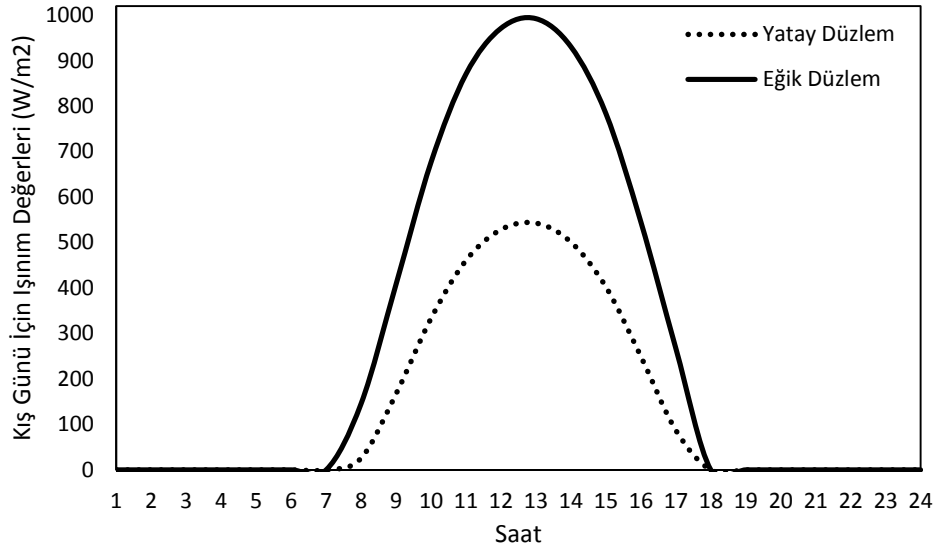
Şekil 4.6. Eğik düzleme gelen günlük toplam ışıınım

Tasarım günü en sıcak (19.07.2012) ve en soğuk (20.01.2012) günlere göre tespit edilmiş olup bu günlere ait iklim verileri çizelge 4.2’de verilmiştir.

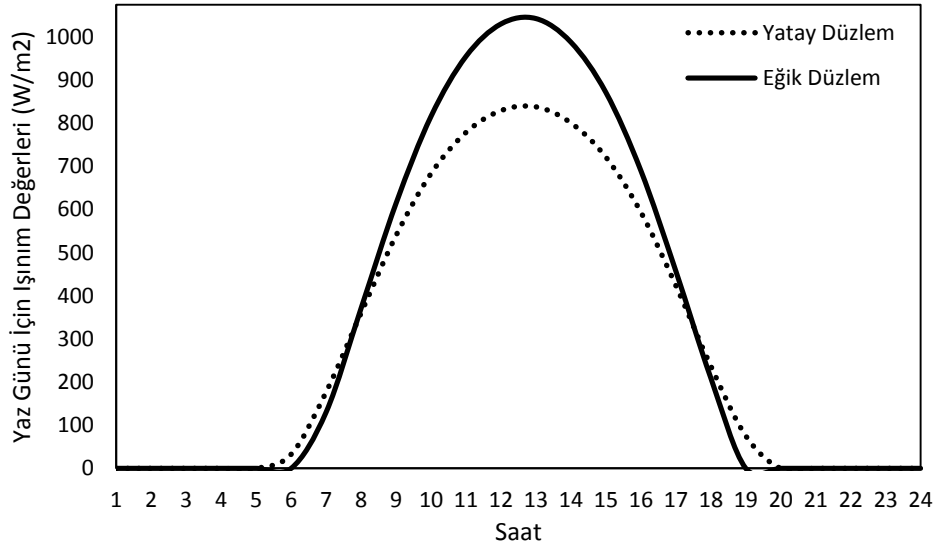
Çizelge 4.2. En sıcak ve en soğuk tasarım günlerinin iklim verileri

Kış Günü (20.01.2012)							Yaz Günü (19.07.2012)						
Saat	Sıcaklık (°C)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınım (W/m ²)	Eğik Düzleme Gelen Anlık Işınım (W/m ²)		Saat	Sıcaklık (°C)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınım (W/m ²)	Eğik Düzleme Gelen Anlık Işınım (W/m ²)	
1	-1.6	4.0	61.9	0.0	0.0		1	26.0	0.0	91.9	0.0	0.0	
2	-0.9	4.5	66.4	0.0	0.0		2	25.0	1.0	91.0	0.0	0.0	
3	-1.2	2.7	66.8	0.0	0.0		3	24.4	0.3	91.0	0.0	0.0	
4	-1.5	4.4	65.9	0.0	0.0		4	23.7	0.0	90.8	0.0	0.0	
5	-2.0	2.6	69.0	0.0	0.0		5	25.2	0.0	87.9	0.0	0.0	
6	-1.8	1.9	68.6	0.0	0.0		6	28.2	0.2	79.0	32.8	0.0	
7	0.5	3.9	58.9	0.0	0.0		7	30.5	1.1	71.1	177.2	130.3	
8	2.8	1.7	44.3	25.8	145.6		8	33.2	1.0	56.3	360.1	371.3	
9	4.8	3.8	36.1	167.2	408.4		9	34.7	1.1	50.0	539.6	614.6	
10	6.2	2.5	33.0	333.1	676.9		10	36.4	1.8	46.9	683.1	816.2	
11	7.4	2.0	28.8	460.6	870.8		11	39.1	1.4	28.6	778.5	955.2	
12	7.7	1.9	28.9	528.5	971.4		12	39.1	1.3	32.1	829.2	1030.4	
13	7.9	0.7	29.7	542.8	992.6		13	36.5	1.2	44.2	837.9	1042.8	
14	7.0	2.1	32.2	501.1	931.0		14	34.8	1.3	47.6	800.6	988.1	
15	6.2	0.9	38.1	402.9	784.0		15	33.8	0.0	51.3	721.6	871.6	
16	4.1	0.0	47.9	250.2	545.7		16	32.7	1.0	61.7	594.2	690.4	
17	2.9	0.7	51.5	87.5	267.5		17	31.8	0.5	63.2	424.4	457.6	
18	2.2	1.1	55.7	0.0	0.0		18	28.6	0.0	73.3	238.0	209.8	
19	1.7	1.2	56.5	0.0	0.0		19	26.3	0.3	83.9	75.9	0.0	
20	0.7	2.1	63.2	0.0	0.0		20	26.0	1.1	88.1	0.0	0.0	
21	0.8	1.6	63.6	0.0	0.0		21	25.9	0.0	90.2	0.0	0.0	
22	0.3	2.1	67.2	0.0	0.0		22	26.9	0.0	91.3	0.0	0.0	
23	0.4	0.9	67.2	0.0	0.0		23	27.4	0.0	91.7	0.0	0.0	
24	0.8	1.5	64.4	0.0	0.0		24	26.5	0.0	92.0	0.0	0.0	

Tasarım günlerindeki yatay ve eğik düzleme gelen anlık ışınlam değerleri sırasıyla şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



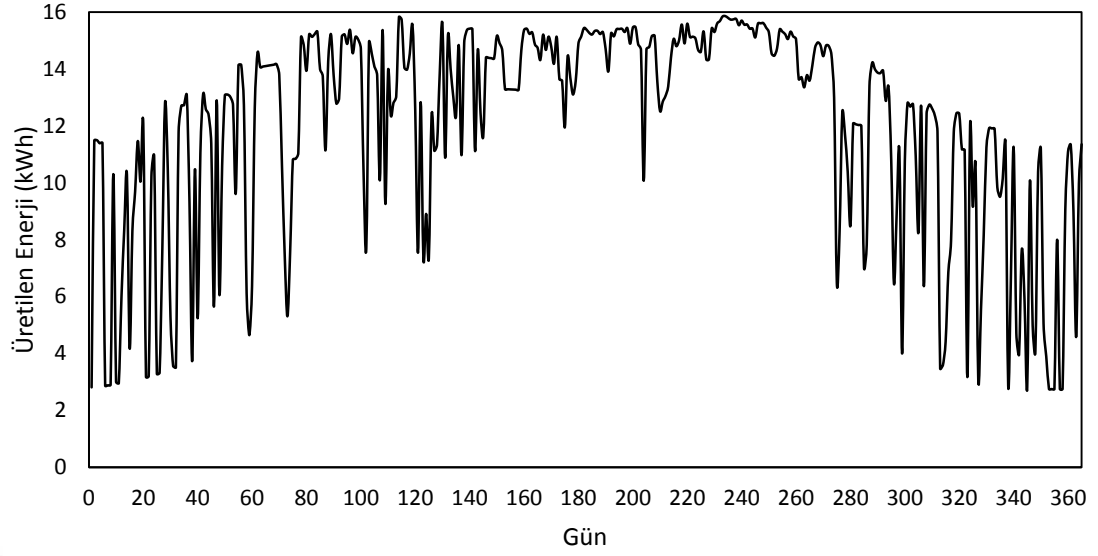
Şekil 4.7. En soğuk gün için ışınım değerleri



Şekil 4.8. En sıcak gün için ışınım değerleri

4.4. FOTOVOLTAİK PANELLERDEN ELDE EDİLEN ENERJİ

Ek-5'te teknik özellikleri verilen 1.5 m² alana sahip fotovoltaik panelden 10 adet kullanılarak elde edilen günlük enerji şekil 4.9'da verilmiştir. Bu fotovoltaik panellerden yılda toplam 4240 kWh enerji üretilebilir. Günlük ortalama enerji üretimi ise 11,62 kWh'tir.

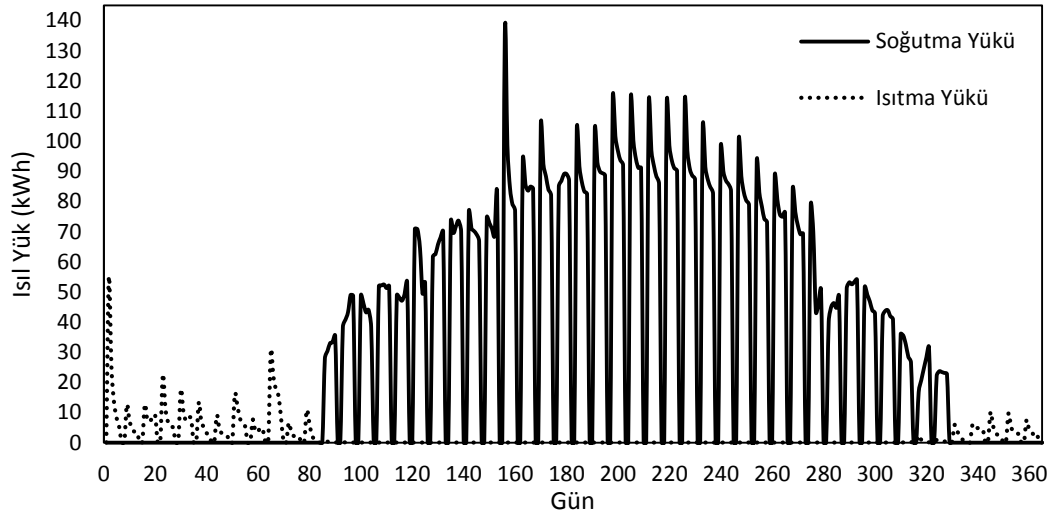


Şekil 4.9. Fotovoltaik panellerden elde edilen günlük enerji

4.5. KONUT DIŞI BİNANIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜ

4.5.1. Isıtma ve Soğutma Yüğü

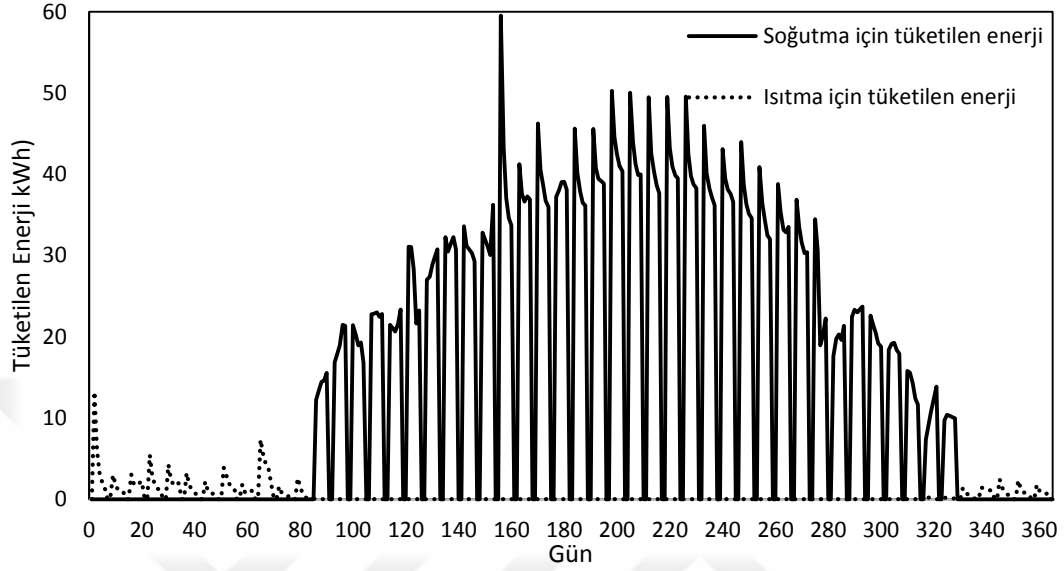
Konut dışı binanın günlük ısıtma ve soğutma yükleri şekil 4.10'da verilmiştir. Günlük ısıtma soğutma yüklerinin yıl bazında günlük ortalaması yaklaşık 33 kWh'tir. Toplam yıllık ısı yük ise 12076,92 kWh'dir.



Şekil 4.10. Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yükü

4.5.2. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Elektrik Tüketimi

Konut dışı binanın ısıtma ve soğutma yükünü karşılayacak hava kaynaklı ısı pompasının tükettiği günlük elektrik enerjisi şekil 4.11’de verilmiştir.



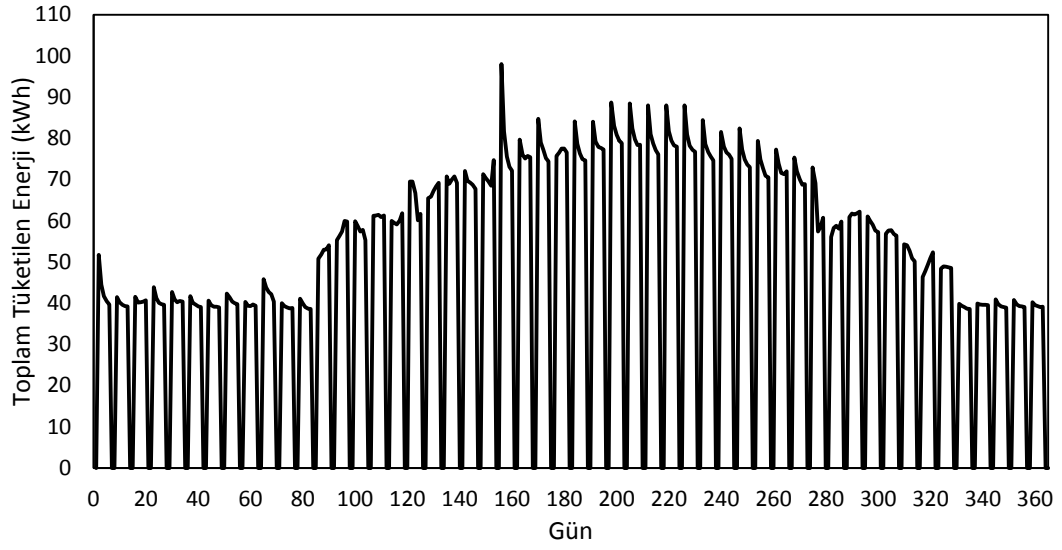
Şekil 4.11. Hava kaynaklı ısı pompasının tükettiği elektrik enerjisi

4.5.3. Diğer Elektrik Tüketimleri

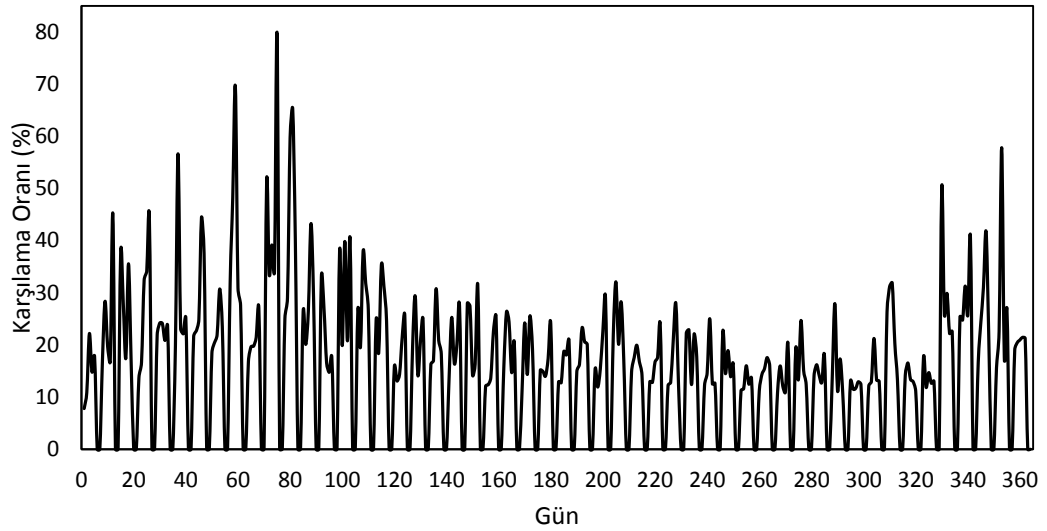
Konut dışı binanın toplam enerji ihtiyacının belirlenmesinde ısıtma ve soğutma yüklerine ek olarak elektrik ekipmanlarının harcadığı enerjinin de dikkate alınması gerekmektedir. Elektrik ekipmanlarının günlük harcadığı toplam enerji 38,44 kWh’tir. Bir yılda harcanan toplam enerji ise 14030,6 kWh’tir.

4.5.4. Toplam Elektrik Tüketimi ve Karşılama Oranı

Şekil 4.11’de verilen hava kaynaklı ısı pompasının günlük tükettiği elektrik enerjisi grafiğine elektrik ekipmanlarının harcadığı günlük 38,44 kWh enerji eklenmesiyle şekil 4.12’de verilen toplam tüketilen enerji grafiği elde edilmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisinin günlük enerji ihtiyacını karşılama oranları ise şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.12. Toplam Tüketilen Enerji



Şekil 4.13. Güneş ve rüzgâr enerjisinin enerji ihtiyacını karşılama oranları

Toplam tüketilen enerjiyi ısıl yükler ve diğer elektrik ekipmanları oluşturmaktadır. Isıl yükler 12076,92 kWh ve diğer elektrik ekipmanları 14030,6 kWh yıllık enerji tüketimini oluşturmaktadır. Toplamları (26107,52 kWh) ise konut dışı binanın yıllık toplam enerji ihtiyacını oluşturmaktadır. Bu enerji ihtiyacının % 8,51'i rüzgâr türbininden % 16,24'ü ise fotovoltaik panellerden karşılanmaktadır.

4.6. HİBRİT SİSTEMİN MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI

Yapılan piyasa araştırması sonucunda, 15 adet fotovoltaik panelin (toplam güç = 5kW) tüm sistemiyle birlikte (kurulum, çevirici, akü, bağlantılar vb.) maliyeti 10000 TL, 0,9 kW'lık rüzgâr türbininin tüm sistemiyle birlikte (kurulum, akü, şarj ünitesi, akü grubu, inverter, direk kule vb.) maliyeti 6500 TL olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Güneş-Rüzgâr hibrit sistemin toplam yıllık enerji üretimi 6463,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer elektriğin birim fiyatı 0,39 TL/kWh ile çarpıldığında yılda 2520,76 TL/Yıl kazanç elde edilmektedir. Diğer taraftan sermaye maliyeti ve bakım onarım fiyatları toplamı 2131,35 TL/Yıl olarak gider hesaplanmıştır. Bu değer 20 yılda 42627 TL'ye ulaşacaktır.

Sonuç olarak, bu iki sistemin ömrü $n = 20$ yıldır. Kurulması düşünülen hibrit sistemin amortisman süresi 17 yıl olarak hesaplanmıştır. Eğer bu hibrit sisteme 0,9 kW gücündeki rüzgâr türbini dahil olmasaydı ve sadece güneş panelleri kullanılsaydı, amortisman süresi 11 yıla düşecekti.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında Mersin’de bulunan 200 m² büyüklüğünde kapalı alanı içeren tek katlı bir poliklinik binası ele alınmıştır. Bu binada rüzgâr ve güneş enerji teknolojilerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları ve bazı öneriler maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- İncelenen bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli düşüktür. Mersin istasyonuna ait 10 m yükseklikteki rüzgâr verileri kullanılarak elde edilen yıllık ortalama hız 1,41 m/s’dir. Rüzgâr türbininden günlük ortalama enerji üretimi ise 6,1 kWh’tir.
- İncelenen bölgenin güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. 30° eğim açısına sahip fotovoltaik panele gelen günlük ortalama güneş ışınımı 5144 W/m²’dir. Fotovoltaik panellerinden üretilen günlük ortalama enerji üretimi ise 11,62 kWh’tir.
- Konut dışı binanın günlük ortalama enerji ihtiyacı 35 kWh’tir.
- Konut dışı binanın bir yıllık enerji ihtiyacının % 8,51’i rüzgâr türbininden ve %16,24’ü fotovoltaik panellerden karşılanmaktadır.
- Rüzgâr ve güneş enerjilerinden oluşan hibrit sistemin amortisman süresi 17 yıldır. Sistemin ömrü 20 yıl olduğu için incelenen konut dışı binada böyle bir sistemin kullanılması yapılabilir değildir. Sadece Fotovoltaik panel sisteminin kullanılması durumunda ise amortisman süresi 11 yıla düşecektir ve buna benzer bir sistemin kullanılması uygundur.
- Bu çalışmada kullanılan Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen verilerinin doğruluğunu test etmek amacıyla gerekli ölçümler yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan bilgisayar programlarına ek olarak, doğru sonuçlar verdiği kanıtlanmış başka bilgisayar programları kullanılarak karşılaştırılması yapılabilir.
- Bilgisayar programlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçların yanında, konut dışı binanın ve bu binada kullanılacak hibrit rüzâr ve güneş enerji sisteminin gerçek koşullar altında incelenmesiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Bu çalışmada yapılan hesaplamalara, konut dışı binanın yakınında bulunan yüksek katlı binaların gölgelenme etkisi de dahil edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] World Energy Council, Turkish National Committee (WECTNC) Energy Report, 2002.
- [2] Bhattacharjee, S. and Acharya, S., “PV-wind hybrid power option for a low wind topography”, *Energy Conversion and Management*, 89, 942-954, (2015).
- [3] Ma, T., et al., “A feasibility study of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island”, *Applied Energy*, 121, 149-158, (2014).
- [4] Belmili, H., et al., “Sizing stand-alone photovoltaic-wind hybrid system: techno-economic analysis and optimization”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 821-832, (2014).
- [5] Nogueira, C. E. C., et al., “Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of Brazil”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 151-157, (2014).
- [6] Rohani, G. and Nour, M., “Techno-economical analysis of stand-alone hybrid renewable power system for Ras Musherib in United Arab Emirates”, *Energy*, 64, 828–841, (2014).
- [7] Ma, T., et al., “Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong”, *Renewable Energy*, 69, 7-15, (2014).
- [8] Liu, S. Y., et al., “The effect of renewable energy application on Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for solar energy exploitation?”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 92-106, (2013).
- [9] Bataineh, K. M. and Dalalah, D., “Assessment of wind energy potential for selected areas in Jordan”, *Renewable Energy*, 59, 75-81, (2013).
- [10] Abarkan, M., et al., “Analysis of energy consumption for a building using wind and solar energy sources”, *Energy Procedia*, 42, 567-576, (2013).
- [11] Türkay, B. E. and Telli, A. Y., “Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems, *Renewable Energy*, 36, 1931-1943, (2011).
- [12] Chen, H. H., et al., “Strategic selection of suitable projects for hybrid solar-wind power generation systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 413-421, (2010).

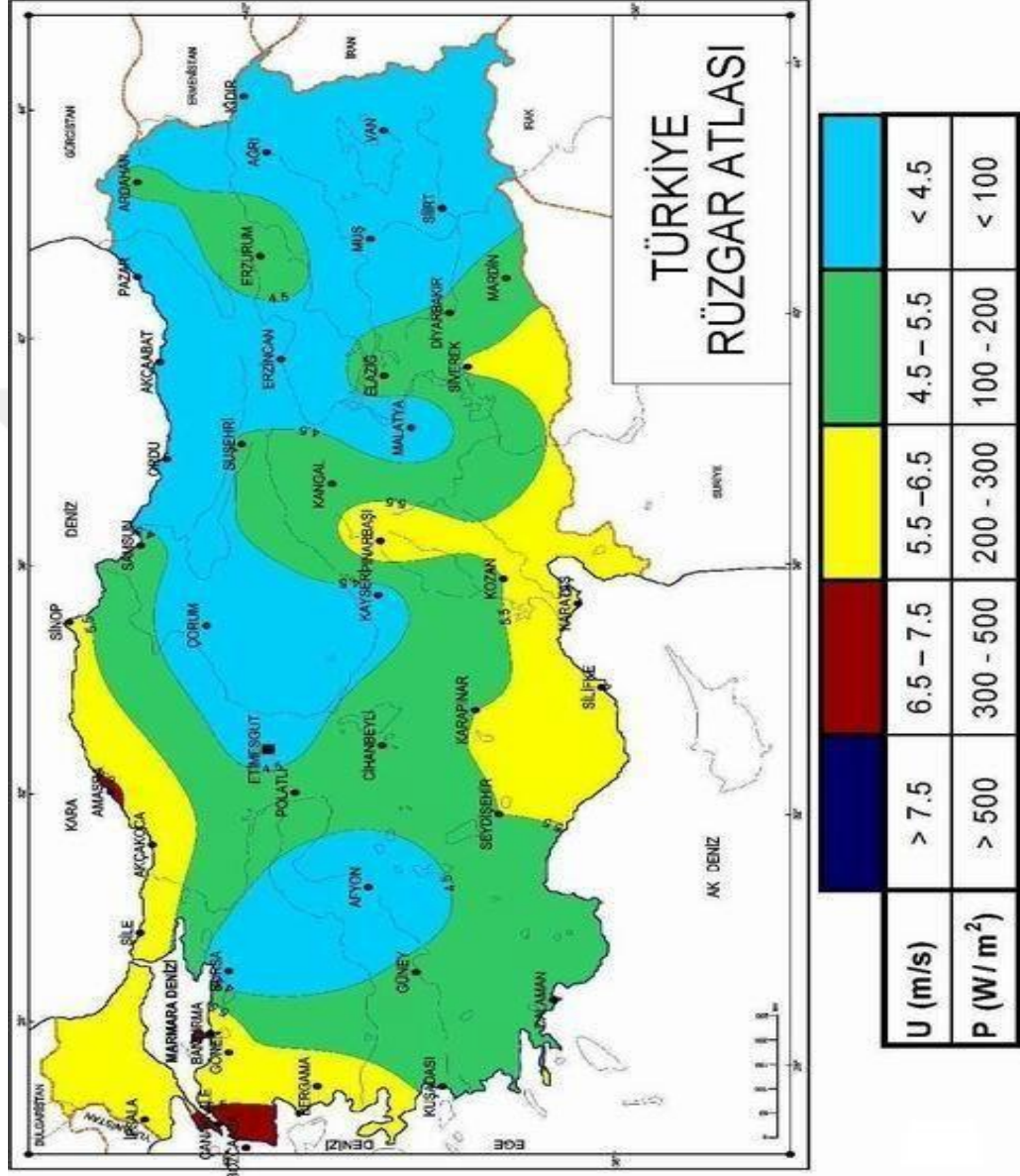
- [13] Bekele, G. and Palm, B., “Feasibility study for a standalone solar-wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia”, *Applied Energy*, 87, 487-495, (2010).
- [14] Nema, P., et al., “Minimization of green house gases emission by using hybrid energy system for telephony base station site application”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1635-1639, (2010).
- [15] Arslan, O., “Technoeconomic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey”, *Energy*, 35, 120-131, (2009).
- [16] Kenfack, J., et al., “Microhydro-PV-hybrid system: Sizing a small hydro-PV-hybrid system for rural electrification in developing countries”, *Renewable Energy*, 34, 2259-2263, (2009).
- [17] Karaghoulı, K. K., et al., “Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2009).
- [18] Nandi, K. S. and Ghosh, H. R., “A wind-PV-battery hybrid system at Sitakunda in Bangladesh”, *Energy Policy*, 37, 3659-3664, (2009).
- [19] Eskin, N., et al., “Wind energy potential of Gokcead Island in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839–851, (2008).
- [20] Köse, F. ve Özgören, M., “Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgâr Türbini Seçimi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 551, 20-30, (2005).
- [21] Engin, M. ve Çolak, M., “Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi”, *Cilt:11, Sayı:2*, 225-230, (2005).
- [22] Kaygusuz, K. and Sarı, A., “Renewable energy potential and utilization in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 44, 459-478, (2003).
- [23] Kaygusuz, K. and Ayhan, T., “Analysis of solar radiation data for Trabzon, Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 40, 545-556, (1999).
- [24] Manwell, J. F., et al., “Wind energy explained”, John Wiley & Sons Ltd., 44-60, (2002).
- [25] Vikipedi Ansiklopedi, “Rüzgâr profili güç kanunu”, http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_profili_g%C3%BC%C3%A7_kanunu (04.04.2013).
- [26] Meyer, Paul L., “Introductory probability and statistical applications”, Addison-Wesley Publishing Company, 66-67, (1974).

- [27] Gülersoy, T. ve Çetin, N. S., “Menemen Bölgesinde Rüzgâr Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması”, Ege Üniversitesi, Politeknik Dergisi Cilt:13 Sayı: 3 s. 209-213, İzmir, (2010)
- [28] Almalı, M.N., “İki parametrelili Weibull dağılımında parametrelerin tahminlenmesi için farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve rüzgar hızı verilerine uygulanması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148 s., (2005).
- [29] Aytaç, M., “Matematiksel İstatistik, 3.Baskı”, Ezgi Kitabevi, Bursa, 508 s., (2004).
- [30] Kurban, M., Hocaoğlu, F.O. ve Kantar, Y.M., “Rüzgar enerjisi potansiyelinin tahmininde kullanılan iki farklı istatistiksel dağılımın karşılaştırmalı analizi”, Pamukkale Üniversitesi Müh. Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 103-109 (2007).
- [31] Akdağ, S.A., Dinler, A. ve Menteş, Ş.S., “Rüzgar karakteristiğinin analizi”, IV.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKSEM’2007, Gaziantep, (31 Ekim-2 Kasım 2007).
- [32] Oral, F., Ekmekçi, İ., “Sakarya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli”, V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu/YEKS’2009, 295-302, Kayseri, (16-17 Ekim 2009).
- [33] Chang, T.J., et al., “Assesment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan”, Renewable Energy, 28, 851-871, (2003).
- [34] Carnahan, B., et al., “Applied Numerical Methods”, John Wiley & Sons Ltd., 101-111, (1969).
- [35] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği “Türkiye Rüzgâr Santralleri Atlası”, <http://www.tureb.com.tr/tr/bilgi-bankasi/turkiye-res-durumu?download=108:turkiye-ruzgar-santralleri-atlasi-ocak-2015>.
- [36] Kılıç, A. ve Öztürk A., “Güneş Enerjisi”, Segem Ders Notları, Ankara, (1984).
- [37] EnergPlus, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>, U.S. Department of Energy, Washington, USA, (April 1, 2015).
- [38] EnergyPlus, EnergyPlus Energy Simulation Software Getting Started with EnergyPlus, U.S. Department of Energy, Washington, USA, (October 1, 2013).
- [39] ASHRAE Handbook - Fundamentals SI, (2009).

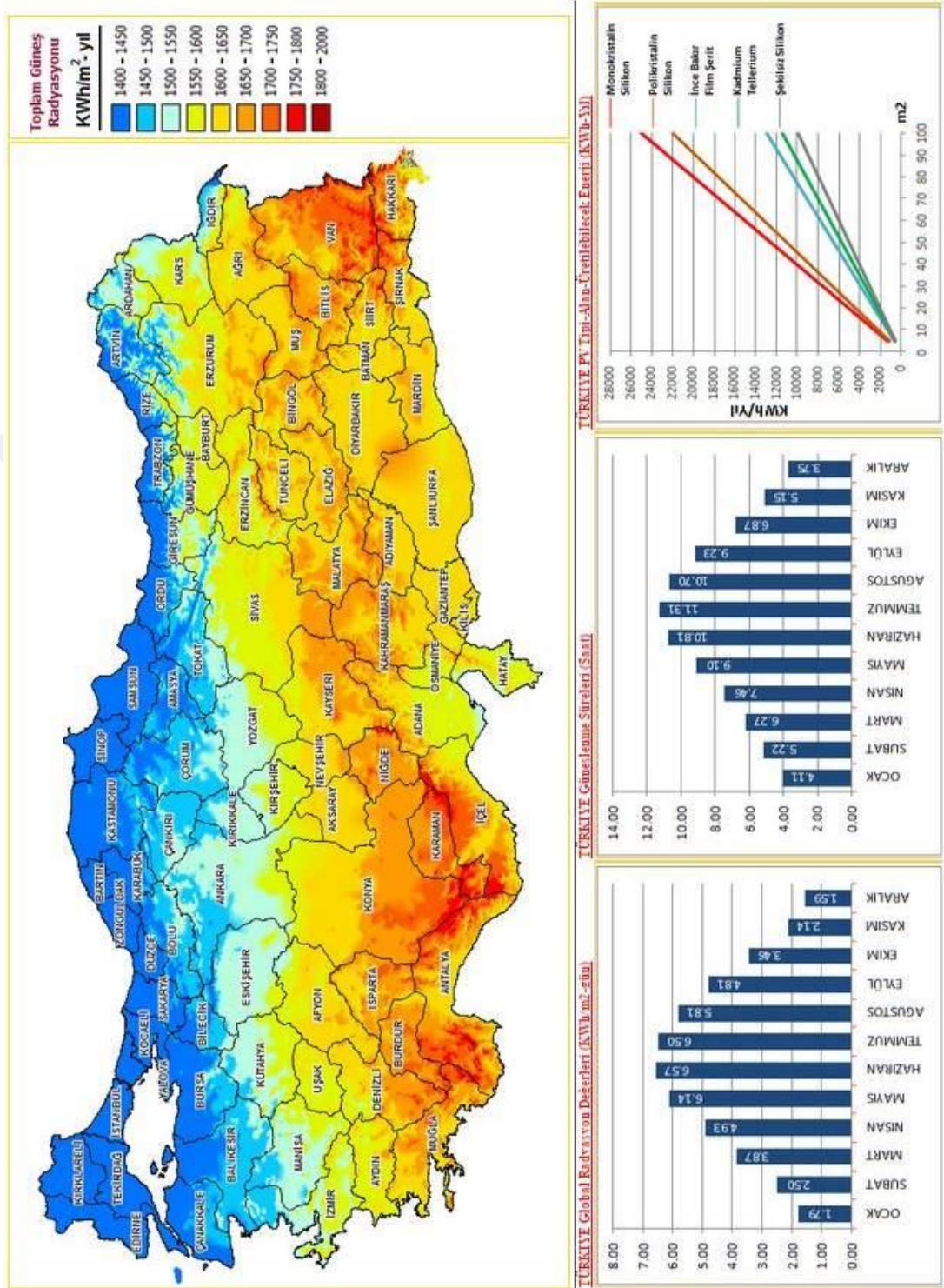
- [40] ANSI/ASHRAE Standard 55, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, (2004).
- [41] ANSI/ASHRAE Standard 62.1, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, (2007).
- [42] ANSI/ASHRAE Standard 90.1, “Lighting Power Densities”, (2007).
- [43] Çengel, Y.A ve Boles, M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, 5.Baskı, Çeviri Editörü: Ali Pınarbaşı, 945 s., (2012).
- [44] Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Türkiye Rüzgâr Atlası”, <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası>, (20.05.2015).
- [45] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası”, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (20.05.2015).
- [46] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Mersin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası”, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/33.aspx>, (20.05.2015).
- [47] Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufacturers, “Travere 0.9 kW wind turbine”, http://www.urbanwind.net/pdf/Catalogue_Final.pdf, page 42, (July 2015).
- [48] SunPower Corporation, “Sunpower E20/333 solar panel”, <http://www.solarchoice.net.au/blog/wp-content/uploads/SunPower-e20-Solar-Panels-Spec-Sheet.pdf>, (2011).
- [49] Baymak, “HP-RS 140 hava kaynaklı ısı pompası”, <http://baymak.com.tr/UserFiles/ProductDocument/Is%C4%B1%20Pompalar%C4%B1%20Katalog327.pdf>, (20.05.2015).
- [50] Zile, M., “Tarsus ilçesinde güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin akıllı şebekelere entegrasyonu”, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, Ankara, (26-27 Nisan 2013).

EKLER

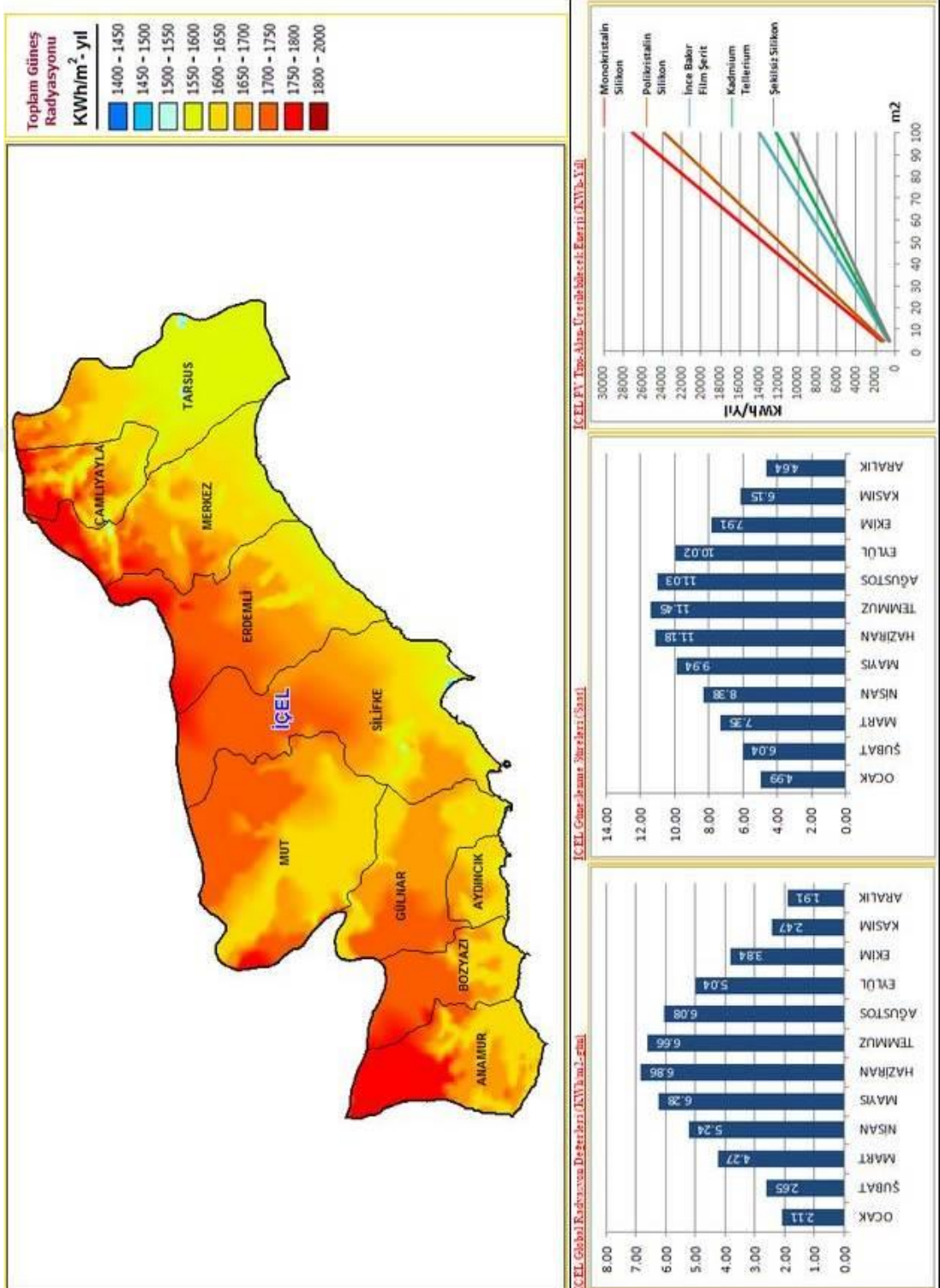
Ek 1. Türkiye Rüzgâr Atlası [44]



Ek 2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [45]



Ek 3. Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [46]



Ek 4. Travers 0,9 kW Rüzgâr Türbininin Teknik Özellikleri [47]

Çalışmaya Başlama Hızı : 2,3 m/s

Maksimum Güç Üretme Hızı: 10 m/s

Son Çalışma Hızı: 60 m/s

Süpürme Alanı: 4,52 m²

Rotor Ağırlığı (Jeneratör Dahil): 50 kg

Rotor Çapı: 2,4 m

Maksimum Rotor Dönüş Hızı (Maksimum Güç Üretme Hızında): 750 devir/dk

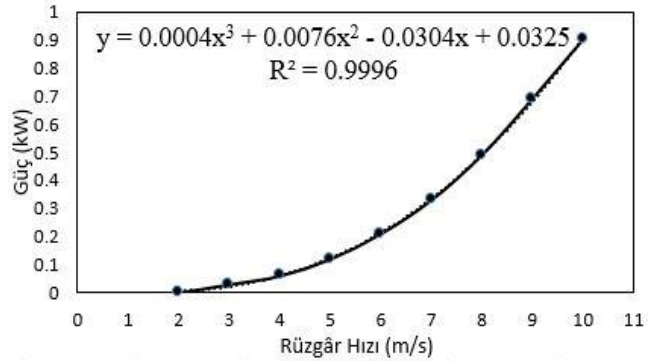
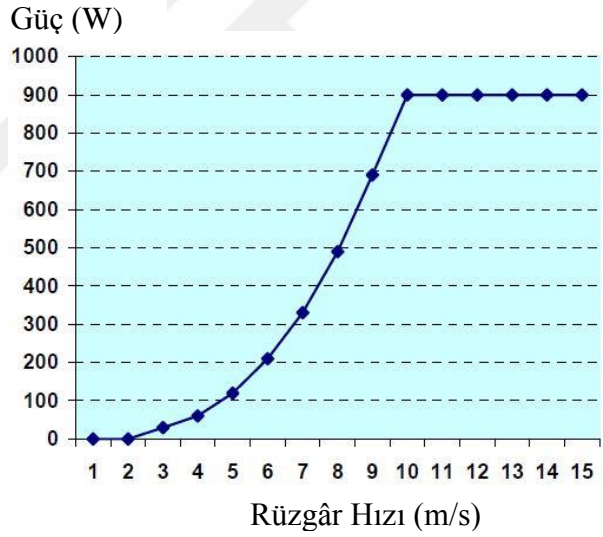
Kanat Sayısı: 2

Kontrol Sistemi: Elektronik

Kule Yüksekliği: 10 m

Güç Eğrisi:

Rüzgâr Hızı (m/s)	Güç (kW)
1	0
2	0
3	0,03
4	0,06
5	0,12
6	0,21
7	0,33
8	0,49
9	0,69
10	0,90
11	0,90
12	0,90
13	0,90
14	0,90
15	0,90



Ek 5. Sunpower E20/333 güneş panelinin teknik özellikleri [48]

P_{nom}: 333 W (Test koşulunda; hücre sıcaklığı 25 C° ve ışınım 1000 W/m²)

P_{nom}: 247 W (İşletme koşulunda; hücre sıcaklığı 20 C°, rüzgâr hızı 1 m/s ve ışınım 800 W/m²)

NOCT: 45 C° ± 2 C°

Hücre Verimi: % 22,8

Panel Verimi: % 20,4

Efektif Alan: 1,5 m²

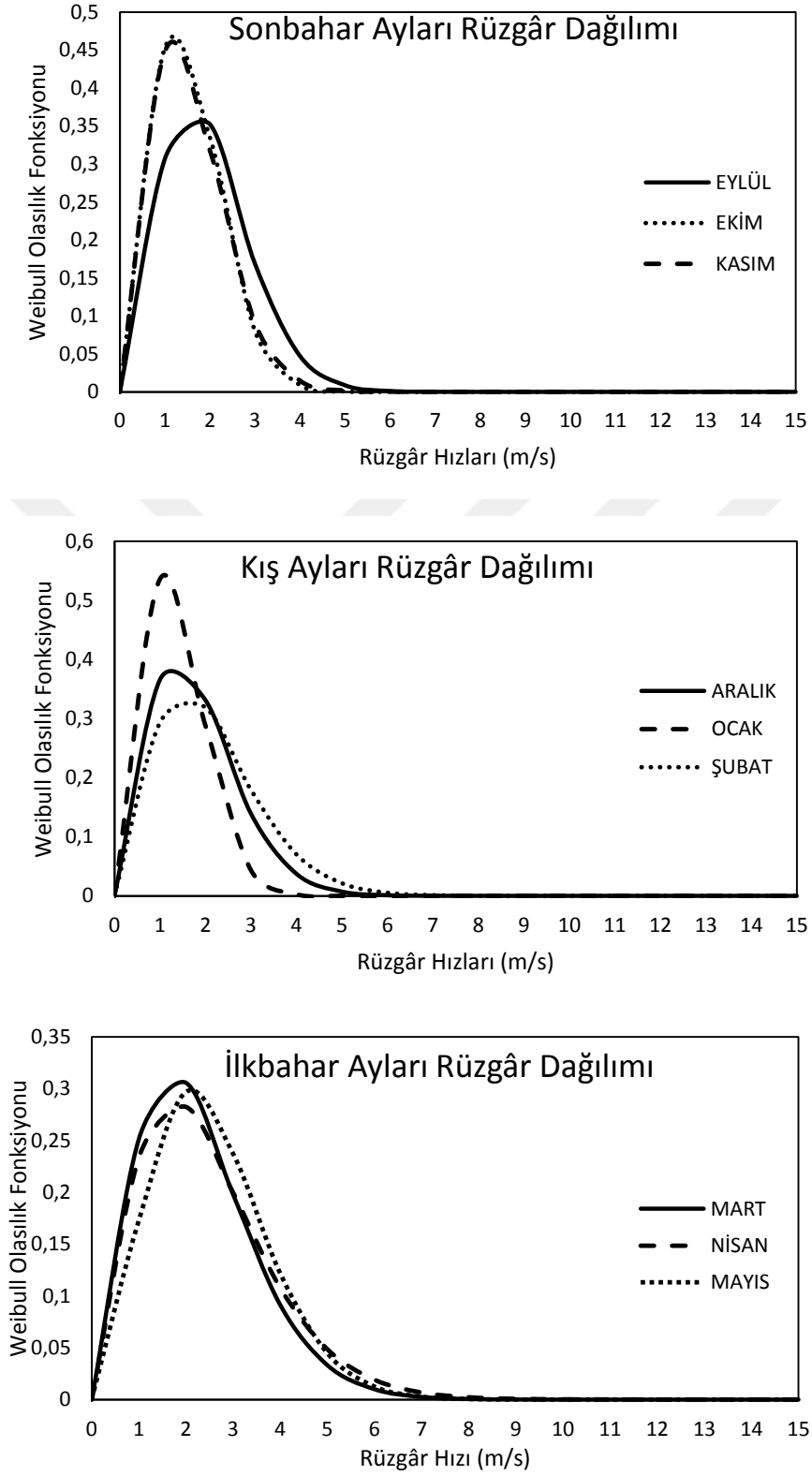
Referans Sıcaklık Değeri: 25 C°

Panel Eğimi (s): 30°

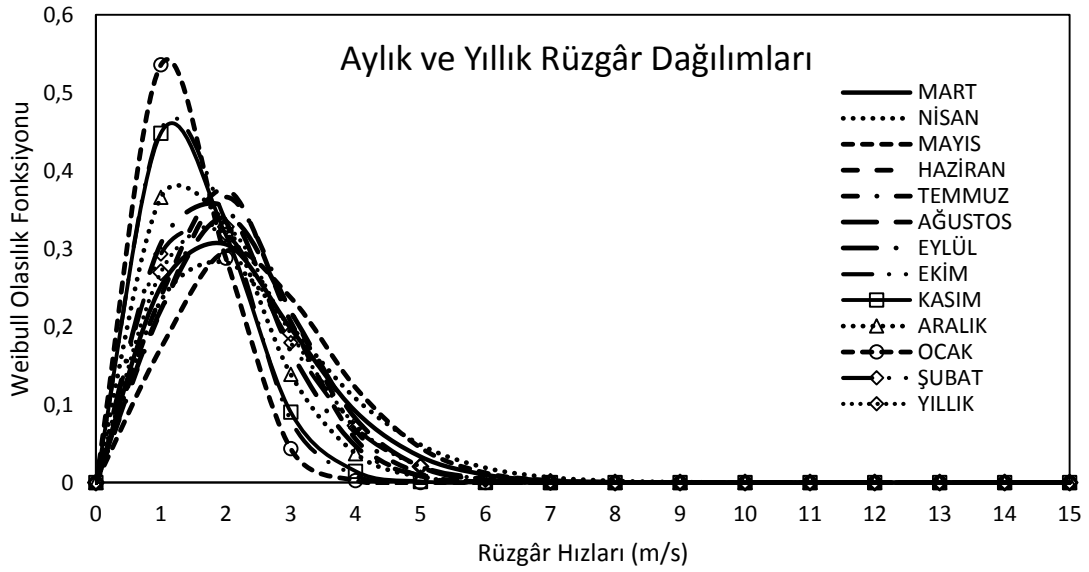
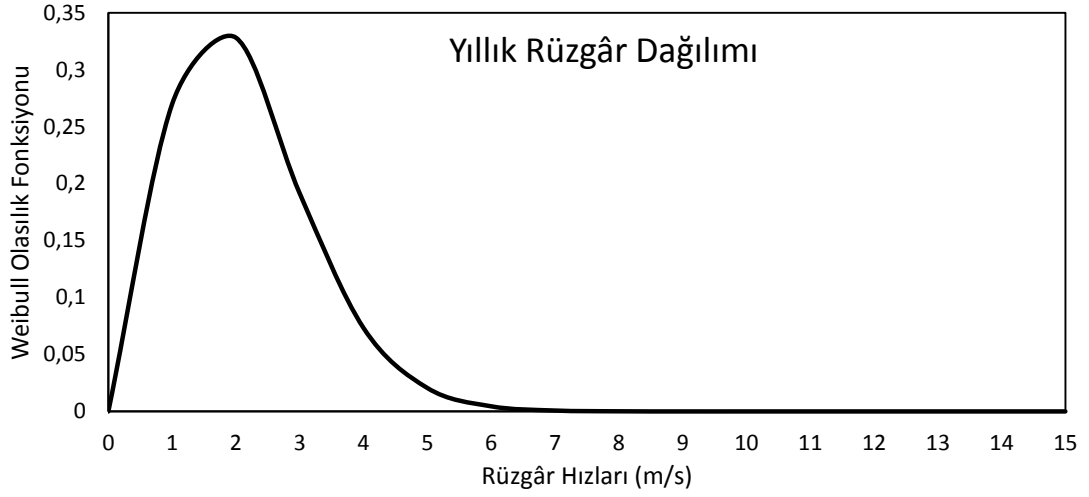
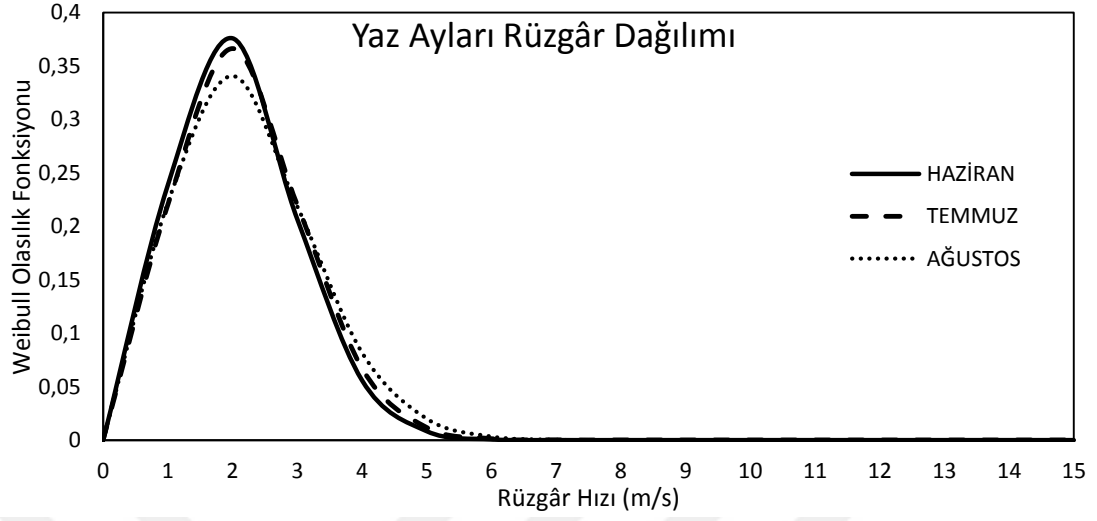
Maksimum Güç Noktası Sıcaklık Katsayısı (m_p): -0,0038

Yerin Yansıtma Katsayısı (q): 0,2

Ek 6. Rüzgâr dağılım grafikleri



Ek 6. Devamı Rüzgâr dağılım grafikleri



Ek 7. Rüzgâr enerjisi hesapları için Matlab program kodu

```
clear all
n=720;
g=1;
V=xlsread('mersinhaziranveri.xlsx');

for j=1:g;
    m=0.5;
    for t=1:100;

        for i=1:n;
            a(i,j)=(V(i,j)^m)*log(V(i,j));
            b(i,j)=V(i,j)^m;
            d(i,j)=log(V(i,j));
        end

        a1=sum(a(:,j));

        k(j)=(sum(a(:,j))/sum(b(:,j))-(sum(d(:,j))/n)).^(-1);
        c(j)=((1/n)*sum(b(:,j)))^(1/k(j));
        Vort(j)=c(j)*gamma(1+1/k(j));

T=720;
q=1.225;

RGY(j)=0.5*q*(c(j).^3)*gamma(k(j)+3/k(j));
REY(j)=0.5*q*(c(j).^3)*gamma(k(j)+3/k(j))*T;

        err(j)=abs(k(j)-m)*100/k(j);

        if err(j)<10
            k(j)=m;
        else
            m=m+0.05;
        end

        if (err(j)<10) break
        end
    end
end
```

Ek 7. Devamı Rüzgâr enerjisi hesapları için Matlab program kodu

```
aa=j
nn=16;
Vk=2.3;
Vr=10;
Vb=60;
D=2.4;
q=1.225;
TT=24*30;
N=15;
bb=15;
aaa=0;
Pr=0.5*q*pi*((D^2)/4)*(Vr^3);
VV=xlsread('hizaralik.xlsx');
for ii=1:nn;
f(ii)=(k/c)*((VV(ii)/c)^k)*exp(-(VV(ii)/c)^k);
F(ii)=1-exp(-pi()/4*(VV(ii)/Vort)^2);
if VV(ii)<2.3
    Pt(ii)=0;
    Pti(ii)=0;
else if (2.3<=VV(ii)) && (VV(ii)<10)
    Pt(ii)=Pr*((0.0004)*(VV(ii)^3)+0.0076*(VV(ii)^2)-
0.0304*VV(ii)+0.0325);
    Pti(ii)=0.5*q*pi*((D^2)/4)*(VV(ii)^3);
    else if (10 <= VV(ii)) && (VV(ii) <60)
        Pt(ii)=Pr;
        Pti(ii)=Pr;
    else
        Pt(ii)=0;
        Pti(ii)=0;
    end
end
end
PTF(ii)=Pt(ii)*f(ii);
PTFi(ii)=Pti(ii)*f(ii);
end
end
Etg=((bb-
aaa)/(2*N))*TT*(PTF(1)+PTF(16)+2*sum(PTF(2:15)))/1000
%kWh
Eti=((bb-
aaa)/(2*N))*TT*(PTFi(1)+PTFi(16)+2*sum(PTFi(2:15)))/1000
%kWh
eta=Etg/Eti
Etr=TT*Pr;
Cf=Etg/Etr
```

Ek 8. Güneş enerjisi hesaplamaları için Matlab progrma kodu

```
clear all
g=4551; e=36.89; By=34.95; s=30;
Z=7; %deniz yüksekliği (m)
Igs=1353; %güneş sabiti (W/m2)
n=xlsread('gunsayisisaat.xlsx');
MS=xlsread('ms.xlsx');
t=xlsread('guneslenmesuresi.xlsx');

for j=1:g;

%Atmosfer dışında birim alana bir gün boyunca gelen güneş
ışınımı, Qo (Mj/m2gün)
f(j)=1+0.033*cosd(360*n(j)/365);
d(j)=23.45*sind((360*(n(j)+284)/365));
H(j)=acosd(-tand(d(j))*tand(e));
tg(j)=(2/15)*H(j); %gün uzunluğu (saat)
Qo(j)=(24/pi)*Igs*(36/10000)*f(j)*(cosd(d(j))*cosd(e)*sind(H(j))+(pi/180)*H(j)*sind(d(j))*sind(e));

%Tüm güneş ışınımı, Q (Mj/m2gün)
a(j)=0.103+0.000017*Z+0.198*cosd(e-d(j));
b(j)=0.533-0.165*cosd(e-d(j));
Q(j)=Qo(j)*(a(j)+(b(j)*(t(j)/tg(j))));

%Anlık tüm güneş ışınımı, I (W/m2)
x(j)=360*(n(j)-1)/365.242;
ZD(j)=0.0043*cosd(x(j))-0.1236*sind(x(j))-0.0608*cosd(2*x(j))-0.1538*sind(2*x(j));
GS(j)=MS(j)-(((30-By)/15))+ZD(j);
h(j)=15*(12-GS(j));
too(j)=exp((-4)*(1-(abs(h(j))/H(j)))^2);
rt(j)=(pi/(4*tg(j))*cosd(90*h(j)/H(j)+(2/sqrt(pi))*(1-too(j))));
I(j)=abs(rt(j)*Q(j)*(10000/36)); %W/m2

%Anlık direkt güneş ışınımı, Id (W/m2)
Kt(j)=Q(j)/Qo(j);
Ky(j)=1-1.13*Kt(j);
Qy(j)=Ky(j)*Q(j);
Qd(j)=Q(j)-Qy(j);
ry(j)=(pi/24)*(cosd(h(j))-cosd(H(j)))/(sind(H(j))-(pi/180)*H(j)*cosd(H(j)));
Iy(j)=abs(ry(j)*Qy(j)*(10000/36));
```

Ek 8. Devamı Güneş enerjisi hesaplamaları için Matlab progrma kodu

```
Id(j)=abs(I(j)-Iy(j));

%Eğik düzlem
%Güneş ışınlarının yüzeye paralel gelmesi halinde saat açısı, Hp
Hp(j)=acosd(-tand(e-s)*tand(d(j)));
if Hp(j)<H(j)
    Hg(j)=Hp(j);
else
    Hg(j)=H(j);
end
Rd(j)=(cosd(d(j))*cosd(e-s)*sind(Hg(j))+(pi/180)*Hg(j)*sind(d(j))*sind(e-s))/(cosd(d(j))*cosd(e)*sind(H(j))+(pi/180)*H(j)*sind(d(j))*sind(e));
q=0.2; %yerin yansıtma oranı
R(j)=Rd(j)*(1-Ky(j))+Ky(j)*((1+cosd(s))/2)+q*((1-cosd(s))/2);
Ie(j)=R(j)*I(j);
Asurf=15; % PV yüzey alanı
factiv=0.8;
etacell=0.204;
etainvert=0.95;
PPV(j)=Asurf*factiv*Ie(j)*etacell*etainvert;
In(j)=Igs*f(j); %Atm. Dışında normal düzleme gelen ışınım
Io(j)=abs(In(j)*(cosd(d(j))*cosd(e)*cosd(h(j))+sind(d(j))*sind(e)));%Atm. Dışında yatay düzleme gelen ışınım
end
```


Ek 9. Baymak HP-RS 140 hava kaynaklı ısı pompasının teknik özellikleri [49]

MODELLER			HP-RS 60	HP-RS 80	HP-RS 100	HP-RS 120	HP-RS 140	
DC Inverter Dış Ünite			LRSJF-V140/SN1-610	LRSJF-V140/SN1-610	LRSJF-V140/SN1-610	LRSJF-V140/SN1-610	LRSJF-V140/SN1-610	
Güç Kaynağı			Ph-V-Hz	1-220-240-50	1-220-240-50	1-220-240-50	3-380-415-50	3-380-415-50
Maksimum Akım			A	14	15	22	9	9
Isıtma	Kapasite	kW	6	8	10	12	14	
	COP		4,15	4,08	4,3	4,17	4,13	
	Ortam Sıcaklığı	°C	(-15-43)	(-15-43)	(-15-43)	(-15-43)	(-15-43)	
Soğutma	Kapasite	kW	5,5	6,3	8,5	8,8	8,8	
	EER		2,45	2,23	2,45	2,22	2,28	
	Ortam Sıcaklığı	°C	(15-43)	(15-43)	(15-43)	(15-43)	(15-43)	
Ölçüler	Net Ölçüler (GxYxD)	mm	895X862X313	895X862X313	900X1327X348	900X1327X348	900X1327X348	
	Net / Brüt ağırlık	Kg	66 / 70	66 / 70	89 / 101	89 / 101	89 / 101	
Ses Seviyesi			db(A)	58	58	58	58	
Soğutucu Akışkan	Tip / Miktar	Kg	R410A / 2,4	R410A / 2,4	R410A / 2,7	R410A / 2,7	R410A / 2,7	
	Sistem Basıncı	Mpa	4,4 / 2,6	4,4 / 2,6	4,4 / 2,6	4,4 / 2,6	4,4 / 2,6	
Kompresör	Tip		Twin-Rotary	Twin-Rotary	Twin-Rotary	Twin-Rotary	Twin-Rotary	
	Marka		Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi	
	Kapasite	W	7130	7130	9880	9880	9880	
Fan Motoru	Giriş Gücü	W	168/146	168/146	107x2	107x2	107x2	
	Hız	r/min	877/749	877/749	800	800	800	
DC Inverter İç Ünite			SMK-60/CD30GN1	SMK-80/CD30GN1	SMK-100/CD30GN1	SMK-120/CSD80GN1	SMK-140/CSD80GN1	
Güç Kaynağı			Ph-V-Hz	1-220-240-50	1-220-240-50	1-220-240-50	3-380-415-50	3-380-415-50
İşlev	Tip		Isıtma & Soğutma	Isıtma & Soğutma	Isıtma & Soğutma	Isıtma & Soğutma	Isıtma & Soğutma	
	Isıtma	°C	15-55	15-55	15-55	15-55	15-55	
	Soğutma	°C	7-22	7-22	7-22	7-22	7-22	
	Sıcak Kullanım Suyu	°C	35-60	35-60	35-60	35-60	35-60	
	Maksimum Akım	A	13,5	13,5	13,5	20	20	
Ses Seviyesi			db(A)	32	32	32	32	
Ölçüler	Net Ölçüler (GxYxD)	mm	500x900x375	500x900x375	500x900x375	500x900x375	500x900x375	
	Net / Brüt ağırlık	Kg	60 / 72	63 / 75	63 / 75	63 / 75	63 / 75	
Ekstra Isıtıcı	Kapasite	kW	1,5+1,5	1,5+1,5	1,5+1,5	4+4	4+4	
	Adet	pcs	2	2	2	2	2	
Su Boru Hattı	Su Giriş Bonusu	mm	DN82	DN82	DN82	DN82	DN82	
	Su Çıkış Bonusu	mm	DN82	DN82	DN82	DN82	DN82	

Test Şartları:

1. Isıtma : Dış ortam sıcaklığı: 7/6°C (DB/WB), Su giriş sıcaklığı: 30°C, Su çıkış sıcaklığı: 35°C
2. Soğutma : 35°C/24°C (DB/WB), Su giriş sıcaklığı: 12°C, Su çıkış sıcaklığı: 7°C

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Burhan BAYHAN

Doğum Tarihi: 23.02.1988

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Selçuklu Lisesi	2002-2005
Lisans	Makine Mühendisliği	Niğde Üniversitesi	2007-2009
Lisans	Makine Mühendisliği	Selçuk Üniversitesi	2009-2012
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Selçuk Üniversitesi	2012-2013
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2013-2015

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Öğrenci Asistanı	Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2011-2012
Kontrol Elemanı	DM Yapı Denetim Ltd. Şti.	2012-2013
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2013-

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Arslan, G. and Bayhan, B., “Use of Wind and Solar Energy Tecnologies in Non-Residential Building”, International Conference on Energy & Management Conference, Proceeding Abstracts Book, İstanbul Bilgi University, page: 127, June 5-7,2014.
2. Bayhan, B. and Arslan, G., “Hybrid Solar and Wind Power System Desing for Nonresidential Buildings in Mersin, Turkey”, 5th International 100 % Renewable Energy Conference, Proceedings Book , İstanbul, page: 103-108, May 28-30,2015.