

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ - RÜZGAR HİBRİT SİSTEMLERİN MALİYET OPTİMİZASYONU

BURHAN BARAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA

Haziran 2012

Tezin Başlığı: Güneş - Rüzgar Hibrit Sistemlerin Maliyet Optimizasyonu

Tezi Hazırlayan: Burhan BARAN

Sınav Tarihi: 05.06.2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Doç. Dr. Müslüm ARKAN

Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin TAĞLUK

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güneş - Rüzgar Hibrit Sistemlerin Maliyet Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Burhan BARAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ - RÜZGAR HİBRİT SİSTEMLERİN MALİYET OPTİMİZASYONU

Burhan BARAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

76 + x sayfa

2012

Danışman: Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ

Bu çalışmada Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneş ve rüzgar verileri kullanılan güneş-rüzgar hibrit sistem tasarımı için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Hibrit güneş-rüzgar güç üretim sistemlerinin tasarımında iki temel konu üzerinde araştırma yapılması gerekmektedir. Bunlardan birincisi değişen atmosferik koşullar altında hibrit sistemde yükün güçsüz kalma olasılığı, ikincisi ise bu olasılığa bağlı olarak oluşan sistem maliyetidir. Optimum sistem tasarımında bu iki kriterin de minimum seviyede olması gereklidir. Bu çalışmada her iki kriterin minimum olduğu değerleri hesaplamak için MATLAB'de bir program yazılmıştır. Optimizasyon sürecindeki karar değişkenleri güneş pili sayısı, rüzgar türbini sayısı, batarya sayısı ve rüzgar türbini kurulum yüksekliğidir. Önerilen yöntem Malatya ilindeki bir telekom radyolink istasyonunun elektrik ihtiyacını karşılamak için uygulanmış ve çalışma sonunda tasarım sonuçları verilmiştir. Tasarlanan sistemin sonuçlarını doğrulamak için, özellikle rüzgar hızı farklı olan Çanakkale ilinin de hibrit sistem tasarımı yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yenilenebilir kaynaklar, Hibrit sistemler, güneş sistemi, rüzgar türbini, maliyet optimizasyonu

ABSTRACT

Master Thesis

COST OPTIMIZATION OF SOLAR - WIND HYBRID SYSTEMS

Burhan BARAN

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

76 + x pages

2012

Supervisor: Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ

In this study, an optimization process is carried out to design a hybrid solar-wind system using an hourly solar and wind data. In order to design a hybrid solar-wind power generation system, research is needed on two main topics. The first one is the loss power of load probability under changing atmospheric conditions, and the second is the system cost, which that depend on this probability. For an optimum system, these two criteria should be minimum. In order to estimate the minimum values of these criteria, a numerical computing environment in the MATLAB is prepared. The decision variables used in the optimization process are the number of solar cell, the number of wind turbine, the number of battery and wind turbine installation height. Proposed method has been applied to meet the requirement for a telecom radiolink station in Malatya province. And the design results of this telecom radiolink station are given. A hybrid system is also designed for Çanakkale province, where wind speed is quite different.

KEYWORDS: Renewable sources, Hybrid systems, Solar system, Wind turbine, cost optimization

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren; bilgi ve birikimlerini bana aktaran ve değerli zamanını ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ'e;

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığında görev yapan öğretim üyelerine;

Çalışmalarımda bana destek olan Anabilim Dalından Doktora öğrencisi Barış Baykant ALAGÖZ'e;

Her zaman olduğu gibi Yüksek Lisans çalışmalarım süresince de benden desteklerini esirgemeyen değerli eşime ve oğluma;

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİSİ.....	5
2.1. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi	5
2.1.1. Güneş Pilleri.....	5
2.2. Rüzgar Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi	11
2.2.1. Rüzgar Türbinleri.....	12
3. HİBRİT SİSTEM BİLEŞENLERİ VE MODELLERİ.....	15
3.1. Güneş Pili Sistem Modeli.....	16
3.2. Rüzgar Türbini Sistem Modeli.....	16
3.3. Batarya Modeli.....	18
3.4. İnverter	21
3.4.1. İnverter Kapasitesinin Belirlenmesi.....	22
3.5. Hibrit Şarj Kontrol Ünitesi.....	22
4.YÖNTEM.....	23
4.1. Direk Ayrıntılı Arama Metodu.....	23
4.2. YGKO Kavramına Dayalı Güç Güvenirliği Modeli	24
4.3. Optimizasyon Modeli.....	25
4.4. Teknik Kriter.....	32
4.5. Mali Kriter.....	32
4.5.1. İlk Ana Maliyetler.....	33
4.5.2. Değiştirme Maliyetleri	33
4.5.3. 25 Yılda Oluşan Toplam Bakım Maliyetleri.....	33
5. MALATYA VE ÇANAKKALE İLLERİ VERİ ANALİZLERİ	37
5.1. Malatya İli Meteorolojik Veri Analizi	37
5.2. Çanakkale İli Meteorolojik Veri Analizi.....	39
5.3. Aylık Ortalama Güneş Işıması Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli.....	41
5.4. Aylık Ortalama Rüzgar Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli.....	42
6. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA	45

6.1. Sistemin Optimal Boyutlandırma Sonuçları	48
6.1.1. 1 kW'lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar.....	48
6.1.2. 6 kW'lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar.....	51
6.1.3. 10 kW'lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar.....	54
6.2. Güneşpili veya Rüzgar Türbini Olmaması Durumları	57
6.3. Malatya İli 1 kW-6 kW-10 kW Karşılaştırmaları	60
6.4. Optimum Hibrit Sistem Seçimi	64
7. SONUÇ	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	72
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Malatya ili Zorbehan Dağı kuşbakışı görünümü.....	4
Şekil 2.1. Güneş pilinin iç yapısı ve çalışma prensibi.....	8
Şekil 2.2. Güneş pilinin tabakaları	9
Şekil 2.3. Güneş pili üst görünüşü	10
Şekil 2.4. Asenkron Rüzgar Türbin yapısı	13
Şekil 3.1. Hibrit güneş-rüzgar enerji üretim sistemi blok diyagramı	15
Şekil 4.1. Direkt Ayrıntılı Arama Metodu akış diyagramı.....	23
Şekil 4.2. Optimizasyon modeli akış diyagramı	28
Şekil 4.3. Güneş pili ile elde edilen enerji hesaplaması akış diyagramı	29
Şekil 4.4. Rüzgar Türbini ile elde edilen enerji hesaplaması akış diyagramı	30
Şekil 5.1. Malatya ili Global Güneş Radyasyon dağılımı	37
Şekil 5.2. Malatya ili güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri	38
Şekil 5.3. Malatya ili 50 metre rüzgar hız dağılımı.....	38
Şekil 5.4. Çanakkale ili Global Güneş Radyasyon dağılımı	39
Şekil 5.5. Çanakkale ili güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri.....	40
Şekil 5.6. Çanakkale ili 50 metre rüzgar hız dağılımı.....	40
Şekil 5.7. Bir adet güneşpili ile ay bazında üretilebilecek saatlik ortalama enerjiler.....	41
Şekil 5.8. Malatya-Rüzgar Türbinlerinin ürettiği ortalama güçler (W)	43
Şekil 5.9. Çanakkale-Rüzgar Türbinlerinin ürettiği ortalama güçler (W).....	44
Şekil 6.1. 1 kW'lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü eğrisi	46
Şekil 6.2. 6 kW'lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü grafiği.....	46
Şekil 6.3. 10 kW'lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü grafiği.....	47
Şekil 6.4. Malatya-2010 yılı-saatlik güneş ışıması ve 10 m yükseklikte rüzgar hızı	47
Şekil 6.5. Çanakkale-2010 yılı-saatlik güneş ışıması ve 10 m yükseklikte rüzgar hızı	48
Şekil 6.6. Malatya ve Çanakkale - 1 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması	50
Şekil 6.7. Malatya-1 kW RT, % 0,662 YGKO için oluşan maliyetler	50
Şekil 6.8. Çanakkale-1 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler	51

Şekil 6.9. Malatya ve Çanakkale - 6 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması	53
Şekil 6.10. Malatya-6 kW RT, % 0,103 YGKO için oluşan maliyetler	53
Şekil 6.11. Çanakkale-6 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler	54
Şekil 6.12. Malatya ve Çanakkale - 10 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması	56
Şekil 6.13. Malatya-10 kW RT, % 0,080 YGKO için oluşan maliyetler	56
Şekil 6.14. Çanakkale-10 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler	57
Şekil 6.15. Malatya İli 1 kW-6 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması.....	61
Şekil 6.16. Malatya İli 1 kW-10 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması.....	61
Şekil 6.17. Malatya İli 6 kW-10 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması.....	62
Şekil 6.18. Malatya-Çanakkale - 10 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları	63
Şekil 6.19. Malatya ve Çanakkale - 784 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları.....	63
Şekil 6.20. Malatya ve Çanakkale - Aylara göre günlük ortalama güneş ışıması değerleri.....	64
Şekil 6.21 Hibrit güneş-rüzgar güç üretim sisteminin diyagramı ve konfigürasyonu.....	66
Şekil 6.22. Malatya - 6 kW RT, % 1,998 YGKO için SYM grafiği	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Telekom R/L istasyonu güç dağılımı	19
Çizelge 4.1. RT= 10 kW olması durumunda maliyetler	34
Çizelge 4.2. RT=6 kW olması durumunda maliyetler	35
Çizelge 4.3. RT=1 kW olması durumunda maliyetler	35
Çizelge 5.1. Aylık ortalama güneş ışıması ve elde edilen ortalama güç değerleri.....	41
Çizelge 5.2. Malatya-Aylık ortalama rüzgar hızları ve üretilen enerjiler	42
Çizelge 5.3. Çanakkale-Aylık ortalama rüzgar hızları ve üretilen enerjiler.....	43
Çizelge 6.1. Güneş pili teknik özellikleri.....	45
Çizelge 6.2. Batarya teknik özellikleri.....	45
Çizelge 6.3. Malatya - 1 kW'lık RT'li YGKO değerleri	49
Çizelge 6.4. Çanakkale - 1 kW'lık RT'li YGKO değerleri.....	49
Çizelge 6.5. Malatya - 6 kW'lık RT'li YGKO değerleri	51
Çizelge 6.6. Çanakkale - 6 kW'lık RT'li YGKO değerleri.....	52
Çizelge 6.7. Malatya - 10 kW'lık RT'li YGKO değerleri	54
Çizelge 6.8. Çanakkale - 10 kW'lık RT'li YGKO değerleri.....	55
Çizelge 6.9. Malatya-Çanakkale Rüzgar Türbini olmaması durumu.....	58
Çizelge 6.10. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 1 kW RT kullanılması durumu	58
Çizelge 6.11. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 6 kW RT kullanılması durumu	59
Çizelge 6.12. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 10 kW RT kullanılması durumu	60
Çizelge 6.13. Malatya - Optimum güneş-rüzgar hibrit sistem sonuçları.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

α	Güç kanunu katsayısı
β	Üretici verimliliği sıcaklık katsayısı
σ	Bataryanın kendi kendine saatlik deşarj oranı
t	Zaman
AC	Alternatif akım
Ah	Amper-saat
Apv	Güneş pilinin kapladığı alan
BE	Bataryadaki enerji
BE _{max}	Batarya grubunun maksimum şarj miktarı
BE _{min}	Batarya grubunun minimum şarj miktarı
BE _{son}	Bataryanın son durumunda üzerindeki enerji
BT	Batarya
BE(t)	Batarya grubunun t zamanındaki şarj durumu
BE(t-1)	Batarya grubunun t-1 zamanındaki şarj durumu
CE	Yük tarafından talep edilen güç
DC	Doğru akım
DOD	Deşarjın maksimum derinliği
$E_{GP}(t)$	Güneş pili üreticinden elde edilen enerji
$E_L(t)$	t zamanında talep edilen yük
$E_{RT}(t)$	Rüzgar üreticinden elde edilen enerji
G_D	Depolama gün sayısı
G_t	Eğimli düz zemindeki ışıma
GP	Güneş pili
H	Yeni yükseklik
H_{ref}	Referans yükseklik
H.Ş.K.Ü	Hibrit şarj kontrol ünitesi
Imax (A)	Güneş pili maksimum akımı
Isc (A)	Güneş pili kısa devre akımı
$K_{bat(max)}$	Maksimum müsaade edilebilir depolama kapasitesi
$K_{bat(min)}$	Minimum müsaade edilebilir depolama kapasitesi
kW	Kilowatt
η_{bt}	Batarya grubunun şarj verimliliği
η_{inv}	İnverter verimi
NOCT	Nominal hücre çalışma sıcaklığı
η_{pc}	Güç durum verimliliği
n_{pv}	Güneş pili verimi
η_r	Referans modül verimliliği
$P_{ACyük}(t)$	t saatinde yük tarafından ihtiyaç duyulan AC güç
$P_{DCyük}(t)$	t saatinde yük tarafından ihtiyaç duyulan DC güç
$P_{iht}(t)$	t saatinde yük tarafından ihtiyaç duyulan güç

P_{max} (W)	Güneş pili maksimum gücü
P_R	Rüzgar türbininin oransal gücü
R/L	Radyolink
RT	Rüzgar türbini
RTyüks	Rüzgar türbini yüksekliği
SMS	Kısa mesaj servisi
SYM	Sistem yıllık maliyeti, ₺
T_a	Ortam sıcaklığı
T_c	Hücre sıcaklığı
T_{cf}	Sıcaklık doğrulama faktörü
T_{cref}	Referans hücre sıcaklığı
TL	Türk Lirası
V_{bat}	Batarya gurubu voltajı
V_C	Cut-in hızı
V_R	Nominal hız
V_F	Cut-off hızıdır
V_{max} (V)	Güneş pili maksimum voltajı
V_{oc} (V)	Güneş pili açık devre gerilimi
$V(H)$	H yükseklikteki rüzgar hızı
$V(H_{ref})$	Referans yükseklikteki rüzgar hızı
W	Watt
Wh	Watt-saat
YGKO	Yükün güçsüz kalma olasılığı

1. GİRİŞ

1970’li yılların başlarında yaşanan petrol krizi, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş ve rüzgar’dan enerji elde etme çabasına yöneltmiştir. Bunun yanında, nüfus artışına bağlı olarak tüketilen enerjinin artması ve fosil kaynaklı enerjilerin tükenebilir olması da insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına iten sebeplerden bazılarıdır. Ayrıca, çevre kirlenmesi, rezervlerin azalması, rezervleri azalan fosil yakıtların her geçen gün biraz daha pahalılaşması, atmosferde oluşan sera etkisi, doğal bitki örtüsünün yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi önemli nedenlerle hızla yeni enerji kaynakları bulunması zorunluluğunu doğurmuştur.

Enerji kaynakları üretim, taşınım ve tüketim safhalarında doğaya zararlı atık ve gazlar bırakmaktadır. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yakılması sonucunda küresel, bölgesel ve lokal ölçekte kirlenme problemleri oluşmaktadır. Bugün geçmişe nazaran daha fazla dikkate alınan çevre kirliliği, mühendislik disiplinlerinde önemli yer tutmaktadır. Dünya genelinde çevre kirliliği açısından tehdit oluşturan etkenlerden fosil kökenli yakıtlar ilk sırada gelmektedir. Hızla gelişen sanayileşme ile birlikte aşırı derecede fosil yakıt kullanılması sonucu, yakacağın türüne ve yakma sürecine bağlı olarak açığa çıkan kirleticiler çevre problemine sebep olmaktadır. Bunlar canlı yaşamını tehdit etmekte, doğal hayata birçok olumsuz etkilerde bulunmakta ve ekolojik dengeyi bozmaktadırlar.

Bu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma çabası sürecinde süreklilik, güvenilirlik, çevreye zarar vermemesi ve yapılarının tek kaynağa bağımlı kalmasından kaçınılması genel olarak benimsenen politikalar olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmadıkça ve bu kaynakların kullanımı artmadıkça enerji sorunu devam edecektir.

Hibrit güneş-rüzgar sistemleri hem yük tarafından talep edilen elektrik enerjisini karşılamaları açısından hem de çevreye olan zararının az olmasından dolayı son zamanlarda diğer enerji kaynaklarına göre daha ön plana çıkmışlardır. Rüzgar ve güneş rejiminin birbirlerini tamamlayabildikleri yerlerde hibrit sistemler büyük önem kazanmaktadır. Bu rejimlerin birbirini tamamlayamadıkları noktalarda devreye girmesi için tasarlanan bataryalar ile de desteklendikleri takdirde hibrit sistemler özellikle hiçbir şebeke enerjisinin olmadığı yerler için çok iyi bir seçenek olmaktadır. Ancak, rüzgar ve güneş kaynaklarının hava ve iklim değişikliklerine bağlı olması, hava şartlarında

önceden tahmin edilemeyen değişiklikler, güneş ışımasının veya rüzgarın zamanla değişiminin yükün talebi ile eşleşememesi gibi olumsuzlukları bulunmaktadır.

Rüzgar ve güneş kaynaklarının değişken doğalarından dolayı oluşan bu olumsuzluklar bu iki kaynağın uygun kombinasyonlarını - birinin zayıf olduğu noktada diğerinin güçlü yanını devreye alarak - tasarlayarak üstesinden gelinebilir. Batarya destekli güneş ve rüzgar hibrit güç üretim sistemleri her bir sistemin kendi dalgalanmalarını hafifletir ve önemli ölçüde bataryalarda depolanmasına ihtiyaç duyulacak enerji depolama gereksinimini azaltır. Ancak, tekli sistemlerle karşılaştırıldığında sistemin artan karmaşıklığından dolayı bazı problemler ortaya çıkar. Bu karmaşıklık hibrit sistemin analizini daha da zorlaştırır.

Hibrit sistem tasarımı yapılırken iki ana konu dikkate alınmalıdır. Bunlardan birincisi değişen hava koşulları altında hibrit sistemin yükü güçsüz bırakma olasılığı (YGKO), ikincisi ise bu olasılığa bağlı olarak oluşan sistem yıllık maliyetidir (SYM).

Batarya destekli hibrit sistemde kullanılan rüzgar ve güneş enerji kaynaklarını çok daha ekonomik ve verimli bir şekilde kullanabilmek için güneş-rüzgar sistemlerinin boyutlandırmasını optimum seviyede tasarlamak önemlidir. Bunu sağlayabilmek için ise bir optimizasyon metodu geliştirilmelidir. Bu optimizasyon metodu rüzgar, güneş ve batarya gurubundan oluşan sistemin tam kapasite ile kullanımını ve en düşük maliyatı yapmayı temin edecektir. Bugüne kadar güneş-rüzgar hibrit sistemlerinin boyutlandırılmasını optimum seviyede yapabilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlar Lineer Programlama, Olasılıklı Yaklaşım Metodu, Tekrarlamalı Teknik, Dinamik Programlama, Çoklu Hedef, Grafikselsel İnşa Tekniğı ve Genetik Algoritma Programlamadır.

Olasılıklı Yaklaşım Metodu, Yük ve kaynakların dalgalanmalarını birleştirme temelli bir metottur. Güneş-rüzgar hibrit sisteminin uzun vadeli performansını değerlendirmek için seri zamanlı veriye ihtiyaç duymamaktadır.

Grafikselsel İnşa Tekniğı, bir güneş-rüzgar hibrit sistemindeki rüzgar türbini, güneş pili dizisi ve bataryaların optimum kombinasyonunu göstermek için geliştirilen bir tekniktir. Bu teknikte öncelikle güneş pili (GP) dizisi (veya rüzgar türbini (RT)), batarya büyüklüğü ve yükün güçsüz kalma olasılığının (YGKO) değişik kombinasyonları oluşturulur. Daha sonra arzu edilen YGKO için, batarya büyüklüğüne karşı GP

dizisi(veya RT) çizilir ve toplam maliyeti minimize eden en iyi çözüm seçilir. Ancak, bu grafiksel metotta optimizasyon sürecinde ya GP ve batarya ya da GP ve RT gibi sadece iki parametre kullanılabilir.

Tekrarlamalı optimizasyon tekniği bir hibrit güneş-rüzgar sistemi için, yükün güçsüz kalma olasılığını dikkate alan bir tekniktir. Bu teknikte, GP modül, RT ve bataryaların seçilen sayıları ile yüke güç sağlamayı ve sistemin maliyetini minimize etmeyi garanti eder. Bu tekrarlamalı süreçten güneş-rüzgar üretim sistemi için birkaç olası kombinasyon elde edilir. Ardından her bir konfigürasyon için toplam yıllık maliyet hesaplanır ve en düşük maliyetli konfigürasyon seçilir.

Yukarıda bahsedilen tekniklerin sonucu etkileyecek bazı karakteristiklerin hesaba katılmamaları, sonucun lokal minimuma takılma ihtimali ve bunlara bağlı olarak sistem güç güvenilirliği ve sistem maliyeti arasındaki uzlaşmayı hala sağlayamamalarından dolayı, karar değişkenlerinin değerlerini lineer olarak değiştirerek arama yapan Direkt Ayrıntılı Arama Metodu kullanılarak en optimal çözüme ulaşılabilir. Bu teknik Genetik Algoritma tekniği ile karşılaştırıldığında sonuca ulaşma noktasında zaman olarak sadece birkaç dakikalık ekstra zaman kullanması dezavantajı yanında lokal minimuma takılmadan global minimumu bulmayı garanti eder.

Ayrıca bu yöntemlerin çoğu, sistem kurulum maliyeti ve üretilen enerji miktarını son derece etkileyen rüzgar türbini kurulum yüksekliği gibi bazı sistem tasarım karakteristiklerini hesaba katmamaktadırlar.

Bu çalışmada batarya gurubu ile destekli bir hibrit güneş-rüzgar sistemi için bir optimal boyutlandırma metodu anlatılmıştır. Yöntemde, teknik olarak YGKO ve ekonomik olarak SYM araştırması yapılmakta ve bu kavramlara bağlı olarak bileşenlerin sayıları hesaplanmaktadır.

Optimizasyon aşamaları şu şekilde gerçekleşmektedir:

İlk olarak hibrit güneş-rüzgar sisteminin (Güneş pili modülü, rüzgar türbini ve bataryaları içeren) matematik modeli çıkarılmaktadır. Ardından, YGKO tekniğine dayalı sistem güvenilirlik modeli, SYM kavramına dayalı ekonomik modeller sunulmaktadır. Optimizasyon süreci bu iki hedef arasındaki uzlaşmayı bulmayı amaçlamaktadır: YGKO ve SYM. Optimizasyon sürecindeki karar değişkenleri GP modül sayısı, RT rüzgar türbini sayısı, BT batarya sayısı ve RTyuks rüzgar türbini kurulum yüksekliğidir. Kullanılacak programda dikkate alınacak bileşen güç kavramları ise GP modül gücü, rüzgar türbininin oransal gücü ve bataryaların depolama kapasitesidir. Hibrit güneş-rüzgar sistem optimizasyon modellerinin birleştirilmesi ve

MATLAB dili ile yazılmış programın çalıştırılması ile de ulaşılmaması istenen optimum tasarıma teknik ve mali olarak ulaşılmaması olacaktır. Son olarak ise program ile elde edilen RT, GP, BT, RTyuks sayıları, maliyetler ve YGKO değerleri Excel v.b. programlar ile tablolar ve grafikler ile anlatılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan Malatya ve Çanakkale illerine ait güneş ışıması ve rüzgar hızı verileri, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden alınmıştır ve 2010 yılına ait saatlik (8760 saat) verilerdir.



Şekil 1.1. Malatya ili Zorbehan Dağı kuşbakışı görünümü

Çalışma sonunda Malatya il merkezine 88 km, Hekimhan ilçe merkezine ise 5 km uzaklıkta 38 52 00 kuzey ile 37 57 00 doğu koordinatlarında yer alan ve 1761 metre rakıma sahip olan Zorbehan dağında kurulabilecek bir telekom R/L istasyonu için sistemin çeşitli konfigürasyonları ve Yükün Güçsüz Kalma Olasılığı - Yıllık Maliyet arasındaki ilişkiler tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Şekil 1.1’de bölgenin kuşbakışı görüntüsü görülmektedir.

2. GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİSİ

2.1. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaiik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaiik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaiik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaiik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir [1].

Güneş enerjisinin elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki petrol bunalımı yaşanan yıllardan sonra olmuştur. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit ve çevre dostu yolu olan güneş pili sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi genellikle üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olmuştur. Ancak son yıllarda büyük şirketlerin de devreye girmesiyle güneş pilleri konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın zamanlara kadar sıradan elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen güneş pili güç sistemleri, artık ilerleyen zamanlarda güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir.

2.1.1. Güneş Pilleri

Güneş pilleri güneş ışığını doğru akıma dönüştürerek elektrik enerjisi üretme imkanı sağlarlar. Üzerine düşen güneş ışınması değeri yeterli olduğu sürece elektrik üretimine devam ederler. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında

bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir ve bu yapıya güneş pilleri modülü adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç watt'tan megawatt'lara kadar sistem oluşturulur.

Bu pillerin işletme giderleri çok düşük, güvenilirlikleri ise çok yüksektir. Şebekeden uzak küçük ve orta ölçekli yüklerin beslenmesi için ekonomik bir seçenektir. Güneş pillerinin kullanım süreleri, yapım teknolojisine bağlı olarak 10-25 yıl arasında değişmektedir. En büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Güneş pili yapımında genellikle silisyum (1,1 eV), galyum arsenit (GaAs – 1,43 eV) ve kadmiyum tellür (CdTe) yarı iletken malzemeler kullanılır. Ancak, günümüzde güneş pili üretiminde bu yarı iletken malzemelerin yanında kullanılan bazı maddelerde şu şekildedir:

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında % 25 ve % 28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlı GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir.

Kristal Silisyum: Tek kristalli ve çok kristalli olmak üzere iki çeşittir. Tek-kristal silisyum malzeme, güneş pili üretiminde yüksek verim için kullanılan malzemelerden biri olmakla birlikte, üretim maliyetinin yüksek olması bu alanda değişik seçenek olarak çok kristalli malzemenin geniş ölçekte kullanılmasına neden olmuştur. Silisyum elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde elde edilen büyük başarılar bu malzemenin en popüler malzeme olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Tekkristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Çokkristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bakır ve indiyum elementlerinin bir araya gelmesi ile oluşan yarıiletken malzemelerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuyacak biçimdedir. Bu

çokkristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

İnce Film: İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin; cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeyler üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanması sonucunda elde edilmektedir.

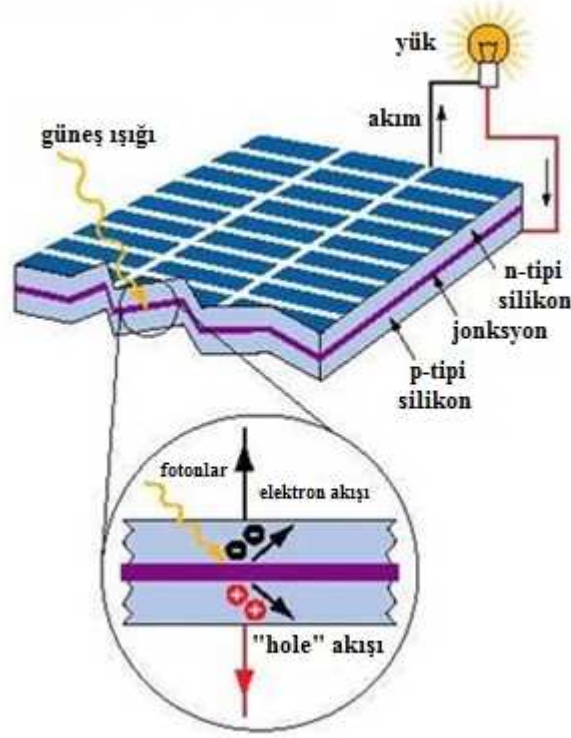
Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: Bu hücreler, gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Kadmiyum elementi ile Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan bu piller, yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır. Laboratuvar tipi küçük güneş pillerinde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Amorf Silisyum: Amorf silikon olarak bilinen güneş pilleri silikonların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silikon atomları kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmiştir. Amorf silisyum için kullanılan en yaygın teknoloji “ışık boşalım (glow-discharge)” dir. Bu pillerden elde edilen verim %10 civarındadır. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silikonlar için gerekenden daha düşük sıcaklıklardadır.

Son yıllarda ticari kullanımda özellikle tercih edilen Si güneş pillerinin verimleri ile aynı ancak üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuza üretilebilecek çalışmalar yapılmaktadır.

Bunlar; güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş pilleri, polimer yapılı Plastik piller, fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit piller yeni teknolojilerdir.



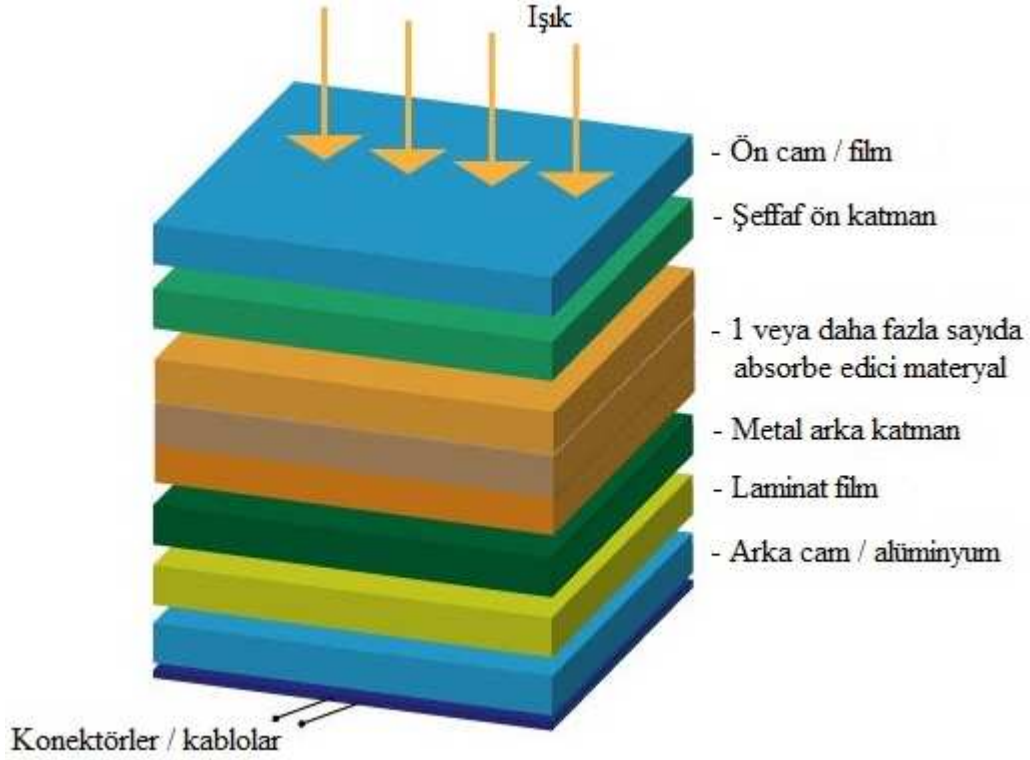
Şekil 2.1. Güneş pilinin iç yapısı ve çalışma prensibi

Bir güneş pilinin iç yapısı ve çalışma prensibini Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir.

Güneş pillerinin güneşe bakan tarafından arka tarafına birçok tabaka bulunmaktadır:

- 1- Koruma tabakası: İnce film modüllerde bu tabaka şeffaf plastik olmasına rağmen, genellikle camdan yapılır.
- 2- Ön katman: Ön elektrik bağlantısıdır. Şeffaf olmak zorundadır. Aksi halde güneş ışığı hücreye geçemeyecektir.
- 3- Absorbe edici materyal: Modülün kalbidir. Bu katmanda ışık emilir ve elektrik akımına dönüştürülür. Kullanılan bütün materyaller yarıiletkenlerdir. Bu katman genellikle tek parçadır. Yinede, performansı düzeltmek için farklı materyallerden çok sayıda katmandan oluşabilir.
- 4- Metal arka katman: Elektrik devresini tamamlamak için arka tarafta bulunan bir iletkenlerdir.
- 5- Laminat film: Modülü sıcaktan ve sudan koruyan katmandır.
- 6- Arka cam: Bu tabaka modülün arka kısmının korunmasını sağlar. Cam olabilir, ayrıca alüminyum veya plastik de olabilir.

- 7- Konektörler: Modülün kablolar ile bağlanabilmesi için modülde konektörler ve kablolar bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Güneş pilinin tabakaları

Güneş pili sistemlerinin bazı avantajları aşağıdaki gibidir:

- Güneş enerjisi bol miktarda bulunan enerji kaynağı olmasından dolayı, sistem kurulumundan sonra herhangi bir hammadde maliyetine gerek duyulmamaktadır.
- Güneş pili sistemlerin sessiz çalışması sebebi ile gürültü kirliliği oluşmamaktadır.
- Güneş pili sistemlerin kullanımından kaynaklı çevreye zarar verecek gaz ya da zararlı atık oluşmaz.
- Güneş pili sistemleri oluşturan parçalar sabit olmasından dolayı diğer sistemlerdeki gibi hareketten kaynaklanan arızalar oluşturmazlar.
- Güneş pili sistemler modüler bir yapıya sahiptir. Bu sebeple artan veya azalan enerji ihtiyacına göre değiştirilebilirler.

- Telekom R/L istasyonları şebekeye ulaşılması zor olan kırsal alanlarda veya şebeke bağlantılı sistemlerde rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 2.3. Güneş pili üst görünüşü

Örnek bir güneş pilinin üst görünüşü Şekil 2.3'deki gibidir.

Yukarıda bahsedilen avantajlı özelliklerinin yanı sıra bazı konulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar:

- Güneş pillerinin verimliliklerinin çok düşük olması sebebi ile birim yüzeyden elde edilen enerji çok az olmaktadır. Yüksek seviyede enerji elde edebilmek için çok geniş yüzey alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş pillerinin ürettiği enerjinin doğru akım olması sebebi ile, alternatif akımla ile çalışan cihazlar için güneş pili çıkışında çeviriciye ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş pillerinin üretiminde kullanılan bazı maddeler zehirli atık içermektedir.

Güneş pillerinin performans ve çalışmaları bu hücrelerin kapladığı alan ve verimliliği ile de alakalıdır. Bu sebeple, bu çalışmada güneş pili sistem modellemesi yapılırken tanımlamada modülün kapladığı alan, verimi ve düz zeminde elde edilen güneş ışıması bilgileri üzerinde çalışılmıştır. Varsayımlar bir bilgisayar programı (MATLAB) kullanılarak yerine getirilmiştir.

2.2. Rüzgar Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

Rüzgar enerjisinin kaynağını güneşten alır. Güneş dünyanın bir tarafındaki havayı, toprağı ve suyu ısıtırken dünyanın diğer tarafı soğur. Bu ısınma ve soğuma değişimleri gün boyunca dünyanın çevresinde devam eder. Ekvatorda ısınan hava yükselerek kutuplara doğru gider, soğuyan hava ise ağırlaşarak geri döner. Hava 300 kuzey enleminde yığılma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak bu bölgede basınç yüksek ve iklim ılımandır. Bazı hava kütleleri bu yüksek basınç bölgesinin dışında güney doğuya doğru eser ve dünyanın dönmelerinin oluşturduğu etki ile batıya sapar, bu rüzgarlar Alize Rüzgarları olarak adlandırılır [2].

İnsanoğlunun, rüzgarın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgar gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkumlarının gücüne ek olarak rüzgar enerjisini kullandıkları bilinmektedir. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgarın gücünden yararlanmışlardır. Hollanda'dan Amerika'ya birçok farklı coğrafyada rüzgar enerjisi yel değirmenleri vasıtasıyla üretilmekte ve su kuyularında su çekmekte kullanılmıştır. Günümüzde ise modern rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek insanoğlunun kullanımına sunulmaktadır. Rüzgar enerjisinin bazı özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Rüzgar enerjisinden elde edilen güç Betz teoremine göre rüzgar hızının küpü ile orantılı olarak değişim gösterir.
- Rüzgar enerjisi yoğunluğu bölgesellik arz eder.
- Rüzgar enerjisinden faydalanmak için başka bir enerji türüne dönüştürülmesi gerekir.
- Enerjinin hammadde rüzgardır ve rüzgar atmosferde bol ve serbest olarak bulunur. Güneş ve Dünya var olduğu sürece rüzgar enerjisinden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanmak mümkündür.

Rüzgar enerjisi tür olarak, endüstriyel devrimde yararlı bir enerji kaynağı olarak benimsenmemiştir. Ancak, 1973–1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizi, uzak bölgelerin beslenmesi amacıyla elektrik üretimi ve suyun pompalanması için bu teknolojiye gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır. 1987'de Kaliforniya'da uygulamaya konulan bir vergi indirimi sistemi, rüzgar endüstrisine yönelik bir atılımın öncüsü olmuştur [3].

2.2.1. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbini hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürür. Ürettiği enerji rüzgar hızına göre değişir, birim maliyeti düşüktür. Ancak, kurulacak bölgenin rüzgar hızının yüksek olması ve hava akışını engelleyen yükseltilerin çevresinde olmaması gerekir. Rüzgar hızı çok değişken olduğu için üretilen enerji de değişken olmaktadır. Kanatlara çarpan hava akımı kanatların dönmesini ve dolayısıyla da kanatların bağlı olduğu milin dönmesini sağlar. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde mil doğrudan, büyük ölçeklilerde ise dişli kutu yolu ile jeneratöre bağlanır. Jeneratör mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Düşük güçlü rüzgar türbinlerinde jeneratör olarak sabit mıknatıslı alternatörler kullanılırken, yüksek güçlülerde ise asenkron veya senkron jeneratör kullanılır. Şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde frekansı sabit tutmak rüzgar hızındaki değişimlerden dolayı mümkün olmadığından, jeneratör çıkışı doğru akıma (DC)'a dönüştürülür. Birçok rüzgar türbini 3 veya 2 kanatlı olarak üretilir. Rüzgar türbininden elde edilebilecek güç rüzgar hızının küpüyle ve kanat süpürme alanı ile doğrudan orantılıdır. Üretici firmalar türbinin üretime başladığı rüzgar hızını, üretimi durdurduğu rüzgar hızını ve rüzgar hızı-güç eğrisini kullanıcılara verirler [4].

Yel değirmenlerinin en modern şekli olarak kabul edilen ve onun prensiplerine göre çalışan ilk rüzgar türbini 1890'da Danimarka'da üretilmiştir. Rüzgar enerjisinden en yoğun yararlanan ülke olan ABD'de ilk kez rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmalarını 1944 yılında gerçekleştirmiştir.

Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgar santrali ise, ABD'de Vermont eyaletinin Montpelier kenti yakınlarında 1940 yılında General Elektrik firması tarafından inşa edilmiştir. ABD'de de başlayan bu rüzgar enerjisinden yararlanma durumunu zamanla Danimarka, Hollanda, İsveç ve Almanya izlemiştir. Rusya federasyonunda ilk deneme rüzgar türbinleri istasyonu 1952'de Yalta' da kurulmuştur. Kule yüksekliği 50 m olan rüzgar türbinlerinin kurulu gücü 1000 kW civarındadır. Son zamanlarda ülkemizde rüzgar enerjisinden faydalanılması açısından önemli çalışma yapılmaktadır. Arjantin, Mısır, İspanya, Hollanda, Danimarka, İsveç ve Avustralya da bu konuda önemli çalışmalar yapılmaktadırlar.



1. Hub Kontrol	6. Dişli Kutusu	11. Yüksek Gerilim Trafosu	16. Makine Şasesi
2. Pitch Kontrol	7. Fren Sistemi	12. Kanat	17. Yaw Dişlileri
3. Hub	8. Servis Vinci	13. Kanat Bağlantı Yatağı	18. Kompozit Disk Kaplin
4. Ana Shaft	9. Controler	14. Rotor Kilit Sistemi	19. Jeneratör
5. Yağ Soğutucu	10. Sensör	15. Hidrolik Ünitesi	20. Hava Soğutma Sistemi

Şekil 2.4. Asenkron Rüzgar Türbin yapısı

Rüzgar enerjisinin, diğer enerji kaynaklarına göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Rüzgar enerjisi herhangi bir radyoaktif ısıyı tahrifatı yapmaz.
- Enerjinin hammadde kaynağı ücretsizdir.
- Arazi dostudur. Rüzgar santrali içinde veya etrafında tarım/sanayi faaliyetleri yapılabilmektedir.
- Atmosfere ve yakınındaki göl ve nehirlerle herhangi bir ısı emisyonu bulunmamaktadır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır, karbon emisyonu bulunmamaktadır.
- Geleneksel metotlarla enerji üretirken oluşan su kayıpları ve CO₂, CO gazlarından kaynaklı zararlar rüzgar enerji santrallerinde olmamaktadır.
- Rüzgar türbinleri güvenlik açısından başarılı bir geçmişe sahiptirler.
- Rüzgar türbinleri modülerdirler, herhangi bir büyüklükte imal edilebilmektedirler ve kurulumları hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.
- Büyük ölçekli ve ev tipi uygulamalar için esnektir.
- Kullanım sonrasında tasfiye edilmeleri diğerlerine göre çok daha kolaydır.

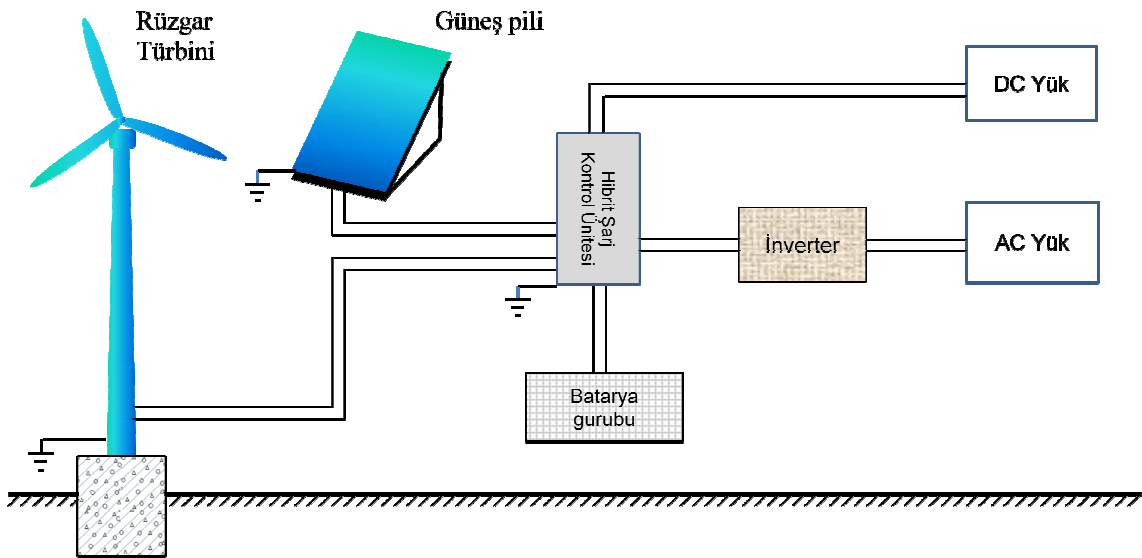
- Geleneksel yakıtların aksine, enerji güvenliği açısından yakıt fiyatlarından kaynaklı risklerini kaldırır, lokal bir enerji kaynağı olması sebebi ile ekonomik ve politik açılardan diğer ülkelere bağımlılığı ortadan kaldıran yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır.
- Tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilir.
- Rüzgar türbininin işletmeye alınması inşaata başlamasından ticari üretime geçişine kadar üç ay gibi kısa sürede gerçekleştirilmektedir.

3. HİBRİT SİSTEM BİLEŞENLERİ VE MODELLERİ

Herhangi bir optimizasyon çalışmasında modelleme en önemli adımlardan biridir. Batarya destekli bir hibrit güneş-rüzgar sisteminde üç ana alt bileşen vardır. Bunlar güneş pili, rüzgar türbini ve bataryalardır. Optimizasyon yapılırken bu bileşenlerin modellemelerinin yapılmasıyla araştırma sonucunda ulaşılmak istenen optimum sonuçlara ulaşılabilecektir.

Bir hibrit güneş-rüzgar güç üretim sistemi GP dizisi, rüzgar türbini, batarya grubu, hibrit şarj kontrol ünitesi, kablolar ve diğer cihazlardan oluşur. Şekil 3.1’de temel bir hibrit sistemin şematik diyagramı verilmiştir. GP dizi ve rüzgar türbini yük tarafından talep edilen gücü karşılaması için birlikte çalışırlar. Enerji kaynaklarından (rüzgar ve güneş) üretilen enerji yeterli miktarda iken üretilen güç, yükün talebi karşılandıktan sonra batarya tamamıyla şarj olana kadar şarj olacaktır. Ters durumda ise, enerji kaynaklarından üretilen enerji yetersiz olduğunda, bataryalar yük gereksinimini karşılamak için GP dizisi ve rüzgar türbinine destek olmak için enerjisini boşaltacaktır.

Hibrit sistemin performansını tahmin etmek için, öncelikle her bir bileşen modellenmelidir. Bu modelleme yapıldıktan sonra bunların karışımından oluşan hibrit sistemin yükün ihtiyacını karşılama durumu ve maliyeti değerlendirilebilecektir.



Şekil 3.1. Hibrit güneş-rüzgar enerji üretim sistemi blok diyagramı

3.1. Güneş Pili Sistem Modeli

Güneş pilinin saatlik çıkış gücü, güneş pilinin kapladığı alan A_{pv} (m^2) ve eğimli düz zemindeki ışıma G_t (W/m^2)'ye bağlı olarak şöyle formülize edilir:

(Bu çalışmada hibrit sistem tasarımı yapılırken dikkate alınan güneş pilleri 100 W'lık güce sahip olup, $0.9 m^2$ 'lik yer kaplayan pillerden seçilmiştir.)

$$P_{GP} = \eta_{GP} \cdot A_{GP} \cdot G_t \quad (3.1)$$

Burada η_{GP} güneş pilinin verimliliğini temsil eder ve şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_{GP} = \eta_r \cdot \eta_{pc} \cdot (1 - \beta(T_c - T_{cref})) \quad (3.2)$$

Buradaki değişkenlerin açıklamaları ve aldıkları değerler şu şekildedir:

η_r referans modül verimliliğidir. η_{pc} , güç durum verimliliğidir ki bu maksimum güç kullanımı durumunda 1'e eşittir. β , üretici verimliliği sıcaklık katsayısıdır ki sabit olarak kabul edilir, silikon hücreler için bu aralık her derece için 0,004-0,006 arasındadır. T_{cref} , referans hücre sıcaklığıdır, T_c ise hücre sıcaklığıdır ve şu şekilde hesaplanır:

$$T_c = T_a + ((NOCT - 20)/800) \cdot G_t \quad (3.3)$$

Burada, T_a ortam sıcaklığıdır ve NOCT nominal hücre çalışma sıcaklığıdır.

η_{pc} , β , NOCT ve A_{GP} kullanılan modülün tipine bağlı parametrelerdir. Bu verilere üretici firma dökümanlarından ulaşılabilir.

3.2. Rüzgar Türbini Sistem Modeli

Rüzgar türbini çıkış güç performans eğrileri üreticiden üreticiye değişmektedir. Bu nedenle, rüzgar üreticinin performansını tanımlamada kullanılan modelin farklı olması beklenir. Rüzgar türbinlerinin modellemesini yapmak için çalışmalar yapılmıştır. Bazı yazarlar türbin güç eğrisinin lineer, quadratik veya kübik olduğunu

varsaymışlardır. Diğer yazarlar birkaç düğümlü parçalı bir lineer fonksiyonlu yaklaşık bir güç eğrisi varsaymışlardır.

Özel bir rüzgar türbini için üretici firma tarafından verilen güç çıkış performans eğrisine göre bir model geliştirilmelidir. Seçilen rüzgar türbininin güç çıkış karakteristiğinin yanı sıra seçilen bölgeler için rüzgar hız dağılımı da rüzgar enerjisi sisteminin çıkış gücünü belirlemede hesaba katılmak zorunda olunan faktörlerdir. Bu çalışmada rüzgar üretici güç çıkışı, üretici firma tarafından verilen dokümandaki değerlerin enterpolasyonuna bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Bir rüzgar türbininin çıkış gücünü simule edecek en basitleştirilmiş model aşağıdaki gibidir:

$$P_w(V) = \begin{cases} P_R \left\{ (V^2 - V_C^2) / (V_R^2 - V_C^2) \right\} & V_C < V \leq V_R \\ P_R & V_R < V \leq V_F \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.4)$$

Burada, P_R rüzgar türbininin oransal gücü, V_C cut-in hızı, V_R nominal hız ve V_F ise cut-off hızıdır. Rüzgar türbininin dikey profilini modellemek için güç kanunu kullanılır. Bu çalışmada güç kanununu rüzgar türbininin kurulum yüksekliğini ayarlama kullanılmıştır. Güç kanunu şu şekilde formüle edilir:

$$\frac{V(H)}{V(H_{ref})} = \left(\frac{H}{H_{ref}} \right)^\alpha \quad (3.5)$$

Burada $V(H)$, normal H yüksekliğindeki rüzgar hızıdır. Birimi m/s'dir. $V(H_{ref})$, H_{ref} referans yüksekliğindeki rüzgar hızıdır. α güç kanunu katsayısıdır. Genellikle 1/7 oranında alınır. Diğer bir görüşe göre ise α , değişik arazi yapısına göre 0,1 ile 0,4 arasında değerler alır.

Zorbehan RL istasyonu için rakım 1761 metredir. Malatya ilinin merkez rakımı ise 977 metredir. Aradaki fark; 1761 m - 977 m=784 metredir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Malatya Bölge Müdürlüğü'nden alınan verilerin 10 m yüksekliğe göre olması sebebi ile yukarıdaki güç kanununa göre yeni hızların belirlenmesi

gerekmektedir. Bu çalışmada $\alpha=0,16$ olarak kabul edilmiştir. Bu durumda 784 m yüksekliğe göre ve α 'nın 0,16 olması durumunda ise yeni hız:

$$V(H) = V(H_{ref}) \cdot \left(\frac{H}{H_{ref}} \right)^\alpha = V(H_{ref}) \cdot \left(\frac{784}{10} \right)^{0,16} = V(H_{ref}) \cdot 2 \quad (3.6)$$

şeklinde elde edilir. Malatya ili Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan 10 m yükseklikteki rüzgar verileri 2 ile çarpıldığında 784 m yükseklikteki tahmini rüzgar hızları bulunmuş olur.

3.3. Batarya Modeli

Bataryalar enerjiyi kimyasal formda depolayan elektro-kimyasal elemanlardır. Yenilenebilir kaynaklarla birlikte en yaygın kullanılan batarya tipi derin boşaltmaya izin veren kurşun-asit bataryalardır. Nikel-kadmiyum, nikel-demir ve demir-hava gibi daha uygun batarya türleri de bulunmaktadır, ancak bu bataryalar ya çok pahalı ya da henüz geliştirme aşamasında olduklarından pratik uygulamalar için yeteri kadar güvenilir değildir. Kurşun-asit bataryalar en yaygın kullanılan batarya tipi olmasına rağmen en karmaşık batarya tipleridir. Aşırı şarj ve aşırı deşarjdan korunmalıdır, ayrıca uzun süreli olarak ta düşük şarj seviyelerinde tutulmamalıdır. İşletme koşullarına göre bataryaların ömrü 3 yıl ile 15 yıl arasında değişmektedir. İlk yatırım maliyetleri düşük olmasına rağmen bakım ve yenileme maliyetleri yüksektir. Deşarj sırasında plakalar ile elektrolit arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon yük üzerinden elektrik akımı geçmesini sağlar. Şarj sırasında bu kimyasal reaksiyon tersine çevrilir. Batarya kapasiteleri Ah veya nominal gerilimlerin çarpımı sonucu elde edilen kWh olarak ifade edilir. Bataryanın saklama kapasitesi üzerinde yazılan kapasitesinden farklı olabilir. Saklama kapasitesi yaşına, çalışma şekline ve bakımına bağlıdır. Bataryaların kullanım sürelerini ve verimliliğini etkileyen diğer bir etken de ortam sıcaklığıdır. Ortam sıcaklığındaki her 10 C° derece artış bataryanın kullanım süresini yarı yarıya azaltır. Diğer taraftan negatif sıcaklıkta şarj verimi düşük olur. Kurşun-asit bataryaların 20 C° derece sıcaklıktaki kullanım süreleri 5 ile 10 yıl arasında değişir [4].

Kurulacak hibrit sistem için, Telekom R/L istasyonunun elektrik ihtiyacı dikkate alınarak bataryanın yükü 1 saatlik, 2 saatlik,..24 saatlik, 2 günlük gibi yalnız başına besleme kabiliyeti planlamalar yapılabilir, ve bu belirlenen planlamaya göre de batarya

özellikleri belirlenir. Batarya özelliklerine göre hem fiyatları değişmekte, hem de optimum tasarımı belirleyecek rüzgar türbin sayısı ve güneş pillerinin sayısı etkilenmektedir. Çizelge 3.1’de sistemde gerek duyulan enerji miktarları ve sistemin gereksinim duyduğu toplam enerji miktarı belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Telekom R/L istasyonu güç dağılımı

Telekom Radyolink İstasyonu Güç Dağılımı		
AC	DC	TOPLAM
1300 W	200 W	1500 W

Bu çalışmada bataryaların yükü yalnız başına besleme kabiliyetini belirlerken, bataryaların yükü sadece 1 saat besleyebileceği şekilde bir tasarım planlaması yapılmıştır. Talep edilen yük olarak 1300 W AC ve 200 W DC olmak üzere toplam 1500 Wh olduğu varsayılmıştır.

Tasarımda kullanılması planlanan batarya 12 V/75 Ah ve max. şarj derinliği ise %85 olan bataryadır. Gereken batarya sayısı için;

$$1500 \text{ (Wh)} * 1 \text{ saat} / 12 \text{ (V)} = 125 \text{ Ah elde edilmekte,}$$

$$\text{Gerekli batarya sayısı ise, } 125 \text{ Ah} / (0,85 * 75 \text{ Ah}) = 1,96 \text{ adet olarak belirlenmektedir.}$$

Buna göre hibrit sistem tasarımı yapılırken, rüzgar ve güneş kaynaklarından enerji üretilemediği durumlarda bataryaların yükü 1 saat bağımsız olarak besleyebilmesi için 2 adet 12 V, 75 Ah’lık seri batarya kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durumda dizi (string) 2 bataryadan oluşacak olup, programda tarama yaparken 2:2:128 şeklinde tarama yapılmaktadır. Optimizasyonda kullanılacak batarya sayısını belirlemede ise çıkan BT sayısı 2 ye bölünerek kaç adet dizi olduğu belirlenmektedir.

Herhangi bir saatte bataryadaki enerji miktarı, bataryanın t-1 saatinden t saatine geçtiği durumu ile ilişkilidir. Bu durum şarj, deşarj veya nötr durumlarda olabilir. Bataryaların t-1 saatinde kısmen veya tamamen boş olması durumunda sonraki saatlerde rüzgar türbini ve güneş pillerinden elde edilecek enerji ilk olarak bataryaları şarj edecektir. Şarj işlemi gerçekleşirken batarya kapasitesi şu şekilde değişecektir:

$$BE(t) = BE(t-1).(1-\sigma) + \left(E_{GP}(t) + E_{RT}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} \right) * \eta_{bt} \quad (3.7)$$

Diğer taraftan, yük talebi üretilen enerjiden daha büyük iken, batarya seti, deşarj durumunda olacaktır. Bu nedenle, t saatindeki batarya kapasitesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$BE(t) = BE(t-1).(1-\sigma) - \left(\frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} - (E_{GP}(t) + E_{RT}(t)) \right) \quad (3.8)$$

Burada $BE(t)$ ve $BE(t-1)$ batarya gurubunun (Wh) t ve t-1 zamanındaki şarj durumudur. σ saatlik kendi kendine deşarj oranı, $E_{GP}(t)$ ve $E_{RT}(t)$ sırasıyla hibrit şarj kontrol ünitesindeki enerji kaybından sonra güneş pili ve rüzgar jeneratörlerinden elde edilen enerjiler, $E_L(t)$ t zamanında talep edilen yük; η_{inv} ve η_{bt} inverter verimi ve batarya gurubunun şarj verimliliğidir. Bataryaların verimliliği şarj akımına bağlı olarak % 65-85 arasında değişmektedir.

σ batarya setinin kendi kendine deşarj oranıdır. Üretici dökümanlarında genellikle 20 C° sıcaklıktaki ortamda % 0.10 olduğu görülmektedir.

η_{inv} inverter verimidir ki bu çalışmada sabit olarak % 92 kabul edilmiştir.

Herhangi bir saatte depolama kapasitesi aşağıdaki sınırlamalara bağlıdır:

$$K_{bat(min)} \leq K_{bat}(t) \leq K_{bat(maks)}$$

Burada $K_{bat(min)}$ ve $K_{bat(maks)}$ minimum ve maksimum müsaade edilebilir depolama kapasiteleridir. Herhangi bir t anında şarj miktarı aşağıdaki aralıkta olmalıdır:

$$BE_{min} \leq BE(t) \leq BE_{maks}$$

Batarya gurubunun maksimum şarj miktarı olan BE_{maks} batarya gurubunun nominal kapasite değerini (V_{bat}) alır, ve batarya gurubunun minimum şarj miktarı olan BE_{min} ise deşarjın maksimum derinliği olan DOD tarafından belirlenir.

$$BE_{min} = (1 - DOD).K_B \quad (3.9)$$

Üretici özelliklerine bağlı olarak, eğer DOD % 30-50 arasında bir değer alırsa bataryanın ömrü uzatılabilir.

Batarya boyutlandırması deşarjın maksimum derinliği, oransal batarya kapasitesi ve batarya ömrü gibi faktörlere bağlıdır. Yük talebini karşılamak için kullanılan batarya setinin toplam kapasitesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$K_{bat} = \frac{E_L \cdot G_D}{V_{bat} \cdot (DOD)_{max} \cdot T_{cf} \cdot \eta_b} \quad (3.10)$$

Burada E_L (Wh) yük, G_D depolama gün sayısı, V_{bat} batarya gurubu voltajı, DOD deşarjın maksimum derinliği, T_{cf} sıcaklık doğrulama faktörü ve η_b ise batarya verimliliğidir.

3.4. İnverter

Bu çalışmada kullanılan rüzgar türbinleri ve güneş pilleri çıkışlarının DC olması, bu bileşenlerden oluşan hibrit sistemin yükü besleyecek yeterli enerjisi olmadığı durumlarda devreye girecek olan bataryaların çıkışının DC olması ve bu hibrit sistemde kullanılacak olan hibrit şarj kontrol ünitesinin çıkışının DC olması sebebi ile çizelge 3.1'den de görüleceği üzere yük tarafından talep edilen 1300 W'lık AC enerji için inverter kullanılması gerekmektedir. İnverter çıkışında kullanılan frekans şebeke ile çalışacak cihazlara uygun olan 50 Hz'dir. Küçük ölçekli yükleri beslemek için kurulan hibrit sistemlerde genellikle tek faz inverter kullanılır. Büyük ölçekli hibrit sistemlerde ise yükler 3 faz ile beslendiğinden 3 fazlı inverterler kullanılmaktadır. DC'nin AC'ye dönüştürülmesi esnasında küçük miktarda bir enerji kaybı olmasına rağmen bir inverter, rüzgar türbini ve/veya güneş pil(ler)i tarafından üretilen elektriği, Telekom R/L istasyonunda AC ile çalışan cihazların, lambaların ve diğer AC ekipmanların çalıştırılmasını sağlayacak bir güce dönüştürmektedir.

Güneş pillerinden ve rüzgar türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi günün değişik zamanlarında farklı gerilim değerleri vermektedir. Oluşturulacak sistemin, yükün türüne bağlı olarak sürekli sabit çıkış gerilimi vermesi istenir. Bunu sağlamak için devreye bir

adet dönüştürücü (converter) bağlanır. Ayrıca bu hibrit sistemlerin daha verimli olması için DC/DC dönüştürücüleri kullanılmaktadır. Kullanılan dönüştürücü çeşitleri ise yükselten, alçaltan ve alçaltan-yükselten dönüştürücüler olarak tanımlanabilir.

3.4.1. İnverter Kapasitesinin Belirlenmesi

Bu çalışmada yük olarak belirlenen R/L istasyonunda kullanılan cihazlar genelde 220 V ve 50 Hz alternatif akımla çalışmalarının yanında DC olarak çalışan cihazlarda bulunmaktadır. Hibrit şarj kontrol ünitesinin çıkışı DC olması sebebi ile DC yükler için ekstra bir cihaza gerek duyulmamaktadır. Ancak, AC ile beslenen yükler için güneş panellerinden ve rüzgar türbinlerinden üretilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gerekir. Bunun için de çeviriciye(inverter) ihtiyaç vardır. Çevirici kapasitesi belirlenirken, kullanılacak cihazın üretilen güç değerinden daha fazla olması istenmektedir. Çevirici çıkışından alınacak güç miktarı çeviricinin girişine gelen güç ile çevirici veriminin çarpılması ile bulunmaktadır. Çevirici kayıpları genellikle %10 civarındadır. Bu çalışmada % 8 kabul edilmiştir.

$$\text{İnverter Kapasitesi} = \left(\frac{\text{saatlik enerji ihtiyacı} * \text{inverter kaybı telafisi}}{\text{Baz alınan süre (1 saat)}} \right) \quad (3.11)$$

Buna göre hibrit sistemde olması gereken inverter kapasitesi:

$$\text{İnverter Kapasitesi} = \left(\frac{1300 \text{ W} * 1.08}{(1 \text{ saat})} \right) = 1404 \text{ W}$$

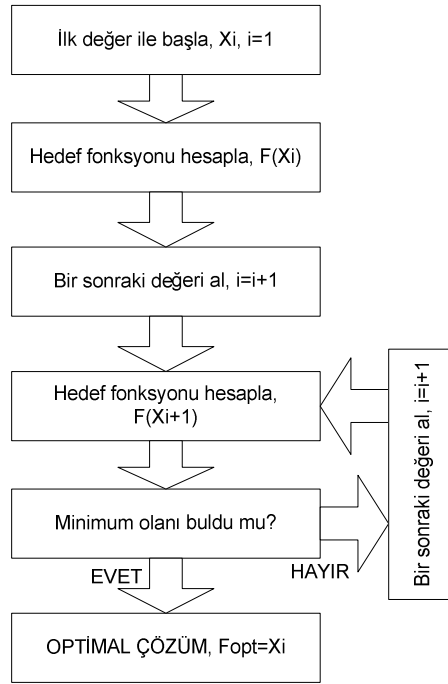
3.5. Hibrit Şarj Kontrol Ünitesi

Hibrit şarj kontrol üniteleri hibrit sistemlerin beynidir. Şebekeden bağımsız hibrit sistemlerde sistemin çalışmasını denetlemek için kullanılırlar. Hibrit şarj kontrol üniteleri üzerinde batarya geriliminin istenen değere geldiğinde şarjın kesilmesi, batarya voltajının belli bir değerin altına düşmesi durumunda batarya ve yük sistemine zarar gelmemesi için yük bağlantısının otomatik olarak kesilmesi gibi özellikler kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir. Ayrıca, hibrit şarj kontrol üniteleri yardımıyla bataryaların gerilimi, mevcut kapasitesi, anlık şarj akımı değerleri, rüzgar türbini ve güneş pillerinden elde edilen gerilim ve akım değerleri de ölçülebilmekte ve bunlar günlük-haftalık olarak kayıt edilebilmektedir. Kaydedilen bu verilere SMS v.b. yollarla veya direk PC bağlantısı yaparak ulaşılabilmektedir. Hibrit şarj kontrol üniteleri çalışmaları sırasında minimum seviyede güç tüketmektedirler.

4.YÖNTEM

4.1. Direk Ayrıntılı Arama Metodu

Direk Arama Metodu 1960'lı yıllarda geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır, fakat 1970'li yılların başında tutarlı bir matematiksel analizi olmadığı için bilim toplumunun gözünden düşmüştür. Yinede kullanıcılar programlamasının kolay olması ve güvenilir olması sebebi ile bu metoda sadık kalmışlardır. Son on beş yılda ise, bu metot tekrar ilgi görmeye başlamıştır.



Şekil 4.1. Direk Ayrıntılı Arama Metodu akış diyagramı

Direk ayrıntılı arama metodu, amaç fonksiyon hakkında ekstra herhangi bir bilgi gerektirmez. Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir metottur. Geleneksel optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak, doğrudan arama algoritması ile noktalar kümesi içerisinde o an için amaç fonksiyonunun değerinden daha düşük bir nokta arar. Bu amaç fonksiyonu türevlenebilir değildir, hatta sürekli olmadığı için de sorunları çözmek için doğrudan aramada kullanılabilir [5].

Direk ayrıntılı arama metodu hedef sonuca ulaşmayı garanti eden bir metottur. Hedef sonuca ulaşmak için taranması gereken aralıktaki bütün değerleri tarama prensibine göre çalışır. Bugüne kadar hibrit sistemlerin optimizasyonunda kullanılmış metotlardan Grafiksel İnşa Metodu'nda optimizasyon sürecinde sadece ya güneş pili ve batarya ya da sadece güneş pili ve rüzgar türbini gibi sadece iki parametre üzerinde tarama

yapılabilmesi, Olasılıklı Yaklaşım metodunun seri zamanlı veriye ihtiyaç duymamasının yanı sıra yük ve kaynakların dalgalanmalarını birleştirme temelli çalışması, Tekrarlamalı Metotta yine rüzgar türbin yüksekliği gibi sistem tasarımını etkileyen bazı parametrelerin hesaba katılamaması, Genetik Algoritma tekniğinde ise direk ayrıntılı arama metoduna göre daha kısa sürede sonuca ulaşabilmesine rağmen lokal minimumu takılma olasılığı bulunması sebebi ile bu çalışmada global minimumu bulmayı garanti eden Direk Ayrıntılı Arama Metodu kullanılmıştır.

4.2. YGKO Kavramına Dayalı Güç Güvenirliği Modeli

Üretilen enerji miktarını önemli derecede etkileyen güneş ışıması ve rüzgar hızı karakteristiklerinin zaman içerisinde değişmesi ve kesilebilmesinden dolayı, güç güvenilirliği analizi herhangi bir sistem tasarım sürecinde önemli bir aşama olarak hesaba katılmalıdır. Güvenilir bir elektrik gücü sağlayan sistem, hemen hemen tüm periyotlarda yükün talep ettiği gücü sağlayabilecek yeterli güce sahip anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle, YGKO değerinin küçük olması durumudur. Hibrit sistem yük tarafından talep edilen enerjiyi karşılayamadığı zamanlarda yükün enerjisiz kalma olasılığı hesaplanır. Yükün güçsüz kalma olasılığını hesaplamada kullanılan değişkenin (bu çalışmada MATLAB programı ile yazılan programda A değişkenidir) değerinin değişmemesi durumu yükün talep ettiği gücün hibrit sistem tarafından sağlandığı, değerinin artması ise o saatte hibrit sistem tarafından üretilen enerjinin yükü beslemeye yeterli olmadığı anlamı çıkmaktadır. YGKO istatistiksel bir parametredir ve hesaplanması sadece güneş ışıması ve rüzgar hızı verilerinin iyi veya kötü olduğu periyotlar ile ilgili değildir. Aynı zamanda bataryaların o saatteki durumu ile de ilgilidir. Bu nedenle, bu verilerin kötü olduğu saatlerde sistem büyük oranda güçsüz kalır.

Bu çalışmada YGKO hesaplamasında kullanılan yaklaşım kronolojik temellidir. Bataryanın enerji birikiminin etkisi göz önüne alındığında, sistemin çalışmasını daha kesin bir şekilde analiz etmek için, bu çalışmada kronolojik metot kullanılmıştır. Bu yaklaşım zamanın belli bir periyodundaki verileri taramayı gerektirir ve bu verilerin hesaplamasına dayalıdır. Hedef fonksiyon YGKO, yüzdelik olarak hesaplanacak ve aşağıdaki formüle göre belirlenecektir:

$$YGKO (\%) = (A/8760) * 100 \quad (4.1)$$

Buradaki A değişkeni, hem güneş pili hem de rüzgar türbini tarafından üretilen güç yükün talebini karşılayamadığı ve bataryadaki enerjinin tükendiği durumlarda yükün güçsüz kaldığı toplam saat sayısını göstermektedir. 8760 sayısı 2010 yılının 1 Ocak 2010 saat 00:00'dan başlayıp, 31 Aralık 2010 saat 00:00'a kadar olan toplam 8760 saati ifade etmektedir.

Yük tarafından ihtiyaç duyulan güç şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_{iht}(t) = P_{ACyük}(t)/\eta_{inv}(t) + P_{DCyük}(t) \quad (4.2)$$

4.3. Optimizasyon Modeli

Aşağıda anlatılan optimizasyon modeli, direk ayrıntılı arama metodu kullanılarak YGKO tekniği ve SYM kavramı açısından batarya destekli çalışan hibrit güneş-rüzgar sisteminin optimal konfigürasyonunu elde etmek için bir simülasyon aracıdır.

Optimizasyon sürecini içeren karar değişkenleri güneşpili modül sayısı (GP), rüzgar türbini sayısı (RT), batarya sayısı (BT) ve rüzgar türbini kurulum yüksekliği (RTyuks)'dir. Saatlik datanın bir yılı, düz yüzeyde güneş ışıması ve rüzgar hızı verilerini içerir. Sistem konfigürasyonu'nun başlangıç varsayımı aşağıdaki kısıtlama eşitsizliklerine tabi tutulmuştur:

$$\begin{aligned} RT &= 0:1:20 \\ GP &= 0:1:200 \\ BT &= 2:2:128 \\ RTyuks &= 12:6:30 \end{aligned}$$

Akış diyagramından ve EK'te sunulan programdan da görüleceği gibi programın çalışması şu şekildedir:

1. Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan ve daha sonradan rüzgar hızı verisi 784 m yüksekliğe göre hesaplanan 2010 yılına ait Excel ortamındaki veriler MATLAB programı tarafından okunur. Bu 8760 saatlik güneş ve rüzgar verileri Gunes ve Ruzgar değişkenlerine atanır. Maliyet hesaplaması yapılırken maliyetin karşılaştırılması için bir referans SYM değeri girilir.

2. RT=0, GP=0, BT=2 ve RTyuks=12 m değerleri ile program çalışmaya başlar. Bu değerlere göre batarya(lar)nın depolayabileceği enerji miktarı, batarya üzerindeki son

enerji miktarı, bataryaların depolayabileceği maksimum ve minimum enerji miktarları hesaplanır.

3. Toplam yük miktarı, kullanılacak güneş pilinin gücü, güneş pili verimi, bir güneş pilinin kapladığı alan, optimizasyon sürecinde kullanılacak rüzgar türbine ait cut-in, oransal ve cut-off hız verileri ve bu rüzgar türbinine ait oransal güç verisi okunur. Aynı şekilde inverter verimi, batarya verimi ve bataryanın saatlik kendi kendine deşarj oranı verileri okunur.

4. 8760 saatlik rüzgar ve güneş verilerini tek tek değerlendirmek üzere t zaman değişkenine 1 değeri atanır. Atanan bu $t=1$ değerine göre 1. saatte üretilen güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi güçleri hesaplanır. Elde edilen toplam enerjiyi hesaplamak için elde edilen bu enerji miktarları toplanır.

5. Bu aşamadan itibaren elde edilen toplam enerji miktarı, bataryadaki enerji miktarı ve yük tarafından talep edilen enerji miktarları arasında karşılaştırmalar yapılarak yüke güç sağlanmaya çalışılır. Bu karşılaştırma şu şekilde gerçekleşmektedir:

5.a. İlk olarak güneş pil(ler)i ve rüzgar türbin(ler)i tarafından üretilen toplam enerjinin yük tarafından talep edilen 1500 W'lık enerjiyi karşılayabilecek kapasitede olup olmadığı sorgulanır. Elde edilen toplam enerji yükten büyük ise veya eşit ise yükün ihtiyaç duyduğu güç buradan karşılanır. Artan enerji var ise bunu bataryada kullanabilirliğini sorgulamak için batarya(lar)daki boşluk sorgulanır.

5.a.1. Eğer bataryalarda boşluk var ise bataryalar bu artan enerji ile inverter verimi, batarya verimi ve bataryanın kendi kendine deşarj oranlarının da hesaba katıldığı (3.7) denklemindeki gibi bir şarj işlemine tabi olurlar. Ancak, bu şarj esnasında en fazla 2. maddede belirtilen maksimum değere kadar şarj olurlar.

5.a.2. Eğer bataryalarda boşluk yok ise artan enerji atılır.

5.b. Eğer elde edilen enerji yükten büyük veya yüke eşit değilse yük tarafından talep edilen enerji bataryalardaki enerji ile karşılaştırılır. Bu sebeple, bataryaların enerji durumu sorgulanır:

5.b.1. Eğer bataryalardaki enerji yükten büyük ise, inverter verimi ve bataryanın saatlik kendi kendine deşarj oranlarını da hesaba katan (3.8) denklemine göre bataryalar deşarj olur. Yük bu şekilde beslenmiş olur. Burada deşarj olurken bataryanın 2. maddede

aldıkları minimum seviyeye kadar deşarj olması dikkate alınır. Eğer bataryalar deşarj esnasında minimum seviyeye düşerse hibrit şarj kontrol ünitesi bataryaları korumak adına deşarjı keser. Bu durumda yük güçsüz kalır. Bu sebeple teknik optimizasyonda kullanacağımız yükün güçsüz kalma olasılığını hesaplama formülünde kullanılacak A değeri 1 arttırılır. Bataryalar bu deşarj sürecinde minimum seviyeye düşmez ise yük tarafından talep edilen enerji bataryalar tarafından sağlanmış olur ve yük güçsüz kalmayacağı için A değerinin değeri değişmez.

5.b.2. Eğer bataryalardaki toplam enerji, yükü beslemeye yetecek kadar değil ise yük güçsüz kalmış olacaktır ve A değeri 1 arttırılacaktır.

6. Bu hesaplamaların ardından t değişkeni 2 ($t=2$) değerini alacaktır. 8760 saatlik verilerin 2. saatindeki rüzgar ve güneş verilerine göre yukarıdaki hesaplamalar tekrardan yapılacaktır. Bu hesaplamalar $t=8760$. saate kadar tekrarlanacaktır.

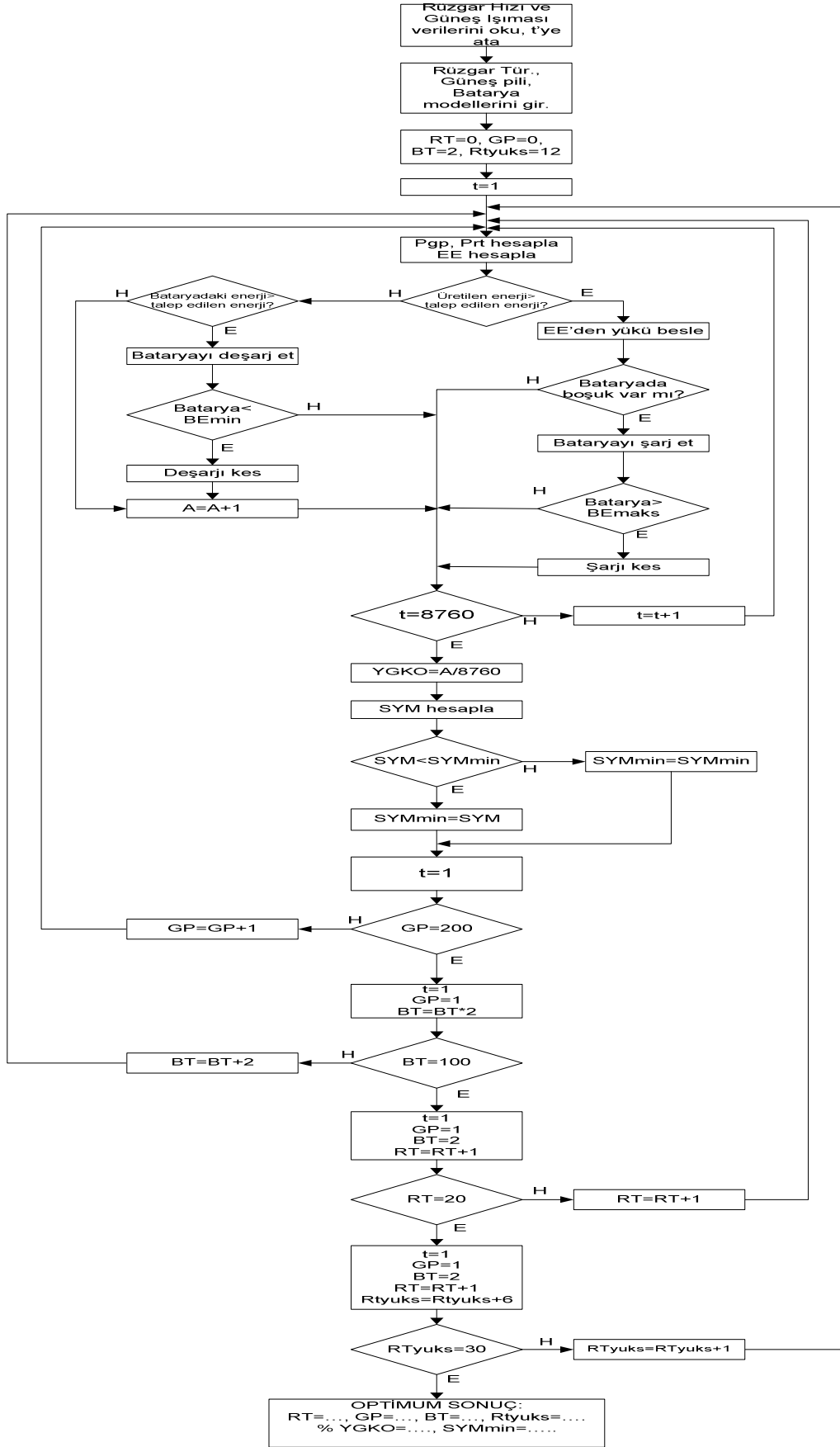
7. 8760 saatlik verileri göre hesaplamalar yapıldıktan sonra 2 maddesindeki başlangıç verilerine göre çıkan yükün güçsüz kalma olasılığı (YGKO) hesaplanır.

8. Hesaplanan bu YGKO değeri hangi aralıklarda hesaplanmak isteniyorsa o aralıkta sorgulama yapılır. Hesaplanan YGKO değeri bu aralığa giriyorsa program tarafından SYM hesaplanır.

9. Hesaplanan SYM değeri başlangıçtaki veya en düşük SYM değeri ile karşılaştırılır. Eğer hesaplanan SYM değeri daha düşük ise en düşük SYM değerine bu değer atanır. En küçük SYM değerinden büyük ise sistem optimizasyon hesaplamasında kullanılacak değerler en düşük SYM değerine denk gelen değer olacaktır.

10. Bu aşamaya kadar hesaplamalar ilk parametre değerleri olan $RT=0$, $GP=0$, $BT=2$ ve $RTyuks=12$ m değerlerine göre yapılır. Bu aşamadan sonra $RT=0:1:20$, $GP=0:1:200$, $BT=2:2:128$, $RTyuks=12:6:30$ aralıklarına göre değerler değişerek ayrı ayrı istenilen aralığa göre 8760 saat sonucunda oluşan SYM'ler hesaplanır. En düşük maliyetli çözüme denk gelen RT, GP, BT ve RTyuks sayıları optimizasyon sonucunda kullanılır.

Optimizasyon sürecinin akış diyagramı Şekil 4.2'de görüldüğü gibidir.



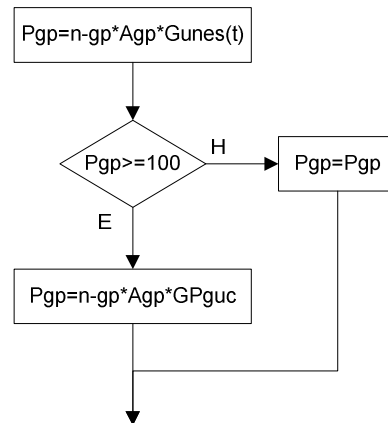
Şekil 4.2. Optimizasyon modeli akış diyagramı

Programın çalışması esnasında kullanılan komutlar, değişkenler ve parametrelere ilişkin bazı açıklamalar şu şekildedir:

Programın çalışması sırasında kullanılan bazı değişkenler için başlangıç değerleri bulunmaktadır. Bunlardan BEmax değeri, bataryanın şarj olması durumunda aşırı şarjdan zarar görmemesi için bataryanın dolması gereken maksimum şarj kapasitesidir. Programda formülleştirilmiş hali $BEmax=(BE*0.9375)$ şeklindedir. Aynı şekilde bataryanın deşarj olması durumunda ise bataryanın aşırı deşarjdan dolayı zarar görmemesi için bataryanın sahip olması gereken minimum deşarj kapasitesidir, programda formülleştirilmiş hali $BEmin=(BE*0.125)$ şeklindedir. Bataryanın kendi kendine günlük deşarj oranı $\sigma = \% 0.1$ ve bataryanın verimi ise $nB=0.85$ olarak belirlenmiştir. Ancak, bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklardan enerji gelmediği zamanlarda bataryanın yükü yalnız başına sadece 1 saat besleyecek şekilde bir tasarım yapıldığından, σ değeri $0.001/(24 \text{ saat})=0.0000417$ olarak alınmıştır.

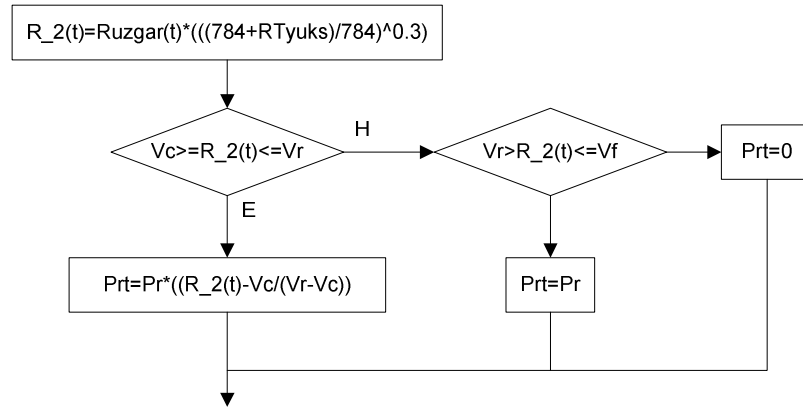
Güneş pilinin verimi $n_{pv}=0.15$, kapladığı alan $Apv=0.9 \text{ m}^2$ ve bir adet güneş pilinin gücü $Ppv=100 \text{ W}$, rüzgar türbini verileri ise, 1000 W rüzgar türbini için cut-in hızı $Vc=2.5 \text{ m/s}$, oransal hızı $Vr=8 \text{ m/s}$, cut-off hızı $Vf=40 \text{ m/s}$, oransal gücü ise $Pr=1000 \text{ W}$, 6000 W rüzgar türbini için cut-in hızı $Vc=3 \text{ m/s}$, oransal hızı $Vr=10 \text{ m/s}$, cut-off hızı $Vf=40 \text{ m/s}$, oransal gücü ise $Pr=6000 \text{ W}$ iken, 10000 W rüzgar türbini için cut-in hızı $Vc=3 \text{ m/s}$, oransal hızı $Vr=10 \text{ m/s}$, cut-off hızı $Vf=50 \text{ m/s}$, oransal gücü ise $Pr=10000 \text{ W}$ olarak belirlenmiştir.

İnverter verimi, $n_{inv}=0.92$ şeklindedir ve yük değeri ise 1500 W olarak belirlenmiş olup, $t=1:1:8760$; Meteorolojiden Bölge Müdürlüğü'nden alınan 8760 saatli rüzgar ve güneş verilerinin taranmasını sağlamak üzere kullanılan bir komuttur.



Şekil 4.3. Güneş pili ile elde edilen enerji hesaplaması akış diyagramı

Şekil 4.3'teki akış diyagramı ile okunan güneş verisinden o saatteki elde edilebilecek güneş enerjisi değeri hesaplanır.



Şekil 4.4. Rüzgar Türbini ile elde edilen enerji hesaplaması akış diyagramı

Şekil 4.4'teki akış diyagramı ile okunan güneş verisinden o saatteki elde edilebilecek güneş enerjisi değeri hesaplanır.

t saatindeki güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi hesaplandıktan sonra üretilen toplam enerjinin hesaplanması için bu enerjiler toplanır. Bu işlem için $EE=(P_{wt}*WT+P_{pv}*PV)*n_{inv}$ formülü kullanılır. Burada elde edilen enerjinin yük talebini karşılayabilmesi durumunda alternatif akım (AC)'a dönüşebilmesi için inverter'den geçmesi gerekmektedir. Bu noktada inverter'den dolayı bir kayba uğrayacağı için toplam enerji hesaplanırken 0.85 lik bir n_{inv} değeri ile çarpılır.

t saatinde üretilen toplam EE enerjisi yük tarafından talep edilen (CE) enerjiden fazla ise, yük EE tarafından beslenir. Artan enerji kalırsa, bataryanın durumu kontrol edilir. Eğer bataryada boşluk varsa, batarya BE_{max} değerine kadar $BE_{son}=BE*(1-gama)+(EE-CE/n_{inv})*nB$ formülüne göre şarj olur. Bu durumda yük güçsüz kalmayacağı için yükün güçsüz kalma olasılığı hesabında kullanılan A değerinin durumu değişmeyecektir. Bataryada boşluk yok ise EE enerjisi yükü besledikten sonra kalan enerji atılır.

t saatinde üretilen toplam EE enerjisi yük tarafından talep edilen (CE) enerjiden fazla değil ise, bataryaların yükü besleme durumu kontrol edilir. Eğer, t saatinde bataryalardaki toplam enerji yük tarafından talep edilen enerjiden fazla ise, yük bataryalar tarafından beslenir. Bataryalar $BE_{son}=BE*(1-gama)-(CE/n_{inv}-EE)$ formülüne göre deşarj olur. Bu deşarj esnasında bataryanın son enerjisi kontrol edilir.

Eğer bataryanın son enerjisi bataryanın minimum deşarj noktasına gelirse hibrit şarj kontrol ünitesi bataryaların deşarjını keser ve yük güçsüz kalır. Yük güçsüz kalacağı için A değeri 1 artırılır ($A=A+1$).

t saatinde bataryalardaki toplam enerji yük tarafından talep edilen enerjiden küçük ise bataryalarda herhangi bir deşarj durumu gerçekleşecek olup yük güçsüz kalacaktır. Bu sebeple yine yükün güçsüz kalma olasılığı hesaplaması yapmada kullanılan A değeri 1 arttırılacaktır ($A=A+1$).

Bu hesaplamalar t saati 8760 olana kadar devam edecektir. Her t saati için P_{rt} , P_{gp} hesaplanır. En başta seçilen $RT=0$, $GP=0$, $BT=2$ ve $RT_{yuks}=12$ değerlerine bağlı olarak, $EE=(P_{wt}*WT+P_{pv}*PV)*n_{inv}$ formülüne göre EE toplam üretilen enerji hesaplanır.

8760 saatlik tarama sonucunda oluşan A değerine bağlı olarak ve $\%YGKO=(A/t)*100$ formülüne göre $RT=0$, $GP=0$, $BT=2$ ve $RT_{yuks}=12$ değerleri için yükün güçsüz kalma olasılığı hesaplanır.

Bu aşamadan sonra seçilen değerlere göre sistem yıllık maliyet (SYM) hesaplaması yapılır. Bu hesaplama yapılırken yazılan program ile yükün hangi oranda güçsüz kalma olasılığı isteniyorsa o aralıktaki sistem yıllık maliyetleri hesaplanacaktır.

Sistem yıllık maliyet (SYM) hesaplaması $RT=0:1:20$, $GP=0:1:200$, $BT=2:2:128$ ve $RT_{yuks}=12:6:30$ aralıkları için tek tek ($21*201*64*4=1080576$ adet kombinasyon) taranır. Her kombinasyon için sistem yıllık maliyeti (SYM) hesaplanır. En düşük olanı ve bu en düşük SYM oranına denk gelen RT, GP, BT ve RT_{yuks} değerleri sonucu verir.

Bunlar farklı il, farklı rüzgar türbini, farklı güneş pili, farklı bataryalar için yapılabildiği gibi, bu program ile farklı yükün güçsüz kalma olasılıklarına göre istenen sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada sonuçların doğruluğunu karşılaştırmak amaçlı güneş ışıması değerleri Malatya ile hemen hemen aynı, rüzgar hızı verileri ise Malatya ilinden daha yüksek olan Çanakkale ili için de 10 kW'lık, 6 kW'lık ve 1 kW'lık rüzgar türbinleri kullanılarak ayrı ayrı optimizasyon araştırmaları yapılmıştır ve sonuçlar 6. bölümde tablolar halinde verilmiştir.

Bu çalışmada hibrit sistemin optimizasyonu iki kritere göre yapılmaktadır:

4.4. Teknik Kriter

Optimizasyonda kullanılan güvenlik kriteridir. Bu çalışmada sistemin güvenilirliğini, hibrit sistemin (güneş pili, rüzgar türbini ve batarya grubu) yük tarafından talep edilen enerjiyi sağlayamaması olasılığına göre incelenmiştir (YGKO).

YGKO yöntemi aşağıdaki adımlarla özetlenir:

1. Durum - Belirlenen saat için, güneş pili-rüzgar türbini sisteminden üretilen enerjinin yükten fazla olması durumu:

Bu durumda enerji fazlalığı bataryalarda depolanır ve bataryanın yeni durumu (3.7) denkleminde göre belirlenir. Kalan enerji kullanılmaz. YGKO değeri son değerinde kalır. ($YGKO = YGKO$)

2. Durum – Yük tarafından talep edilen enerjinin hibrit sistem tarafından üretilen enerjiden fazla olması durumu:

Bu durumda ise yük tarafından talep edilen enerjiyi karşılamak için bataryalar devreye girecektir. Bataryalar (3.8) denkleminde göre deşarj olarak yükü besleyecektir. Bataryalardaki toplam enerji yükü beslemeye yetecek kadar ise YGKO değeri son durumunda kalmaya devam edecektir. Bataryalardaki enerji yetmez ise yük güçsüz kalmış olacaktır ve YGKO değeri 1 arttırılacaktır. ($YGKO = YGKO + 1$)

Bataryaların bu şarj olma durumu yaşanırken olurken H.Ş.K.Ü bataryanın maksimum değerini hesap ederek bataryaların zarar görmemesi için maksimum değer olan BEmaks değerinde şarjı, bataryanın minimum değerini hesap ederek de bataryaların zarar görmemesi için minimum değeri olan BEmin değerinde deşarjı kesecektir.

4.5. Mali Kriter

Optimizasyonda kullanılan ekonomik kriterdir. Hesaba katılmak zorunda olunan çok sayıda parametre ve değişkenden dolayı, hibrit güneş-rüzgar sistemlerin ölçeklendirmesi tek kaynaklı güç üretici sistemlerden daha karmaşıktır. Bu tür optimizasyonlar ekonomik hedefler içerir ve hem güvenilirlik (YGKO) hem de maliyet (SYM) açısından en iyi uzlaşmayı sağlamak için sistem performansının uzun süreli değerlendirilmesini gerektirir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde maliyet hedef fonksyonu'nun (SYM) minimizasyonunu sağlayacak yöntem ise, optimum sistem konfigürasyonunu dinamik olarak araştıran Direk Ayrıntılı Arama Metodu kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu metod 4.1 bölümde anlatılmıştır.

Ekonomik model, sistemin yıllık maliyeti (SYM) kavramı baz alınarak sistem maliyetini en aza indirmek kriterine göre geliştirilir. Çalışılan hibrit güneş-rüzgar sistemine göre sistemin yıllık maliyeti yıllık ana maliyet, yıllık değiştirme maliyeti ve yıllık bakım maliyetlerinden oluşur. Bu maliyetler hesaplanırken de 5 ana bileşen hesaba katılır: Bunlar güneş pili dizisi, rüzgar türbini, batarya seti, rüzgar türbini kulesi ve diğer cihazlardır. Diğer cihazlar karar değişkenlerinde olmayan (hibrit şarj kontrol ünitesi, inverter, rectifier gibi) aletlerdir. Buna göre toplam yıllık maliyet şu şekilde açıklanabilir:

$$\text{Toplam Maliyet (25 Yıllık)} = \text{İlk Ana Maliyetler} + \text{Değiştirme Maliyetleri} + 25 \text{ Yılda Toplam Bakım Maliyetleri} \quad (4.3)$$

$$\text{Toplam Yıllık Maliyet (25 yıldan 1 yıla düşen maliyet)} = (\text{İlk Ana Maliyetler} + \text{Değiştirme Maliyetleri} + 25 \text{ Yılda Toplam Bakım Maliyetleri})/25 \quad (4.4)$$

4.5.1. İlk Ana Maliyetler

$$\text{İlk Ana Maliyetler} = (\text{RTilkmal} \cdot \text{RT}) + (\text{GPilkmal} \cdot \text{GP}) + (\text{BTilkmal} \cdot \text{BT}) + (\text{INVilkmal} \cdot 1) + (\text{HŞKUilkmal} \cdot 1) + (\text{DİREKilkmal} \cdot 1) + ((\text{RTyuks} - 12)/6 \cdot 400) + (\text{PANOilkmal} \cdot 1) + \text{Kurulum} \quad (4.5)$$

Burada, DİREKilkmal 12 m için 2200 TL, her 6 m için ise 400 TL ek ücret gereklidir. Bu sebeple $((\text{RTyuks} - 12)/6 \cdot 400)$ de formüle eklenmiştir. Her bir bileşenin ilk ana maliyetinde güneş pili dizisi, rüzgar türbini, batarya grubu, rüzgar türbini kulesi, inverter, hibrit şarj kontrol ünitesi pano ve kurulum maliyetleri hesaba katılmıştır.

4.5.2. Değiştirme Maliyetleri

$$\text{Değiştirme Maliyetleri} = (\text{BTimal} \cdot \text{BT} \cdot \text{değişme sayısı}) + (\text{INVilkmal} \cdot 1 \cdot \text{değişme sayısı}) \quad (4.6)$$

Burada, tablodaki RT ve GP'nin yaşam ömürlerinin 25 yıl olması dikkate alınarak BT (yaşam ömrü 4 old.) için değişme sayısı 5, INV (yaşam ömrü 10 old.) için değişme sayısı ise 1,5 olarak alınmıştır.

Çalışılan hibrit sistemde elemanların yaşam ömürleri dikkate alındığında, projenin ömrü boyunca sadece batarya ve inverterin periyodik olarak değiştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

4.5.3. 25 Yılda Oluşan Toplam Bakım Maliyetleri

$$25 \text{ Yılda Toplam Bakım Maliyetleri} = (\text{RTybak} \cdot \text{RT} \cdot \text{bakım sayısı}) + (\text{GPybak} \cdot \text{GP} \cdot \text{bakım sayısı}) + (\text{BTybak} \cdot \text{BT} \cdot \text{bakım sayısı}) \quad (4.7)$$

Burada, RT için bakım sayısı 24, GP için yaşam ömrü 24 ve BT için bakım sayısı ise 18'dir. 5 kez değişim esnasında bakıma ihtiyaç olmamaktadır. İlk sene ve son sene bakım olmayacağından sadece aradaki 3 sene bakım olacaktır. 5 kez değişim, 6 kez bakım aralığı demektir. Bu durumda BT için bakım sayısı=6*3=18 olarak alınacaktır. BT için yaşam ömrü tablodan 4'tür. RT ve GP gibi 25 yıl beraber çalışmaları gerektiği için toplam yaşam ömrü 25 yıl olarak alınmıştır.

Bu çalışmadaki güneş pili dizisi, rüzgar türbini, batarya, kule ve diğer cihazlara ait birim fiyatlar, tam fiyatlar, bakım maliyetleri ve bu bileşenlerin yaşam ömürleri aşağıdaki çizelgede görülmektedir.

Çizelge 4.1. RT= 10 kW olması durumunda maliyetler

Bileşen	Birim Fiyat	Tam Fiyat	Bakım Maliyeti	Yaşam Ömrü
RT (10 kW)	9 TL	9000 TL	%3=270 TL	25
GP (100 W)	3 TL	300 TL	%1=3 TL	25
BT	-	250 TL	%1=2.5 TL	4
Inverter	-	1500 TL	-	10
H.Ş.K.Ü	-	1900 TL	-	-
Direk (12 m)	-	2200 TL	-	-
Pano	-	600 TL	-	-
Kurulum Maliyeti (kablo v.s.)	-	3000 TL	-	-

Buna göre yukarıdaki maliyet denklemlerinin son hali şöyle olur:

İlk Ana Maliyetler =

$$(9000*RT)+(300*GP)+(250*BT)+(1500*1)+(1900*1)+(2200*1)+((RTyüks-12)/6*400)+(600*1)+3000$$

Değiştirme Maliyetleri=

$$(250*BT*5)+(1500*1*1,5)$$

25 Yılda Toplam Bakım Maliyetleri=

$$(270*RT*24)+(3*GP*24)+(2,5*BT*18)$$

Buna göre sistemin yıllık maliyeti:

$$SYM=(İlk Ana Maliyetler + Değiştirme Maliyetleri + 25 Yılda toplam Bakım Maliyetleri)/25 \quad (4.8)$$

Çizelge 4.2. RT=6 kW olması durumunda maliyetler

Bileşen	Birim Fiyat	Tam Fiyat	Bakım Maliyeti	Yaşam Ömrü
RT (6 kW)	4 TL	4000 TL	%3=120 TL	25
GP (100 W)	3 TL	300 TL	%1=3 TL	25
BT	-	250 TL	%1=2.5 TL	4
Inverter	-	1500 TL	-	10
H.Ş.K.Ü	-	1900 TL	-	-
Direk (12 m)	-	2200 TL	-	-
Pano	-	600 TL	-	-
Kurulum Maliyeti (kablo v.s.)	-	3000 TL	-	-

Buna göre yukarıdaki maliyet denklemlerinin son hali şöyle olur:

$$\text{İlk Ana Maliyetler} = (4000 \cdot RT) + (300 \cdot GP) + (250 \cdot BT) + (1500 \cdot 1) + (1900 \cdot 1) + (2200 \cdot 1) + ((RT_{\text{yüks}} - 12) / 6 \cdot 400) + (600 \cdot 1) + 3000$$

$$\text{Değiştirme Maliyetleri} = (250 \cdot BT \cdot 5) + (1500 \cdot 1 \cdot 1,5)$$

$$\text{25 Yılda Toplam Bakım Maliyetleri} = (120 \cdot RT \cdot 24) + (3 \cdot GP \cdot 24) + (2,5 \cdot BT \cdot 18)$$

Buna göre sistemin yıllık maliyeti:

$$\text{SYM} = (\text{İlk Ana Maliyetler} + \text{Değiştirme maliyetleri} + \text{25 Yılda toplam Bakım Maliyetleri}) / 25 ;$$

Çizelge 4.3. RT=1 kW olması durumunda maliyetler

Bileşen	Birim Fiyat	Tam Fiyat	Bakım Maliyeti	Yaşam Ömrü
RT (1 kW)	2,8 TL	2800 TL	%3=84 TL	25
GP (100 W)	3 TL	300 TL	%1=3 TL	25
BT	-	250 TL	%1=2.5 TL	4
Inverter	-	1500 TL	-	10
H.Ş.K.Ü	-	1900 TL	-	-
Direk (12 m)	-	2200 TL	-	-
Pano	-	600 TL	-	-
Kurulum Maliyeti (kablo v.s.)	-	3000 TL	-	-

Buna göre yukarıdaki maliyet denklemlerinin son hali şöyle olur:

$$\text{İlk Ana Maliyetler} = (2800 \cdot RT) + (300 \cdot GP) + (250 \cdot BT) + (1500 \cdot 1) + (1900 \cdot 1) + (2200 \cdot 1) + ((RT_{\text{yüks}} - 12) / 6 \cdot 400) + (600 \cdot 1) + 3000$$

Değiştirme Maliyetleri=
 $(250*BT*5)+(1500*1*1,5)$

25 Yılda Toplam Bakım Maliyetleri=
 $(84*RT*24)+(3*GP*24)+(2,5*BT*18)$

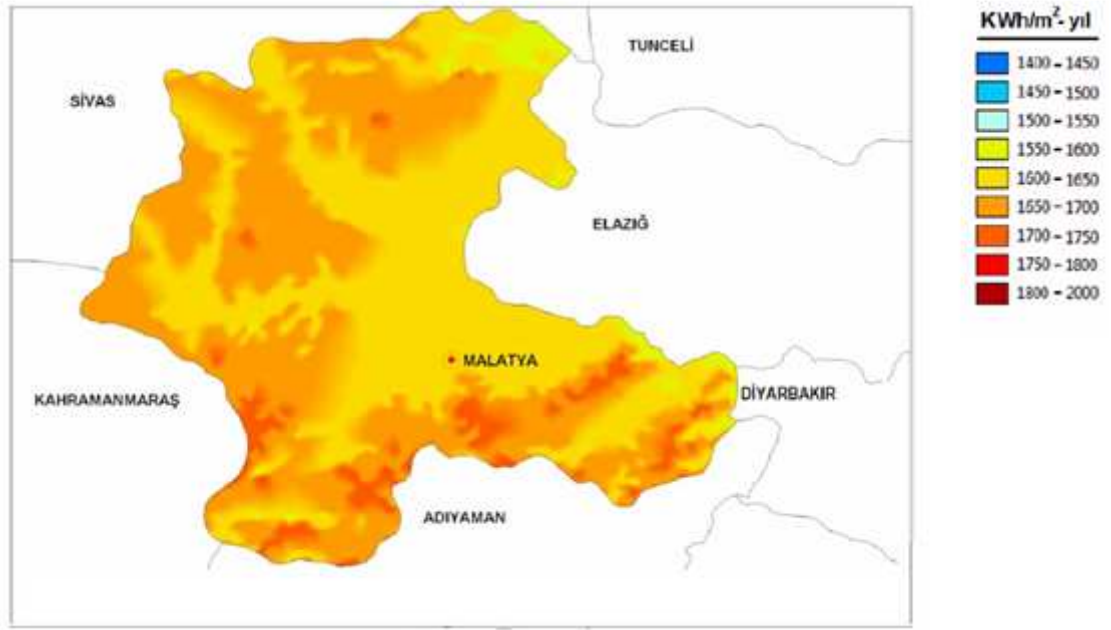
Buna göre sistemin yıllık maliyeti:

$SYM=(İlk\ Ana\ Maliyetler + Değiştirme\ Maliyetleri + 25\ Yılda\ toplam\ Bakım\ Maliyetleri)/25 ;$

5. MALATYA VE ÇANAKKALE İLLERİ VERİ ANALİZLERİ

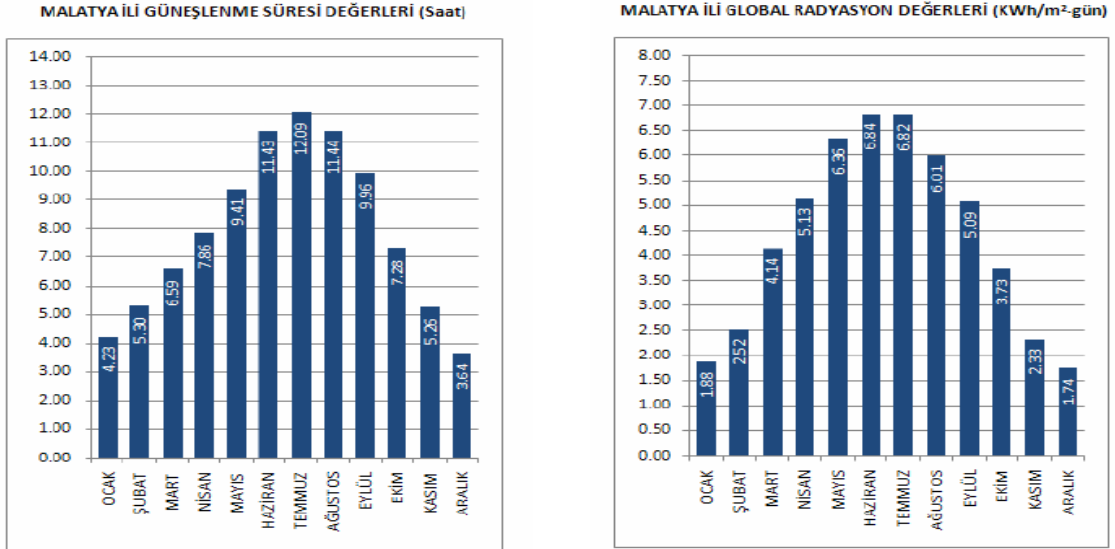
5.1. Malatya İli Meteorolojik Veri Analizi

Malatya ilinde güneş enerjisi ortalamasının yaklaşık olarak 1600-1700 arasında olduğunu Şekil 5.1’de görülmektedir. Bu değerler kWh/m² olarak 1 yılda alınabilecek toplam enerjiyi ifade etmektedir. Koyu olan yerler, güneş enerjisinden daha iyi faydalanılabilecek noktaları göstermektedir Global Güneş Radyasyon dağılım aralığının 1400-2000 arasında olduğu dikkate alınır Malatya ili için global güneş radyasyon dağılımının ortalamasının üstünde olduğu sonucu çıkarılabilir.



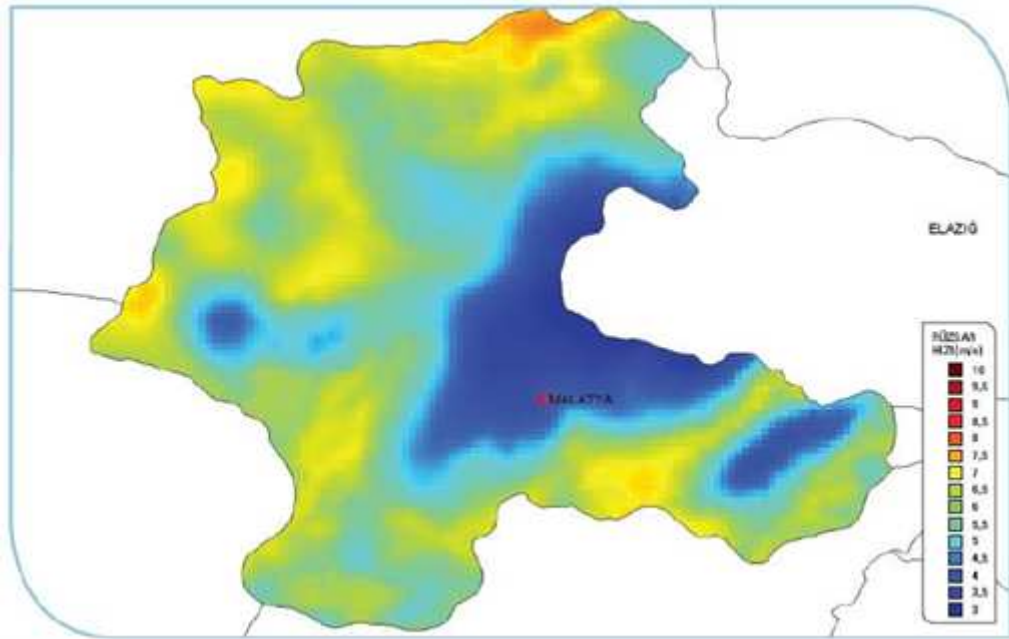
Şekil 5.1. Malatya ili Global Güneş Radyasyon dağılımı

Malatya ili için Şekil 5.2’deki aylara göre güneş değerleri incelendiğinde özellikle sağdaki tablo çok daha önemlidir. Haziran ve Temmuz aylarında oldukça yüksek bir güneş radyasyonunun olduğu görülmektedir. Ocak ve Aralık aylarında ise bu oranın çok daha düşük olduğu görülmektedir. Malatya ilinde yıllık güneşlenme süresi ortalama olarak günde 7,9 saattir. En çok güneş alan ay 12,09 saatle Temmuz ayı iken, en az güneş alan ay ise 3,64 saatle Aralık ayıdır.



Şekil 5.2. Malatya ili güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri

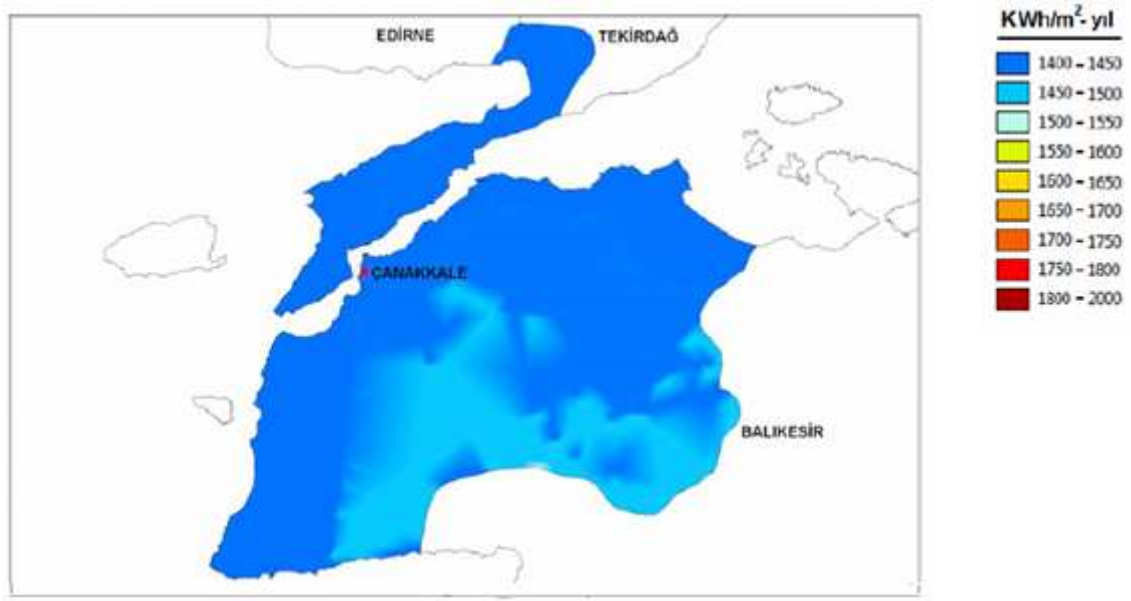
Malatya ilinde cephesel durumlar haricinde rüzgar, genel olarak sakın ve hafif olarak esmektedir. Rüzgarın en fazla estiği yönler güney, güneydoğu ve güneybatı yönleridir. Malatya’da rüzgarın fırtına olarak estiği gün sayısı çok fazla değildir. Malatya ilinde 2010 yılı için 10 metre yükseklikte saatlik ortalama rüzgar hızı 1,64 m/s’dir. 50 metre yükseklikteki rüzgar dağılım hızı Şekil 5.3’teki gibidir. Son 10 yıllık ortalama fırtınalı günler sayısı yıllık 1,1 olup son 10 yılın ortalama rüzgar hızı ise 1,8 m/s’dir.



Şekil 5.3. Malatya ili 50 metre rüzgar hız dağılımı

5.2. Çanakkale İli Meteorolojik Veri Analizi

Şekil 5.4 incelendiğinde Çanakkale ilinde güneş enerjisi ortalamasının yaklaşık olarak 1400-1550 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler kWh/m² olarak 1 yılda alınabilecek toplam enerjiyi göstermektedir. Koyu olan yerler, güneş enerjisinden daha iyi faydalanılabilecek noktaları göstermektedir. Malatya ili global güneş radyasyonu ile karşılaştırıldığında şekillerdeki renklerden de görüleceği üzere Çanakkale ilinin global güneş radyasyon oranı daha düşüktür.

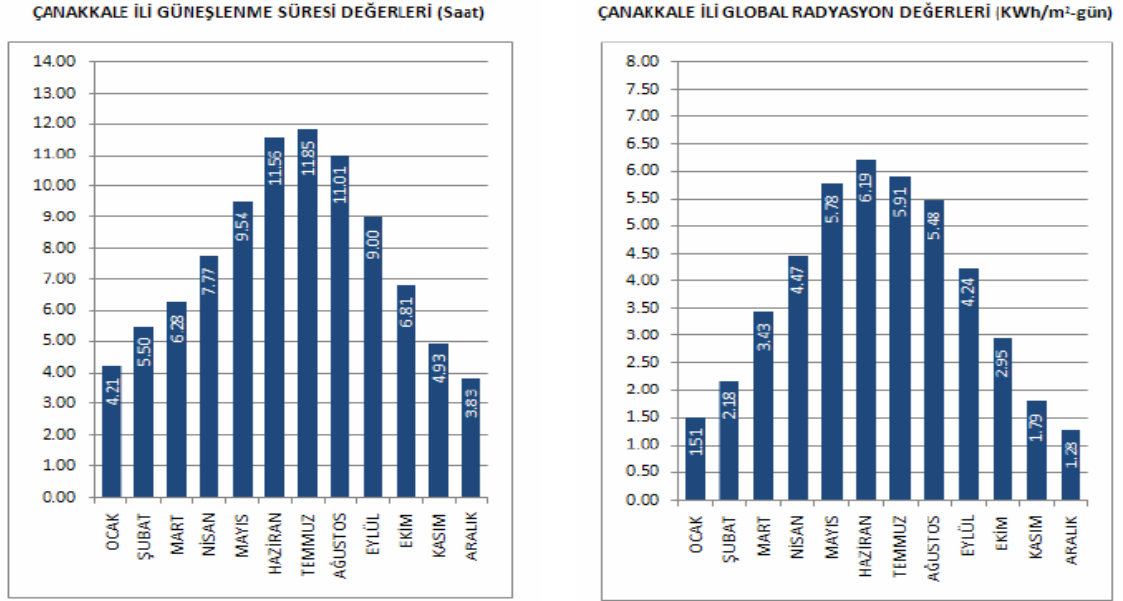


Şekil 5.4. Çanakkale ili Global Güneş Radyasyon dağılımı

Şekil 5.5 incelendiğinde Çanakkale ilinin güneş değerleri aylara göre incelendiğinde global radyasyon değeri Haziran ayında oldukça yüksek bir güneş radyasyonunun olduğunu görülmektedir. Aralık ayında ise bu oranın çok daha düşük olduğu görülmektedir. Çanakkale ilinde yıllık güneşlenme müddeti ortalama olarak günde 7,7 saattir. En çok güneş alan ay 11,85 saatle Temmuz ayı, en az güneş alan ay ise 3,83 saatle Aralık ayıdır.

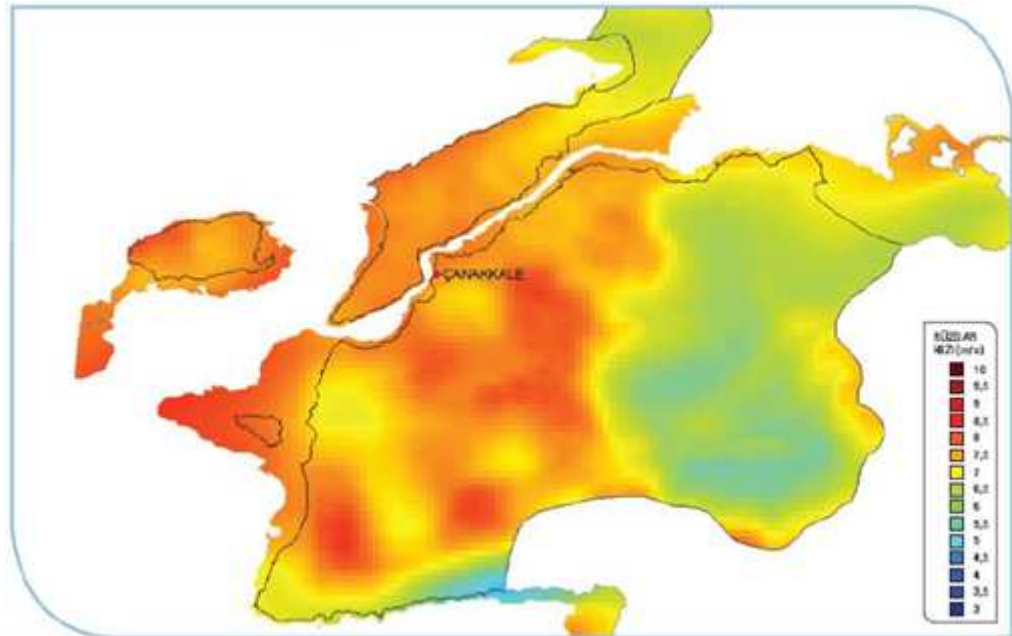
Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan Çanakkale ili, yaz aylarında Azor yüksek basıncı ile Basra alçak basıncı arasındaki rüzgarlardan kış aylarında ise Azor yüksek basıncı ile Sibirya yüksek basıncı arasındaki cephe sistemlerine bağlı olarak şekillenen orta enlem gezici alçak basınçlarından etkilenmektedir. Bu durum hafif dalgalanmalarla birlikte aylık ortalama rüzgar hızının bütün yıl enerji üretim sınırının üstünde olmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan belirtilen basınç sistemlerinin etkili olduğu sahanın

hepsinde değil de özellikle Çanakkale yakın çevresinde rüzgarın hızının artmasının bir diğer nedeni yer şekilleridir.



Şekil 5.5. Çanakkale ili güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri

Çanakkale Boğazı'nın kuzeydoğu güney batı doğrultulu uzanışı rüzgarın boğazda kanalize olmasına ve hızının artmasına neden olmaktadır. İlin 50 metre yükseklikteki rüzgar dağılım hızı Şekil 5.6'daki gibidir [6].



Şekil 5.6. Çanakkale ili 50 metre rüzgar hız dağılımı

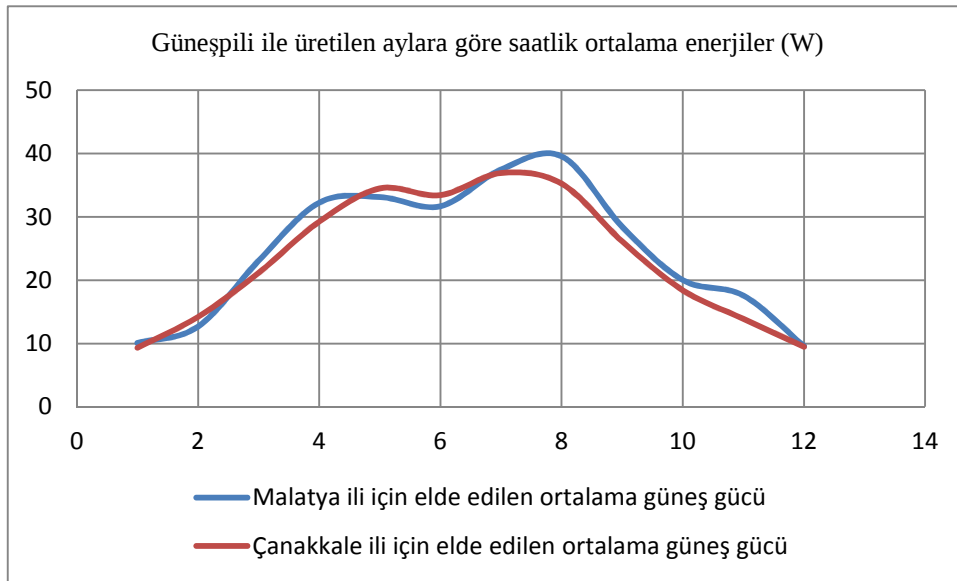
5.3. Aylık Ortalama Güneş Işıması Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli

Çizelge 5.1’den de görüleceği üzere her iki ilde tüm yıl boyunca bir adet güneş pili ile üretilebilecek toplam enerji miktarları da birbirine çok yakın çıkmaktadır.

Çizelge 5.1. Aylık ortalama güneş ışıması ve elde edilen ortalama güç değerleri

2010 YILI – MALATYA ve ÇANAKKALE İLLERİ İÇİN				
AYLAR	Malatya ili ortalama güneş ışıması (Wh/m ²)	Çanakkale ili ortalama güneş ışıması (Wh/m ²)	Malatya ili için güneşten elde edilen güç (W)	Çanakkale ili için güneşten elde edilen güç (W)
OCAK	74,8214	68,8907	10,101	9,300
ŞUBAT	93,9490	105,0467	12,683	14,181
MART	170,9217	156,6065	23,074	21,142
NİSAN	239,0634	216,5028	32,273	29,228
MAYIS	245,4947	255,3276	33,141	34,468
HAZİRAN	234,8247	247,4985	31,701	33,411
TEMMUZ	277,7127	273,3819	37,491	36,906
AĞUSTOS	293,1754	260,8531	39,579	35,215
EYLÜL	210,8315	193,2988	28,462	26,094
EKİM	148,4709	136,2836	20,043	18,398
KASIM	130,2851	102,7664	17,589	13,873
ARALIK	65,2773	70,0079	9,594	9,451
TOPLAM ENERJİ (W)			295,731	281,687

Şekil 5.7’den de görüleceği üzere Malatya ilinde ortalama güneş radyasyon değerine göre üretilebilecek en yüksek enerji miktarı Ağustos ayında alınırken, en düşük enerji miktarı Aralık ayında alınmaktadır. Çanakkale ilinde ise, en yüksek enerji miktarı Temmuz ayında alınırken, en düşük enerji miktarı Ocak ayında alınmaktadır.



Şekil 5.7. Bir adet güneşpili ile ay bazında üretilebilecek saatlik ortalama enerjiler

5.4. Aylık Ortalama Rüzgar Ölçüm Sonuçları ve Enerji Potansiyeli

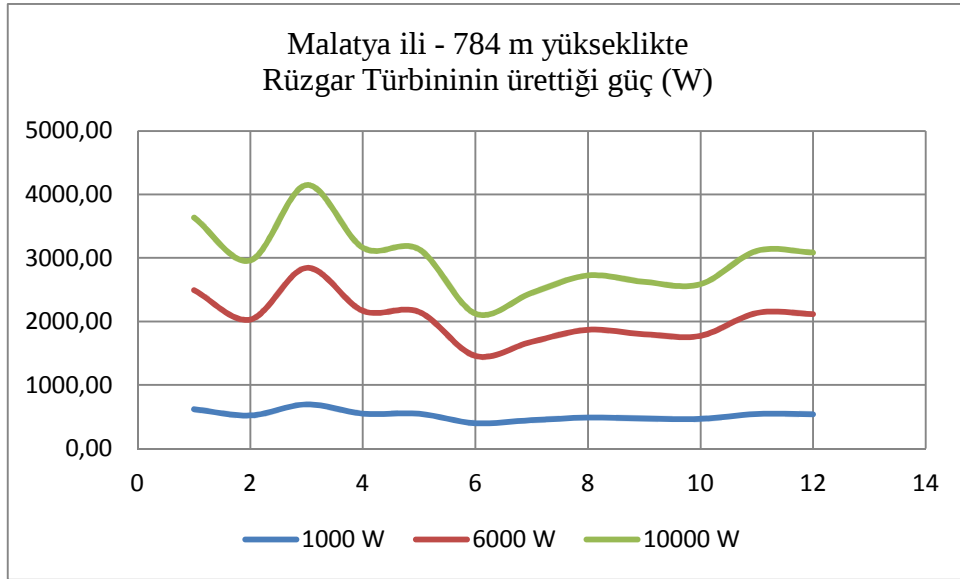
Malatya ili için 10 m yükseklikteki ortalama veriler incelendiğinde 12 ay boyunca rüzgar türbininin enerji üretmesini sağlayacak minimum hızlar Haziran ve Temmuz ayları hariç oluşmaktadır. Bu hızlar 784 m yüksekliğe göre Hellmann katsayısı ile çarpıldığında Çizelge 5.2’den de görüleceği üzere rüzgar türbinlerini çalıştırmaya ve enerji üretilmesine yetecek seviyeye gelmektedir. Ancak, en düşük oransal hız olan 8 m/s ve bu hıza sahip olan 1 kW’lık RT’nin dahi tam kapasite çalışmasını sağlayacak hızlar oluşmamaktadır. 6 kW’lık rüzgar türbininden tüm yıl boyunca elde edilen enerjinin 1 kW’lık rüzgar türbininden elde edilen enerjinin 3,9 katı olduğu görülmektedir. 10 kW’lık rüzgar türbininden tüm yıl boyunca elde edilen enerjinin 1 kW’lık rüzgar türbininden elde edilen enerjinin 5,8 katı, 6 kW’lık rüzgar türbininden de 1,5 katı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. Malatya-Aylık ortalama rüzgar hızları ve üretilen enerjiler

2010 YILI – MALATYA İLİ İÇİN					
AYLAR	Hız (m/s) 10 m (Ortalama hız)	Hız (m/s) 784 m (Ortalama hız)	1 kW Rüzgar Türbini ile elde edilen güç (W)	6 kW Rüzgar Türbini ile elde edilen güç (W)	10 kW Rüzgar Türbini ile elde edilen güç (W)
OCAK	2,9569	5,9138	620,00	2494,29	3637,50
ŞUBAT	2,6872	5,3744	521,82	2031,43	2962,50
MART	3,1596	6,3192	694,55	2845,71	4150,00
NİSAN	2,7667	5,5334	550,91	2168,57	3162,50
MAYIS	2,7537	5,5074	547,27	2151,43	3137,50
HAZİRAN	2,3491	4,6982	400,00	1457,14	2125,00
TEMMUZ	2,4777	4,9554	447,27	1680,00	2450,00
AĞUSTOS	2,5911	5,1822	487,27	1868,57	2725,00
EYLÜL	2,5492	5,0984	472,72	1800,00	2625,00
EKİM	2,5341	5,0682	467,27	1774,29	2587,50
KASIM	2,7427	5,4854	543,64	2134,29	3112,50
ARALIK	2,7362	5,4724	540,00	2117,14	3087,50
TOPLAM ENERJİ (W)			6292,72	24522,86	36762,50

Şekil 5.8’den de görüleceği üzere rüzgar türbininden üretilen enerji aylara göre değişim göstermektedir. Ancak, Malatya ilinin rüzgar rejimin iyi olmaması sebebi ile her üç güçteki rüzgar türbinlerinde de hiçbir ayda rüzgar türbinlerinin oransal hızına ulaşacak kapasitede çalışmadıkları görülmektedir. Rüzgar türbini kapasitesi arttıkça şekilden de görüldüğü gibi üretililecek enerji miktarı da artmaktadır. Ancak, bu değerler ortalama aylık ortalama rüzgar hızlarıdır. Saatlik verilere göre analiz yapıldığı

zamanlarda o anki rüzgar hızı türbini çalıştırmaya yetmeyecek veya türbini tam kapasitede çalıştırabilecek hızda olabilecektir.



Şekil 5.8. Malatya-Rüzgar Türbinlerinin ürettiği ortalama güçler (W)

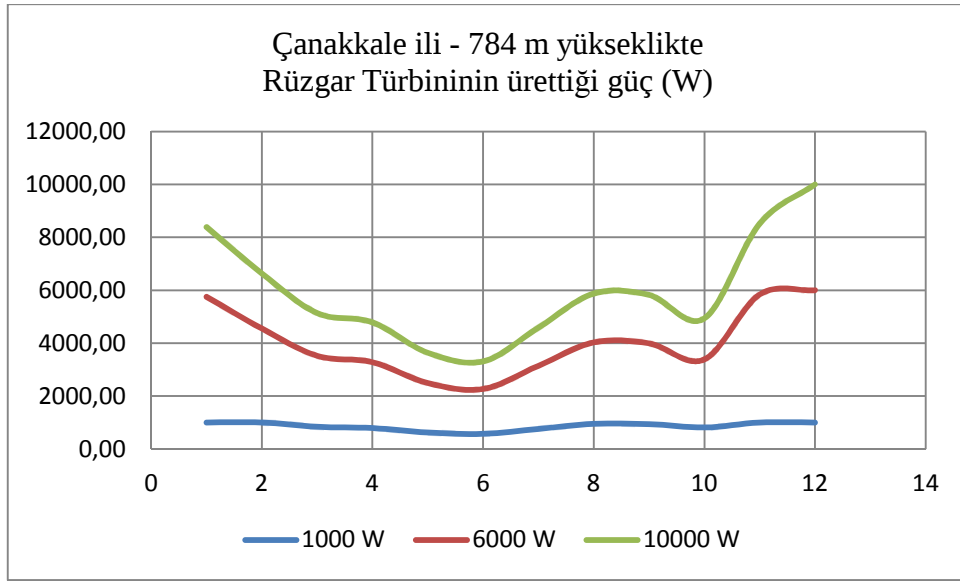
Çanakkale ilinde 10 m yükseklikteki rüzgar hızlarının 784 m yüksekliğe göre Hellmann katsayısı ile çarpıldığında Çizelge 5.3'ten de görüleceği üzere rüzgar türbininin oransal hıza yakın güç ile çalışmasını sağlayacak hızlara ulaşmaktadır.

Çizelge 5.3. Çanakkale-Aylık ortalama rüzgar hızları ve üretilen enerjiler

2010 YILI – ÇANAKKALE İLİ İÇİN					
AYLAR	Hız (m/s) 10 m (Ortalama hız)	Hız (m/s) 784 m (Ortalama hız)	1 kW Rüzgar türbini ile elde edilen güç (W)	6 kW Rüzgar türbini ile elde edilen güç (W)	10 kW Rüzgar türbini ile elde edilen güç (W)
OCAK	4,8543	9,7087	1000,00	5751,43	8387,50
ŞUBAT	4,1569	8,3140	1000,00	4551,43	6637,50
MART	3,5555	7,1112	838,18	3522,86	5137,50
NİSAN	3,4163	6,8328	787,27	3282,86	4787,50
MAYIS	2,9543	5,9086	620,00	2494,29	3637,50
HAZİRAN	2,8253	5,6506	572,73	2271,43	3312,50
TEMMUZ	3,3332	6,6664	758,18	3145,71	4587,50
AĞUSTOS	3,8482	7,6965	945,45	4028,57	5875,00
EYLÜL	3,8275	7,6550	938,18	3994,29	5825,00
EKİM	3,4734	6,9468	809,09	3385,71	4937,50
KASIM	4,9055	9,8111	1000,00	5837,14	8512,50
ARALIK	5,9039	11,8078	1000,00	6000,00	10000,00
TOPLAM ENERJİ (W)			10269,08	48265,72	71637,50

1 kW'lık RT ile Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında tam kapasite güç elde edilebilirken, 6 kW'lık RT ile Aralık ve 10 kW'lık RT ile de Aralık ayında tam kapasite güç elde edilebilmektedir. 6 kW'lık rüzgar türbininden tüm yıl boyunca elde edilen enerjinin 1 kW'lık rüzgar türbininden elde edilen enerjinin 4,7 katı olduğu görülmektedir. 10 kW'lık rüzgar türbininden tüm yıl boyunca elde edilen enerjinin 1 kW'lık rüzgar türbininden elde edilen enerjinin 7 katı, 6 kW'lık rüzgar türbininden de 1,48 katı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.9'dan da görüleceği üzere rüzgar türbininden üretilen enerji aylara göre değişim göstermektedir. Malatya ili ile karşılaştırıldığında Çanakkale ilinde ay bazında ortalama rüzgar hızlarına göre 1 kW'lık RT ile üretililecek güç toplamı Malatya ilindeki güç toplamının 1,63 katı, 6 kW'lık RT ile üretililecek güç toplamı Malatya ilindeki güç toplamının 1,97 katı, 1 kW'lık RT ile üretililecek güç toplamı Malatya ilindeki güç toplamının 1,95 katı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. Çanakkale-Rüzgar Türbinlerinin ürettiği ortalama güçler (W)

6. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Önerilen metot, elektrik şebekesinin olmadığı veya alternatif enerjilerin kullanılabileceği bir Telekom R/L istasyonuna enerji sağlamak için tasarlanan güneş-rüzgar hibrit sistemini analiz etmek için araştırılmıştır. Bu analizin yapıldığı bölge olarak Malatya ili Hekimhan ilçesi Zorbehan bölgesindeki R/L istasyonu seçilmiştir. Telekom R/L istasyonlarında genellikle 1300 W AC, 200 W DC enerji gereksinimi olmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada talep edilen yük gereksinimini 1500 W'lık bir sabit enerji olarak alınmıştır. Güneş pili modülü teknik özellikleri Çizelge 6.1, batarya teknik özellikleri Çizelge 6.2 ve rüzgar türbinlerine ait teknik özellik ve eğriler ise Şekil 6.1-6.3'deki gibidir. Bu projede kurşun-asit bataryaların kullanılması düşünülmüştür. Her bir batarya hücresi için üretici firmadan alınan bilgiler 1000 Ah nominal kapasitedir ve bu bataryaların 12 adedinin seri olarak bağlanması ile 24 V'luk nominal çıkış gücünü veren batarya dizisi elde edilmektedir. Bu 12 batarya hücresi dizi olarak adlandırılmaktadır.

Bir hibrit sistemde rüzgar ve güneş enerjisinin optimum kombinasyonu saatlik, aylık veya yıllık bazlardaki zamanlar boyunca güneş ışınması ve rüzgar hızı potansiyeline göre değişiklikler gösterir. Bu nedenle, eğer sistem bir yıl boyunca elektrik ihtiyacını sağlayacak şekilde tasarlanacaksa hibrit enerji sisteminin herhangi bir başka zaman periyodundan ziyade yıllık güneş ve rüzgar kaynaklarına göre tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan karar değişkenlerinden güneş pili, batarya ve üç tip rüzgar türbinine ait teknik özellikler ve çıkış eğrileri aşağıdaki çizelge ve şekillerde gösterilmiştir.

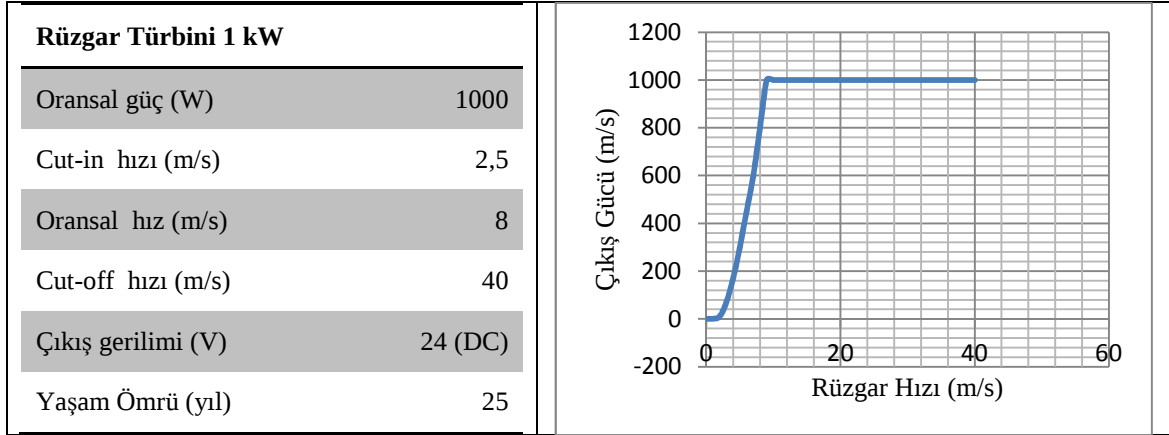
Çizelge 6.1. Güneş pili teknik özellikleri

<i>Voc (V)</i>	<i>Isc (A)</i>	<i>Vmax (V)</i>	<i>Imax (A)</i>	<i>Pmax (W)</i>	<i>Boyutu (m²)</i>	<i>Yaşam Ömrü</i>
21	6.5	17	5.73	100	0.9	25

Çizelge 6.2. Batarya teknik özellikleri

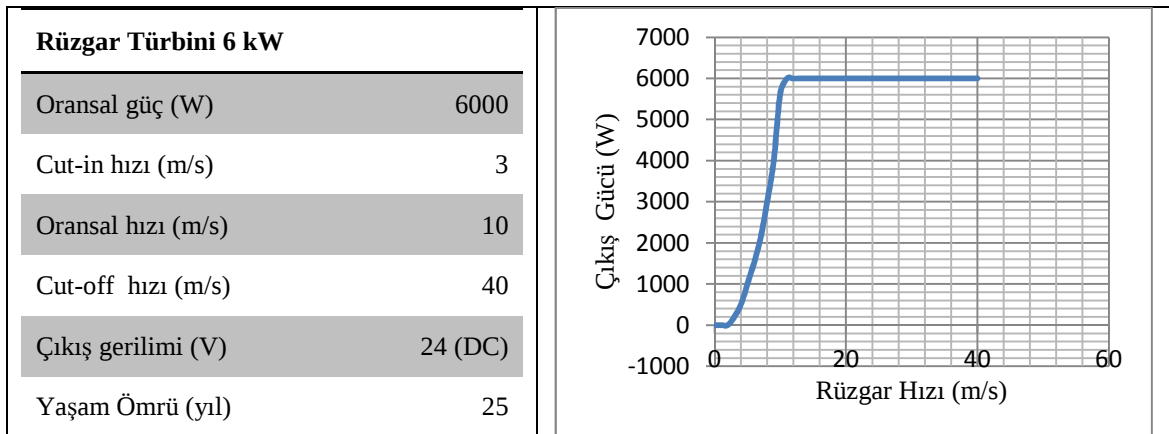
<i>Oransal Kapasite (W)</i>	<i>Voltaj (V)</i>	<i>Akım (A)</i>	<i>Batarya verimliliği</i>	<i>Yaşam Ömrü</i>
900	12	75	% 85	4

Kullanılan güneş pillerinin gücü 100 W olup, ömürlerinin 25 yıl olduğu kabul edilmiştir. Bataryalar ise 12 V/75 Ah özellikte olup, ömürlerinin 4 yıl olduğu kabul edilmiştir.



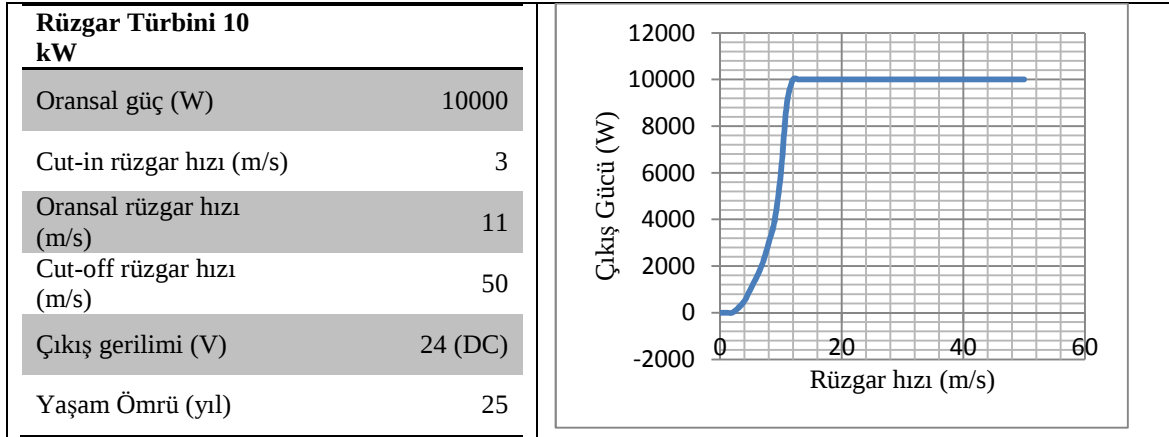
Şekil 6.1. 1 kW’lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü eğrisi

Tasarımda kullanılan 1 kW’lık rüzgar türbinlerine ait teknik özellikler ve rüzgar hızı-çıkış gücü eğrisi Şekil 6.1’deki gibidir. 1 kW’lık rüzgar türbini için cut-in hızı 2,5 m/s, oransal hız 8 m/s ve cut-off hızı 40 m/s iken oransal gücü 1000 W, çıkış gerilimi 24 V DC ve yaşam ömrü ise 25 yıl olarak kabul edilmiştir. 1 kW’lık rüzgar türbini için rüzgar hızı 40 m/s hızı ulaştığında türbinin hasar görmemesi için rüzgar türbini enerji üretimini kesmektedir.



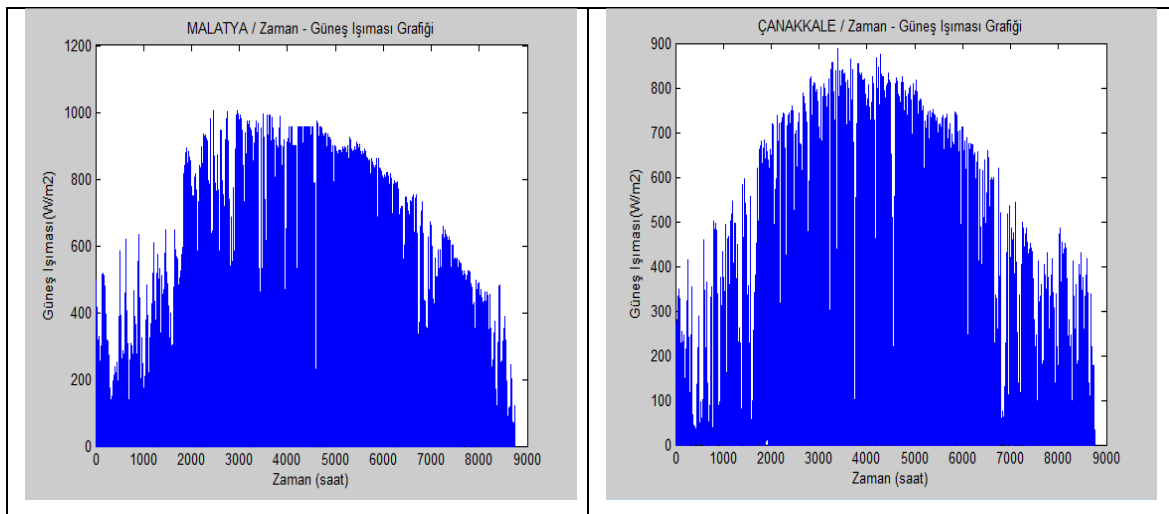
Şekil 6.2. 6 kW’lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü grafiği

6 kW'lık rüzgar türbinlerine ait teknik özellikler ve rüzgar hızı-çıkış gücü eğrisi Şekil 6.2'deki gibidir. 6 kW'lık rüzgar türbini için cut-in hızı 3 m/s, oransal hız 10 m/s ve cut-off hızı 40 m/s iken oransal gücü 6000 W, çıkış gerilimi 24 V DC ve yaşam ömrü ise 25 yıl olarak kabul edilmiştir. 6 kW'lık rüzgar türbini için rüzgar hızı 40 m/s hızı ulaştığında türbinin hasar görmemesi için rüzgar türbini enerji üretimini keser.



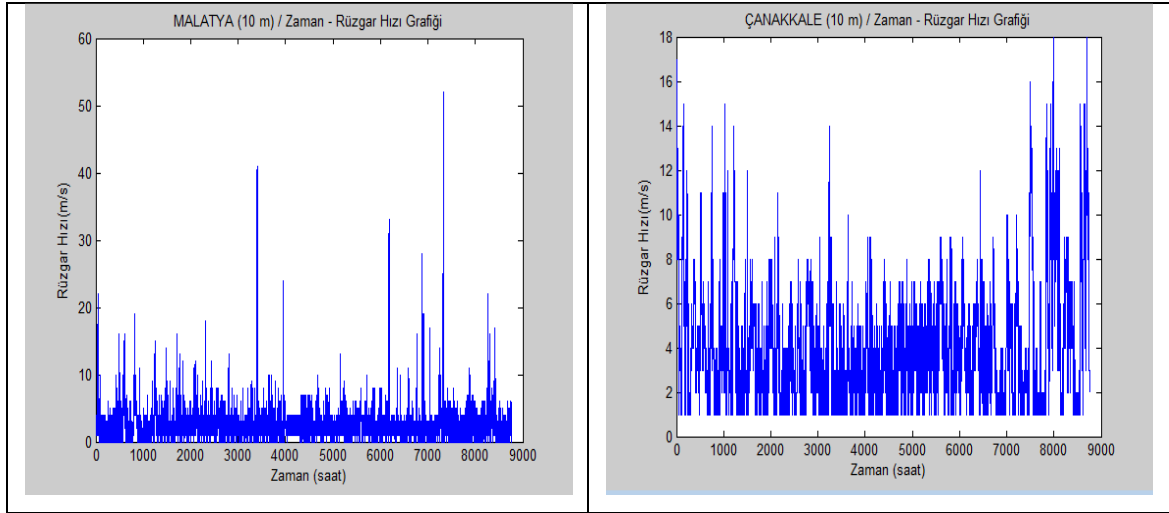
Şekil 6.3. 10 kW'lık rüzgar türbini teknik özelliği ve hız-çıkış gücü grafiği

10 kW'lık rüzgar türbinlerine ait teknik özellikler ve rüzgar hızı-çıkış gücü eğrisi ise Şekil 6.3'teki gibidir. 10 kW'lık rüzgar türbini için cut-in hızı 3 m/s, oransal hız 11 m/s ve cut-off hızı 50 m/s iken oransal gücü 10000 W, çıkış gerilimi 24 V DC ve yaşam ömrü ise 25 yıl olarak kabul edilmiştir. 10 kW'lık rüzgar türbini için rüzgar hızı 50 m/s hızı ulaştığında türbinin hasar görmemesi için rüzgar türbini enerji üretimini keser.



Şekil 6.4. Malatya-2010 yılı-saatlik güneş ışıması ve 10 m yükseklikte rüzgar hızı

Bu çalışmada Malatya ve Çanakkale illerine ait 2010 yılı verileri kullanılmıştır. Malatya ili Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden bu illere ait yatay düzlemde saatlik güneş ışıması ve 10 m yükseklikteki rüzgar hızı verileri alınmıştır. Bu verilerden her iki ile ait güneş ışıması dağılımlarına ait grafikler Şekil 6.4'deki gibidir. Şekilden de görüleceği üzere bu iki ilin güneş ışıması değerleri birbirine paralel gitmektedir.



Şekil 6.5. Çanakkale-2010 yılı-saatlik güneş ışıması ve 10 m yükseklikte rüzgar hızı

Güneş ışıması değerlerine ait grafikler birbirine paralellik gösterirken, Şekil 6.5'deki rüzgar hızı grafiklerine göre ise Çanakkale ilinin rüzgar hızının daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.

6.1. Sistemin Optimal Boyutlandırma Sonuçları

Hibrit güneş-rüzgar sistemleri genellikle güneş ışıması ve rüzgar hızının birbirine tamamlayıcı etkilerinden dolayı yükün talep ettiği enerjiyi karşılayabilmektedirler. Değişik YGKO değerleri için elde edilen hibrit sistem sonuçları aşağıdaki Çizelge ve Şekillerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1.1. 1 kW'lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar

Çizelge 6.3 incelendiğinde 1 kW'lık rüzgar türbinleri ile Malatya ili için yükün minimum % 0,662 oranında güçsüz kalması sağlanabilmektedir. Bu orana karşılık gelen hibrit sistemin yıllık maliyeti 13154,80 TL'dir. Bu maliyet ise 20 adet RT, 200 adet GP, 100 adet BT ve 30 metre RT yüksekliği ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 6.3. Malatya - 1 kW'lık RT'li YGKO değerleri

MALATYA		GP=100 W, Pr (RT)=1 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V), Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100				
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO'ya göre	20	200	100	30	13154,80	0,662
0 > YGKO <= 1	8	199	100	18	11156,24	0,993
1 > YGKO <= 2	8	198	46	18	7804,16	1,998
2 > YGKO <= 3	4	200	38	24	6584,96	2,979
3 > YGKO <= 4	2	198	34	12	5890,72	3,995
4 > YGKO <= 5	2	179	34	12	5608,00	5,000

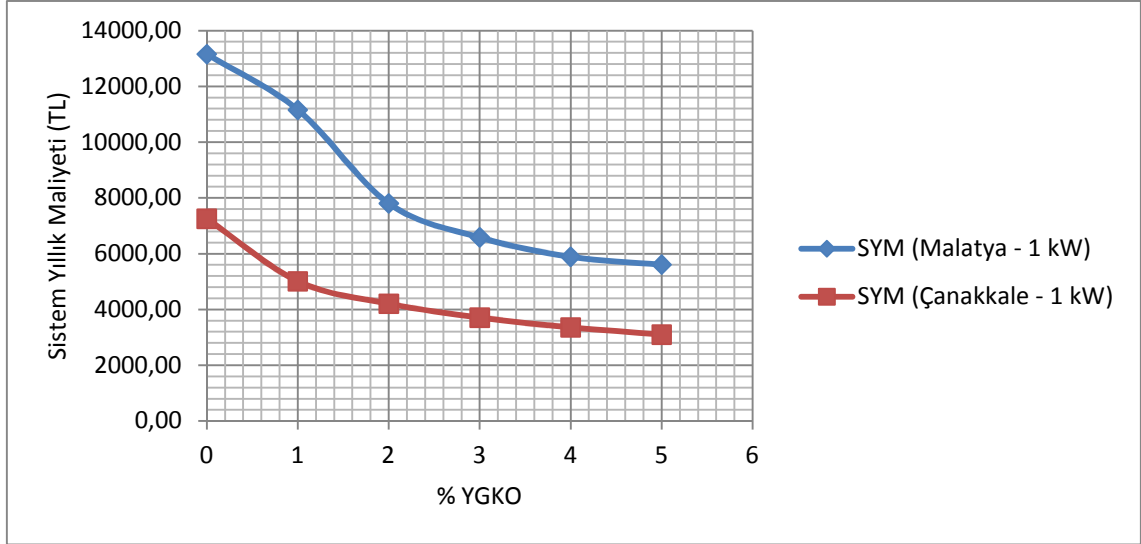
Çizelge 6.4 incelendiğinde 1 kW'lık rüzgar türbinleri ile Çanakkale ili için yükün minimum % 0,000 oranında güçsüz kalması sağlanabilmektedir. Bu orana karşılık gelen hibrit sistemin yıllık maliyeti 7252,08 TL'dir. Bu maliyet ise 4 adet RT, 139 adet GP, 64 adet BT ve 12 metre RT yüksekliği ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 6.4. Çanakkale - 1 kW'lık RT'li YGKO değerleri

ÇANAKKALE		GP=100 W, Pr (RT)=1 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V), Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100				
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO'ya göre	4	139	64	12	7252,08 TL	0,000
0 > YGKO <= 1	4	120	32	18	5007,76 TL	0,993
1 > YGKO <= 2	4	92	26	12	4204,32 TL	1,998
2 > YGKO <= 3	4	73	22	24	3706,40 TL	2,991
3 > YGKO <= 4	4	66	18	24	3355,04 TL	3,995
4 > YGKO <= 5	4	56	16	30	3098,64 TL	4,989

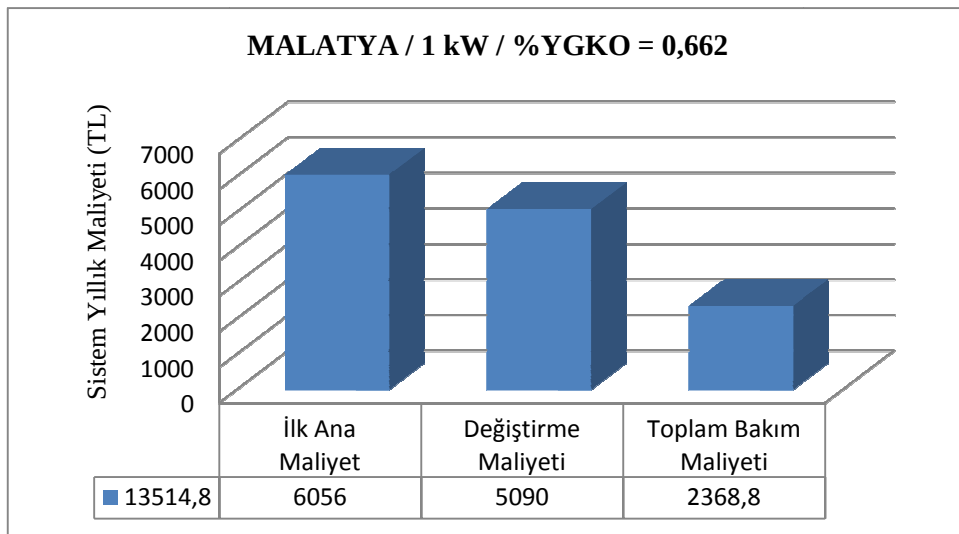
1 kW'lık rüzgar türbini kullanılması durumunda Çanakkale ilinde Malatya iline göre minimum YGKO değeri daha düşük hesaplanabilmektedir. Ayrıca, diğer sonuçlar karşılaştırıldığında da Çanakkale ilinde oluşan sistem yıllık maliyetleri daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ilindeki rüzgar hızının Malatya ilinden daha yüksek hızlarda olmasına bağlı olarak özellikle kullanılan RT sayısının az olması, kullanılan RT'lerin ise daha yüksek verimlilikte çalışabilmesinden dolayı kullanılması gereken GP ve BT sayılarının daha az olmasından dolayı maliyetler Çanakkale ilinde daha düşük çıkmaktadır.

Malatya ve Çanakkale illerinde 100 W'lık güneş pili, 1 kW'lık rüzgar türbini ve 75 Ah/12 V'luk bataryalar kullanılması durumunda oluşabilecek YGKO değerleri sonucunda oluşacak maliyetlere ait grafik ise Şekil 6.6'daki gibidir. Şekilden de görüleceği üzere Çanakkale ilinde tasarlanacak hibrit sistemin maliyetleri çok daha düşüktür.



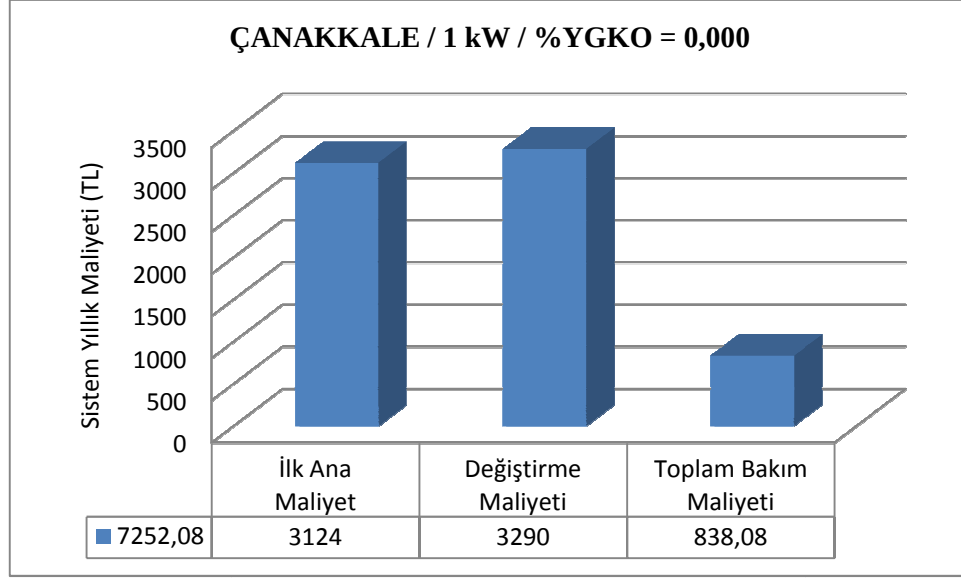
Şekil 6.6. Malatya ve Çanakkale - 1 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması

Malatya ilinde Şekil 6.7'den de görüleceği üzere % 0,662 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 13514,80 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi 6056,00 TL ile ilk ana maliyetler alırken, 5090,00 TL'lik dilimi değiştirme maliyetleri ve en küçük dilimi ise 2368,80 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



Şekil 6.7. Malatya-1 kW RT, % 0,662 YGKO için oluşan maliyetler

Çanakkale ilinde ise Şekil 6.8'den de görüleceği üzere % 0,00 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 7252,08 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi 3290,00 TL ile değiştirme maliyetleri alırken, 3124,00 TL'lik dilimi ilk ana maliyetler ve en küçük dilimi ise 838,08 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



Şekil 6.8. Çanakkale-1 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler

6.1.2. 6 kW'lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar

6 kW'lık RT kullanılması durumunda Çizelge 6.5 incelendiğinde Malatya ili için yükün minimum % 0,103 oranında güçsüz kalması sağlanabilmektedir. Bu orana karşılık gelen hibrit sistemin yıllık maliyeti 15166,00 TL'dir. Bu maliyet ise 20 adet RT, 200 adet GP, 100 adet BT ve 30 metre RT yüksekliği ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 6.5. Malatya - 6 kW'lık RT'li YGKO değerleri

MALATYA		GP=100 W, Pr (RT)=6 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100				
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO'ya göre	20	200	100	30	15166,00	0,103
0 > YGKO <= 1	9	196	42	30	8494,88	0,981
1 > YGKO <= 2	3	200	36	18	6500,40	1,998
2 > YGKO <= 3	2	185	34	12	5862,40	2,979
3 > YGKO <= 4	2	157	34	12	5445,76	3,984
4 > YGKO <= 5	2	140	32	12	5069,20	4,943

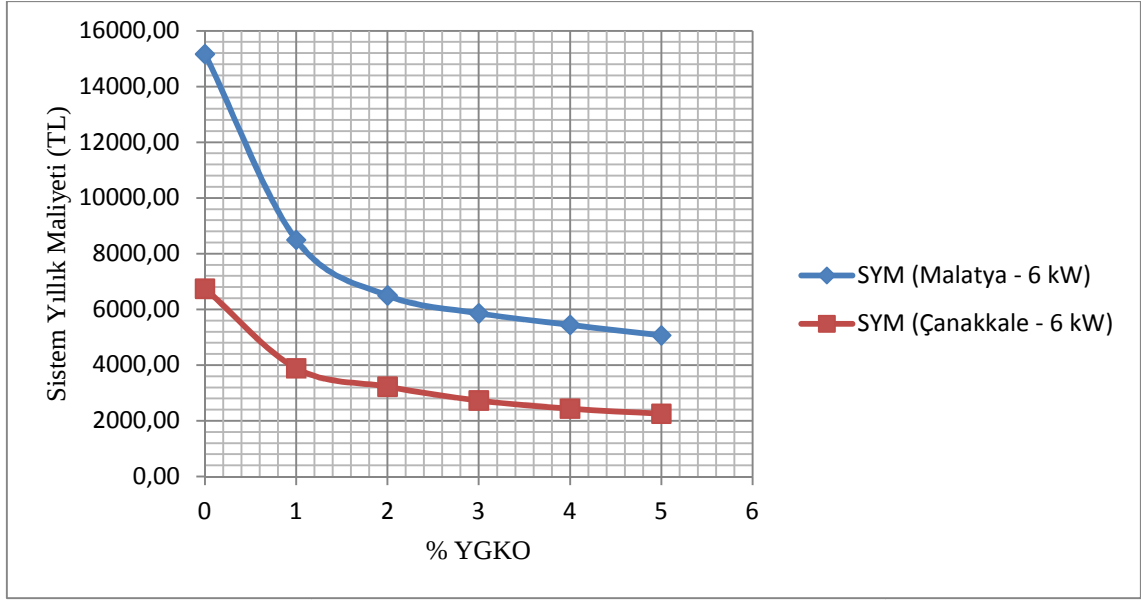
Çanakkale ili için 6 kW'lık RT kullanılması durumunda Çizelge 6.6 incelendiğinde yükün minimum % 0,000 oranında güçsüz kalabileceği görülmektedir. Bu orana karşılık gelen hibrit sistemin yıllık maliyeti 6746,40 TL'dir. Bu maliyet ise 1 adet RT, 130 adet GP, 66 adet BT ve 12 metre RT yüksekliği ile gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 6.6. Çanakkale - 6 kW'lık RT'li YGKO değerleri

ÇANAKKALE GP=100 W, Pr (RT)=6 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100						
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO'ya göre	1	130	66	12	6746,40	0,000
0 > YGKO <= 1	3	72	24	30	3886,16	0,993
1 > YGKO <= 2	2	66	20	12	3226,48	1,998
2 > YGKO <= 3	2	41	18	12	2730,88	2,968
3 > YGKO <= 4	2	38	14	12	2439,04	3,973
4 > YGKO <= 5	2	34	12	12	2255,92	4,943

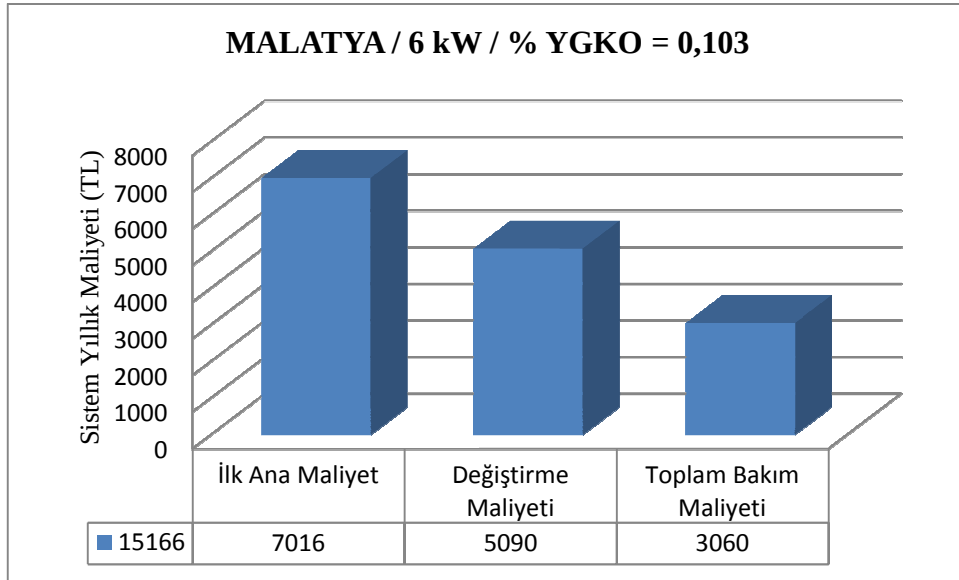
6 kW'lık rüzgar türbini kullanılması durumunda Çanakkale ilinde Malatya iline göre minimum YGKO değeri daha düşük hesaplanabilmektedir. Ancak bunun çok fazla olmadığı yukarıdaki şekillerden görülebilmektedir. Diğer YGKO değerlerine denk gelen sonuçlar karşılaştırıldığında da Çanakkale ilinde oluşan sistem yıllık maliyetleri daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ilindeki rüzgar hızının Malatya ilinden daha yüksek hızlarda olmasına bağlı olarak özellikle kullanılan RT sayısının az olması, kullanılan RT'lerin ise daha yüksek verimlilikte çalışabilmesinden dolayı kullanılması gereken GP ve BT sayılarının daha az olmasından dolayı maliyetler Çanakkale ilinde daha düşük çıkmaktadır.

6 kW'lık RT kullanılması durumunda her iki ilde de % 0 - % 5 arasındaki bütün YGKO değerleri hesaplanabilmektedir. Her iki il için 100 W'lık güneş pili, 6 kW'lık rüzgar türbini ve 75 Ah/12 V'luk bataryalar kullanılması durumunda oluşabilecek YGKO değerleri sonucunda oluşacak maliyetlere ait grafik ise Şekil 6.9'daki gibidir. YGKO değerlerine denk gelen maliyetler karşılaştırıldığında ise şekilden de görüleceği üzere Çanakkale ilinde tasarlanacak hibrit sistemin maliyetleri çok daha düşük olacaktır.



Şekil 6.9. Malatya ve Çanakkale - 6 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması

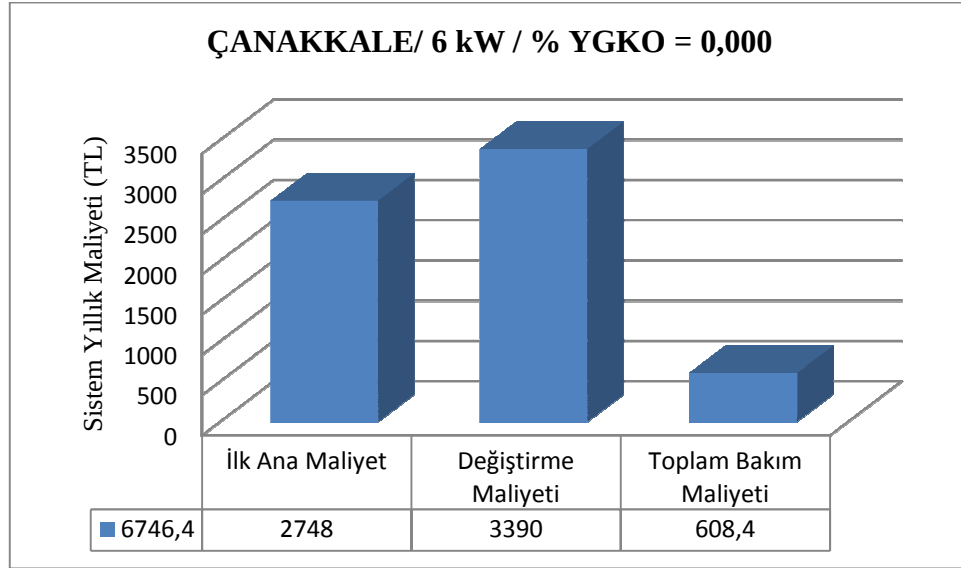
Malatya ilinde Şekil 6.10'dan da görüleceği üzere % 0,103 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 15166,00 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi 7016,00 TL ile ilk ana maliyetler alırken, 5090,00 TL'lik dilimi değiştirme maliyetleri ve en küçük dilimi ise 3060,00 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



Şekil 6.10. Malatya-6 kW RT, % 0,103 YGKO için oluşan maliyetler

Çanakkale ilinde ise Şekil 6.11'den de görüleceği üzere % 0,00 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 6746,40 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi

3390,00 TL ile değiştirme maliyetleri alırken, 2748,00 TL’lik dilimi ilk ana maliyetler ve en küçük dilimi ise 608,40 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



şekil 6.11. Çanakkale-6 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler

6.1.3. 10 kW’lık Rüzgar Türbinli Sistemler İçin Karşılaştırmalar

Çizelge 6.7 incelendiğinde 10 kW’lık rüzgar türbinleri ile Malatya ili için yükün minimum % 0,080 oranında güçsüz kalması sağlanabilmektedir. Bu orana karşılık gelen hibrit sistemin yıllık maliyeti 10765,52 TL’dir. Bu maliyet ise 5 adet RT, 199 adet GP, 68 adet BT ve 30 metre RT yüksekliği ile gerçekleşebilmektedir.

Çizelge 6.7. Malatya - 10 kW’lık RT’li YGKO değerleri

MALATYA		GP=100 W, Pr (RT)=10 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V), Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100				
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO’ya göre	5	199	68	30	10765,52	0,080
0 > YGKO <= 1	6	199	42	30	9777,92	0,993
1 > YGKO <= 2	2	200	36	30	6945,20	1,986
2 > YGKO <= 3	1	200	34	12	6154,40	2,957
3 > YGKO <= 4	1	170	34	12	5708,00	3,973
4 > YGKO <= 5	1	145	34	12	5336,00	4,989

Çizelge 6.8 incelendiğinde 10 kW’lık rüzgar türbinleri ile Çanakkale ili için yükün minimum % 0,000 oranında güçsüz kalması sağlanabilmektedir. Bu orana karşılık gelen

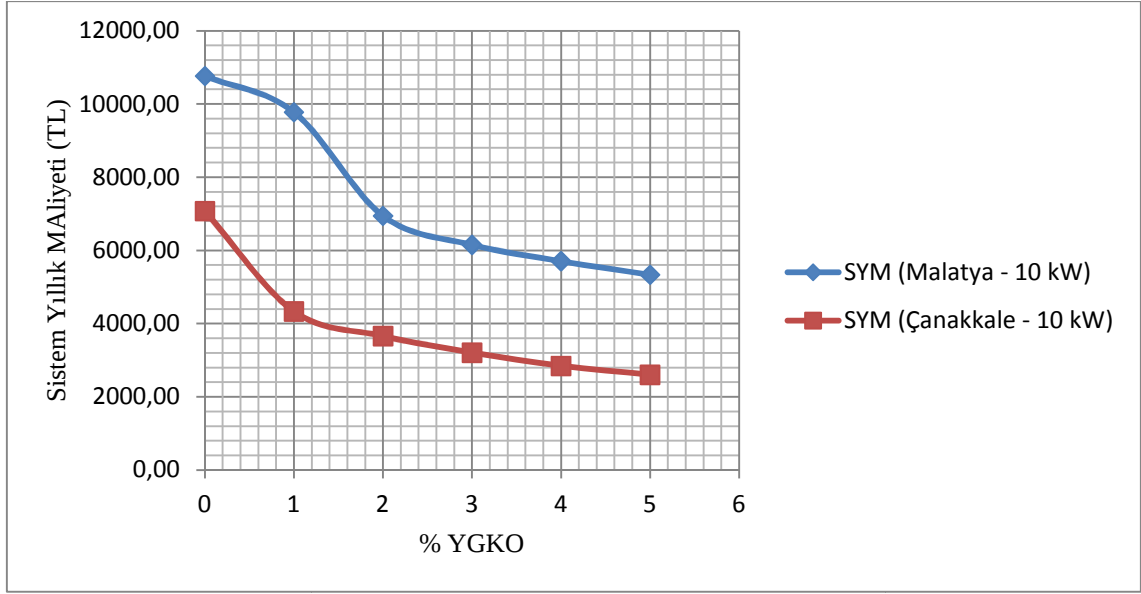
hibrit sistemin yıllık maliyeti 7075,08 TL'dir. Bu maliyet ise 1 adet RT, 129 adet GP, 66 adet BT ve 12 metre RT yüksekliği ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 6.8. Çanakkale - 10 kW'lık RT'li YGKO değerleri

ÇANAKKALE		GP=100 W, Pr (RT)=10 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V), Rakım=784 m RT=0:1:20, GP=0:1:200, BT=2:2:100				
İstenilen YGKO	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
Hesaplanabilen en düşük YGKO'ya göre	1	129	66	12	7075,52	0,000
0 > YGKO <= 1	2	66	26	30	4333,28	0,993
1 > YGKO <= 2	2	49	20	12	3661,52	1,975
2 > YGKO <= 3	2	35	16	12	3206,00	2,945
3 > YGKO <= 4	1	44	18	12	2844,32	3,995
4 > YGKO <= 5	1	36	16	12	2601,68	5,000

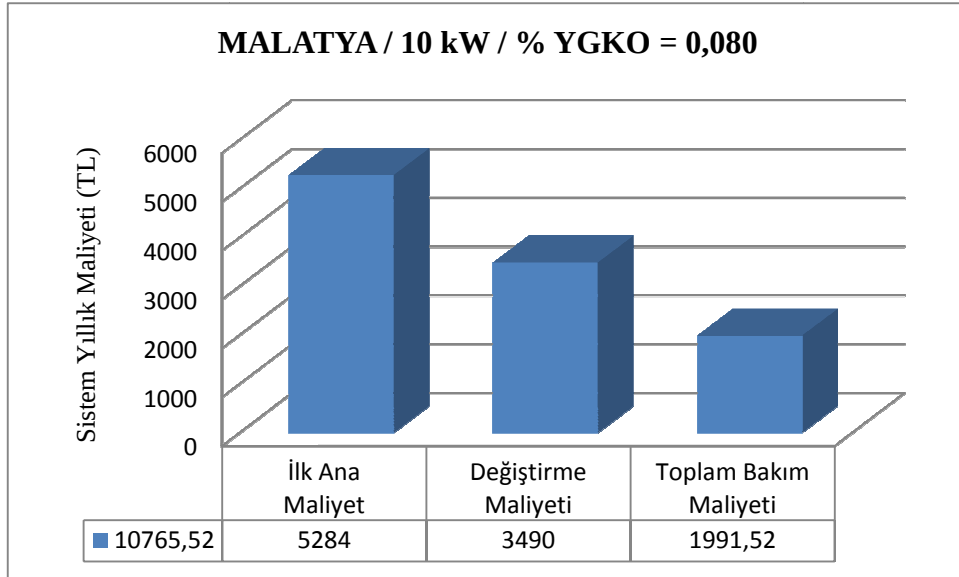
10 kW'lık rüzgar türbini kullanılması durumunda Malatya ilinde hesaplanabilen % 0,080 YGKO değeri % 0 değerine çok yakın olduğundan bu il için minimum YGKO değeri % 0 kabul edilebilecektir. Her iki il için % 0 - % 5 arasındaki YGKO değerleri karşılaştırıldığında ise Çanakkale ilinde oluşan sistem yıllık maliyetleri daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ilindeki rüzgar hızının Malatya ilinden daha yüksek hızlarda olmasına bağlı olarak özellikle kullanılan RT sayısının az olması, kullanılan RT'lerin ise daha yüksek verimlilikte çalışabilmesinden dolayı kullanılması gereken GP ve BT sayılarının daha az olmasından dolayı maliyetler Çanakkale ilinde daha düşük çıkmaktadır.

Malatya ve Çanakkale illerinde 100 W'lık güneş pili, 1 kW'lık rüzgar türbini ve 75 Ah/12 V'luk bataryalar kullanılması durumunda oluşabilecek YGKO değerleri sonucunda oluşacak maliyetlere ait grafik Şekil 6.12'deki gibidir. Her iki il içinde oluşan YGKO değerlerindeki maliyetler karşılaştırıldığında ise şekilden de görüleceği üzere Çanakkale ilinde tasarlanacak hibrit sistemin maliyetleri çok daha düşük olacaktır.



Şekil 6.12. Malatya ve Çanakkale - 10 kW RT ile YGKO – SYM karşılaştırması

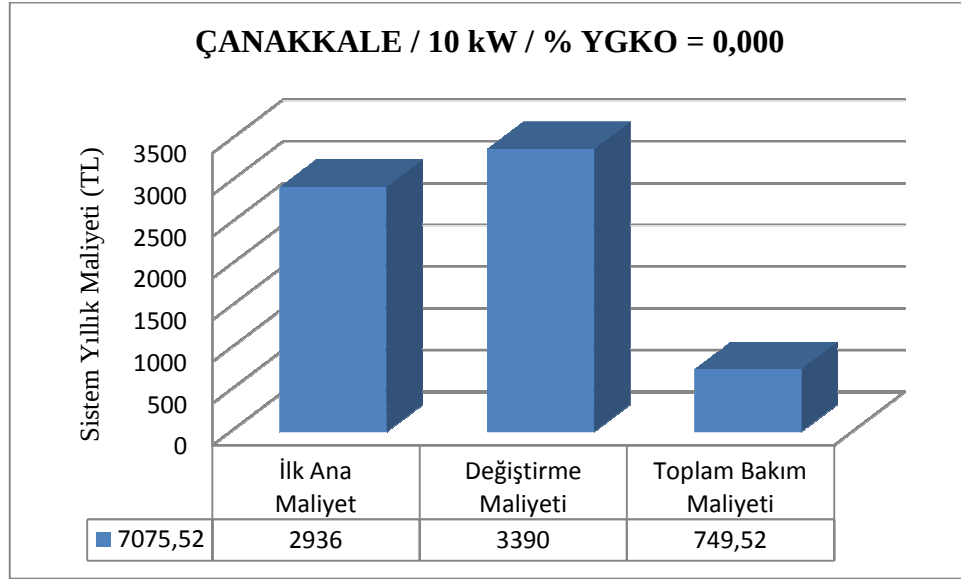
Malatya ilinde Şekil 6.13'ten de görüleceği üzere % 0,080 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 10765,52 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi 5284,00 TL ile ilk ana maliyetler alırken, 3490,00 TL'lik dilimi değiştirme maliyetleri ve en küçük dilimi ise 1991,52 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



Şekil 6.13. Malatya-10 kW RT, % 0,080 YGKO için oluşan maliyetler

Çanakkale ilinde ise Şekil 6.14'den de görüleceği üzere % 0,00 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 7075,52 TL'lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi

3390,00 TL ile değiştirme maliyetleri alırken, 2936,00 TL’lik dilimi ilk ana maliyetler ve en küçük dilimi ise 749,52 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır.



şekil 6.14. Çanakkale-10 kW RT, % 0,000 YGKO için oluşan maliyetler

6.2. Güneşpili veya Rüzgar Türbini Olmaması Durumları

Rüzgar türbini olmaması durumunda, sadece güneş pili ve batarya bulunan bir sistem ile yük beslenmek istendiğinde Çizelge 6.9’dan da görüleceği üzere Malatya ilinde minimum % 2,295 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Bu YGKO değerini de 200 adet güneş pili ve 100 adet batarya ile sağlarken sistemin yıllık maliyeti 9582,00 TL olmaktadır. YGKO değerinden de anlaşılacağı üzere Malatya ili için sadece güneş pili ve batarya ile kurulacak bir sistem YGKO değeri açısından tercih edilebilir. Ancak, burada elde edilen % 2,295 YGKO değeri ve 9582,00 TL’lik sistem yıllık maliyetine karşılık 1 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 1,998 için sistem yıllık maliyeti 7804,16 TL, 6 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 1,998 için sistem yıllık maliyeti 6500,40 TL ve 10 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 1,998 için sistem yıllık maliyeti 6945,20 TL olması sebebi ile Malatya ilinde sadece güneş pili ve bataryadan oluşan sistem yerine güneş pili-rüzgar türbini-batarya’dan oluşan hibrit sistemin tercih edileceği açıktır.

Çanakkale ilinde ise minimum % 2,329 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Çanakkale ilinde güneş ışması değeri Malatya iline göre daha

düşük olması sebebi ile elde edilebilen minimum YGKO değeri Malatya ilinden daha fazla çıkmaktadır. Ancak aradaki farkın fazla olmaması sebebi ile maliyetle aynı çıkmaktadır.

Çizelge 6.9. Malatya-Çanakkale Rüzgar Türbini olmaması durumu

Rüzgar türbininin olmaması durumu - GP=100 W, BT=900 W (75 Ah/12 V) RT=0, GP=0:1:200, BT=2:2:100						
En düşük YGKO'ya göre	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
MALATYA	-	200	100	-	9582,00	2,295
ÇANAKKALE	-	200	100	-	9582,00	2,329

1 kW'lık rüzgar türbini kullanılması ve güneş pili kullanılmaması durumu için Çizelge 6.10 incelendiğinde Malatya ilinde minimum % 17,637 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Bu YGKO değerini de 20 adet RT, 100 adet BT ve 30 metre RT yüksekliği ile sağlarken sistemin yıllık maliyeti 10538,80 TL olmaktadır. % 17,637'lik YGKO değerinden de anlaşılabileceği üzere Malatya ili için güneş pili olmaması durumunda ve 1 kW'lık rüzgar türbini, 12 V/75 Ah'lık batarya ile kurulacak bir hibrit sistemin tercih edilmeyeceği açıktır.

Çanakkale ilinde ise minimum % 0,080 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Çanakkale ilinin rüzgar hızı değerlerinin Malatya iline göre daha yüksek olması sebebi ile elde edilebilen minimum YGKO değeri Malatya ilinden çok daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ili için güneş pili olmaması durumunda ve 1 kW'lık rüzgar türbini ve 12 V/75 Ah'lık batarya ile kurulacak bir hibrit sistemin tercih edilebileceği açıktır.

Çizelge 6.10. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 1 kW RT kullanılması durumu

Güneş pilinin olmaması durumu - RT=1 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m RT=0:1:100, GP=0, BT=2:2:100						
En düşük YGKO'ya göre	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
MALATYA	20	-	100	30	10538,80	17,637
ÇANAKKALE	19	-	100	30	10346,16	0,080

6 kW'lık rüzgar türbini kullanılması ve güneş pili kullanılmaması durumu için Çizelge 6.11 incelendiğinde Malatya ilinde minimum % 5,148 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Bu YGKO değerini de 20 adet RT, 100 adet BT ve 30 metre RT

yüksekliği ile sağlarken sistemin yıllık maliyeti 12190,00 TL olmaktadır. % 5,148'lik YGKO değeri tercih edilebilecek bir değer değildir. Ayrıca, burada elde edilen % 5,148 YGKO değeri ve 12190,00 TL'lik sistem yıllık maliyetine karşılık 1 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 5,000 için sistem yıllık maliyeti 5608,00 TL, 6 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 4,943 için sistem yıllık maliyeti 5069,20 TL ve 10 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 4,989 için sistem yıllık maliyeti 5336,00 TL olması sebebi ile Malatya ilinde güneş pili olmaması, 6 kW'lık rüzgar türbini ve 12 V/75 Ah'lık bataryadan oluşan sistem yerine güneş pili-rüzgar türbini-batarya'dan oluşan hibrit sistemin tercih edileceği açıktır.

Çanakkale ilinde ise minimum % 0,034 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Çanakkale ilinin rüzgar hızı değerlerinin Malatya iline göre daha yüksek olması sebebi ile elde edilebilen minimum YGKO değeri Malatya ilinden daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ili için güneş pili olmaması durumunda ve 6 kW'lık rüzgar türbini ve 12 V/75 Ah'lık batarya ile kurulacak bir hibrit sistemin tercih edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 6.11. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 6 kW RT kullanılması durumu

Güneş pilinin olmaması durumu - RT=6 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m RT=0:1:100, GP=0, BT=2:2:100						
En düşük YGKO'ya göre	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
MALATYA	20	-	100	30	12190,00	5,148
ÇANAKKALE	18	-	100	30	11639,60	0,034

10 kW'lık rüzgar türbini kullanılması ve güneş pili kullanılmaması durumu için Çizelge 6.12 incelendiğinde Malatya ilinde minimum % 3,687 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Bu YGKO değerini de 20 adet RT, 100 adet BT ve 30 metre RT yüksekliği ile sağlarken sistemin yıllık maliyeti 19070,00 TL olmaktadır. % 3,687'lik YGKO değeri tercih edilebilecek bir değerdir. Ancak, burada elde edilen % 3,687 YGKO değeri ve 19070,00 TL'lik sistem yıllık maliyetine karşılık 1 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 3,995 için sistem yıllık maliyeti 5890,72 TL, 6 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 3,984 için sistem yıllık maliyeti 5445,76 TL ve 10 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemde en yakın YGKO değeri olan % 3,973 için sistem yıllık maliyeti 5708,00 TL

olması sebebi ile Malatya ilinde güneş pili olmaması, 10 kW'lık rüzgar türbini ve 12 V/75 Ah'lık bataryadan oluşan sistem yerine güneş pili-rüzgar türbini-batarya'dan oluşan hibrit sistemin tercih edileceği açıktır.

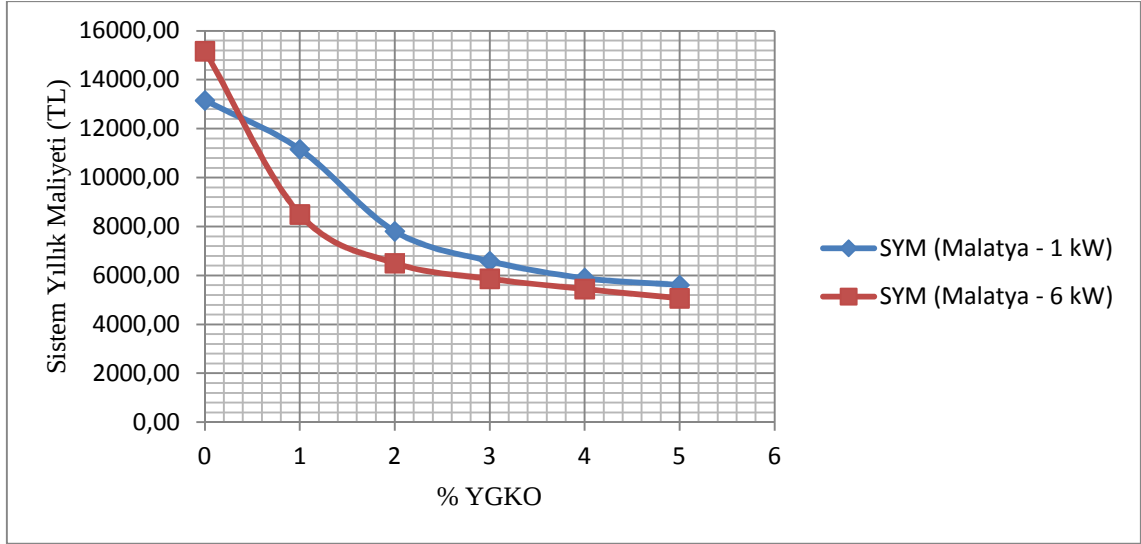
Çanakkale ilinde ise minimum % 0,00 değerinde YGKO değeri hesaplanabilmektedir. Çanakkale ilinin rüzgar hızı değerlerinin Malatya iline göre daha yüksek olması sebebi ile elde edilebilen minimum YGKO değeri Malatya ilinden daha düşük çıkmaktadır. Çanakkale ili için güneş pili olmaması durumunda ve 10 kW'lık rüzgar türbini ve 12 V/75 Ah'lık batarya ile kurulacak bir hibrit sistemin tercih edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 6.12. Malatya-Çanakkale GP olmaması - 10 kW RT kullanılması durumu

Güneş pilinin olmaması durumu - RT=10 kW, BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m RT=0:1:100, GP=0, BT=2:2:100						
En düşük YGKO'ya göre	RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüksekliği H(m)	Yıllık Maliyet (TL)	YGKO (%)
MALATYA	20	-	100	30	19070,00	3,687
ÇANAKKALE	20	-	100	30	19070,00	0,000

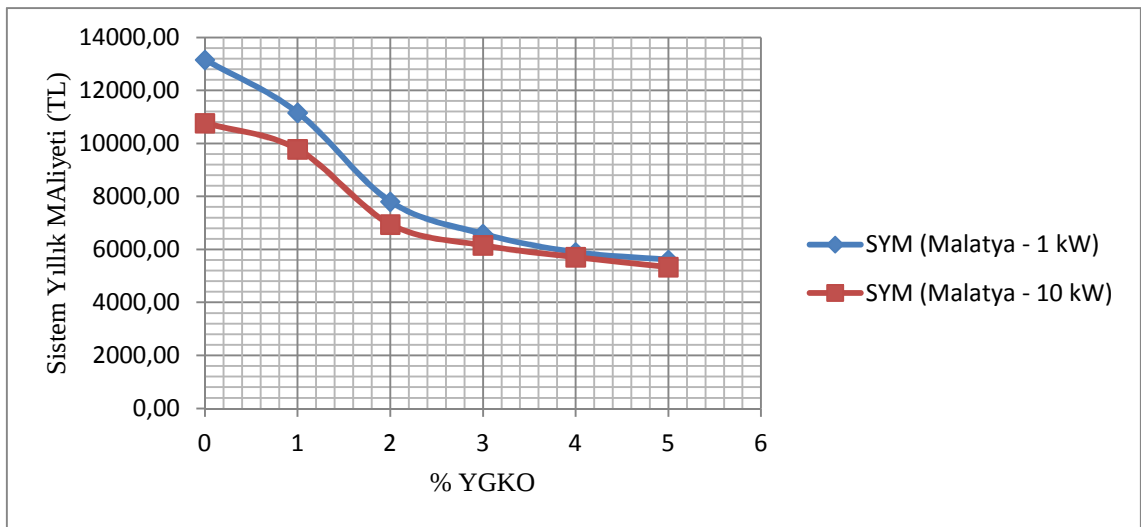
6.3. Malatya İli 1 kW-6 kW-10 kW Karşılaştırmaları

Çizelge 6.3 ve 6.5'teki 1 kW RT'li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetler ile 6 kW RT'li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetlerin grafiksel görünümü Şekil 6.15'teki gibidir. Sadece % 0 civarında YGKO değeri elde etme durumunda 1 kW'lık RT kullanımı daha uygun iken diğer YGKO değerleri için 6 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemlerin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.



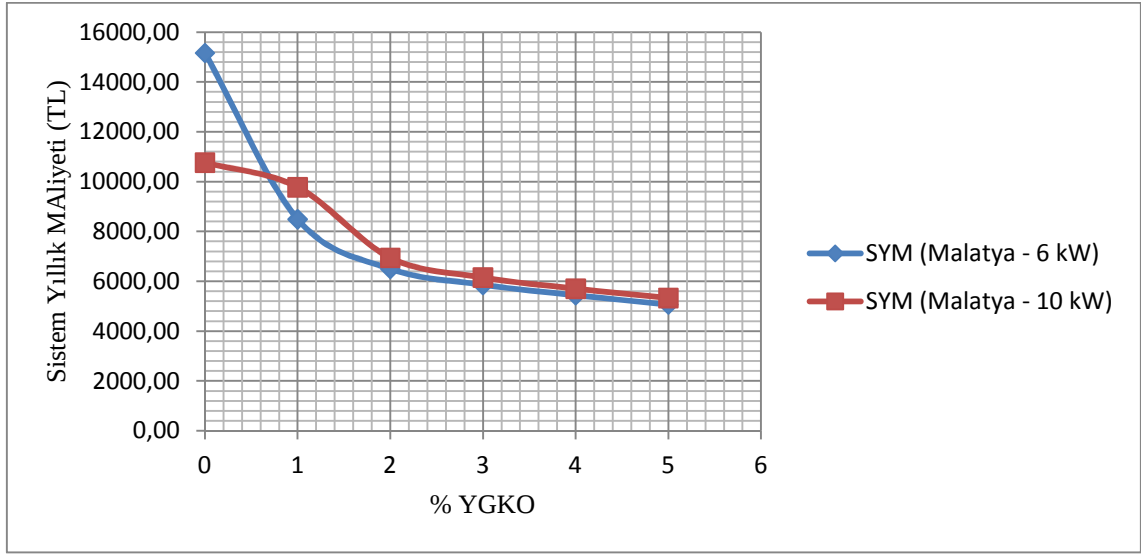
Şekil 6.15. Malatya İli 1 kW-6 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması

Çizelge 6.3 ve 6.7’teki 1 kW RT’li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetler ile 10 kW RT’li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetlerin grafiksel görünümü Şekil 6.16’daki gibi olmaktadır. % 0, % 1, % 2 YGKO değerlerinde Malatya ilinde 10 kW’lık RT’li hibrit sistem ile daha düşük maliyet elde edilebilirken, % 3 YGKO değerinde yakın maliyet, % 4 YGKO değerinde aynı maliyet ve % 5 YGKO değerinde ise yine 10 kW’lık RT’li hibrit sistemin daha uygun maliyetli olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre 10 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemin 1 kW RT kullanılan hibrit sisteme göre tercih edileceği sonucuna ulaşılmaktadır.



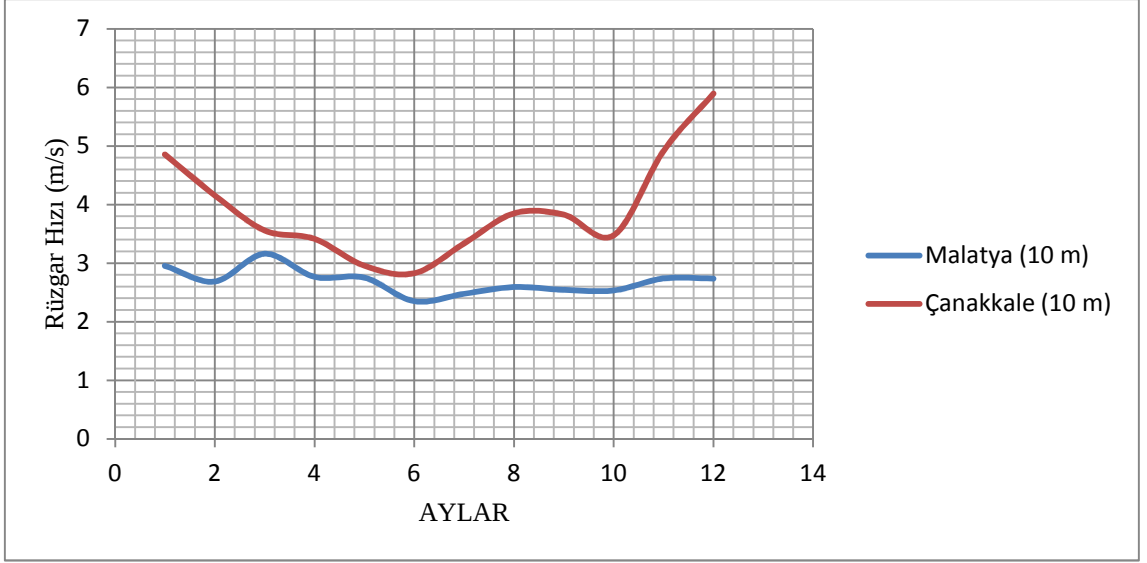
Şekil 6.16. Malatya İli 1 kW-10 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması

Çizelge 6.5 ve 6.7’teki 6 kW RT’li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetler ile 10 kW RT’li hibrit sistem için elde edilen yıllık maliyetlerin grafiksel görünümü Şekil 6.17’teki gibi olmaktadır. % 0 YGKO değeri için 10 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemin maliyeti daha uygun iken, % 1 YGKO değerinde 6 kW’lık RT kullanılan hibrit sistemin maliyeti daha uygun olmaktadır. Diğer YGKO durumlarında ise maliyetler birbirine yakın seyretmektedir. % 0 YGKO değeri istenen bir değer olduğu için ve bu değerde 10 kW’lık RT’li hibrit sistin maliyeti daha düşük olduğu için 10 kW RT’li hibrit sistemin tercih edileceği açıktır.



Şekil 6.17. Malatya İli 6 kW-10 kW RT YGKO – SYM karşılaştırması

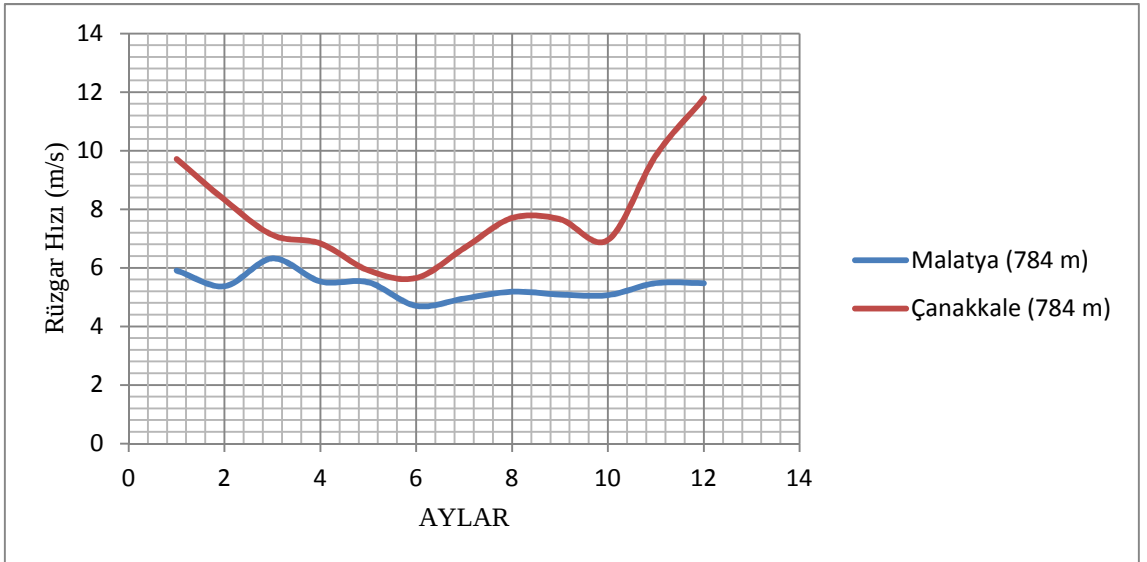
Şekil 6.18 incelendiğinde Malatya ili için 10 m yükseklikteki rüzgar hızı değerleri neredeyse doğrusal bir çizgi şeklinde giderken, Çanakkale ilinin grafiği aylara göre değişmektedir. Malatya ilinde rüzgarın en yüksek olduğu ay Mart ayı iken, Çanakkale ilinde Aralık ayı olduğu görülmektedir. Malatya ilinde ortalama enyüksek hız değeri 3,16 m/s iken, en düşük hız oranı ise 2,35 m/s ile Haziran ayında yaşanmaktadır. Bu ortalama hızlar arasındaki fark ise sadece 0,81 m/s’dir. Çanakkale ilinde rüzgarın en yüksek olduğu ortalama rüzgar hızı 5,89 m/s ile Aralık ayında yaşanırken, en düşük hız oranı ise 2,82 m/s ile Haziran ayında yaşanmaktadır. Bu ortalama hızlar arasındaki fark ise 3,07 m/s’dir.



Şekil 6.18. Malatya-Çanakkale - 10 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları

Bu iki il için Şekil 6.19'daki 784 m yükseklikte aylara göre ortalama rüzgar hızı verileri incelendiğinde ise, Malatya ilinin Mart ayı ortalaması 6,32 m/s iken en düşük değeri aldığı Haziran ayında 4,70 m/s'dir.

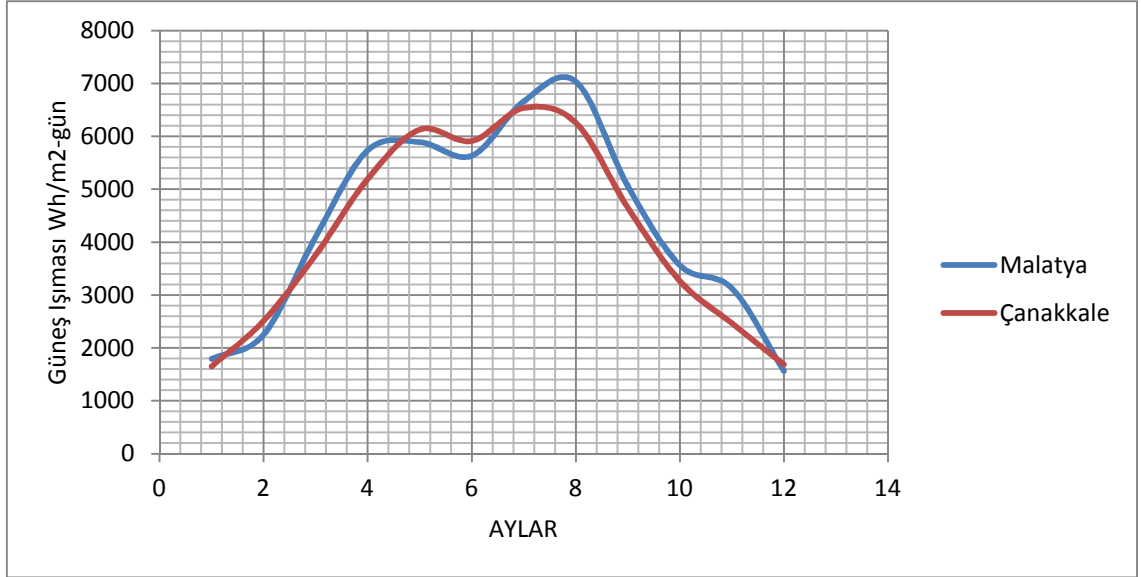
Buna karşın Çanakkale ilinin Aralık ayı ortalaması 11,78 m/s iken en düşük değeri aldığı Haziran ayında bu ortalama değer 5,65 m/s değerine düşmektedir. Malatya ilinde bu fark 1,62 m/s iken, Çanakkale ilinde bu fark 6,13 m/s'dir.



Şekil 6.19. Malatya ve Çanakkale - 784 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları

Şekil 6.20'den de görüleceği üzere Malatya ve Çanakkale illerine ait güneş ışıması değerleri birbirine yakın seyretmektedir. Malatya ilinde en yüksek ortalama güneş

ışması 293,17 Wh/m² ile Ağustos ayında yaşanırken, Çanakkale ilinde en yüksek ortalama güneş ışıması 260,67 Wh/m² ile yine Ağustos ayında yaşanmaktadır. Aynı şekilde, Malatya ilinde en düşük ortalama güneş ışıması 65,28 Wh/m² ile Aralık ayında yaşanırken, Çanakkale ilinde en düşük ortalama güneş ışıması 68,75 Wh/m² ile Ocak ayında yaşanmaktadır.



Şekil 6.20. Malatya ve Çanakkale - Aylara göre günlük ortalama güneş ışıması değerleri

Ancak, 12 ayın ortalamaları alındığında, Malatya ilinin ortalama güneş ışıması değeri 182,06 Wh/m² olurken, Çanakkale ilinde bu değer 173,67 Wh/m² olmaktadır. Malatya ilinde en yüksek ortalama güneş ışıması değeri ile en düşük ortalama güneş ışıması değeri arasındaki fark 230,89 Wh/m² iken, Çanakkale ilinde en yüksek ortalama güneş ışıması değeri ile en düşük ortalama güneş ışıması değeri arasındaki fark 191,92 Wh/m²'dir.

6.4. Optimum Hibrit Sistem Seçimi

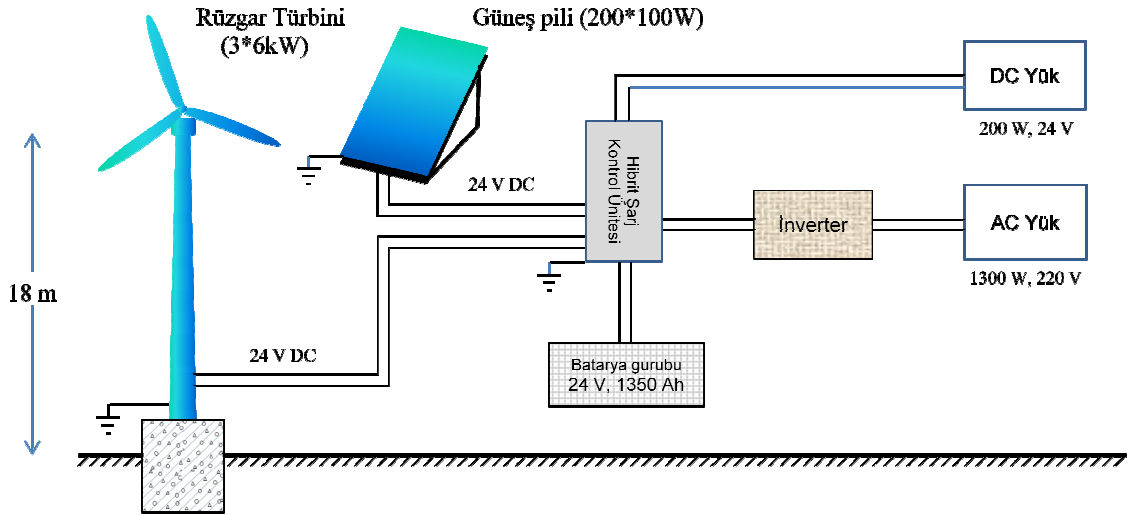
Sonuç olarak, Malatya ili Zorbehan mevkiindeki Telekom R/L istasyonu için ihtiyaç duyulan 1500 W'lık yükün minimum güçsüz kalma olasılıklarını içeren veriler Çizelge 6.13'teki gibidir. Çizelge'den % 0 YGKO değeri için oluşan sistem yıllık maliyeti hariç, diğer tüm YGKO değerleri için 6 kW'lık RT kullanılan hibrit sistemin en uygun tasarım olacağı görülmektedir.

Çizelge 6.13. Malatya - Optimum güneş-rüzgar hibrit sistem sonuçları

GP=100 W, Pr (RT)=1 kW, 6 kW, 10 kW - BT=900 W (75 Ah/12 V) Rakım=784 m					
RT sayısı	GP sayısı	BT sayısı	RT Yüks H(m)	Yıllık Maliyet	% YGKO
20 (1 kW)	200	100	30	13154,80 TL	0,662
20 (6 kW)	200	100	30	15166,00 TL	0,103
5 (10 kW)	199	68	30	10765,52 TL	0,080
8 (1 kW)	199	100	18	11156,24 TL	0,993
9 (6 kW)	196	42	30	8494,88 TL	0,981
6 (10 kW)	199	42	30	9777,92 TL	0,993
8 (1 kW)	198	46	18	7804,16 TL	1,998
3 (6 kW)	200	36	18	6500,40 TL	1,998
2 (10 kW)	200	36	30	6945,20 TL	1,986
4 (1 kW)	200	38	24	6584,96 TL	2,979
2 (6 kW)	185	34	12	5862,40 TL	2,979
1 (10 kW)	200	34	12	6154,40 TL	2,957
2 (1 kW)	198	34	12	5890,72 TL	3,995
2 (6 kW)	157	34	12	5445,76 TL	3,984
1 (10 kW)	170	34	12	5708,00 TL	3,973
2 (1 kW)	179	34	12	5608,00 TL	5,000
2 (6 kW)	140	32	12	5069,20 TL	4,943
1 (10 kW)	145	34	12	5336,00 TL	4,989

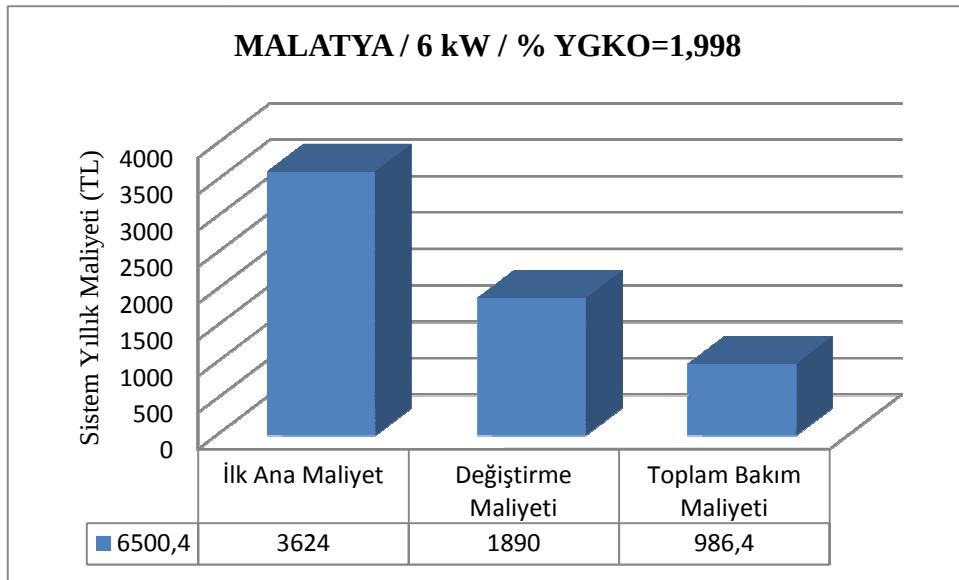
% 0 YGKO değeri için oluşan en uygun sistem yıllık maliyeti 10765,52 TL, % 1 YGKO değeri için oluşan en uygun sistem yıllık maliyeti 8494,88 TL, % 2 YGKO değeri için oluşan en uygun sistem yıllık maliyeti 6500,40 TL ve % 3 YGKO değeri için ise oluşan en uygun sistem yıllık maliyeti 5862,40 TL olmaktadır. YGKO değerleri birbirine yakın olup, oluşan maliyetler içerisinde bir sonraki YGKO değerinden en az maliyet farkı olan 3 adet 6 kW'lık RT, 200 adet GP, 36 adet BT ve 18 metre RTYüks değişkenlerine sahip % 1,998 YGKO'lu hibrit güneş-rüzgar sistemi en tercih edilebilir sistem olarak görünmektedir.

Bu hibrit sisteme ait görünüm Şekil 6.21'deki gibi, maliyet grafiği ise Şekil 6.18'deki gibidir.



Şekil 6.21 Hibrit güneş-rüzgar güç üretim sisteminin diyagramı ve konfigürasyonu

Malatya ilinde Şekil 6.22’den de görüleceği üzere % 1,998 değerindeki YGKO değerine karşılık gelen 6500,40 TL’lik sistem yıllık maliyetinde en büyük dilimi 3624,00 TL ile ilk ana maliyetler alırken, 1890,00 TL’lik dilimi değiştirme maliyetleri ve en küçük dilimi ise 986,40 TL ile toplam bakım maliyetleri oluşturmaktadır. 25 yıl boyunca çalışması planlanan bu sistemin 25 yıllık toplam masrafı ise 162.510,00 TL’dir.



Şekil 6.22. Malatya - 6 kW RT, % 1,998 YGKO için SYM grafiği

7. SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgardan hem verimli bir şekilde hem de ekonomik olarak faydalanabilmek için, bu çalışmada noktalar kümesi içerisinde aranan global minimum değeri bulmayı garanti eden ve lokal minimuma takılmayan Direk Ayrıntılı Arama metodu temelli bir optimum tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım, minimum Sistem Yıllık Maliyetli (SYM) ve arzu edilen Yüklün Güçsüz Kalma Olasılığını (YGKO) elde edebilen optimum sistem konfigürasyonunu hesaplamak için uygundur. Optimizasyon sürecinde kullanılan karar değişkenleri güneş pili (GP) sayısı, rüzgar türbini (RT) sayısı, batarya (BT) sayısı ve rüzgar türbini kurulum yüksekliğidir (RTyuks).

Güneş pili, rüzgar türbini ve batarya bileşenlerinden oluşan hibrit sistem simülasyonları ve optimum tasarım çalışmaları Malatya ili Hekimhan ilçesi Zorbehan dağında bulunan Telekom radyolink istasyonunun enerji ihtiyacını karşılayacak bir hibrit güneş-rüzgar sisteminin tasarımı için uygulanmıştır. MATLAB programlama dilinde yazılan programda 2010 yılına ait güneş ve rüzgar verileri kullanılmıştır. Bu veriler incelendiğinde güneş pili'nden gelen ve rüzgar türbininden gelen enerji katkısının aydan aya değişiklik gösterdiği belirlenmiştir, fakat bu iki enerji kaynağının birbirini iyi tamamlayabildikleri görülmüştür. Bataryaların yükü yalnız başına 1 saat besleyebilecek şekilde tasarlandığı hibrit sistemde % 0 - % 5 arasında tüm YGKO değerleri hesaplanabilmektedir.

Rüzgar türbini kullanılmaması durumunda Malatya ilinde minimum % 2,295 oranında YGKO değeri elde edilebilirken, Çanakkale ilinde minimum % 2,329 oranında elde edilebilmiştir. Güneş pili kullanılmadığında ise, 1 kW RT kullanılan sistemde Malatya ilinde % 17,637, Çanakkale ilinde % 0,080 YGKO değeri, 6 kW RT kullanılan sistemde Malatya ilinde % 5,148 YGKO, Çanakkale ilinde % 0,034 YGKO değeri, 10 kW RT kullanılan sistemde ise Malatya ilinde % 3,687 YGKO, Çanakkale ilinde % 0,000 YGKO değeri hesaplanabilmektedir.

Malatya ilinde 1 kW'lık RT, 100 W'lık güneş pili ve 75 Ah/12 V'luk bataryaların kullanıldığı hibrit sistem için % 0,662 YGKO, 6 kW'lık RT'nin kullanıldığı hibrit sistemde % 0,103 YGKO ve 10 kW'lık RT'nin kullanıldığı hibrit sistemde ise % 0,080 YGKO değerleri elde edilmişken, Çanakkale ilinde her üç RT'nin kullanıldığı hibrit sistemde de % 0,000 YGKO değerleri elde edilmiştir.

Malatya ili için elde edilen tüm tasarım sonuçları karşılaştırıldığında batarya destekli güneş-rüzgar hibrit sistemi için optimum sonucun 3 adet RT, 200 adet GP, 36 adet BT, 18 adet RT yükseklikli ve 6500,40 TL sistem yıllık maliyeti olan % 1,998 YGKO değerine sahip sistemin en uygun hibrit sistem olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] M. Karamanav, “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Türkiye, 2007
- [2] Yenilenebilir Enerji,
<http://www.meteor.gov.tr /arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s>
- [3] Hibrit Sistem Bileşenleri,
<http://www.neoenerji.com/Default.aspx>
- [4] Mustafa Engin, Bornova İçin Güneş-Rüzgar Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, (2010) 11-20.
- [5] H. Yang, W. Zhou, L. Lu, Z. Fang, Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm, 82 (2008) 354–367.
- [6] T.C. Çanakkale Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Çanakkale İli Çevre Durum Raporu, 2006-2007
- [7] V. Şimşek, “Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Türkiye, 2007
- [8] S. Keçel, “Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılmasına Yönelik Model Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2007
- [9] S. Kutlu,” Güneş Tarlası İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2002
- [10] Z. Wei, “Simulation and Optimum Design of Hybrid Solar-wind and Solar-wind-diesel Power Generation Systems”, PhD Thesis, The Hong Kong Polytechnic University, 2007.
- [11] C. Onat, “Rüzgar Türbini Pervanesi Dizaynı” Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Türkiye, 2001
- [12] H.Basri Çetinkaya, ”Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, 2001, 2-10.
- [13] A. Korkmaz, 2001, “Güneş Enerjisinden Direkt Elektrik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2001, 8-10.

- [14] G. Seeling-Hochmuth, "Optimisation of hybrid energy systems sizing and operation control", PhD Thesis, Kassel University, 1996
- [15] T.C. Malatya Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Malatya İl Çevre Durum Raporu, 2005
- [16] R. Belfkira, P. Reghem, J. Raharijaona, G. Barakat, C., Non Linear Optimization Based Design Methodology of Wind/PV Hybrid Stand Alone System, Monaco 2009 1-7
- [17] S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche, A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system 1-37.
http://hal.inria.fr/docs/00/18/33/57/PDF/diaf_revised.pdf
- [18] M.T. Gençoğlu, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi", Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2002, 14(2), 57-64.
- [19] G. Bayrak, M. Cebeci, Balık Çiftlikleri İçin Tasarlanan, Şebekeden Bağımsız, 1.1 kW'lık Kurulu Güce Sahip PV Sistemin Performans Analizi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), (2011) 167-171.
- [20] K. Başaran, N.S. Çetin, H. Çelik, Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), (2011) 114-119
- [21] Acsa Rüzgar Türbinleri,
http://www.acsaeolica.com/en/productos_miniturbinas.htm
- [22] A. Kaabeche, M. Belhamel and R. Ibtouen, Optimal sizing method for stand-alone hybrid PV/wind power generation system, Revue des Energies Renouvelables SMEE'10 Bou Ismail Tipaza, (2010) 205-218. [23] T. G. Kolda, R. M. Lewis, V. Torczon,
- [24] Malatya İli Rüzgar Kaynak Bilgileri,
<http://www.eie.gov.tr/duyurular/YEK/YEKrepa/MALATYA-REPA.pdf>
- [25] T. Köroğlu, A. Teke, K. Ç. Bayındır, M. Tümay, Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, Elektrik Mühendisliği, 439 (2010) 98-104.
- [26] C. Gökçöl, E. Sunan, B. Dursun, "Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Gebze'de Bir Evin Elektrik İhtiyacının Karşlanması", Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü.
http://www.emo.org.tr/ekler/d57510402ef7ce7_ek.pdf

- [27] Enercon Rüzgar Türbinleri,
<http://www.enercon.de/en-en/Windenergieanlagen.htm>
- [28] Greenrhino Güneş Sistemleri,
<http://www.greenrhinoenergy.com/solar>
- [29] Hibrit Sistemler,
<http://www.ksrenergy.com/hibrid.asp>
- [30] Direk Ayrıntılı Arama Metodu,
<http://www.mathworks.com/help/toolbox/gads/f6299.html>
- [31] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, H. Yang, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems, *Applied Energy* 87 (2010) 380–389.
- [32] İ. M. Yağlı, Yenilebilir Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar Enerjisi, *Ekonomik Sorunlar*, 29-33.
<http://mfa.gov.tr/data/Kutuphane/yayinlar/EkonomikSorunladergisi/Sayi34/ibrahimyagl%C4%B1.pdf>
- [33] Proven Rüzgar Türbinleri,
<http://www.provenenergy.co.uk/our-products/>
- [34] M. S. Ataseven, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği 03-2011, İstanbul, 1-43
<http://www.ruzgarenerjisikulubu.com/dosyalar/sunumlar/ruzgar-gunleri-2011-sunumlar/mserdar-ataseven-ruzgar-turbini-cesitleri-ve-ozellikleri.pdf>
- [35] Hibrit Güneş ve Rüzgar Sistemleri,
http://www.txwindsolar.com/hybrid_systems.html
- [36] Güneş Pilleri,
http://www.unienerji.com/?page_id=9

EKLER

Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Sistemlerinin Maliyet Optimizasyonu MATLAB Programı

% Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Sistemlerinin Maliyet Optimizasyonu

MATLAB programı

clear all;

Gunes = xlsread('gunes.xlsx','Sayfa1','H3:H8762'); %Malatya ili için gunes.xlsx, Çanakkale ili için gunes_cnk.xlsx dosyaları okutulur
Ruzgar = xlsread('ruzgar.xlsx','Sayfa1','I3:I8762'); %Malatya ili için ruzgar.xlsx, Çanakkale ili için ruzgar_cnk.xlsx dosyaları okutulur

%Başlangıç Degerleri

ACSmin=10000000000000000000; % maliyet karşılaştırması yapılabilmesi için ilk değer.

B=0;

C=0;

D=0;

E=0;

F=0;

G=0;

%Tarama yapılacak Aralıklar

for RT=0:1:20

for GP=0:1:200

for BT=2:2:100 %batarya en az 2 tane olmalı idi. 2 grupluk dizi (string) old. için de 2 şer adımlarla ilerlettim.

for RTyuks=12:6:30

% Bataryalara ait başlangıç değerleri

BE=BT*12*75; % BE ve BEson değerleri, 12 V 75Ah lık 2 bataryanın seri bağlanarak yükü sadece 1 saat besleme kapasiteli seçilmiştir.

BEson=BT*12*75;

BEmax=(BE*0.9375); %bataryanın maksimum şarj değeri.

BEmin=(BE*0.125); %bataryanın minimum şarj değeri.

A=0; % YGKO hesaplamasında kullanılan güçsüz kalma olasılığının ilk değeri.

CE=1500; % Yük tarafından talep edilen güç.

n_gp=0.15; % Güneş pili verimi.

Agp=0.9; % 1 adet güneş pilinin kapladığı alan

GPguc=100; % 1 adet güneş pilinin gücü. (100 W)

Vc=2.5; % Rüzgar Türbini için başlangıç hızı. 1 kW'lık için Vc=2.5 m/s, 6 kW'lık için Vc=3 m/s, 10 kW'lık için 3 m/s.

Vr=8; % Rüzgar Türbini için oransal hız. 1 kW'lık için Vr=8 m/s, 6 kW'lık için Vr=10 m/s, 10 kW'lık için 11 m/s.

Vf=40; % Rüzgar Türbini için cut-off hızı. 1 kW'lık için Vf=40, 6 kW'lık için Vf=40, 10 kW'lık için 50 m/s.

Pr=1000; % Rüzgar Türbini için oransal güç. 1 kW'lık için Pr=1000 W, 6 kW'lık için Pr=6000 W, 10 kW'lık için 10000 W.

gama=0.0000417; % bataryanın kendi kendine saatlik deşarj oranı

nB=0.85; % batarya verimi

n_inv=0.92; % inverter verimi

```

for t=1:1:8760 % Meteorolojiden alınan 8760 saattlik verinin
               taranması sağlanır.

Pgp=n_gp*Agp*Gunes(t);
if Pgp >=100
    Pgp=n_gp*Agp*GPguc;
else
    Pgp=Pgp;
end

Ruzgar_2(t)=Ruzgar(t)*(((784+RTyuks)/784)^0.3); % RT yüksekliğine
                                                  göre yeni ruzgar
                                                  hızı hesaplaması
                                                  yapılır.

if Ruzgar_2(t)>=Vc && Ruzgar_2(t)<=Vr
    Prt=Pr*((Ruzgar_2(t)-Vc)/(Vr-Vc));
else
    if Ruzgar_2(t)>Vr && Ruzgar_2(t)<=Vf
        Prt=Pr;
    else
        Prt=0;
    end
end
EE=0;
EE=(Prt*RT+Pgp*GP)*n_inv;
if EE>=CE
    if (EE-CE)>0
        X=BEson-(BEmax*BT/2);
        if X<0
            BEson=BE*(1-gama)+(EE-CE/n_inv)*nB;
            if BEson>=BEmax
                BEson=BEmax;
                BE=BEson;
            else
                if BEson<=BEmin
                    BEson=BEmin;
                    BE=BEson;
                else
                    BE=BEson;
                end
            end
        end
    else
        BE=BEson;
    end
else
    BE=BEson;
end
end
else
    BE=BEson;
end

%EE enerjisinin yükü beslemeye yetmediği durumda
if BE>=CE
    BEson=BE*(1-gama)-(CE/n_inv-EE);
    if BEson<=BEmin
        BEson=BEmin;
        BE=BEson;
        EE=EE/n_inv;
        A=A+1;
    else
        if BEson>=BEmax
            BEson=BEmax;

```

```

        BE=BEson;
    else
        BE=BEson;
    end
    BE=BEson;
end
else
    A=A+1;
end
end
    YGKO=(A/t)*100;
end
YGKO=(A/t)*100;

if YGKO>2 && YGKO<=3      % yükün hangi yüzdelik oranda güçsüz kalması
                           isteniyorsa o aralık girilir.

    %Sistem Yıllık Maliyetini Hesaplama

    ILKANAMAL=(2800*RT)+(300*GP)+(250*BT)+(1500*1)+(1900*1)+(2200*1)+((RTy
uks-12)/6*400)+(600*1)+3000;

    %Degistirme Maliyetleri
    DEG_MAL=(250*BT*5)+(1500*1*1.5);

    %Toplam Bakım Maliyeti(25 yıllık)
    TOP_BAK_MAL=(84*RT*24)+(3*GP*24)+(2.5*BT*18);

    %1 Yıla Düşen Yıllık Maliyet
    ACS=(ILKANAMAL+DEG_MAL+TOP_BAK_MAL)/25 ;

    if ACS<ACSmin
        ACSmin=ACS;
        F=ACS;
        B=RT;
        C=GP;
        D=BT;
        E=YGKO;
        G=RTyuks;
        RThesaplanan=B;
        GPhesaplanan=C;
        BThesaplanan=D;
        YGKOhesaplanan=E;
        ACSminhesaplanan=F;
        RTyukshesaplanan=G;
    else
        ACSmin=ACSmin;
        RThesaplanan=B;
        GPhesaplanan=C;
        BThesaplanan=D;
        YGKOhesaplanan=E;
        ACSminhesaplanan=F;
        RTyukshesaplanan=G;
    end
else
    RThesaplanan=B;
    GPhesaplanan=C;
    BThesaplanan=D;
    YGKOhesaplanan=E;
    ACSminhesaplanan=F;

```

```

        RTyukshesaplanan=G;
end
end
end
end
end

%Sonuçları Yazdırma
fprintf('A= %f\n',A);
fprintf('t= %f\n',t);
fprintf('YGKO= %f\n',YGKO);
fprintf('ACSmin= %f\n',ACSmin);
fprintf('YGKOhesaplanan= %f\n',YGKOhesaplanan);
fprintf('RThesaplanan= %f\n',RThesaplanan);
fprintf('GPhesaplanan= %f\n',GPhesaplanan);
fprintf('BThesaplanan= %f\n',BThesaplanan);
fprintf('ACSminhesaplanan= %f\n',ACSminhesaplanan);
fprintf('RTyukshesaplanan= %f\n',RTyukshesaplanan);

```

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Malatya’da doğdu. Lise öğrenimini Malatya Lisesi’nde tamamladı. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Kısa süreli özel sektör tecrübelerinden sonra 2005 yılında Türk Telekom A.Ş.’nde Telekom Uzman Yardımcısı olarak çalışma hayatına devam etti. Haziran 2009 tarihinde bu görevinden ayrılarak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nde Mühendis olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevinde çalışmaya devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.