

TC
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN
SİMÜLASYONU VE OPTİMİZASYONU

MEHMET LEVENT ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA
Kasım 2008

Tezin Başlığı: Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Simülasyonu ve Optimizasyonu

Tezi Hazırlayan: Mehmet Levent ARSLAN

Sınav Tarihi: 23 Ekim 2008

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

Sınav Jürisi Üyeleri (ilk isim jüri başkanı, ikinci isim tez danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. Müslüm ARKAN (İnönü Üniversitesi)

Prof. Dr. M.Salih MAMIŞ (İnönü Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr.Ö.Faruk ÖZGÜVEN (İnönü Üniversitesi)

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İsmail ÖZDEMİR
Enstitü Müdürü

Onur Sözü

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Simülasyonu ve Optimizasyonu”başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet Levent ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYONU VE OPTİMİZASYONU

Mehmet Levent ARSLAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

89+X sayfa

2008

Danışman: Prof. Dr. M. Salih Mamiş

Son yıllarda nüfus ve sanayinin artışına paralel olarak yükselen enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla alternatif enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Aynı zamanda kullanılan fosil enerji kaynaklarının çevre açısından da birçok olumsuz etkisi söz konusudur. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynakları artan enerji talebini karşılamak üzere son yıllarda büyük gelişimler göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir avantajı da diğer enerji kaynaklarıyla birlikte hibrit sistem oluşturabilmesidir. Hibrit sistemler kullanılarak şebeke bulunmayan yerlerde de enerji sürekliliği sağlanabilmektedir.

Bu tezin ilk bölümlerinde yenilenebilir enerji kaynakları, hibrit sistemler, üretilen enerjinin maliyet optimizasyonu ile maliyete etki eden faktörlerden bahsedilmiştir. Bu amaç için kullanılan HOMER bilgisayar programı anlatılmış ve iki ayrı örnek sistem tasarımı verilmiştir. Bu tasarımlardan, ilk kuruluş maliyetini arttırmamasına rağmen tasarlanan sistemin enerji sürekliliğini sağlaması nedeniyle batarya, dizel jeneratör gibi yedek enerji kaynaklarının sisteme bağlanmasının gerektiği ve sistemin şebekeyle çalışmasının sistemin toplam maliyetlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrit Sistemler, Optimizasyon, Maliyet, HOMER programı.

ABSTRACT

Master Thesis

SIMULATION AND OPTIMISATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Mehmet Levent ARSLAN

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

89+ X Pages

2008

Supervisor: Prof. Dr. M. Salih MAMIŞ

With the increase of population and economic growth, energy consumption is getting higher, and in order to meet high energy demand, alternative energy sources get importance. At the same time, fossil fuels have many harmful effects on the environment. For these reasons, technology of renewable energy sources recently has been developed rapidly. Another advantage of renewable energy power plants is that several power plants can be connected together to form a hybrid system. By using hybrid systems, energy can be supplied continuously where grid connection is not available.

In the first part of this thesis, renewable energy sources, hybrid systems, cost optimisation of produced energy and factors affect this cost are described. HOMER computer program that is used for cost optimisation and system simulation is mentioned. Two different hybrid system are simulated. The simulation results has shown that although it increases the initial cost, a connection of battery and diesel generators to the renewable energy power plant is required for continuous power supply. It has been also shown that a connection to a grid system decreases the total system cost.

Key words: Renewable Energy Sources, Hybrid Systems, Optimisation, Cost, HOMER program

TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmaya teŐvik eden, çalıŐmalarım boyunca desteğini esirgemeyen ve bana yol gosteren danışman hocam Prof.Dr.M.Salih MAMIŞ'e, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarıma, bu noktaya gelebilmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, çalıŐmam sırasında bana her konuda destek veren değerli arkadaşlarım Hasan Vural SİĞIRCI, Hüseyin KAYABAŐI, Hayrettin ATLIHAN'a en içten teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	4
2.1. Hidrojen Enerjisi.....	4
2.1.1. Yakıt Pilleri.....	5
2.1.2. Yakıt Pili Çeşitleri.....	5
2.2. Güneş Enerjisi.....	6
2.2.1. Güneş Pilleri.....	7
2.2.2. Güneş Pillerinin Yapısı	7
2.2.3. Güneş Enerjisi Ve Diğer Enerji Kaynakları.....	8
2.3. Rüzgar Enerjisi.....	8
2.3.1. Rüzgar Türbinleri.....	9
2.3.2. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları.	9
2.3.3. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları.....	9
2.4. Jeotermal Enerji	9
2.4.1. Jeotermal Enerjinin Kullanımı.....	10
2.5. Biyokütle Enerjisi.....	10
2.6. Biyogaz Enerjisi	10
2.6.1. Biyogaz Üretiminin Yararları	11
2.7. Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerjiler	11
3. HİBRİD SİSTEMLER VE BİLEŞENLERİ	12
3.1. Güneş Panelleri	12
3.1.1. Pv'nin Hibrid Sistemdeki Yeri Ve Önemi.	13
3.2. Rüzgar Türbini	13
3.2.2. Rüzgar Türbininin Hibrid Sistemdeki Yeri Ve Önemi	15
3.3. Dizel Jeneratör	15
3.3.1. Dizel Jeneratörün Hibrid Sistemdeki Yeri Ve Önemi	15
3.4. Bataryalar	16
3.4.1. Bataryaların Hibrid Sistemdeki Yeri Ve Önemi.....	18
3.5. Yükler	18
3.6. İnverterler.....	18
3.7. Doğrultucular.....	19
3.8. Batarya Regülatörleri.	19
3.9. Hibrid Sistemin Enerji Dengesi.....	21
4. OPTİMİZASYON	23
4.1. Optimizasyonun Matematiksel Tanıtımı.....	24
4.2. Optimizasyonun Uygulama Alanları.....	25

4.3. Optimizasyon Çeşitleri.....	25
4.3.1. Deneme Yanılma Optimizasyonu.....	26
4.3.2. Bir Boyutlu Ve Çok Boyutlu Optimizasyon	26
4.3.3. Statik Ve Dinamik Optimizasyon.....	27
4.3.4. Sürekli Ve Ayrık Optimizasyon.....	27
4.3.5. Kısıtlı Ve Kısıtsız Optimizasyon	27
4.3.6. Klasik Optimizasyon.....	27
4.4. Optimizasyon Modelleri.....	28
4.4.1. Kısıtsız Optimizasyon	29
4.4.2. Quasi-Newton Metodu	29
4.4.3. Çizgi Araştırması.	30
4.4.4. En Küçük Kareler Optimizasyonu.....	31
4.4.5. Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Optimizasyonu.....	32
4.4.6. Kısıtlı Optimizasyon	32
4.4.7. Çok Amaçlı Optimizasyon	33
5. MALİYETE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	36
5.1. Devir Ömrü Maliyeti Hesaplanması	36
5.2. Bugünkü Değerin Hesaplanması.....	37
5.3. İlk Yatırım Maliyetinin Hesaplanması.....	38
5.4. İşletme Maliyetinin Hesaplanması	38
5.5. Yıllık Düzeye İndirgenmiş Lcc	39
5.6. Üretilen Elektrığın Birim Maliyeti.....	39
5.7. Boyutlandırma Ve Maliyet Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	39
5.7.1. Pv Boyutlandırma Ve Maliyet Değişkenlerinin Belirlenmesi	39
5.7.2. Rüzgar Türbini Boyutlandırma Ve Maliyet Değişkenlerinin Belirlenmesi	40
5.7.3. Yükler.....	40
5.7.4. Dizel Jeneratör Boyutlandırma Ve Maliyet Değerlerinin Belirlenmesi	41
5.7.5. Batarya Boyutlandırma Ve Maliyet Değişkenleri	41
5.7.6. İnverter Boyutlandırma Ve Maliyet Değişkenleri	42
6. HOMER SİMÜLASYON PROGRAMI.....	44
6.1. Simülasyon Ve Aşamaları.....	47
7. HOMER SİMÜLASYON VE OPTİMİZASYON PROGRAMIYLA OLUŞTURULAN SİSTEM TASARIMLARI	54
7.1. İskenderun İlçesi İçin Yapılan Sistem Tasarımı.....	54
7.1.1. Güneş Kaynağı	57
7.1.2. Rüzgar Kaynağı.....	58
7.1.3. Ekonomik Parametreler	59
7.1.4. Fotovoltaik Pilin Giriş Bilgileri	60
7.1.5. Rüzgar Türbininin Giriş Bilgileri	61
7.1.6. Bataryanın Giriş Bilgileri.....	62
7.1.7. Konverterin Giriş Bilgileri	63
7.1.8. Jeneratörün Giriş Bilgileri	64
7.1.9. Yük Karakteristiğinin Giriş Bilgileri.....	64

7.2.	Homer 2.19 Versiyonuyla Yapılmış Bir Tasarım	69
7.2.1.	Güneş Kaynağı	70
7.2.2.	Rüzgar Kaynağı.....	71
7.2.3.	Dizel Yakıt Masrafı	72
7.2.4.	Ekonomik Parametreler	72
7.2.5.	Fotovoltaik Pilin Giriş Bilgileri	73
7.2.6.	Generic 3 Kw Rüzgar Türbininin Giriş Bilgileri.....	74
7.2.7.	Generic 10 Kw Rüzgar Türbininin Giriş Bilgileri.....	75
7.2.8.	Bataryanın Giriş Bilgileri.....	76
7.2.9.	Bataryanın Giriş Bilgileri.....	77
7.2.10.	Dizel Jeneratörün Giriş Bilgileri.....	78
7.2.11.	Yük Karakteristiğinin Giriş Bilgileri.....	79
8.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	86
	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Optimizasyonun temel süreci.....	23
Şekil 4.2. Optimizasyon çeşitleri.....	25
Şekil 5.1. Maliyete bağlı optimizasyon algoritması.....	43
Şekil 6.1. Hibrid sistem.....	45
Şekil 6.2. Hibrid sistem.....	46
Şekil 6.3. Homer ana sayfa.....	47
Şekil 6.4. Homer bileşen sayfası.....	48
Şekil 6.5. Homer ana sayfa.....	49
Şekil 6.6. Yük profili sayfası.....	49
Şekil 6.7. Homer ana sayfa.....	50
Şekil 6.8. Homer ana sayfa.....	50
Şekil 6.9. Homer rüzgar sayfası.....	51
Şekil 6.10. Homer ana sayfa.....	51
Şekil 6.11. Homer sınıflandırılmış optimizasyon sonuçları sayfası.....	52
Şekil 6.12. Homer tüm optimizasyon sonuçları sayfası.....	52
Şekil 6.13. Simülasyon sonuçları sayfası.....	53
Şekil 7.1. Homer ana sayfası.....	56
Şekil 7.2. Güneş kaynağı sayfası.....	57
Şekil 7.3. Rüzgar kaynağı sayfası.....	58
Şekil 7.4. Ekonomik parametreler sayfası.....	59
Şekil 7.5. Fotovoltaik pil giriş bilgileri sayfası.....	60
Şekil 7.6. Rüzgar türbini giriş bilgileri sayfası.....	61
Şekil 7.7. Batarya giriş bilgileri sayfası.....	62
Şekil 7.8. Konverter giriş bilgileri sayfası.....	63
Şekil 7.9. Jeneratör giriş bilgileri.....	64
Şekil 7.10. Yük karakteristiği sayfası.....	64
Şekil 7.11. Optimizasyon sonuçları sayfası.....	65
Şekil 7.12. Simulasyon sonuçları sayfası.....	66
Şekil 7.13. Homer ana sayfa (şebekeye bağlı sistem).....	66
Şekil 7.14. Şebekeye bağlı sistemin optimizasyon sonuçları.....	67
Şekil 7.15. Şebekeden bağımsız sistemin optimizasyon sonuçları.....	67
Şekil 7.16. Şebekeden bağımsız sistemin elektriksel sonuçları.....	68
Şekil 7.17. Şebekeye bağlı sistemin elektriksel sonuçları.....	68
Şekil 7.18. Homer ana sayfası.....	69
Şekil 7.19. Güneş kaynağı sayfası.....	70
Şekil 7.20. Rüzgar kaynağı sayfası.....	71
Şekil 7.21. Dizel kaynağı sayfası.....	72
Şekil 7.22. Ekonomik parametreler sayfası.....	72
Şekil 7.23. Fotovoltaik pil giriş bilgileri sayfası.....	73
Şekil 7.24. Generic 3 kw rüzgar türbini giriş bilgileri sayfası.....	74
Şekil 7.25. Generic 10 kw rüzgar türbininin giriş bilgileri sayfası.....	75

Şekil 7.26. Batarya giriş bilgileri sayfası.....	76
Şekil 7.27. Konverter giriş bilgileri sayfası.....	77
Şekil 7.28. Dizel jeneratör giriş bilgileri sayfası.....	78
Şekil 7.29. Yük karakteristiği sayfası.....	79
Şekil 7.30. Optimizasyon sonuçları sayfası.....	80
Şekil 7.31. Simülasyon sonuçları.....	81
Şekil 7.32. Maliyet yönünden simülasyon sonuçları sayfası.....	81
Şekil 7.33. Elektriksel yönden simülasyon sonuçları sayfası.....	83
Şekil 7.34. Elektriksel yönden simülasyon sonuçları sayfası.....	83
Şekil 7.35. Güç ile yük,dizel jeneratör ve batarya ilişkisi.....	60
Şekil 7.36. Güç ile yük,pv,rüzgar,dizel jeneratör ve batarya ilişkisi.....	61

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Simülasyon programları tablosu.....	2
Tablo 2. Yakıt pili tipleri.....	5
Tablo 3. Optimum şartlar ve kısıtlar.....	24
Tablo 4. Kullanılan elemanların ve sistemin bilinmesi gereken parametreleri..	35
Tablo 5. Bir evin enerji tüketim tablosu	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ALCC	Yıllık düzeye indirgenmiş devir ömrü maliyeti
Ca	Her yıl yapılacak harcama tutarı
Cp	Rüzgar türbini verim katsayısı
Cr	Gelecekte bir defa yapılacak harcama tutarı
d	İndirme oranı
İ	Enflasyon oranı
LLP	Yükün enerjisiz kalma oranı
LCC	Devir ömrü maliyeti
m	Düzeltilme katsayısı
N	Ekonomik analizin yapıldığı süre
N bat,seri	Seri bağlanan batarya adedi
Pa	Yıllık yapılan harcamaların bugünkü değerini hesaplamak için gerekli parametre
Pr	Bir defalık harcamaların bugünkü değerini hesaplamak için gerekli parametre
v	Rüzgar hızı
Wl	Yükün tüketimi
Wpv	Pv panellerin üretimi
Wwg	Rüzgar türbininin üretimi
Wyk	Yardımcı kaynaktan kullanılan enerji
Wb	Bataryada depolanan veya bataryadan kullanılan enerji

1. GİRİŞ

Nüfustaki artış ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji tüketiminin artması mevcut fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalmasına sebep olmuştur. Bu azalma sonucunda 1974 ve 1990 yılında petrol krizi, 2006 yılında ise doğalgaz krizi yaşanmıştır. Bununla beraber fosil enerji kaynaklarının kullanımı ise çevre kirliliğine yol açmakta ve çevre dengelerinin bozulmasına neden olmaktadır. Tüm bu olumsuz durumların yanı sıra fosil yakıtların insan sağlığına verdiği zararlar ile neden olduğu sera gazları ile dünyanın ısınmasına ve iklim değişikliğine yol açması, diğer yandan nükleer enerji kaynaklarının toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha tercih edilebilir bir konuma getirmiştir.

Bu durum, araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir. Kirliliği önleme amaçlı güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişik sektörlerde uygulanabilmesi için araştırmalar sürdürülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tek başlarına değil diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla da beraber kullanılabilirdiği hibrid sistemlerle ilgili çalışmalarda yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu tür araştırmalarda sistemin güvenilirliğinin maksimum maliyetin düşük olması hedeflenmektedir.

Bu amaçla dünyada ilk araştırmalar Amerikan yenilenebilir enerji enstitüsü laboratuvarlarında 1994 yılında HYBRID1 adlı DOS ortamında çalışan programın tasarımıyla başlanmıştır [1]. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan sistemlerle bunlara yardımcı elemanların matematiksel modelleri çıkarılmıştır. Bu çalışmanın devamı olarak Amerikan yenilenebilir enerji enstitüsü desteği ile University of Massachusetts'te 1998 yılında HYBRID2 adlı program geliştirilmiştir [2]. HYBRID2'nin HYBRID1 programından farkı Windows ortamında çalışmasıdır.

Evsel enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik ilk çalışma Güney Afrika'da gerçekleştirilmiştir [3]. Bu çalışmada enerjinin sürekliliğini sağlamak amacıyla dizel jeneratörde sistem parametreleri arasına dahil edilmiştir [4]. Daha sonra ise RAPSODY adlı program yardımıyla yenilenebilir enerji sistemlerinin şebeke ile paralel çalıştığı durum göz önünde bulundurularak simülasyonlar yapılmıştır [5]. Bu çalışmanın daha önceki çalışmalardan farkı daha önceki çalışmalarda sadece enerji arz güvenilirliği göz önünde bulundurulurken bu çalışmayla yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye olan etkisi de hesaplanmıştır.

Ülkemizde ise yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili çalışmalar genellikle devlet kurumları tarafından yapılmaktadır. Bu konuda EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi)

tarafından birçok noktaya anemometreler yerleştirilmiştir [6]. Aynı zamanda ülkemizin güneşlenme süreleride Devlet Meteoroloji İşleri tarafından ölçülmektedir [7].

Dünyada tüm bu gelişmelere paralel olarak geliştirilen yenilenebilir enerji sistemleri simülasyon programları Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Simülasyon programları tablosu

Yazılım	Uygulamalar	Model Tipi	Karakteristik	Kaynak
RAPSİM	RAPS (PV, rüzgar, dizel, akü)	Mantıksal zaman serileri enerji akış modeli	<ul style="list-style-type: none"> • Hızlı hesaplama • Temel modeller • Ekonomik analizler 	MUERI Avusturalya
HYBRID 2	RAPS (PV, rüzgar, dizel, akü)	Rüzgarın olasılıklı dalgalanmalarını ve yük bileşenlerini içeren mantıksal zaman serileri enerji akış modeli	<ul style="list-style-type: none"> • Ayrıntılı akü modeli • Rüzgar-dizel entegrasyonu için iyi geliştirilmiş modeller • Ekonomik analizler 	NREL A.B.D
PVS	PV-dizel-akü PV-akü bağımsız Şebeke bağlantılı PV	Mantıksal zaman serileri enerji akış modeli	<ul style="list-style-type: none"> • Hızlı hesaplama • Temel modeller • Kullanıcı dostu 	FhG-ISE/ Econzept Almanya
HOMER	RAPS (PV, rüzgar, dizel, akü)	Sistem konfigürasyonu ve boyutlandırmanın Ekonomik optimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Temel enerji akış modeli • Tasarım seçeneklerinin ekonomik analizlerinin önemi 	NREL A.B.D
VIPOR	Kırsal şebeke kaynağı, küçük şebeke RAPS’ları veya bağımsız hibrid enerji sistemi	Dağıtık kırsal elektriklenmenin ekonomik optimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Küçük şebekelerin optimum dizaynı • HOMER çıktılarını kullanır • Dağıtım ve üretim maliyetleri hesaplar 	NREL A.B.D

Yapılan bu tez çalışmasında öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili bilgiler verilip yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının birden fazlasının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan hibrid sistemlerin simülasyonu ve optimizasyonu gerçekleştirilerekten oluşturulan sistemlerin şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak çalıştıkları durumda oluşacak maliyet ve yükün beslenme sürekliliği karşılaştırılıp en uygun sistemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan simülasyon ve optimizasyonlar HOMER programı kullanılarak yapılmıştır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, biyogaz, biyokütle ve deniz kökenli enerjiler (dalga enerjisi, gel git enerjisi vb.) gibi kaynaklardan elde edilen enerji türleri ki bu tür yenilenebilir enerjiler çevre dostu olmalarının yanı sıra dünya var oldukça tükenmeyen enerji türleridir [8]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyadaki potansiyelleri incelendiğinde AB ülkelerinin enerji üretimlerinin %8'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşıladıkları, Türkiye'de ise bu oranın %1 civarında olduğu görülmektedir. Türkiye'de en fazla biyokütle enerjisi kullanılmakta olup rüzgâr enerjisi yeni yeni kullanılmaya başlamıştır. Deniz kökenli enerji potansiyeli ülkemizde çok yüksek olmasına karşın deniz kökenli enerji kaynaklarından hiç yararlanılamamaktadır. Türkiye'de yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik eğilimler gittikçe artmakta olup bu konuda EPDK' dan ülkemizdeki üretim potansiyelini yaklaşık iki katı kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik olarak lisans alınmıştır.

2.1. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtıdır. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen, tüm yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahip gazdır. 1 kg hidrojen 2,1 kg doğalgaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim başına enerji hacmi yüksektir.

Hidrojen dünyanın en basit ve en çok bulunan elementidir. Aynı zamanda renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır. Yerel olarak da üretimi mümkün olan hidrojen enerjisi ayrıca kolay ve güvenli bir şekilde taşınımı ile enerji kaybı az olan, her alanda kullanılabilen bir enerji türüdür.

Hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır ve en çok bilinen bileşiği sudur. Hidrojenin yakıt olarak kullanılması halinde atmosfere atılan ürün sadece su ve su buharıdır [9]. Bunun dışında çevreyi kirletici veya sera etkisini artırıcı hiçbir zararlı madde üretilmemektedir. Ayrıca hidrojen petrol yakıtlara göre ortalama 1,33 kat daha verimli bir yakıttır. Hidrojen kömür, doğalgaz gibi fosil kaynaklarının yanı sıra sudan, rüzgâr, dalga ve biyokütleden de üretilmektedir. Hidrojenin dünyadaki gelişimi yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi yönündedir.

Ancak tüm yakıtlar gibi hidrojenin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin diğer yakıtlardan üç kat pahalı bir yakıt türüdür. Bu özelliğinin ortadan kaldırılabilmesi ise üretiminde kullanılacak maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere

bağlıdır. Ayrıca ihtiyaç fazlası oluşabilecek elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanarak enerjinin yaygın kullanılabilmesi sağlanabilir.

2.1.1. Yakıt pilleri

İngiliz fizikçi William Grove tarafından Seyreltik sülfürik asit ile yapılan yakıt pilleri bilim adamlarının önce uzay araştırmalarında dikkatini çekmiştir. Günümüzde ise bu sistem teknolojik gelişmelere paralel olarak temiz, verimli, güvenilir ve ucuz bir yolla güç üretmede bir çözüm yolu olarak görülmüştür. 1980'lerden bu yana hidrojen ve oksijeni doğrudan elektrik akımı ve ısıya çeviren ve uzay çalışmalarında enerji temini için kullanılan bu hücreler özellikle proton değişim zarlı yakıt pilleri (PEM) yeni malzemelerin daha kolay elde edilmesi ve konuyla ilgili teknolojinin geliştirilmesi yönündeki çabalarla uluslar arası ölçekte önem kazanmıştır

2.1.2. Yakıt pili çeşitleri

İlk yakıt pili 1839 yılında İngiltere Avukat William Grove tarafından tasarlanmıştır. Seyreltik sülfürik asit ile yaptığı ilk hidrojen-oksijen yakıt pili 1839 yılında Philosophical Magazine dergisinde yayınlanmıştır. Yeterli teknolojik üretim tesislerinin olmaması veya üretimin oldukça zor olması sebebiyle yakıt pili yapımı yıllarca çok yavaş ilerlemiştir. İlk önemli uygulama General Electric firması Gemini ve Apollo uzay kapsüllerinde uzay gemisinin elektrik gücünü ve astronotların su ihtiyaçlarını karşılamak için yaptığı uygulamadır. Çeşitli Yakıt Pili tiplerinin önemli özelliklerinin bazıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yakıt pili tipleri

Yakıt Pili Tipleri	Çalışma Sıcaklığı (C)	Güç Yoğunluğu (kW/litre)	CO Toleransı	CO Toleransı
Katı Oksit	1000	1-4	Var	İyi
Erimiş Karbonat	600	-	Var	İyi
Fosforik Asit	150-205	0,16	Var	Orta
Alkalin	65-220	0,1-1,5	Var	Kötü
Katı Polimer	25-120	0,1-1,5	Var	Kötü
Mark 700	70-80	0,92	Var	İyi
Mark 900	70-85	1,23	Var	İyi

Genel olarak yakıt pilleri çalışma sıcaklıkları bakımından iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; düşük sıcaklıklı ve yüksek sıcaklıklı yakıt pilleridir. Düşük sıcaklıklı yakıt pilleri; Alkalın, Katı polimer ve Mark 700–900 yakıt pilleri gibi çeşitlere ayrılırken yüksek sıcaklıklı yakıt pilleri; Erimiş karbonatlı yakıt pilleri (MCFCs), Fosforik asit yakıt pilleri (PAFCs), Katı oksit yakıt pilleri (SOFCs) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bugünkü uygulamalarda çoğunlukla Alkalın yakıt pilleri ve Fosforik asit yakıt pilleri kullanılmaktadır. Taşıtlara yönelik uygulamalar için Katı polimer yakıt pili (PEM) kullanılmaktadır. Sabit tesis enerji üretim santralleri için ise Katı oksit yakıt pili (SOFC) ve Erimiş karbonat yakıt pili (MCFC) kullanılmaktadır.

Yakıt pillerinin dört esas tipi vardır. Hydrox (Hidrojen-Oksijen) pilleri, Redox pilleri (yükseltgenme-indirgenme), Hidrokarbon pilleri ve iyon alış verişli yakıt pilleri. Orta kuşak iklimlerdeki piller ya asit ya da alkalın elektroliti kullanırlar. Bu yakıt pillerinde kimyasal reaksiyonun hızını artırmak için gözenekli karbon elektrotların kullanılması gerekmektedir.

Reaksiyon hızı bununla da sınırlı sıcaklık artırılarak reaksiyon hızı artırılmaya devam edilmektedir. Yakıt pili içerisinde bulunan yakıt ve yakıcı güvenli basınç ve sıcaklık sınırları arasında tutulmalıdır. Bu tip yakıt pillerinde sıcaklık sınırın üzerine çıktığında verim azalmaya başlamaktadır.

2.2. Güneş Enerjisi

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşin gün boyunca atmosfere verdiği ısı ve ışık, insanların ihtiyaç duyduğu elektriği ve ısıyı karşılamaktadır. Güneşin ulaştığı yere düz depolayıcı koyularak bunun ısıısıyla 70–80 derece su elde edilebilmektedir. Güneşten gelen ısı ve ışıktan dağınık enerji kaynağını odaklayarak daha fazla yararlanabilmek için yoğunlaştırıcı ya da odaklı toplayıcı adı verilen bir araçlar kullanılmaktadır. Ayrıca güneşten elektrik üretmek için yarı iletken malzemelerin özelliğinden yararlanılmaktadır. Yine güneş ışınımının 500 aynayla yansıtıldığı bir kulede çok yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Bu kule geçirilen bir akışkan yardımıyla da elde edilen buhardan elektrik üretilmektedir.

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle güneş enerji potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi yaygın olarak, ancak verimsiz bir şekilde kullanılmaktadır.

Elektrik işleri Etüt idaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saat yani günlük toplam 7,2 saat ve ortalama

toplam ısınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl yani günlük 3,6 kWh/m² olarak tespit edilmiştir [10]. Ülkemizde güneşlenme süresi temmuz ayında en yüksek değere aralık ayında ise en düşük değere sahiptir.

2.2.1. Güneş pilleri

Güneş pilleri ile ilgili ilk çalışmalar, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemlenerek fotovoltaik olayının bulunmasıyla başlamıştır [11]. Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir . Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. 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, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megawatt'lara kadar sistem oluşturulur.

2.2.2. Güneş pillerinin yapısı

Bir güneş pili, iki temel bölümden oluşur. Birinci bölüm gelen ışımının hemen tümünü soğutacak ölçüde kalın, yarı iletken bir malzemedir yapılmış bir katmandır. Fotovoltaik etki, bu katmanda doğar: gelen ışımının yeterli enerji (yarı iletkenin yasak bant genişliğinden büyük) taşıyan fotonları soğurularak bir elektron-delik çifti oluşumuna yol açar. Ne var ki elektron-delik çifti çok güçlü bir birleşme ve elektrik akımı vermeden ısı açığa çıkarma eğilimi gösterir. İşte bu aşama, güneş pilinin ikinci temel bölümü olan yarı iletken eklem devreye girer. Soğurucu malzeme “N katkılı” yarı iletken yani artık negatif elektron sağlanan katkılayıcı bir madde eklenmişse, bunu üstüne “P katkılı” (ters davranış) ince bir yarı iletken katman yerleştirerek, bir “P-N” eklemi oluşturulur. Böyle bir eklemden bir elektrik alanı ortaya çıkar ve “elektro-delik” çiftlerin, ayrılarak bir elektrik akımı doğurur. Bu evrede foto pilin iki yanındaki kontaklar kapalı bir devreye bağlanarak, oluşan akım toplanır.

2.2.3. Güneş enerjisinin avantajları ve dezavantajları

Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajları

1. Her şeyden önce, güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.
2. Temiz türüdür, çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.
3. Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Bir çakmağın, bir saatin, bir hesap makinesinin veya bir deniz fenerinin, bir orman gözetleme kulesinin enerji ihtiyacı yerinde karşılanabilir.
4. Dışa bağlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
5. Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır. İşletme masrafları çok azdır.

Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajları

1. Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
2. Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkanları ise sınırlıdır.
3. Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
4. Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir. Güneş ışınımından yararlanan bir çok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazladır ve henüz bazıları ekonomik değildir.

2.3. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneşin doğuşundan batısına kadar yeryüzündeki farklı yüzeylerin, farklı hızlarda ısınıp soğumasıyla oluşmaktadır. Rüzgâr hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir. Gelen hava kanatları döndürürken, kanatların bağlı olduğu mil jeneratörü çalıştırmaktadır.

Rüzgâr türbinleri fosil yakıt santrallerine kıyasla işletme maliyetinin sıfır olması açısından daha ekonomik üretim yapmaktadır. Bozcaada'daki rüzgâr türbinlerinde bir kWh kapasite maliyeti 1000 dolar iken, bir hidroelektrik santrali için 2000–4000 doları bulmaktadır. OECD kaynaklarına göre Türkiye'de yılda tüketilen elektriğin en az iki mislinin rüzgârdan karşılanabileceğini göstermektedir.

Türkiye'de genel amaçlı rüzgâr ölçümleri, diğer meteorolojik ölçümlerle birlikte Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Rüzgâr enerjisi kaynağına dayalı planların yapılabilmesi ise, öncelikle kaynağın potansiyelinin

belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla ülkemizde, rüzgâr enerjisi yönünden yüksek potansiyel vaat eden yerlerde yapılan etütler ile rüzgârdan enerji üretimine elverişli olabilecek bölgelere rüzgâr enerjisi gözlem istasyonları kurulup veri toplanmaya başlanmıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından rüzgâr enerjisi gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr yönleri güncellenerek yayınlanmaktadır. Bu sonuçlar ile bazı firmalar rüzgâr tarlaları kurmak için harekete geçebilmekte ve kendi rüzgâr ölçümlerini yapabilmektedirler.

2.3.1. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinlerinin tasarımının temeli aeroelastik simülasyona dayandırılır. Simülasyon, kanadın aerodinamik profil karakteristikleri ve elastik yapı karakteristikleri içerir. Profilin dinamik davranışıyla ilgili konularda teknolojik çalışmalar için gerçek bir ihtiyaç vardır, çünkü türbin boyutu arttığında aerodinamik işlemlerin doğal frekansları ve karakteristik frekansları kıyaslanabilir ve karşılaştırılabilir büyüklüktedir. Bazı rüzgar türbini üretici firmalar şunlardır: Dewind, NEG-Micon, Vestas, Nordex, Bonus Energy, MADE Technologies, Ecotecnia, Enercondur.

2.3.2. Rüzgâr enerjisinin avantajları

Rüzgâr enerjisinin avantajları arasında; temiz bir enerji kaynağı olması, emisyonunun olmaması; yerel bir enerji kaynağı olup, dışa bağımlılığının bulunmaması; yatırım alanının %1'inin kullanılması, bu alanda tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği; ucuz olması; atıl alanların kullanılabilirliği ve son olarak yüksek istihdam alanları oluşturması sıralanabilir.

2.3.3. Rüzgâr enerjisinin dezavantajları

Rüzgâr enerjisinin sağladığı pek çok avantaja karşın bir takım dezavantajlarından bahsetmek de mümkündür. Bunlar arasında; gürültü kirliliği oluşturması; görüntü kirliliğine yol açması; radyo ve TV sinyallerini bozma ihtimali ve kus göç yollarında, kuşlara zarar verme ihtimalleri sayılabilir.

2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal sözcüğü yer ve ısı anlamındaki yunanca iki sözcükten üretilmiştir. Yer kabuğunun çeşitli derinliklerindeki magma (erimiş kayaç kütlesi) ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C'den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yer

üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, sıcak kayaçlar, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Yeraltındaki magmada artan sıcaklığın yeraltı sularının ısıtması sonucunda yeryüzüne çıkan suların buharının gücüyle yapılmaktadır. Türkiye’de Denizli, Kütahya ve İzmir-Aliğa benzeri bölgelerde jeotermal enerji kaynaklarından komut ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Halen jeotermal enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarı 28 MW’dir .

2.4.1. Jeotermal enerjinin kullanımı

İlk çağlardan yakın geçmişe kadar sadece sağlık amacıyla kullanılan jeotermal enerjiden günümüze, ya doğrudan ısıtma, ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılmaktadır. 20. yy. başına kadar sağlık ve yiyecekleri pişirme amacıyla yararlanılan jeotermal kaynakların kullanım alanları, gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Bunların başında elektrik üretimi, ısıtmacılık ve endüstrideki çeşitli kullanımlar gelmektedir.

2.5. Biyokütle Enerjisi

Bitkilerin fotosentez yaparken atmosferden aldıkları karbondioksitin karbonunu bünyelerinde biriktirip biyokütleyi oluştururken oksijeni dışarıya verirler. Bitkilerin yakılması sırasında ise karbondioksit yeniden atmosfere verilmektedir. Büyüyen bitkilerle enerji ormanları oluşturulmakta, ayrıca bitkiler yetiştirilerek yada yakılarak elde edilecek buhardan da elektrik üretimi yapılabilmektedir. Türkiye enerji ormanları konusunda pilot bölgelerde çalışmalarını sürdürmektedir

2.6. Biyogaz Enerjisi

Bilindiği gibi hayvansal ve bitkisel organik atık/atık maddelerin çürütülmesiyle oluşan metan gazı çevreye zarar veren bir etkidir. Ancak aktif gazın depolanması, depolanan gazların arıtılması ve daha sonra oluşan metan gazın yakılması yoluyla enerjiye dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca yakılması mümkün olmayan atıklar da tarım topraklarında gübre olarak kullanılmaktadır. Türkiye’nin biyogaz enerji potansiyeli 32000 MWh’dir .

2.6.1. Biyogaz üretiminin yararları

Biyogaz, her şeyden önce çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Hayvan gübrelerinden kaynaklanan gerek insan sağlığın gerekse yeraltı sularını tehdit edici hastalık nedenlerinin ortadan kalmasını sağlamaktadır. Atıkların geri kazanımı bu sayede ve oldukça ucuz bir maliyetle sağlanmış olmaktadır. Yine biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmektedir. Ayrıca biyogaz üretiminin ardından atıklar yok olmamakta daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.

2.7. Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisidir. Denizlerde, Archimedes prensibi ve yer çekimi arasında oluşan ve diğer enerji kaynakları ile alışverişinde ortaya çıkan, kombine enerji formu olan, dalga enerjisinin Türkiye'deki potansiyeli çok yüksektir. Dalga enerjisinin Türkiye'deki potansiyelinin 18 milyar kWh olduğu tahmin edilmektedir. Dalga enerjisinin faydaları:

- 1) Primer enerjiye bedel ödenmez.
- 2) Temiz, sınırsız ve ucuz enerji üretir.
- 3) Öngörülen enerji ihtiyacına göre boyutlandırılır. Büyük dalga boyutu maliyeti düşürür.
- 4) Deniz üzerinde kurulduğu için, tarım arazilerini yok etmez.
- 5) Yerel bir enerji kaynağıdır.
- 6) Her zaman kesintisiz ve kaliteli enerji üretir.
- 7) Dalgalardan elde edilen ucuz elektrik enerjisi, yoğun nüfuslu büyük şehirlerimizde ısınma amaçlı kullanılacağından, solunan havanın kalitesini yükseltecektir.
- 8) Adalar için ideal enerji santralleridir.

3. HİBRİD SİSTEMLER VE BİLEŞENLERİ

Bu bölümde öncelikle hibrid sistem yaklaşımı ve hibrid enerji üretim sisteminde yer alan elemanların özellikleri ve çalışma şekilleri tanıtılacaktır. Elemanların özellikleri boyutlandırma aşamasında, çalışma şekilleri ise optimize edilmesi sırasında önemlidir. Hibrid enerji sistemi birden fazla enerji elemanlarının birlikte kullanılmasıdır. Bu elemanlar güneş, rüzgâr, dizel jeneratör sistemleri olabilir [12]. Elektrik şebekesinin uzak bölgelere ulaşması zor olmaktadır. Hibrid sistemler elektrik şebekesinden uzak olan bölgeler için ekonomik bir fırsattır [13]. Bu sistemler üretim için güç sağlarlar. Etkin maliyet, güvenli tasarım, doğru ve uygun işletim bu sistemler için önemlidir. Uygun kapasitede kurulan ve etkili işletilen tesis, uzun vadede kendi kendini işleten bir sistem olur. Kullanılan jeneratörlerin ve bataryaların ömrünü uzatmak, işletim aralıklarını daha iyi tayin etmekle başlar.

Tasarım ve optimizasyon kontrol problemi, problemin kompleksliği, yük isteklerinin değişikliği ve bazı bileşenlerin doğrusal olmayan davranışları nedeni ile çözümü zorlaştırır [14]. Kararlı hal, işletme gereksinimlerini özelleştirmek için ve objektif fonksiyon konularını minimize etmek için uygun kontrollerin ayarlanması ile başlanır. Aşağıda sırasıyla hibrid sistemin bileşenleri anlatılmıştır.

3.1. Güneş Panelleri(PV)

Fotovoltaik hücreler güneş ışığını doğru akıma dönüştürürler, yeterli ışık olduğu sürece üretim devam eder ve işletme giderleri çok düşük güvenilirlikleri de çok yüksektir. Birkaç Wp gücünden 300 Wp gücüne kadar değişik ölçülerde güneş panelleri üretilip satılmaktadır. Güneş panellerinin en büyük dezavantajı ilk yatırım maliyetlerinin yaygınlaşacağı beklenmektedir. Güneş pilleri şebekeden uzak küçük ve orta ölçekli yüklerin beslenmesi için ekonomik bir seçenek olmaktadır. Güneş pillerinin kullanım süreleri yapım teknolojisine bağlı olarak 10–20 yıl aralığında değişmektedir [15].

Güneş panelleri birden fazla seri bağlanmış fotovoltaik hücrelerden oluşur. Panellerin güçleri standart test koşullarında elde edilen güce göre belirlenir. 25 santigrat derece hücre sıcaklık, 1 m/s rüzgâr hızı ve 1000 W/m² güneş ışınımı altında elde edilen çıkış gücü maksimum güç (Wp) olarak adlandırılır. Güneş panelleri kendine özgü akım gerilim ilişkisine sahiptir. Üretici firmalar bu ergiyi etkileyen üç değişkenden rüzgar ve sıcaklığı sabit tutarak ışınım ile değişimini, rüzgar ve ışınımı sabit tutarak sıcaklık ile değişimini, rüzgar ve ışınımı sabit tutarak sıcaklık değişimini gösterirler. Panelden maksimum gücün elde edilebilmesi için çalışma noktası doğru seçilmesi gerekir.

Işınımın gün içerisinde değişmesi ile veya yükte oluşabilecek değişimlerden dolayı çalışma noktası değişebilir.

Güneşin doğal olarak gün içerisinde değişmesi ve belirli saatlerde tamamen kaybolması PV enerji üretim sisteminin bağımsızlığını engeller. Mevsimlere göre de ışınım seviyesinin çok fazla değişmesi nedeniyle PV sistem tüm yıl boyunca güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılamaz. Bu engelleri aşmak için öncelikle PV enerji üretim sistemlerine batarya eklenir ve ışınımın olduğu sürede batarya şarjı sırasında yük de besleneceği için PV panel adedinin artırılması gerekir. Sistem boyutunun büyütülmesi sistem maliyetini attıracaktır.

Güneş ışınımının geliş açısının mevsimlere göre değişmesi panellerden elde edilecek verimi etkileyecektir panellerin kurulması sırasında mevsimlere göre ayarlanabilir yapılması gerekir. Ayarlı sistemin kurulacağı yer seçilirken kısmi veya tam gölgelemenin olup olmadığına dikkat edilmelidir. Gölgeleme panelden elde edilecek enerji miktarını azaltacaktır. PV paneller doğrudan DC ile çalışan cihazlara bağlanabilir veya inverter kullanılarak AC cihazlara bağlanabilir. DC ile çalışan özel üretim her tür cihaz istek üzerine satılmaktadır fakat fiyatları diğerlerine göre pahalı olduğundan tercih edilmemektedir.

PV paneller bataryaya doğrudan bağlanmaz. Bataryaların ömrünü uzatmak için bir şarj regülâtörü kullanılır. Bataryalar aşırı şarjdan ve aşırı deşarjdan korunmalıdır. Aşırı deşarjdan koruma yük regülâtörü veya inverter devresinde eklenen bir regülâtör ile yapılır. Çalışma süresinde sistemin kurulduğu yere bağlı olarak panel yüzeyi belirli aralıklarla temizlenmelidir, elektriksel bağlantılar kontrol edilmelidir.

3.1.1. PV'nin hibrid sistemdeki yeri ve önemi

PV enerji üretim sisteminin eksikleri bu kaynağı tamamlayan türden başka enerji kaynakları ile birlikte kullanılarak giderilebilir. PV sistemin rüzgar veya dizel jeneratör ile hibridlenmesi PV panel sayısını azaltır. Hibrid enerji üretim sisteminin DC gerilimi uygun seçildiğinde herhangi bir regülâtör kullanılmadan PV panel çıkıları sisteme bağlanabilir. Birçok uygulamada maliyeti artırdığı için MPPT kullanılmaz, eğer kullanılırsa PV panellerden elde edilen verimi artırır.

3.2. Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbini hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjine dönüştürür. Rüzgâr türbinleri PV panellere göre daha fazla bakım

gerektirir. Birden fazla farklı büyüklükte rüzgâr türbini üretilen enerjiyi arttırmak amacı ile paralel bağlanabilir. Ürettikleri enerji rüzgâr hızına göre değişir, birim maliyeti PV'ye göre çok düşüktür. Fakat kurulacak yerin rüzgâr hızının yüksek olması ve hava akışını engelleyen yükseltilerin çevresinde yer almaması gerekir. Rüzgâr hızı çok değişken olduğu için üretilen enerjide değişken olacaktır. Eğer rüzgâr türbini yeteri kadar yükseğe kurulursa rüzgâr hızındaki değişim azalır ve daha yüksek rüzgâr hızında enerji üretimi yapılabilir

Kanatlara çarpan hava akımı kanatların dönmesini ve dolayısıyla kanatların bağlı olduğu milin dönmesini sağlar. Küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde mil doğrudan, büyük ölçeklerde ise dişli kutusu yolu ile jeneratöre bağlanır. Jeneratör mekanik hareketi 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 rüzgâr hızındaki değişimlerden dolayı mümkün olmadığından jeneratör çıkışı DC'ye dönüştürülür. Birçok rüzgâr türbini 3 veya 2 kanatlı olarak üretilir. 2 kanatlı rüzgâr türbinleri rüzgâr hızı yüksek olan bölgeler için daha uygundur ve satış fiyatları daha ucuzdur daha düşük rüzgâr hızı olan bölgelerde 3 kanatlı rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır.

Rüzgâr türbininden elde edilebilecek güç rüzgâr hızının küpüyle ve kanat sürüme alanı ile doğrudan orantılıdır. Üretici firmalar türbinin üretime başladığı rüzgâr hızını üretimi durdurduğu rüzgâr hızını ve rüzgâr hızı-güç eğrisini kullanıcılara verirler. Rüzgar türbini tanımlarken maksimum çıkış gücü veya optimum çıkış gücü gibi terimler kullanmak çoğu durumda anlamsızdır. Kanat çapının verilmesi daha uygun bir ölçü olacaktır. Rüzgâr türbinin kurulacağı alanın yıllık rüzgâr ortalama hızının yüksek olması gerekir (5 m/s' nin üzerinde). Daha düşük rüzgâr hızlarında üretim gerçekleşecektir fakat ekonomik olmayacaktır.

Rüzgâr türbinin boyutu besleyeceği yükün isteğine ve bölgenin ortalama rüzgâr hızına göre belirlenir. Gereğinden fazla boyutlandırma rüzgâr türbinin düşük rüzgâr hızlarında bile kesime gitmesine neden olacaktır. Gereğinden daha küçük boyutta seçilmesi durumunda ise çok yüksek rüzgâr hızlarında ancak üretime başlayacaktır. Rüzgâr türbinlerinde tüketimden fazla üretim sistem geriliminin yükselmesine neden olur. Ortaya çıkan artık enerji gerilim regülâtörleri veya mekanik sistemlerle yok edilebilir. Mekanik sistemler kanat açılarını değiştirerek kanatların daha az rüzgar

enerjisine maruz kalmalarını sağlar. Mekanik sistemler daha çok büyük ölçekli rüzgâr türbinlerinde kullanılırlar.

3.2.2. Rüzgâr türbininin hibrid sistemdeki yeri ve önemi

Rüzgâr türbinleri tek başlarına kullandıklarında çıkış güçleri rüzgâr hızına bağlı olduğundan güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılamazlar. Eğer batarya veya bir başka enerji kaynağı ile birlikte kullanıldığında daha düzenli çıkış veren bir güç kaynağı ile birlikte kullanıldığında daha düzenli çıkış veren bir güç kaynağı haline gelirler. Özellikle PV sistemle birleştirildiğinde mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen maliyeti optimum güç kaynağı olarak kullanılabilirler.

3.3. Dizel Jeneratör

Genel anlamda dizel jeneratör olarak adlandırılmalarına rağmen yakıt olarak dizelin dışında benzin, doğal gaz ve biyogaz kullanan tipleri vardır. Hepsinin çalışma şekli aynıdır. İlk yatırım maliyetleri düşüktür, istenildiğinde düzenli güç sağlamaları avantajlarıdır, fakat işletme ve bakım giderleri yüksektir ve çalışırken gürültü ve kirlilik çıkarırlar. Dünyada şebekeden uzak bölgelerde en çok kullanılan jeneratör türüdür dolayısı ile kolayca her yerden satın alınabilir, tamir ve bakımı kolayca yaptırılabilir. Dizel jeneratörlerin kullanım süreleri 25000–30000 çalışma saati kadardır.

Dizel jeneratörler yüksek yük altında daha verimli çalışırlar, düşük yüklerde verimleri düşüktür. Tüketimin az olduğu zamanlarda darbeli yük kullanmak daha yararlıdır. Jeneratör boyutlandırılması doğru yapılmalıdır. Az yüklemeye verim düşer, aşırı yüklemeye ise ısınmadan ve sürtünmeden dolayı yıpranma artar. Soğuk hava şartlarında dizel jeneratör çalıştırılmadan önce yakıt ısıtılmalıdır. Çalıştırdıktan sonra 20–30 saniye düşük güçte çalışmalı daha sonra tam yüklemeye yapılmalıdır. Kısa süreli durdurup tekrar çalıştırma yakıt tüketimini arttırdığı gibi jeneratörün yıpranmasını da arttıracaktır. Günde 8 defadan fazla durdurulup çalışması ekonomik olmayacaktır. AC ve DC çıkış veren türleri vardır.

3.3.1. Dizel jeneratörün hibrid sistemdeki yeri ve önemi

Dizel jeneratör yenilenebilir enerji kaynaklarını takviye etmekte kullanılan en uygun enerji kaynağıdır. Bu üniteler, içten yanmalı motor ile alternatif akım üreten bir alternatörden oluşur. Doğru akım üretebilirler ancak yaygın değildir. Yük faktörü %60-70'in üzerinde tutulmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanımı, eğer

çalışma koşulları iyi belirlenir ise sistemin ilk kurulum maliyetini düşürür ve güvenilirliğini artırır. Dizel jeneratörünün beklenen bu yararları sağlayabilmesi için denetim stratejisi aşağıdaki özel durumları içermelidir;

- Kabul edilemeyecek sayıda durdurma-çalıştırma yapılmamalı.
- Düşük güçte çalışma uzun süreli yapılmamalı.
- Dizel jeneratör, yenilebilir enerji kaynağı yükü besleyemediğinde ve bataryadaki enerji seviyesi en alt düzeye ulaştığında çalıştırılmalı.
- Dizel jeneratör, yenilenebilir enerji kaynağı yükü besleyebildiğinde veya bataryadaki enerji seviyesi kabul edilir düzeye çıktığında durdurulmalıdır.

Dizel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının hibridlenmesi ile sistem güvenilirliği yükselirken sistem bağımsızlığı azalır ve sistemde yer alan yenilebilir enerji kaynağı ile jeneratörün boyutu küçülür. Değişik dizel büyüklükleri için işletme sırasında yakıt sarfiyat maliyeti aşağıdaki gibidir.

$$\text{Yakıt maliyeti} = \text{Maliyet} / \text{litre} \times \text{kullanılan litre} \quad (3.1)$$

3.4 Bataryalar

Bataryalar enerjiyi kimyasal formda depolayan elektro-kimyasal elemanlardır. Üretilen fazla enerjiyi ilerde kullanmak amacıyla yenilenebilir enerji üretim sistemleriyle birlikte kullanılırlar. Hibrid sistemlerde en yaygın kullanılan batarya tipi derin boşaltmaya izin veren kurşun asit sabit tesis bataryalarıdır. Nikel-kadmiyum, nikel-demir ve demir hava gibi başka daha uygun batarya tipi vardır. Fakat bu bataryalar çok pahalı ya da henüz geliştirme aşamasında olduklarından pratik uygulamalar için yeteri kadar güvenilir değillerdir. Nikel kadmiyum üniteleri mükemmel hizmet ömrü ve bozulmaya karşı yüksek dirence sahiptirler ancak düşük şarj verimi, yüksek fiyatı, kendi kendini boşaltması (self-discharge), aşırı su tüketimi ve çevre açısından etkileri dezavantajdır. Birçok ülkede bu bataryalara karşı kısıtlamalar getirilmiştir. Nikel – Demir bataryaları yine yüksek deşarj oranı, aşırı su tüketimi ve düşük şarj verimi sebebiyle tercih edilmemektedir. Buna karşın kurşun-asit bataryalar, yüksek ölçekte uygulamalarda kabul görmektedir. Kurşun-asit bataryalar en uygun batarya tipi olmasına rağmen kullanımı en karmaşık olandır. Aşırı şarjdan ve aşırı deşarjdan korunmalıdır ayrıca uzun süreli düşük şarj seviyesinde tutulmamalıdır. İşletme koşullarına göre bataryaların ömrü 3 yıl ile 15 yıl arasında değişmektedir. Çok defa dolup boşalabilme (deep cycle) özelliğine sahiptir. Performans kaybı olmadan

%70–80 boşalabilirler ve bunu da en az 1000 – 1500 defa tekrarlayabilirler. İlk yatırım maliyeti düşük olmasına rağmen bakım ve yenileme maliyetleri yüksektir.

Farklı kapasite ve gerilimde birçok batarya ticari olarak pazarlanmaktadır. Bataryalar seri bağlanarak gerilimleri, paralel bağlanarak kapasiteleri arttırılır. Bataryalar genelde 2V'luk hücrelerin seri bağlanması ile elde edilir. Her bir hücre elektrolitin içerisine daldırılmış iki plakadan oluşur. Deşarj sırasında plakalar ile elektrolit arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon yük üzerinden elektrik akımı geçmesini sağlar. Şarj sırasında bu kimyasal reaksiyon tersine çevrilir. Bataryanın plakalarının kalınlığı bataryaya zarar vermeden yapılabilecek derin deşarj hakkında bilgi verir. Arabalarda kullanılan bataryalar kısa sürede yüksek akım çekilmesine izin verecek şekilde ince plaklardan yapılmışlardır. Bu tür bataryalar %10- %20'den daha derin boşalmaya izin vermediğinden hibrid sistemlerde zorunlu kalmadıkça kullanılmaz. Derin boşalmaya izin veren sabit tesis bataryalarında plakalar daha kalındır ve kapasitelerinin %70- %80'ine kadar uzun sürede deşarj edilebilir.

Batarya kapasiteleri Ah veya nominal gerilimlerinin çarpımı sonucu elde edilen kWh olarak ifade edilir. Bataryanın saklama kapasitesi üzerinde yazılan kapasitesinden farklı olabilir, saklama kapasitesi yaşına, çalışma şekline ve bakımına bağlıdır. Bataryalar şarj edilen enerjiyi belirli bir süre saklayabilirler. Birçok batarya üreticisi bu süreyi minimum 20 maksimum 100 saat olduğunu belirler. Verilen bu süre içerisinde deşarj edildiğinde saklanan enerjinin %70- %80'i geriye alınabilir. Başka bir söyleşiyile bataryaların ortalama verimleri %70- %80 aralığındadır. Bataryaların kullanım süreleri iki şekilde belirlenir birincisinde deşarj edilebilen enerjiye bakılır, ikincisinde ise plakaların ve elektrolitin yapısına bakılır. Yaşlanan veya kötü kullanılan batarya plakaları sülfatlanır ve belirli bir süre sonra parçalar halinde elektrolitin içerisine dökülür. Bu parçalar zamanla dipte birikerek kısa devrelere neden olur ve bataryanın şarj verimi düşer. Bataryanın kullanım süresinin bittiğinde saklama kapasitesinin nominal kapasitesinin %80'ine düştüğünde veya şarj veriminin %60'ın altında düştüğüne karar verilir

Bataryaların kullanım sürelerini ve verimlerini etkileyen bir etken de ortam sıcaklığıdır. Ortam sıcaklığındaki her 10 santigrat derece artış bataryanın kullanım süresini yarı yarıya azaltır. Diğer taraftan negatif sıcaklıkta şarj verimi düşük olur. Kurşun-asit sabit tesis akülerinin 20 santigrat derece sıcaklıktaki kullanım süreleri 5 ile 10 yıl arasında değişir. Şebekeden bağımsız sistemlerde bataryanın çalışma şartları farklıdır, özellikle sistemde dizel jeneratör bulunmuyorsa şarj deşarj işlemleri çok

düzensizdir. Uzun süreli (2 haftadan daha uzun) düşük şarjlı kalan bataryalarda geri dönüşü olmayan kapasite kayıpları ortaya çıkar [15].

Aşırı şarj durumunda veya yüksek sıcaklıkta çalışmada gazlanma meydana gelir. Gazlanmada artık H₂ ve O₂ gazları açığa çıkar, bu gazların çıkması ile elektrolit içerisindeki aktif maddeler azalır, elektrolitin direnci artar. Ayrıca pozitif plakada yer alan kurşun levha PbO_x türevlerine dönüşerek korozyona uğrar. Açığa çıkan H₂ ve O₂ gazlarının miktarı artarsa yanma ve patlamalara sebep olur. Bataryaların yerleştirildiği yer mutlaka havalandırılmalıdır.

3.4.1. Bataryaların hibrid sistemdeki yeri ve önemi

Hibrid sistemde birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı veya dizel jeneratör yer aldığından bataryaların uzun süre düşük şarjlı kalmayacağından kullanım süreleri uzun olacaktır. Hibrid sistemler tek kaynaktan oluşan sistemlere göre daha karmaşık denetim sistemine sahip olduklarından bataryaların aşırı şarj ve derin boşaltılmaları engellenecektir. Ayrıca hibrid sistemde enerjinin depolanma gereksinimi tek kaynaklı sistemlere göre daha düşük olacağından batarya boyutu daha küçük seçilebilir.

3.5. Yükler

Günlük yaşamda kullandığımız birçok elektrikli cihaz 12 veya 24 V DC veya 220/380 V AC gerilim ile çalışır. Hibrid sistemde kullanılan kaynakların hepsi DC çıkış veren türdendir. Özellikle bataryanın kullanıldığı sistemlerde sistem çıkışı DC olacaktır. DC ile çalışan cihazlar özel üretim olduğu için pahalıdır. AC ile çalışan cihazlar diğerlerine göre daha ucuzdur ve her yerden satın alınabilir. DC'yi AC'ye dönüştüren inverter kullanmakta diğer bir çözüm yöntemidir.

Hibrid sistemlerde özellikle rüzgâr türbinlerinde elde edilen enerjinin tüketilmesi için sisteme dump yük eklemesi gerekir aksi halde sistem gerilimi aşırı derecede yükselecektir. Dump yükler elektrik enerjisini çoğunlukla ısı enerjisine dönüştürürler. Bazı sistemlerde sıcak su elde etmek için de kullanılır.

3.6. İnverterler

İnverterler standart elektronik ekipmanlardır ve pek çok kullanım alanı vardır. Hibrid sistemler AC ile çalışan cihazlarda kullanıldığında inverter kullanılması gerekir. İnverter, PV, rüzgâr ve bataryadan gelen DC akımı veya jeneratör çıkışını sistemde gereken alternatif akım ihtiyaçlarını karşılamak için 50 Hz AC gerilime dönüştürür.

Küçük ölçekli yükleri beslemek için kurulan hibrid sistemlerde yükler 3 faz ile beslendiğinden dolayı 3 fazlı inverterler kullanılmaktadır.

Şebekeden bağımsız çalışan enerji üretim sistemlerinde sinüs, kare ve merdiven sinüs çıkış veren inverter çeşitleri kullanılmaktadır. Sinüs çıkış veren inverterler şebeke kalitesinde enerji sağlar. Kare dalga çıkışlı inverterler motor içermeyen uygulamalar veya aydınlatma amaçlı uygulamalarda kullanılır. Merdiven basamaklı sinüs çıkışlı inverterler ise hassas olmayan elektronik cihazların çalıştırılmasında ve bazı motor içeren cihazların çalıştırılmasında kullanılır. İnverter çıkışındaki harmonik kirliliği bilgisayar, buzdolabı ve motor içeren cihazların düzensiz çalışmalarına neden olur. Bu tür cihazlar tam sinüs çıkışlı inverter ile çalıştırılmalıdır. Sinüs çıkış veren inverterler diğer inverter çeşitlerine göre daha pahalıdır [15].

Özellikle endüktif ve kapasitif yüklerin ilk çalıştırılma anında yüksek akım çekmeleri birçok inverterin korumaya geçmesine neden olmaktadır. Yeni üretilen inverterler nominal çıkış güçlerinin 6 katı çıkış gücünü kısa süreli verebilecek şekilde tasarlanmaktadır. İnverterin verimi nominal çıkış gücü maksimum olduğunda genellikle yük akımına bağlıdır. İnverterlerin verimleri düşük güçte çalışmada düşüktür, en iyi verim nominal çıkış gücünün %80- %90'ında çalışmada elde edilir. Verim %95'e kadar çıkabilir ancak düşük yüklerde %75-80'lere düşebilir. İnverterler yüksüz çalışmada da belirli bir enerji tüketenlerdir, mümkünse yük olmadığı durumlarda kapatılmalıdır. İnverterleri maksimum verimde kullanmak için yüke göre inverter tasarlayarak onları maksimum verimin elde edildiği çalışma noktasında çalıştırılabilir. İkinci bir yük için ikinci bir inverter tasarlanmalıdır. Kısaca her yüke bir inverter olarak özetleyebiliriz. İnverterlerin bu şekilde paralel bağlanmalarında herhangi bir sakınca yoktur. Şebekeye bağlı çalışan İnverterlerde frekansın şebekeden alınan örnekle sabit kalması sağlanır. Şebekeye enerji satmak için tasarlanan inverterlerde şebekenin reaktif gücünün de dikkate alınması gerekir. İnverter seçimi yapılırken sürekli yükün maksimum gücü dikkate alınır. Bir çok inverter kısa süreli olarak nominal güçlerinin 6 katına kadar çıkış gücünü sağlayabilirler.

3.7 Doğrultucular

AC çıkış veren enerji kaynaklarında bataryaların şarj edilmesi için kullanılan AC/DC doğrultucuların yapıları basit ve maliyetleri düşüktür. Birçok rüzgâr türbini veya dizel jeneratör üç fazlı AC çıkış verir. Bu çıkışlar doğrultucular ile doğrultularak batarya veya inverter girişine uygulanır. Batarya şarj eden AC kaynakların çıkışına

yerleştirilen doğrultucular genellikle batarya şarj regülâtörleri ile birleşik olarak tasarlanırlar. Doğrultucular tam yükte çalıştırıldıklarında verimleri yüksektir, düşük yüklerde ise verimleri düşüktür.

3.8 Batarya Regülâtörleri

Batarya regülâtörleri şebekeden bağımsız hibrid sistemlerde sistemin çalışmasını denetlemek amacıyla kullanılır, bileşenlerin sistem açısından daha verimli çalışmalarını ve daha uzun ömürlü olmalarını sağlar [16]. Birçok sistemde şarj regülâtörü ve yük regülâtörü olarak iki aynı birimden oluşur. şarj regülâtörü bataryaları aşırı şarjdan korurken yük regülâtörü bataryaları derin deşarjdan korur. şarj regülâtörü batarya gerilimini ölçerek daha önceden belirlenen seviyeye ulaşıp ulaşmadığına bakar. 2 voltluk bir batarya için belirlenecek değer 2,35 V'tur. Bu değere ulaşan batarya tam kapasiteye şarj edilmiştir. Bu noktadan sonra bataryada gazlanma başlayacaktır [15].

Gazlanmayı önlemek için şarj regülâtörü şarj akımını keser. Tekrar şarja batarya gerilimi 2,2 V'a düştüğünde başlar. Sıcaklık bataryanın gazlanma gerilimine olumsuz etki eder. Yük regülâtörü ise batarya gerilimin alt seviyesini denetler, 2 V'luk bataryada tam boşalmanın gerçekteşiği nokta 1,81 V'tur. Bu noktadan daha fazla deşarja yük regülâtörü izin vermez ve yüke giden akımı keser. Gerilim değer 2 volta ulaşana kadar tekrar yüke akım verilmez birçok şarj regülâtörü inverter içerisine yerleştirilir. Bu gibi durumlarda DC yükler beslenirken ayrı bir yük regülâtörü kullanılmalıdır.

Tam şarj ve tam deşarj noktaları batarya çekilişine ve üretici firmaya göre değerleşebilir. Çoğu regülâtörde bu gerilimler ayarlıdır, istenilen değere ayarlanabilir. Ortam sıcaklığının yüksek olduğu ortamlarda gazlanma gerilimine tam şarj gerçekteşmeden de ulaşılabilir. şarj regülâtörlerinin gerilimin yanı sıra sıcaklığı da ölçmeleri gerekir. Regülâtörlerin verimleri anahtarlar elemanına doğrudan bağlı olduğunda bu elemanın seçimi iyi yapılmalıdır. Regülâtörler aşırı anahtarlardan, aşırı sıcaklıktan ve yıldırım düşmesinden dolayı bozulabilir.

Hibrid sistemde şarj regülâtörleri her kaynağın ayrı ve çoğunlukla kaynağa birleşik şekilde kullanılır. Yük regülâtörü ise invertere birleşik olarak tasarlanır. Hatta bazı sistemlerde tüm sistemlerin denetim merkezi bir PLC veya mikroişlemciye yaptırılır. Birçok firma bu yönde ürün geliştirmektedir. Fiyatlarının yüksek olmasına rağmen sistemin kullanım süresi uzattığı için uzun vadede maliyeti düşürecedeği düşünölmektedir. Hibrid sistemlerin yapısı tek kaynağın kullanıldığı sistemlere göre

daha karmaşık olduğu için birçok kullanıcı bu sistemi kullanmakta çekinmektedir. Merkezi bir denetleyici ile sistemin yapısı ve kullanımı daha basit hale gelecektir.

Özellikle insanların bulunmadığı yerleşim yerlerinden uzakta kurulan haberleşme ve işaret kulelerine enerji sağlayan sistemlerde merkezi denetim birimi çok gereklidir. Bu gibi sistemlerde denetleyici denetim görevinin yanı sıra elde edilen enerji miktarları da ölçülerek merkeze telefon hattıyla iletebilmektedir. Yardımcı elemanlar veya diğer giderler yukarıda bahsedilmeyen fakat sistem kurulumunda ve işletilmesinde kullanılacak malzeme veya iş gücünü içermektedir.

3.9. Hibrid Sistemin Enerji Dengesi

Güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sisteminde enerji rüzgâr türbini ve güneş pilleri tarafından üretilecektir. Enerji sisteme bağlı yük tarafından tüketilecektir fakat enerjinin üretildiği anda tüketilmesi veya tüketim gerektiğinde üretilmesi mümkün değildir. Üretilen enerjinin depolanması zorunludur. Hatta aydınlatma uygulamalarında güneş pillerinin enerji kaynağı olarak kullanılması için gündüz enerjinin depolanması gece depolanan enerji ile aydınlatmanın yapılması zorunludur. Depolama elemanı tüketim ve üretimin dengesine göre sistemde yük veya kaynak gibi davranacaktır. Yükün tüketimi üretilen enerjiden daha büyük ise bataryada depolanacaktır. Bataryanın yükü beslemek için yetersiz kaldığı durumlarda yardımcı kaynaktan enerji çekilecektir. Yardımcı kaynak olarak dizel jeneratör veya şebeke elektriği kullanılabilir [15].

Güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sisteminin alt zaman aralığındaki enerji denge denklemi eşitlik (3.2) ve (3.3)'deki gibi yazılabilir.

$$W_l < W_{pv} + W_{wg} + W_{yk} + W_b \text{ bataryadan enerji alındığı zaman} \quad (3.2)$$

$$W_l < W_{pv} + W_{wg} + W_{yk} - W_b \text{ bataryaya enerji verildiği zaman} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

W_l , Yükün tüketimi,

W_{pv} , PV panellerin üretimi,

W_{wg} , Rüzgâr türbininin üretimi,

W_{yk} , Yardımcı kaynaktan kullanılan enerji (dizel jeneratör veya şebeke),

W_b , Bataryada depolanan veya bataryadan kullanılan enerjidir.

Bu denklemin örnek seçilen zaman aralığında doğrulanması durumunda yük enerjisiz kalmayacaktır ve sistem güvenilirliği maksimum olacaktır. Bir enerji üretim sisteminde beklenen davranış, yükün istekte bulunduğu anda kesintisiz enerji sağlayabilmesidir, bu özelliğine güvenilirlik adı verilir. Özellikle alternatif enerji

kaynaklarından elektrik enerjisi üreten sistemlerde üretim ile tüketim zamanları arasında büyük farklılıklar vardır. Yeterli büyüklükte depolama elemanı seçilmediğinde güvenilirlikleri yük enerjisiz kalacaktır.

Güvenirligi arttırmak için, depolama elemanın büyütülmesinin yanı sıra sisteme yardımcı dizel jeneratör veya ikinci bir alternatif enerji kaynağı eklenir. Bu seçeneklerin hepsi güvenilirliği arttırırken enerjinin maliyetini de yükseltmektedir. Boyutlandırma aşamasında güvenilirlik ile maliyetin optimum noktada buluşturulması gerekir.

Bu tezde yükü enerjisiz bırakmayan en ekonomik Hibrid enerji sisteminin boyutlandırma yöntemi elde edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle sistemin maliyet modeli belirlenecektir. Daha sonra performans modeli belirlenerek sistem meteorolojik veriler ve modellerde belirlenen kısıtlamalar ve amaçlar dahilinde simüle edilecektir. Model gerçek sistemi matematik olarak elde etmektir. Gerçek sistemde istenilen parametreyi düşünülen miktarda değiştirmek her zaman mümkün değildir. Fakat model üzerinde bu tür değişiklikleri yapmak ve sonuçları gözlemlemek mümkündür. Her model üzerinde elde edilen optimal çözüm modellenen gerçek sistem üzerinde elde edilemeyebilir. Model ne kadar iyi formüle edilirse model sonuçları ile gerçek sistemin sonuçları o derece birbirine yaklaşacaktır. Hibrid sistem modelinde hedeflenen değer en düşük şimdiki değer maliyetli hibrid sistemi elde etmektir.

4. OPTİMİZASYON

İnsanların yaşamları boyunca karşılaştıkları sorunlara çözüm arayışları zamanla bu çözümleri modeller üzerinde arama yaklaşımını doğurmuştur. Matematik ve bilgisayardaki gelişmeleri dış dünyanın problemlerini matematiksel olarak problemleyip bu çözümleri modelleyip çözerek bu çözümleri gerçek hayata yansıtma olanağı vermiştir. İnsanoğlu yüzyıllardır bilinçli ya da bilinçsiz olarak yaptığı işlerin tümünde her zaman en iyiyi yapmayı planlamış ve istemiştir.

Matematik optimizasyon (en iyileme) kavramını, "bir probleme en iyi mümkün çözüm bulma süreci olarak" tanımlamaktadır. Matematikte, bu süreç genellikle bir fonksiyonun değerinin verilen kısıtlar altında maksimize ya da minimize edilmesinden oluşur.

Matematiksel modelleme tekniği öncelikle doğrusal ve az sayıda değişkenlerin kullanılmasıyla başlamıştır. Bir süre sonra doğrusallık varsayımını her problem için geçerli olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda doğrusal olmayan modellemeye gidilmiştir. Ancak doğrusal olmayan modellerin kendine özgü çözümleri uygulamada birçok sorunu beraberinde getirmiştir [17]. Zamanla geliştirilen bazı yöntemlerle doğrusal olmayan modellerin hızla çözümlenmesi sağlanmış ve bu optimizasyon teorisini geliştirmiştir. Optimizasyonun temel süreci Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Optimizasyonun temel süreci

Bir deney düzeneğinde, maksimum veya minimum sonuç/çıkış elde edebilmek için, cihazın giriş karakteristiklerini ayarlama işlemi de bir optimizasyon sürecidir. Bir fonksiyonun girişinde çeşitli parametreler, çıkışında uygunluk veya maliyet değerleri vardır. Fonksiyon veya süreç; maliyet fonksiyonu (cost function), objektif fonksiyonu (objective function) veya uygunluk fonksiyonu (fitness function) olarak tanımlanır.

4.1. Optimizasyonun Matematiksel Tanımı

Optimizasyon problemi, belirli kısıtlar altında bir amaç fonksiyonunun optimize edilmesinden oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, karar değişkenleri olarak nitelendirilen fonksiyon değişkenlerinin kısıtların tümünü sağlayan (uygun çözüm bölgesinde bulunan) ve amaç fonksiyonunu optimize eden sayısal değerlerini bulma problemidir. Tipik bir optimizasyon n değişken sayısı ve m kısıt sayısı olmak üzere Tablo 3'deki gibidir.

Tablo 3. Optimum Şartlar ve Kısıtlar

Optimum:	$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$				
Kısıtlar:	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$	}		}	b_1
	$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$		\leq		b_2
		$=$		
	$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n)$		\geq		b_m

Bu ifadede, m sayıda farklı kısıt \leq , $=$, \geq sembollerinden birisini içerebilir. Her g_1 fonksiyonu ve b_1 katsayıları sıfır seçilirse kısıtsız matematik programlar elde edilir. Burada, f amaç fonksiyonu ve g_1 kısıt fonksiyonları lineer (doğrusal) ise matematik program lineer programlama, diğer durumlarda ise lineer olmayan programlama adını alır [17].

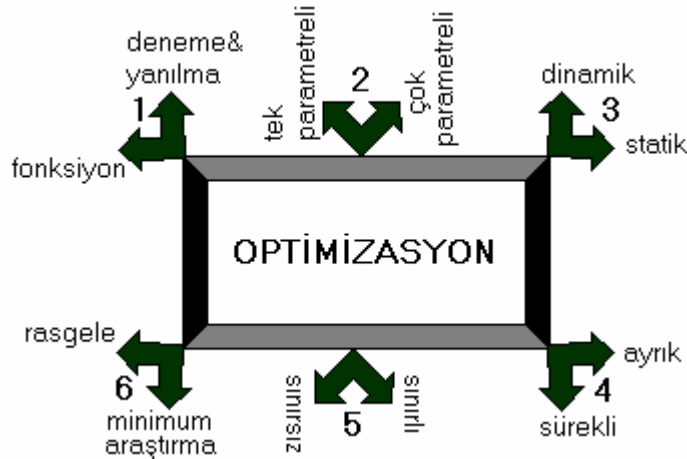
Optimizasyon modellerinde, f fonksiyonu optimize edilecek yani maksimize ya da minimize edilecek amaç fonksiyonu dur. Kâr, getiri, fayda ve benzeri gibi kavramlar amaç fonksiyonunda yer alırsa maksimize, maliyet, gider ve benzeri gibi kavramlar yer aldığı da minimize edilir. g_1 fonksiyonlarının her biri birer kısıt belirtmektedir. Kısıt sayısında herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Kısıtların hepsi birlikte bir uygun çözüm bölgesi belirlerler. Optimal çözüm değeri veya değerleri bu bölgeye ait bir değer olmaktadır. Kısıtlar sınırlayıcı şartların ifadeleridir. İşletme ve ekonomi problemlerinde sınırlayıcı şartların varlığını görebilmek oldukça kolaydır. Örneğin, üretilmesi planlanan ürünler için hammadde, işçilik, makine zamanı, stoklama alanı gibi sınırlamalar kısıtlar olarak ifade edilirler. Söz konusu kısıtlar genelde doğrusaldır. Bazı özel problemlerde amaç fonksiyonu olmayabilmektedir.

Optimizasyonun söz konusu olmadığı böylesi modellerde sadece uygun bir çözümün varlığı yeterli olmaktadır.

4.2. Optimizasyonun Uygulama Alanları

Optimizasyon teknikleri çok geniş bir yelpazede kullanım alanlarına sahiptirler. Mühendislikten işletme ve ekonomiye, askeri modellerden tarıma, tıp ve ilaç sektöründen spora kadar birbirlerinden çok farklı alanlarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Daha spesifik olarak, örneğin, uydu yörüngelerinin düzenlenmesi, robot kolunun hareketinin optimizasyonu, finansal planlama, taşımacılık problemleri, spor liglerinin optimizasyonu, mamul karışım problemleri, askeri hedeflerin vurulmasında optimal silah karışımının belirlenmesi ve radyoterapide ışınların optimal açısı ve yoğunluklarının belirlenmesi bunlardan sadece bir kaçıdır.

4.3. Optimizasyon Çeşitleri



Şekil 4.2. Optimizasyon çeşitleri

Çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmış optimizasyon çeşitleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Optimizasyon fonksiyonlarının tipine göre, yukarıda değinildiği gibi, birinci dereceden fonksiyonlardan oluşuyorlarsa lineer programlama, diğer durumlarda ise lineer olmayan programlama şeklinde sınıflandırılırlar. Karar değişkenlerinin tipine göre, sadece tam sayılı değişkenlerden oluşan problemlere tam sayılı programlama adı verilir. Hem sürekli hem de tam sayılı değişken içeren modeller ise karma tam sayılı programlama adını alırlar. En az bir tane rassal parametre içeren programlar ise stokastik programlar olarak nitelendirilirler. Aksi halde ise model deterministik olarak

isimlendirilir. Optimizasyon probleminin çözümü zamanın bir fonksiyonu ise, problem dinamik programlama olarak adlandırılmaktadır. Birden fazla amaç fonksiyonuyla başa çıkmak için geliştirilen ve çok kriterli karar verme aracı olan hedef programlama, birbirleriyle çelişebilen amaçları hep birlikte göz önüne almakta ve amaçlardan sapmaları minimize ederek çözüme ulaşmaktadır.

Burada sadece bazılarından söz edilen matematik programlama türlerinin çözümleri için farklı matematiksel yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin, lineer programlar için geliştirilen Simplex yöntem tüm lineer modelleri çözme potansiyeline sahipken lineer olmayan programlama modellerinin hepsini çözebilen genel bir çözüm yolu geliştirilememiştir. Lineer olmayan modeller için önerilen algoritmalar bazı özellikleri taşıyan tiplere uygulanabilmektedir [17]. Söz gelimi, eşitlik kısıtlı lineer olmayan modellere Lagrange çarpanları kullanılırken eşitsizlik kısıtlı problemlere de Kuhn-Tucker koşulları uygulanmaktadır.

4.3.1. Deneme yanılma optimizasyonu

İşlem hakkında çok fazla bilgi olmaksızın çıkışı etkileyen parametrelerin ayarlanmasıdır. Örneğin TV 'de en iyi görüntü ve ses deneme yanılma yoluyla ayarlanır. TV 'deki görüntü ve sesin, antenin hangi eğiminde iyileşeceği anten uzmanları tarafından sadece tahmin edilir. Deneysel çalışma yapanlar ve çoğu büyük kâşifler bu yolu kullanmışlardır. Bunun aksine, matematiksel fonksiyonun optimizasyonunda, matematiksel formül ile süreç tanımlanır. Fonksiyonun optimum çözümünü bulmada değişik metotlar uygulanır. Bu yaklaşım teorisyenler tarafından tercih edilir.

4.3.2. Bir boyutlu ve çok boyutlu optimizasyon

Sadece bir parametre varsa, optimizasyon bir boyutludur. Birden fazla parametreye sahip fonksiyon için çok boyutlu optimizasyon gereklidir. Bir boyutlu optimizasyon bir değişkenli bir $f(x)$ fonksiyonunun maksimum ve minimumunu bulmaya yarayan teknikleri kapsar. Kök belirlemede olduğu gibi bir boyutlu optimizasyon da açık ve kapalı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılabilir.

4.3.3. Statik ve dinamik optimizasyon

Statik optimizasyon zamandan bağımsızdır. Dinamik optimizasyon ise zamana bağlı olarak çıkış üretir. Örneğin bir şehrin kenar mahallesinde oturan bir insanın merkezdeki işine gitmesi için birçok yollar olduğunu kabul edelim. En iyi yol hangisidir sorusu sorulabilir. Mesafe açısından bakılacak olursa problem statiktir. Çözüm, haritayı ve arabanın kilometre/saatini kullanarak bulunabilir. Pratikte değişkenlerin çokluğu nedeniyle problem pek de basit değildir. En kısa yol en hızlı yol değildir. En hızlı yolu bulmak dinamik bir problemdir ve zamana, havanın durumuna, kazalara vb. bağlıdır.

4.3.4. Sürekli ve ayrık optimizasyon

Optimizasyon; sürekli veya ayrık parametrelili olarak iki şekilde tanımlanabilir. Sürekli parametreler sonsuz değer alırken ayrık parametreler sınırlı değerler alır. Örneğin yapılacak işler bir liste halinde verilmiştir. Bu işlerin yapılması bir birinden bağımsız olduğundan ayrık parametrelili düşünülebilir. Ayrık parametrelili optimizasyon kombinasyonel bir optimizasyon olarak da adlandırılabilir. Bir çizgide $f(x)$ 'in minimum değerini bulmaya çalışmak, sürekli parametrelili optimizasyon olarak tanımlanır.

4.3.5. Kısıtlı ve kısıtsız Optimizasyon

Kısıtlı optimizasyon, parametreleri bir tanım aralığında değerlendirir. Kısıtsız optimizasyon ise parametreler her hangi bir değerde olabilir. Değişkenlerin transformasyonu yoluyla kısıtlı parametreler kısıtsız parametrelere çevrilirler. Çoğu nümerik optimizasyon rutinleri kısıtsız parametrelerle çalışırlar. Örnek olarak $f(x)$ fonksiyonunu ele alalım. Kısıtlar $-1 < x < 1$ arasında olsun. Bu fonksiyon $x = \sin(u)$ tanımı kullanılarak kısıtsız optimizasyona dönüştürülür. Burada u 'nun değeri ne olursa olsun x $(-1,1)$ aralığında değişecektir. Kısıtlı optimizasyon, lineer denklemler ve lineer sınırlarla parametreleri optimize ettiği zaman, program lineer program olarak adlandırılır. Kısıtlar ve maliyet denklemleri nonlinear ise, programda nonlinear programlama problemi olur.

4.3.6. Klasik optimizasyon

Bazı algoritmalar parametrelerin başlangıç değerlerini ayarlayarak maliyetini minimize etmeye çalışır. Bu araştırma tekniği hızlı olmakla beraber lokal minimumlara takılabilir. Bunlar nümerik metotlara dayanan klasik optimizasyon algoritmalarıdır. Bir

parametreden hareketle diğer parametreyi tespit etmek bazı deterministik adımlarla gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan random metotlar; parametreleri bulmada ihtimal hesaplarını kullanırlar. Bu metotlar yavaş olmakla birlikte global minimumu bulmada daha başarılıdır. Bu gruptandırmanın sonucunda optimizasyon metotlarını iki ana gruba ayırabiliriz

1) Deterministik metotlar

2) İstatistiksel metotlar

Deterministik optimizasyon metotları lokal minimuma veya maksimuma yakınsayan algoritmalarıdır. Türevsel hesaplamalar veya türevsel yaklaşımlar örnek olarak verilebilir. Random araştırma algoritmaları gibi istatistiksel metotlar ise global minimumu veya maksimumu bulmada bazı stratejileri ve rasgele sayıları kullanırlar.

4.4. Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon fonksiyonların minimize veya maksimize edilmesiyle uğraşan yöntemler bütününe verilen addır. Optimizasyon enerji, finans, ekonomi gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Bu bölümde öncelikle optimizasyon teknikleri anlatılacaktır. Optimizasyon teknikleri $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ gibi bazı parametrelerin en uygun biçimde nasıl belirlenmesi gerektiğini ortaya koyan süreçler bütünüdür [18]. En basit şekliyle optimizasyon x 'e bağlı bir sistemin minimize veya maksimize edilmesi durumudur. Daha teorik olarak optimizasyon alt sınırı x_l , üst sınırı x_u olan bir aralıkta $G_i(x) \leq 0$ ($i = m_e + 1, \dots, m$) şekline eşitsizlik sınırlaması $G_i(x) = 0$ ($i = 1, \dots, m_e$) şeklinde eşitlik sınırlaması olan $f(x)$ gibi bir nesnel fonksiyonun maksimize veya minimize edilmesi durumudur. Bu notasyon şu şekilde gösterilmektedir;

$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x)$ öyle ki;

$$G_i(x) = 0 \quad (i = 1, \dots, m_e), G_i(x) \leq 0 \quad (i = m_e + 1, \dots, m), x_l \leq x \leq x_u \quad (4.1)$$

$x, x \in \mathbb{R}^n$ parametreler vektörünü $f(x), f(x): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ nesnel fonksiyonu ve $G(x) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ vektör fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu tip problemlerde verimli ve doğru bir sonucun elde edilmesi yalnızca sınırlamaların ve parametrelerin sayısına değil, aynı zamanda nesnel fonksiyonun karakterinde ve içeriğine de bağlıdır. Bilindiği üzere, nesnel fonksiyonlar ve sınırlamalar x parametrelerine bağlı doğrusal bir yapıya sahipse, üzerinde çalışılan problem doğrusal programlaya dönüşmektedir [18]. Kuadratik programlama ise doğrusal sınırlamaları olan kuadratik nesnel fonksiyonun minimize

veya maksimize edilmesidir. Doğrusal olmayan programlamada ise x parametrelerinde bağlı doğrusal olmayan nesnel fonksiyonların çözümü yapılır. Bu tür problemlerin çözümü için özel süreçlere ve denemelere gereksinim duyulmaktadır. Optimizasyon problemleri genel olarak;

- 1) Minimizasyon
- 2) Model Uydurma
- 3) Formül Çözme şekillerindedir.

Yukarıda tanımlandığı gibi bu problemler sürekli veya ayrık, doğrusal ve doğrusal olmayan, kısıtlı veya kısıtsız, büyük ölçekli veya küçük ölçekli şeklindedir.

4.4.1. Kısıtsız optimizasyon

Kısıtsız optimizasyon gibi birçok metot olmasına karşın bu metotlar kullanılma şekillerine göre kategorize edilmektedir. Fonksiyon eşlemelerinde kullanılan araştırma metotları, içerisinde süreksizlik ve doğrusal olmama durumu içeren problemlerin çözümünde en etkin yöntemdir. Birinci türevinde sürekli olan eğim metotları herhangi bir fonksiyonun minimize edilmesi problemlerinde diğer metotlara oranla daha doğru sonuç vermektedir [18]. Bunun dışında Newton metodu olarak adlandırılan yüksek mertebe metotları bazı nümerik ayrıştırma metotlarının zorlandığı durumlar için en uygun çözümü vermektedir. Eğim metotları işlem yapılan fonksiyonun eğiminden elde edilen bilgileri veri olarak kullanmaktadır. Buradaki asıl hedef minimum noktasından geçtiği düşünülen araştırma yönünün dikte edilip vurgulanmasıdır. Ancak minimize edilen fonksiyonlar uzun ve dar vadiler içeriyorsa bu metot geçersiz olacaktır. Bu durum için en uygun fonksiyon Rosenbrock Fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$f(x) = 100(x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2 \quad (4.2)$$

4.4.2. Quasi-Newton metodu

Verim eğrileri modellenirken bilinmeyen katsayıların tahmin edilmesinde kullanılan metotlar arasında en bilinen ve tercih edilen metot Quasi-Newton metodudur[18]. Bu metot;

$$\min_x \frac{1}{2} x^T H x + c^T x + b \quad (4.3)$$

formunda olan bir kuadratik model probleminin, her bir deneme sonucunda elde edilen eğrilik bilgilerinin oluşturulmasında kullanılır. Bu formülde H Hessian matrisini c sabit vektörü b ise bir sabiti temsil etmektedir. Bu tip problemlerde optimal çözüm x'in kısmi türevinin sıfıra gitmesi durumunda elde edilir. Bu bir notasyon halinde gösterilirse;

$$\nabla f(x^*) = Hx^* + c = 0 \quad (4.4)$$

şeklinde olmaktadır. Optimal çözüm için x*'ın aşağıdaki şekilde tanımlanması gerekmektedir.

$$x^* = -H^{-1}c \quad (4.5)$$

4.4.3. Çizgi araştırması

Birçok kısıtlı ve kısıtsız metot çözüm ağının olduğu bölgeleri bulmaya çalışan alt problem çözüm süreçlerini kullanmaktadır[18]. Bu çözüm kümesi içinde minimum noktası bulunurken ya Fibonacci ve altın bölge araştırması ya da enterpolasyon ve ekstrapolasyon yöntemlerini kullanan polinom metodu kullanılmaktadır[18]. Polinom metodu basit olarak tek değişkene bağlı olan bir polinom formülü üzerinden minimum noktalarının tahmini üzerine dayanır. enterpolasyon minimum noktalarının sıralandığı bölge üzerindeki noktaların durumuna başvurmaktadır. Ekstrapolasyon ise belirlenen bölge dışında muhtemel minimum noktalarına başvurmaktadır. Polinom tipi enterpolasyonlar üzerinde işlem yapılan fonksiyonun sürekli olması durumunda etkin bir şekilde çalışmaktadır. Burada izlenen süreçte yeni bir x_{k+1} denemesi için;

$$x_{k+1} = x_k + a^* d \quad (4.6)$$

Şeklinde bir çözüm elde edilebilir. Burada x_k o andaki denemeyi, d uygun bir metotla elde edilen araştırma yönünü, a* ise minimuma olan uzaklığı belirten skaler basamak sayısını göstermektedir.

4.4.4. En küçük kareler optimizasyonu

En küçük kareler problemlerinde $f(x)$ gibi bir fonksiyonun minimize edilme durumu mevcuttur. Bu durum, bilinen bir notasyon halinde gösterilirse, en küçük kareler optimizasyonu;

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) = \frac{1}{2} \|F(x)\|_2^2 = \frac{1}{2} \sum_i F_i(x)^2 \quad (4.7)$$

şeklinde formülize edilmektedir. Bu tür problemler daha çok model fonksiyonlarının verilere uydurulması durumunda ortaya çıkmaktadır [18]. Özellikle eğri uydurma problemlerinde fonksiyonun parametreleri bu şekilde tahmin edilmektedir. Aynı mantıkla, $y(x,t)$ şeklinde istenilen bir çıktının, $\phi(t)$ şeklinde sürekli eğrisel bir yol izlediği varsayalım. Bu durumda bu problem x bir vektörü ve t bir skaleri ifade eder şekilde;

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \int_{t_2}^{t_1} (y(x,t) - \phi(t))^2 dt \quad (4.8)$$

olarak gösterilebilir. Formülündeki integral, normalleştirilip kesikli halde uygun bir kuadratik formda yazılırsa;

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) = \sum_{i=1}^m ((y(x,t_i) - \phi(t_i)))^2 \quad (4.9)$$

şeklinde olmaktadır. Bu ifadede formülünde bahsedildiği üzere, $F(x)$ vektörü;

$$F(x) = \begin{bmatrix} y(x,t_1) - \phi(t_1) \\ y(x,t_2) - \phi(t_2) \\ \dots\dots\dots \\ y(x,t_m) - \phi(t_m) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

notasyonuyla bulunmaktadır.

Bu tip problemlerde doğru hedef yolları belirlendiği sürece $\|F(x)\|$ artık değeri (residual) optimum noktada her zaman küçük olmaktadır. $F(x)$ 'e ait $m \times n$ boyutundaki Jacobian matrisi $J(x)$ olarak; $f(x)$ 'e ait eğim matrisi $G(x)$ ve $f(x)$ 'e ait Hessian Matrisi $H(x)$ olarak tanımlanırsa;

$$Q(x) = \sum F_i(x).H_i(x) \text{ olmak üzere;}$$

$$G(x) = 2J(x)^T F(x), H(x) = 2J(x)^T J(x) + 2Q(x) \quad (4.11)$$

şeklinde bir ifade de bulunmak olasıdır. Burada $Q(x)$ fonksiyonun yadsınamaz bir özelliği mevcuttur. x_k çözüme yakınsadıkça, $\|F(x)\|$ artık değeri sıfıra, dolayısıyla $Q(x)$ fonksiyonu da sıfıra yakınsamaktadır. Böylelikle $\|F(x)\|$ çözüm noktasında en küçük değerdir.

4.4.5. Doğrusal olmayan en küçük kareler optimizasyonu

Çizgi araştırması süreçleri doğrusal olmayan en küçük kareler optimizasyonunda da kullanılmaktadır [18]. Doğrusal olmayan en küçük kareler optimizasyonu

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) = \frac{1}{2} \|F(x)\|_2^2 = \frac{1}{2} \sum_i F_i(x)^2 \quad (4.12)$$

şeklinde $f(x)$ fonksiyonunun minimize edilmesi üzerine dayalıdır. Bu optimizasyon tipinin doğrusal en küçük kareler optimizasyonundan tek farkı, $f(x)$ fonksiyonunun yapısı çerçevesinde doğrusal olmaması e^x gibi bileşenler içermesidir.

4.4.6. Kısıtlı optimizasyon

Kısıtlı optimizasyonda ana hedef problemin çözülmesini bir alt probleme dönüştürmektir. Kısıtlı optimizasyon çözümlerinde genellikle Kuhn-Tucker formülleri kullanılmaktadır. Bu formüller şu şekilde yazılabilmektedir

$$\nabla f(x^*) + \sum_{i=1}^m \lambda_i^* \nabla G_i(x^*) = 0 \quad (4.13)$$

$$\nabla G_i(x^*) = 0 \quad (i = 1, \dots, m_e) \quad (4.14)$$

$\lambda_i \geq 0 \quad (i = m_e + 1, \dots, m)$ ilk formül çözüm noktasında nesnel fonksiyonla aktif kısıtlar arasındaki eğimin iptalini belirtmektedir. Eğimlerin iptal edilebilmesi için nesnel fonksiyona ait sapmaları dengeleyen Lagrange çarpanlarına ($\lambda_k = 1, \dots, m$) gereksinim duyulmaktadır [18]. Yalnızca aktif kısıtlayıcılar iptal işlemine katılmaktadır. Aksi halde Lagrange çarpımları sıfıra eşit olmaktadır. Kuhn-Tucker formülü birçok doğrusal olmayan problemin çözümüne temel oluşturmaktadır. Bu algoritma doğrudan Lagrange çarpanlarını çözmeye çalışmaktadır. Kısıtlı Quasi-Newton metotları Kuhn-Tucker formüllerindeki ikinci dereceden bilgileri düzenleyerek en iyi yakınsamayı garanti etmektedir. Bu metotlar dizisel kuadratik programlama olarak adlandırılmaktadır.

4.4.7. Çok amaçlı optimizasyon

Çok amaçlı optimizasyon performans vektörü olan $F(x)$ 'i minimize etmeyi hedeflemektedir [18]. $F(x)$ vektörü birçok kısıt ve sınırlamalara bağlıdır. Çok amaçlı fonksiyon aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\min_x F(x)$$

$$\text{Eşitlik Kısıtları} : g_i(x) = 0, i = 1 \dots m$$

$$\text{Eşitsizlik Kısıtları} : h_j(x) = 0, j = 1, \dots, n$$

$$\text{Sınır Kısıtları} : x_l \leq x \leq x_u$$

$F(x)$ bir vektör olduğundan $F(x)$ 'e ait bileşenlerden herhangi birisi diğerlerine göre üstünlük sağlıyorsa çözüm odur. Ancak tek bir çözüm kümesi bulunamamaktadır. Bu nedenle çok amaçlı optimizasyon problemlerinde içsel olamama durumu kullanılmaktadır. İçsel olamama durumuna uygun çözümler bulunurken hedeflerden biri yükseltirken diğeri düşürülür.

Bu tezde optimize edilecek sistem yenilenebilir enerji (rüzgar, güneş, dizel, hidrojen) sistemleridir. Kullanılan optimizasyon metotları ise kısıtlı optimizasyondur. Yapılan optimizasyonun amacı belirlenen bir bölgede oluşan güç talebini minimum maliyet ve maksimum verim ile karşılamaktır. Optimizasyon yapılaraktan oluşan alternatifler arasından amaca en uygun seçim yapılmalıdır. En uygun sistemin minimum maliyetli olması ve elektrik tedarik sürekliliğini sağlaması gerekmektedir. Tezde optimizasyon modeli oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken kriterler vardır. Bunlardan ilki başlangıçtaki boyutlandırmada karar verilecek değişkenlerdir[9].

$$X_{\text{boyut}} = \left[\begin{array}{l} X_{pv,tipi}, X_{pv,seri}, X_{pv,paralel}, X_{wt,tipi}, X_{wt,seri}, X_{wt,paralel}, X_{dizel,tipi}, X_{dizel,paralel} \\ X_{bat,tipi}, X_{bat,seri}, X_{bat,paralel}, X_{inv,tipi}, X_{inv,paralel}, X_{\text{başkakaaynaklar}} \end{array} \right] \quad (4.15)$$

Bu aşamada kullanılan parametreler yenilenebilir enerji sistemlerinin giriş parametreleridir. İkinci aşamada ise birinci aşamada seçilen değişimlerin zamana bağlı olarak değişimleri incelenir.

$$X_{OPdec}(t) = [X_{bat}, X_{dizel}, X_s, X_{dcyük}, X_{acyük}, X_{pvbc}, X_{wtbc}, X_{dbc}](t) \quad (4.16)$$

Bu aşamadaki parametreler zamana bağlıdır. Bu aşamada sistem ilk kurulduğundan itibaren oluşan yeni masraflar göz önünde bulundurulur [15].

Üçüncü aşamada ise zamandan bağımsız olarak çalışma stratejisi değişkenleri belirlenir.

$$X_{opstr} = [X_{SOCmin}, X_{SOCmax}, X_{LLP}] \quad (4.17)$$

Buradaki en önemli kriterler maksimum kapasite ile yükün enerjisiz kalma süresidir. Bu aşamalarla birlikte optimize edeceğimizi sistemi kısıtlayan faktörler vardır . Bunlar fiziksel, yerel, sosyoekonomik ve teknolojik kısıtlamalardır [9]. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak yapılan optimizasyonda talep edilen enerji ile arz edilen enerjinin yaklaşık olarak eşit olması gerekliliğidir. Optimizasyon yapılırken kullanılacak olan sistem parametrelerinin bilinmesi optimize edilecek sistem için çok önemlidir. Tablo 4’de oluşturulacak yenilenebilir enerji sisteminin parametreleri görülmektedir.

Tablo 4. Kullanılan elemanların ve sistemin bilinmesi gereken parametreleri [15]

Sistem Parametreleri	
Sistem gerilimi, DC	Volt
Sistem gerilimi, AC	Volt
Sistem Kurma gideri	\$
Kullanım süresi	Yıl
İndirim oranı	%

PV modül	
Kısa devre akımı	Amper
Açık devre gerilimi	Volt
Maksimum çıkış gücü	Wp
MPP noktasındaki akımı	A
MPP noktasındaki gerilim	Volt
Kullanım süresi	Yıl
Maliyet	\$
Yıllık bakım gideri	\$

Rüzgar Türbini	
Çıkış gerilimi	Volt
Maksimum çıkış gücü	W
Kullanım süresi	Yıl
Maliyet	\$
Yıllık bakım gideri	\$

Dizel jeneratör	
Kullanım süresi	Saat
Maliyet	\$
Yıllık bakım gideri	\$
Yakıt gideri/litre	\$/litre
Çıkış gücü	W
Çıkış gerilimi	Volt

Bataryalar	
Gerilimi	Volt
Kapasitesi	Ah
SOC min	%SOC nominal
SOC max	%SOC nominal
Kullanım süresi	Devir
Maliyet	\$
Yıllık bakım gideri	\$
Başlangıç SOC	%SOC nominal
Kendi kendine boşaltma katsayısı	%SOC nominal(100 gün)

5. MALİYETE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Üretilen enerjinin maliyetinin diğer alternatifleri ile karşılaştırılabilmesi için birim maliyetinin hesaplanması gerekir. Alternatif enerji kaynaklarından elektrik elde eden sistemlerin kurulum maliyetleri yüksek buna karşın işletme maliyetleri düşüktür. Eğer ilk kurulum maliyetleri güvenilirliği azaltmadan mümkün olan en az seviyeye indirilebilirse enerjinin birim maliyeti de düşük olacaktır. Henüz dünyada alternatif enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten sistemleri diğer geleneksel yöntemlerle enerji üreten sistemlerle karşılaştırma yapılırken çevre faktörü dikkate alınmamaktadır. Ekonomik açıdan değerlendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarında aşağıdaki ölçütler dikkate alınır [15].

- 1)Devir ömrü maliyeti (Life-cycle costs) sistemin beklenen kullanım süresince harcamaları dahil ederinin bugünkü para ile değerini belirtir.
- 2)Geri ödeme süresi (Payback period) toplam maliyetin yatırımcısına geri dönme süresi.
- 3)Yıllık geri ödeme oranı (Rate of return) , ilk yatırım maliyetinin yıllık geri dönme oranı.

Geri ödeme süresi ve yıllık geri ödeme oranı ölçütlerinin özellikle sistemin kaç yıl kullanılacağını ve kullanım süresince gerçekleşecek ek maliyetleri dikkate almamaları nedeniyle eksik vardır. Devir ömrü maliyeti sistemin kullanım süresini ve bu süre içerisinde gerçekleşebilecek ek yatırım ve tamir giderlerini içerdiği için daha gerçekçi bir ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik analizde bu ölçüt kullanılacaktır.

5.1. Devir Ömrü Maliyeti Hesaplaması

Devir ömrü maliyeti (LCC) ölçüt ilk yatırım, sistemin kullanım süresi ve kullanım süresince ortaya çıkabilecek tamir ve bakım giderleri veya değişmesi gereken parçalar var ise onların maliyetlerinde değerlendirmeye alır [15]. Sistem maliyeti bugünkü para olarak hesaplandığı için gelecekte oluşabilecek bazı ekonomik parametrelerinde bilinmesi gerekir.

Maliyetleri diğer eşdeğerleri ile karşılaştırılabilmesi için bugünkü para değeri (present worth) kısaca PW olarak adlandırılacaktır. Devir ömrü maliyetinin hesaplanması için aşağıdaki parametrelerin bilinmesi gerekir. Ekonomik analizin yapıldığı süre (period of analysis) , kısaca N olarak adlandırılacaktır. Bu süre beklenen kullanım süresidir. Rüzgâr ve güneşten elektrik elde eden tek başına veya Hibrid sistemlerde 20 yıl olarak kabul edilir.

Enflasyon oranı kısaca i olarak adlandırılacaktır. Hesaplamalarda kullanım süresi boyunca gerçekleştirilmesi düşünülen ortalama enflasyon değeri alınır. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran çok güvenilir olmamaktadır. Gelişmiş ekonomilerde bu oran %2'nin altındadır [15]. Alternatif enerji kaynaklardan elektrik elde edilmesini sağlayan sistemlerin üretimlerinin her yıl artması nedeniyle maliyetleri düşmektedir. Dolayısıyla gelişmiş ülkelerde bu ürünlerin fiyatlarına enflasyonun etkisi hissedilmektedir. Hesaplamalarda genellikle 0 olarak alınır. İndirim oranı simgesi d 'dir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması ile üretim artmakta bunun sonucu da elemanların maliyetleri düşmektedir.

İlk yatırım maliyeti (capital cost), toplam ilk yatırım maliyetidir, gerekli elemanların satın alınması ve kurulması için harcanan paradır. İşletme ve bakım, tamir giderleri (operation and maintenance), sistemi çalışır şekilde tutmak için yapılan harcamalardır. Yakıt giderleri, sistemde yardımcı veya ana kaynak olarak dizel jeneratör yer alıyorsa yakıt için harcamalardır [15]. Yenileme giderleri (replacement cost) sistemde kullanılan bazı elemanların kullanım süresinden kısa olabilir, bu durum bu elemanların tekrar satın alınıp yerine konulması gerekir. Bu işlemler için yapılan harcamaların tümüdür. Bataryalar genellikle 5 yılda bir yenilenmelidir.

5.2. Bugünkü Değerin Hesaplanması

Devir ömrü maliyetinin (life-cycle-cost) bugünkü değerinde hesaplanmasında harcama süresince bir veya bir kaç defa gerçekleşecek harcamalar, ikincisi ise her yıl yapılacak harcamalardır. Bir defalık harcamalar için gerekli parametreler P_r olarak adlandırılır ve eşitlik 5.1'den elde edilir.

$$P_r = \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \quad (5.1)$$

Yıllık yapılan harcamalar için gerekli çarpan P_a olarak adlandırılır ve eşitlik 5.2'den elde edilir.

$$P_a = \frac{\left(\frac{1+i}{1+d} \right) \left[\left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N - 1 \right]}{\left(\frac{1+i}{1+d} - 1 \right)} \quad (5.2)$$

Gelecekte bir defa yapılacak harcamayı C_r olarak tanımlanır. Bataryalar sistemin kullanımı süresince 3 defa yenilenecektir. Her yenileme için indirim çarpanı kullanım süresi sistemin kurulum tarihinden sonra bataryanın değiştirildiği süre olarak

alınmalıdır. Birinci değiştirmede N=5, ikinci değiştirmede N=10 ve üçüncü değiştirmede N=15 alınır. Her yıl yapılacak harcamayı Ca olarak tanımladığımızda bugünkü değeri ile maliyet eşitlik 5.4'den hesaplanır.

$$PW=Cr.Pr \quad (5.3)$$

$$PW=Ca. Pa \quad (5.4)$$

5.3. İlk Yatırım Maliyetinin Hesaplanması

İlk yatırım maliyeti elemanın satın alınmasını kurulacak yere taşınmasında ve kurmak için yapılan işçilik dahil tüm harcamaları içerir. Taşıma ve işçilik maliyetleri satın alma maliyetinin belirli bir oranı olarak verilir. Kurma maliyeti, kurmak için alınan özel ekipmanların giderini içerir.

$$Yat.Maliyeti = Eleman Maliyeti + kurma Gideri \quad (5.5)$$

Eleman maliyeti eleman boyutuna ve adedine bağalıdır. Eleman boyutu ve adedi ise karar verilecek değişkenler içerisinde yer almaktadır. Karar verilecek değişkeni 'X' ile belirttiğimizde eşitlik 5.6 elde edilir.

$$ElemanMal_{(eleman)} = f(X_{boyut,tip,i}.X_{adet,t,p,i}) \quad (5.6)$$

Elemanların satış fiyatları Wp olarak sabit bir değer değildir. Satın alınan panelin veya türbinin büyüklüğüne ve adedine bağlı olarak değişir.

5.4. İşletme Maliyetinin Hesaplanması

İşletme maliyeti sistem kurulduktan sonra kullanım süresi boyunca yapılacak tüm harcamaları içerir. Bu harcamalar eğer sistemde yer alıyorsa dizel jeneratör yakıt maliyeti, yenilenen elemanların maliyeti, tamir ve bakım maliyetleridir [21]. Sistem gözetleyen bekçi veya çalıştıran kişiye ödenecek harcamaları içerir.

Bir i elemanı için işletme giderlerini eşitlik 5.7'den hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \text{İşletmeGideri}_i(n) &= N_{i,seri} \cdot X_{i,paralel} \cdot \\ &\left[\text{tamirgideri}_i(n) + \text{yenilemegideri}_i(n) + \text{bakimgideri}_i(n) + \right. \\ &\left. \text{yakıtgideri}_i(n) + \text{operatörgideri}_i(n) + \text{diğergiderler}_i(n) \right] \end{aligned} \quad (5.7)$$

Toplam işletme maliyeti tüm elemanların işletme giderlerinin toplamına eşittir. Eşitlik 5.8'de toplam işletme maliyeti hesaplanabilir.

$$\text{ToplamİşletmeMaliyeti} = \sum_{\forall eleman} \text{İşletmeGideri}_i \quad (5.8)$$

Hibrid sistemin devir ömrü maliyet (LCC) ilk kurulum maliyeti ile bugünün parasına dönüştürülmüş işletme maliyetlerinin toplamına eşittir.

$$LCC=[YatırımMaliyeti+İndirgenmişToplamİşletmeMaliyeti] \quad (5.9)$$

5.5. Yıllık Düzeye İndirgenmiş LCC

Life-cycle maliyetinin (LCC) yıllık düzeye indirgemek (ALCC) için sadece kullanım süresi bu değere bölmek yeterli değildir [19]. LLC değeri öngörülen enflasyon değeri, indirim oranı ve kullanım süresi kullanılarak hesaplanan Pa parametresine bölünmelidir.

$$ALCC = \frac{LCC}{P_a} \quad (5.10)$$

5.6. Üretilen Elektrığın Birim Maliyeti

Geleneksel yöntemlerle üretilmiş elektrığın birim fiyatı ile hibrid enerji sisteminden elde edilen elektrığın fiyatının karşılaştırabilmesi için birim maliyet hesaplanması gerekir. Beklenen yıllık enerji tüketimi kullanılarak elektrığın birim maliyeti Eşitlik 5.11 kullanılarak hesaplanabilir.

$$E.B.M = \frac{ALCC}{Yıllıkenerjیتüketimi} \quad (5.11)$$

Hibrid sistemden elde edilen elektrığın birim maliyeti şebeke elektrığına göre oldukça yüksektir. Fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üreten sistemlerin çevreye verdikleri zararlar hala hiçbir ülkede elektrik enerjisi birim maliyetlerine yansıtılmamaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde CO emisyonunun maliyetinin 1,78 cents/kWh, SO emisyonunun 0,8 cents/kWh, NO emisyonunun 1,66 cents/kWh olduğu tahmin edilmektedir.

5.7. Boyutlandırma ve Maliyet Değişkenlerinin Belirlenmesi

5.7.1. Pv boyutlandırma ve maliyet değişkenlerinin belirlenmesi

Pv sistemler modüllerden oluşmaktadır. Modüller seri veya paralel olarak bağlanabilirler. modüllerin seri veya paralel bağlanması ile diziler oluşur [20]. Dizi gerilim ve akım değerleri seri bağlı ve paralel bağlı pv modüller sayısı ve farklı cinsten bağlanan pv modüllerin uyumsuzluk katsayılarından yararlanarak bulunur [21].

$$\text{Dizi gerilimi} \quad V_{pv} = V_{OC}^M \cdot N_{pvseri} \quad (5.12)$$

$$\text{Dizi akımı } I_{pv}(t) = I^M(t, X_{\text{boyut,tipi}}) \cdot X_{\text{pvparalel}} \cdot f_{MM} \quad (5.13)$$

Pv dizinin maliyeti ilk kurulum maliyeti ile işletme maliyetidir. Maliyeti etkileyen faktörlerden biride pvnin sarj regülatörü gibi yardımcı bileşenlerinin maliyetleridir. Bu değer % olarak maliyeti etkiler [21]. İşletme maliyeti ise işletme bakım masraflarına bağlıdır.

$$YatMal_{pv} = N_{\text{pvseri}} \cdot X_{\text{pvparalel}} \cdot ElemanMal_{pv}(X_{\text{tipi}}) \cdot (1 + \%X_{\text{pvyar.eleman}}) + KurmaMal_{pv} \quad (5.14)$$

5.7.2. Rüzgâr türbini boyutlandırma ve maliyet değişkenleri

Rüzgâr türbinleri pv modüllerden farklı olarak sadece paralel olarak bağlanabilirler. Fakat pv sistemlerde aynı tipte olmayan pv modüller kullanıldığı zaman kullanılan uyumsuzluk katsayısı rüzgâr türbinleri için geçerli değildir [21]. Rüzgâr türbininin aynı veya farklı tipte olması herhangi bir uyumsuzluk oluşturmaz. Rüzgâr türbinini akımı paralel bağlanan rüzgar türbin adedi ile rüzgar türbininin karakteristik tip ve boyut değerlerine bağlıdır.

$$I_{\text{wt,dizi}}(t) = \sum_{i=1}^{\text{tipadedi}} I_{\text{wt},i}(t, X_{\text{wt,tip},i}) \cdot X_{\text{wt,paralel},i} \quad (5.15)$$

Rüzgâr türbininden elde edilecek güç ise formül 5.16'dan yararlanarak bulunur.

$$P_{\text{wt}} = 0,5 \cdot A \cdot C_p \cdot \rho_{\text{air}} \cdot v^3 \quad (5.16)$$

Burada; P air rüzgâr yoğunluğu Cp rüzgâr türbini verim katsayısı v ise rüzgâr hızıdır.

Rüzgâr türbinini maliyeti türbinlerin satın alınması sırasında yapılan harcama ile ilk kurulum maliyeti ve yardımcı bileşenlerin % olarak etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanır [25].

$$YatMal_{\text{wt}} = \sum_{i=1}^{\text{türbinsayısı}} X_{\text{wt},i,paralel} \cdot ElemanMal_{\text{wt}}(X_{\text{wt,tipi},i}) \cdot (1 + \%X_{\text{wt,yar.eleman}}) + KurmaMal_{\text{wt}} \quad (5.17)$$

Rüzgâr türbinlerinin ömür süreleri uzundur. Bundan dolayı kısa periyotlarda değiştirilmelerine gerek yoktur. İşletme maliyeti sadece tamir bakım giderlerine bağlıdır.

5.7.3. Yükler

Yükler karakteristik olarak DC (12 V, 24 V, 48 V) veya AC (220 V) karakterli olabilirler. Burada önemli olan hangi zamanlarda ne kadar yüke ihtiyaç duyulacağını bilmesidir. Bu şekilde enerji tedarik sürekliliği sağlanmış olur. Güvenirlik LLP(loss

of load probability) olarak adlandırılır. Bu değer yükün enerjisiz kaldığı sürenin enerjili olduğu süreye oranıyla bulunur [21].

5.7.4. Dizel jeneratör boyutlandırma ve maliyet değişkenleri

Yukarıda belirtildiği gibi bir sistemin güvenilirliği o sistemin enerjisiz kaldığı süreye bağlıdır. Bunu önlemek amacıyla yenilenebilir enerji sistemlerinin devre dışı kaldığı anlarda enerji tedarik sürekliliğini sağlamak amacıyla kullanılan en uygun sistemler dizel jeneratörlerdir. Dizel jeneratörler içten yanmalı motor ve alternatörlerden oluşur. Dizel jeneratör boyutlandırma değişkeni olarak dizel jeneratörün maksimum gücü baz alınır. Dizel jeneratörün maksimum gücü akımın maksimum değeri ile gerilime bağlıdır. Bu durum eşitlik 5.18'de görülmektedir.

$$X_{boyutD,i} = I_{dizel\ max,i} \cdot V_{hibrid} \quad (5.18)$$

Dizel jeneratörlerde yatırım maliyeti jeneratör alınırken ödenen miktar, ilk kurulum maliyeti ve dizel jeneratörü tamamlayan yardımcı elemanların maliyetinin %si göz önünde bulundurularak hesaplanır [21].

$$YatMal_{dizel} = \sum_{i=1}^{dizeladedi} X_{dizel,i,paralel} \cdot ElemanMal_{dizel} \cdot (X_{dizel,boyut,i}) (1 + \%X_{dizelyar.eleman}) + KurmaMal_{dizel} \quad (5.19)$$

Dizel jeneratör yakıt masrafına sahiptir. Dizel jeneratörün işletme maliyetleri hesaplanırken yakıt giderleri ile tamir bakım maliyetleri göz önünde bulundurulur.

$$IsletmeMal_{dizel} = \sum_{i=1}^{dizeladedi} (TmrBkmMal_{dizel} (X_{dizel,boyut,i}) + YakıtGideri_{dizel}) \cdot P_a \quad (5.20)$$

Dizel jeneratörlerin ömürleri kısa olduğundan yenileme masrafları da ihmal edilmemelidir.

5.7.5. Batarya boyutlandırma ve maliyet değişkenleri

Yenilenebilir enerji sistemlerinde sistemin enerji tedarik sürekliliğinin sağlanması amacıyla sisteme bataryalar ilave edilir. Sistemde kullanılan bataryalar sarj edilebilir cinstendir. Bu şekilde enerji depolanabilir [22]. Bataryalar seri veya paralel bağlanarak farklı voltaj değerlerine sahip olabilirler. Kullanılacak bataryaların kapasitesi belirlenirken günlük, aylık ve yıllık depolama gereksinimlerinin toplamı göz önünde bulundurulur. Günlük depolama gereksinimi güneşsiz, rüzgârsız günlerde aylıklı depolama gereksinimi bulutlu günlerde yıllık depolama gereksinimi ise düşük enerji elde edilen aylardaki gereksinim karşılamak için gereklidir.

Bataryanın yatırım maliyeti hesaplanırken bataryanın satın alma masrafı ile ilk kurulum masrafı göz önünde bulundurulur [13].

$$Ytrmmal_{bat} = N_{bat,seri} \cdot X_{bat,paralel} \cdot BtryMal_{birim} + KurmaMal_{bat} \quad (5.21)$$

Bataryaların yıpranma süreleri %75 derin boşalmayla ilişkilidir. Bu boşalmanın her gün olduğu varsayılırsa bataryaların 5 yılda bir değişmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla işletme maliyeti hesaplanırken tamir bakım masrafları dışında yenileme masrafları da göz önünde bulundurulmalıdır.

5.7.6. İnverter boyutlandırma ve maliyet değişkenleri

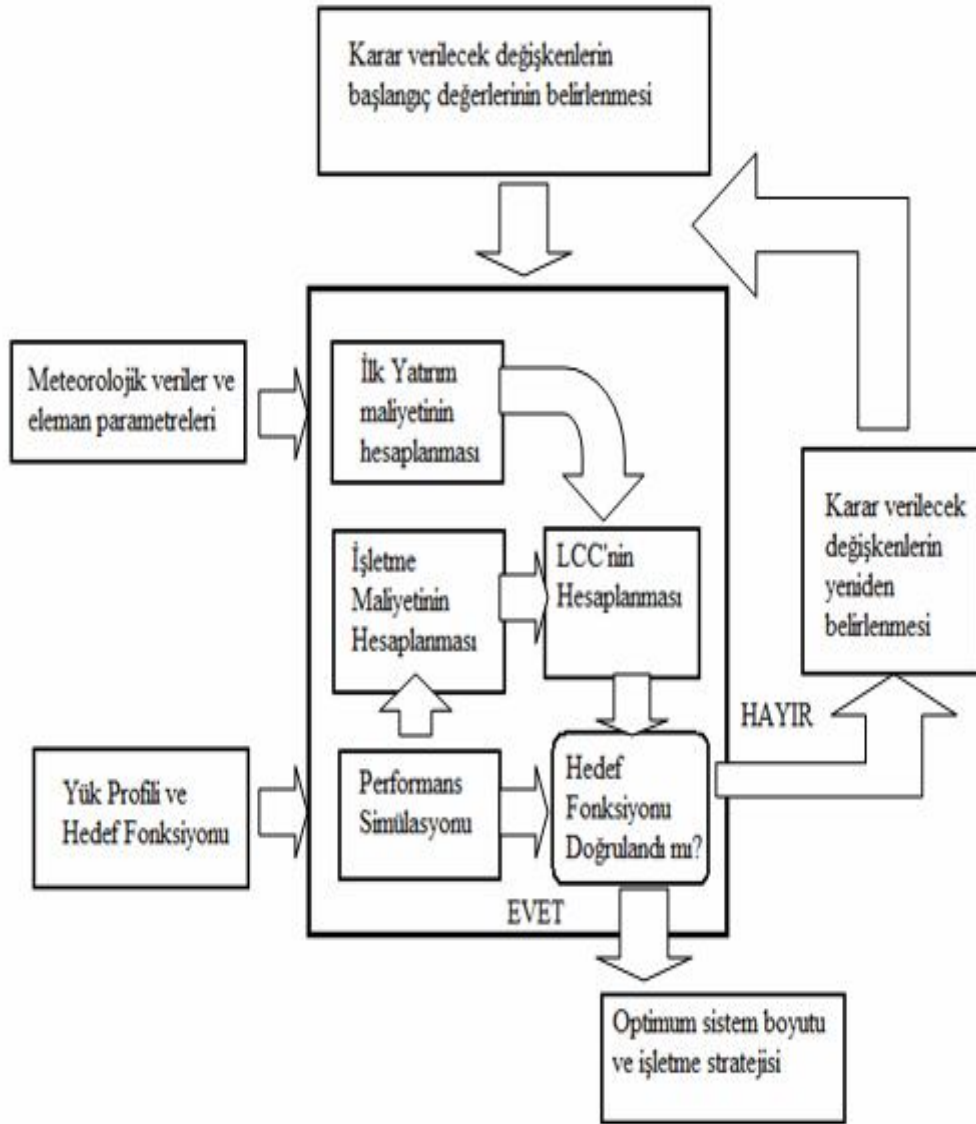
İnverterlerin hibrid sistemlerdeki görevi pv, rüzgâr ve bataryadan gelen doğru akımı yükün alternatif akım ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla alternatif akıma çevirmektir. İnverterlerle birlikte sistemde kontrol düzenekleri de bulunur. Bunların amacı sabit voltaj sarj gerilimi sağlamak ve düşük voltajda ise bağlantıyı kesmektir. İnverterin boyutu sistemde yer alan yükün gücüne göre belirlenir.

İnverterin yatırım maliyeti eşitlik 5.22'den hesaplanır.

$$Ytrmmal_{inv} = \sum_{i=1}^{inv.adedi} X_{inv,paralel,i} \cdot brmMal_{inv}(X_{boyut,i}) + krmGdr_{inv,i} \quad (5.22)$$

İnverterlerin ömrü 5 yıl ile 20 yıl arasında değişmektedir. İnverterler sistem maliyetleri üzerinde az bir orana sahiptirler. Sadece beş yılda bir yenileme maliyeti olup işletme maliyetleri yoktur.

Tüm bu değerlerle birlikte optimizasyon yapılacak bölgenin meteorolojik verileri ve kurulum detayları göz önünde bulundurulmalıdır [23]. Yukarıdaki verilerden yararlanarak oluşturulan optimizasyon algoritması aşağıdaki şekilde görülmektedir. Buna göre başlangıçta optimize edilecek sistemin yükü ile ilgili bilgiler, meteorolojik veriler, optimizasyona etki edecek tüm faktörler girilir ve sistem oluşturulduğu anda sonuçta elde edilmesi istenen değere karar verilir. HOMER programı aracılığıyla sistemin simülasyonu yapılır. İşletme maliyeti ve ilk kurulum maliyeti göz önünde bulundurulardan sistemin devir ömrü maliyeti hesaplanır. Bu başlangıçta tasarlanan değerlere uygunsuz sistem optimize edilmiş olur. Aksi durumda başlangıç parametreleri değiştirilerek optimizasyona yeniden başlanır. Şekil 5.1'de optimizasyon algoritması görülmektedir.



Şekil 5.1. Maliyete bağlı optimizasyon algoritması [13]

6. HOMER SİMÜLASYON PROGRAMI

Yenilenebilir enerji sistemlerinin simülasyonu ve optimizasyonu için birçok program bulunmaktadır. Bunlar RAPSIM, HYBRID2, PVS, HOMER ve VİPOR' dur . Aşağıdaki tabloda bu programların uygulamaları, model tipleri, karakteristikleri ve kaynakları yani üreticileri hakkında bilgi verilmiştir. Tezde bu programlardan HOMER adlı program kullanılmıştır. HOMER programı her türlü yenilenebilir (fotovoltaik, rüzgâr, dizel, hidrojen vb.) enerji sistemlerinin simülasyonunu ve optimizasyonunu yapabilmektedir. HOMER programı NREL (National Renewable Energy Laboratory) Amerika ulusal yenilenebilir enerji enstitüsü tarafından geliştirilmiş bir programdır. Tezde bu programın 2.19 ve 2.67 versiyonları kullanılmıştır. Bu program vasıtasıyla kurulacak yenilenebilir enerji sisteminin her türlü modeli kurularaktan ekonomik olarak optimizasyonu yapılabilmektedir. Sırasıyla HOMER programında nasıl bir sistem kurulacağı, simülasyonun nasıl yapılacağı ve optimizasyon kriterleri anlatılacaktır.

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), NREL (National Renewable Energy Laboratory) Amerikan Yenilenebilir Enerji laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. HOMER program serbest olarak NREL (National Renewable Energy Laboratory) (www.nrel.gov/HOMER) [24] internet sitesinden indirilebilir. En son beta 2.67 versiyonu geliştirilmiştir. Bu programla yenilenebilir enerji sistemlerinin basit bir şekilde tasarım ve analiz edilmesi sağlanmıştır. HOMER programıyla yenilenebilir enerji sistemlerin her tür simülasyonu ve optimizasyonu yapılabilmektedir. Sisteminin duyarlılığı değiştirilerek daha geniş aralıklarda simülasyon ve optimizasyon yapılabilir. Bu program yardımıyla kurulan sistemlerin performansları ve maliyetleri kıyaslanır. Öngörülen kontrol stratejisi yardımıyla mali olarak en uygun sistemler elde edilir [25].

Girilen değerler doğrultusunda sistemin ömür yılı ve hassasiyeti baz alınarak sistem optimize edilip elektriksel ve termal yükler vasıtasıyla simülasyonu yapılır. HOMER programı bunu yılın 8760 saati içinde yapabilir [26]. Bu şekilde HOMER o saatteki sisteme verilecek elektriksel ve termal yükü belirler. HOMER programı aynı zamanda her saat için sistemde eğer batarya kullanılıyorsa bataryaların şarj veya deşarj olduğu anları da göstermektedir.

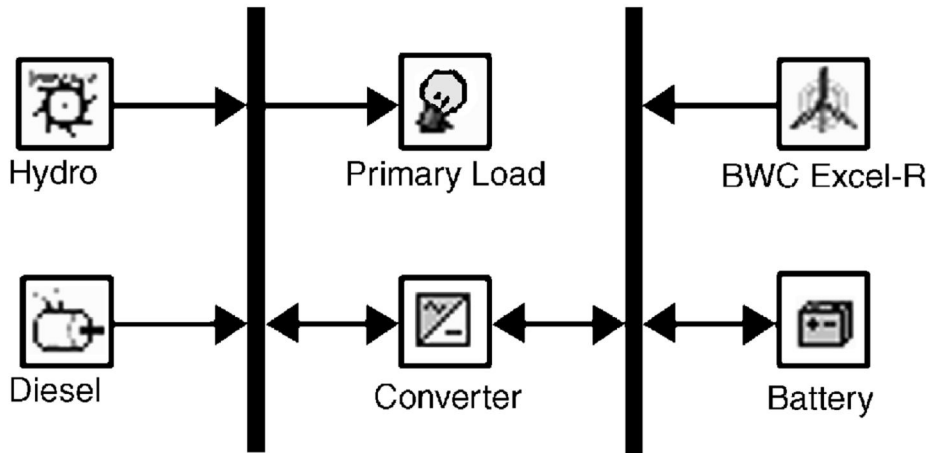
Eğer sistem tüm yıllar için hesaplanacaksa HOMER sistemin ömür yılını sermaye, ilk kurulum masrafı, işletme, bakım masrafı, yakıt masrafı ve yıllık enflasyon

farkını göz önünde bulundurarak hesaplar . HOMER programında saatlik enerji değişimleri her parametre için görüntülenebilir.

HOMER simülasyonu sistemin ömür süresini, maliyetini temel olarak kurulan tüm sistemleri ekranda gösterir. Ekranda gösterilen sonuçlardan en az maliyetli olan sistem en üstte görüntülenir.

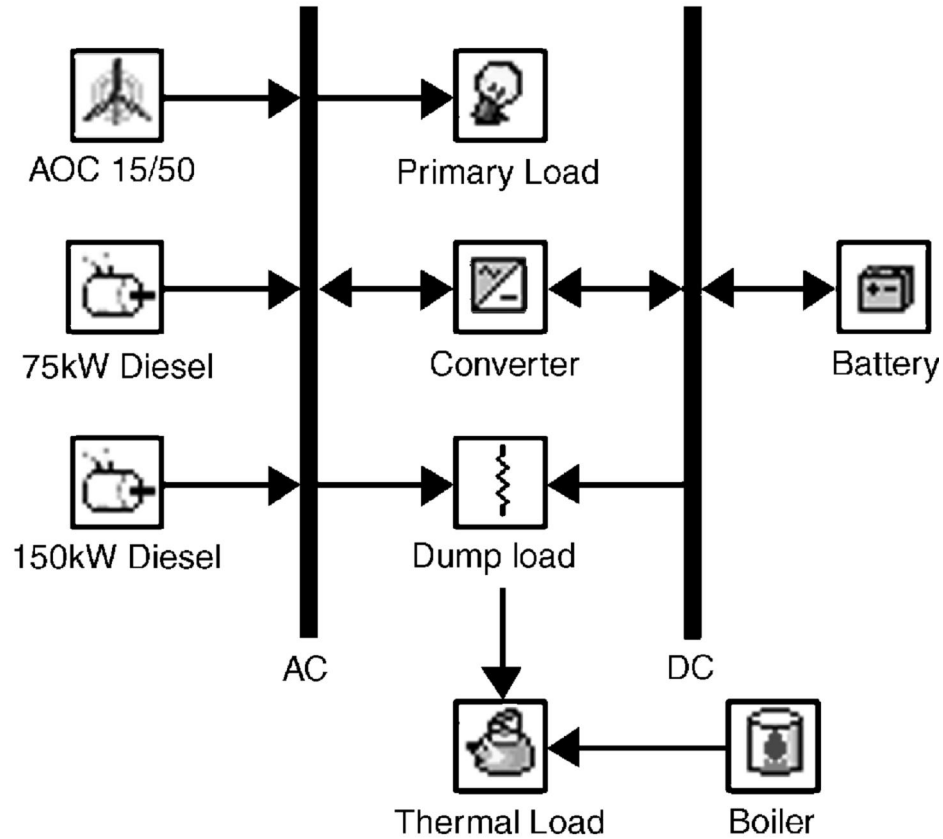
Aynı zamanda sistemdeki her türlü giriş kaynağının değerlerinin değişmesiyle sistem sonuçlarının nasıl değiştiği görüntülenebilir. Bu görüntülemeler hem sayısal hem de grafiksel olarak yapılabilir. Aşağıda HOMER programıyla tasarlanabilecek birkaç model görülmektedir.

Şekil 6.1'deki sistem rüzgar türbini, batarya, konverter, hidroelektrik santral ve dizel jeneratörden oluşan bir sistemdir. Bu sistemde rüzgâr türbini ve hidroelektrik santral sistemin temel enerji kaynaklarıdır. Enerji sürekliliğini sağlanması amacıyla sisteme batarya ve dizel jeneratör ilave edilmiştir.



Şekil 6.1. Hibrid sistem

Şekil 6.2'deki sistem rüzgâr türbini, 2 adet dizel jeneratör, batarya, konverter ve HOMER programında simule edilebilecek tüm yükleri göstermiştir. HOMER programı aracılığıyla sadece birincil yükler (ana yükler) simule edilmez bunun dışında darbeli ve termal yüklerde simule edilebilir. Birincil yükler (ana yükler)sistemin temel yükleridir. Ana yükler aydınlatma, ısıtma ve toplum tarafından talep edilen her türlü elektrik yüklerinden oluşurlar. Bu yüklerle şebekede medya gelen güç kayıplarıyla, diğer parazit yük kayıpları da eklenir. Yenilenebilir enerji sistemi oluşturulurken enerjinin tedarik sürekliliği açısından birincil yükün tamamen jeneratör sistemleri tarafından karşılanması durumu ile herhangi bir zamanda meydana gelen yük fazlasını depo edebilecek bataryalar göz önünde bulundurularak sistem oluşturulmalıdır. Termal ve darbeli yükler ise ek yük olarak tanımlanabilirler. Bu yükler güç çektiklerinden sistemde ek bir yük gibi hizmet ederler. Su pompaları, tahılları öğütme motorları, su kaynatıcılarıdır.



Şekil 6.2. Hibrid sistem

6.1. Simülasyon ve Aşamaları

HOMER programı küçük bir güç sisteminin dizaynıyla ilgili geniş aralıkta birçok soruya cevap vermektedir. Örneğin;

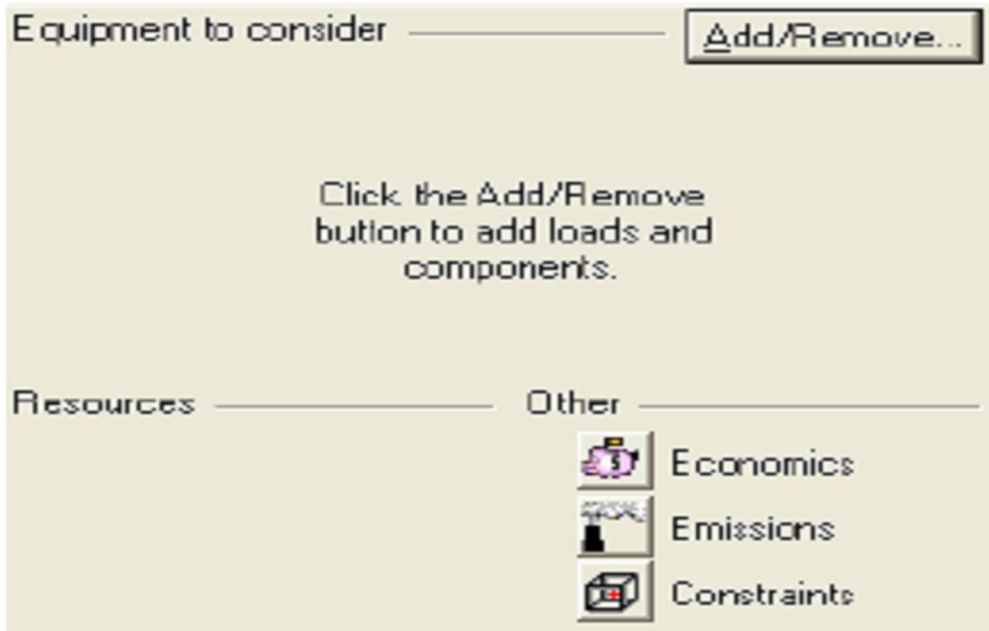
Sistemdeki dizel jeneratöre rüzgâr türbini eklemek sistemin maliyetini arttırır mı?

Yapılan tasarımda yüksek verimde elektrik üretimi yapılabilir mi?

Fotovoltaik sistemin maliyetini nasıl azaltılabilir?

Rüzgâr türbinin ya da bataryanın tipini değiştirmek ne gibi sonuçlara yol açar?[22]

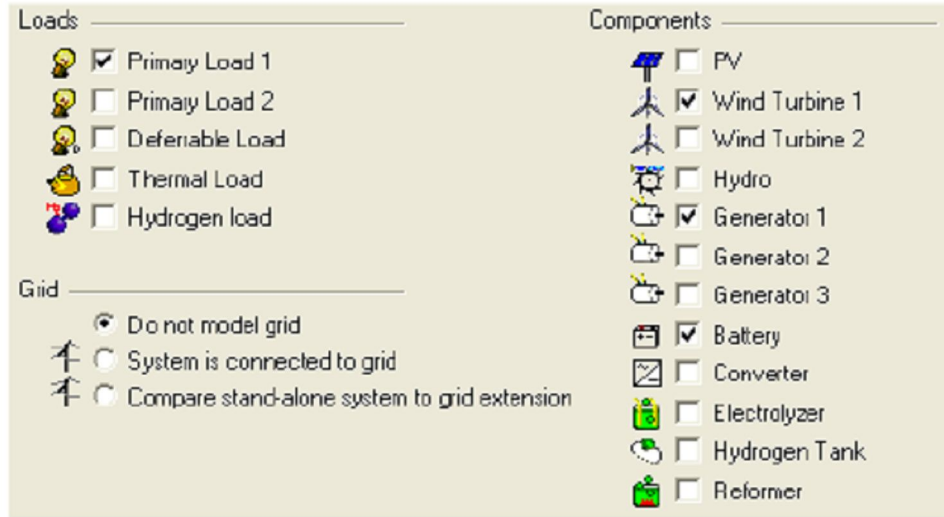
Bu bölümde oluşturulacak sistemde bir dizel jeneratörden oluşan sisteme rüzgâr türbininin eklenmesinin sonuçları görülecektir. Aşağıdaki işlem basamakları bilgisayarda sistem kurulumunun nasıl gerçekleştiğini göstermektedir. Birinci basamakta nasıl bir sistem oluşturulacağına karar verilir. Bunu takiben ikinci basamakta bir HOMER dosyası oluşturulur. HOMER dosyası bir yenilenebilir enerji sistemi dizaynını teknoloji, maliyet ve kaynak çeşitliliği yönünden incelememizi sağlayacak her türlü bilgiye sahiptir. Aynı zamanda sistemin optimizasyonunu ve duyarlılık analizini yapabilecek özelliklere de sahiptir. Simülasyonu ve optimizasyonu yapılacak olan sistemin fiziksel yapısı HOMER programında File menüsünden “ new “ seçilerek Şekil 6.3’deki sistem oluşmaktadır



Şekil 6.3. Homer ana sayfa.

Şekil 6.3'deki sisteme “add/remove” butonu yardımıyla yükler ve sistem bileşenleri eklenir. Aynı zamanda sisteme etki eden diğer faktörlerde değiştirilebilir. HOMER programıyla istenilen özellikte birçok tasarım yapıp sistemler arasında karşılaştırma imkânı sağlanmaktadır. Bu örnekte HOMER dizel ve rüzgâr türbini içeren bir sistemi maliyet, elektrik üretimi gibi birçok yönden incelememize olanak sağlayacaktır. Yukarıdaki şekilde görülen “Add/Remove” tuşuna basılarak HOMER programıyla oluşturulabilecek tüm bileşenleri bulabilmektedir. Yük kısmından talep edilen sisteme uygun yük türü listeden seçilir. Örnek tasarımda yük tipi birincil yük olarak seçilmiştir. Tüm sistemlerin bir yükü olmalıdır ya da sistem bir ağa dahil edilmelidir. Yenilenebilir enerji sisteminin ihtiyacı ve yenilenebilir enerji sisteminin kurulacağı bölgedeki meteorolojik faktörler ve enerji tedarik sürekliliği göz önünde bulundurularak rüzgâr türbini, jeneratör ve bataryadan oluşan sistem seçilmiştir. Bu seçim aşağıdaki Şekil 6.4’ de görülmektedir.

Şekil 6.4’de görüldüğü gibi sistem bileşenleri belirlenirken seçilecek olan kaynak işaretlenir. Aşağıdaki şekilde aynı zamanda HOMER programıyla yapılabilecek tasarımlarda kullanılabilir tüm bileşenler görülmektedir.

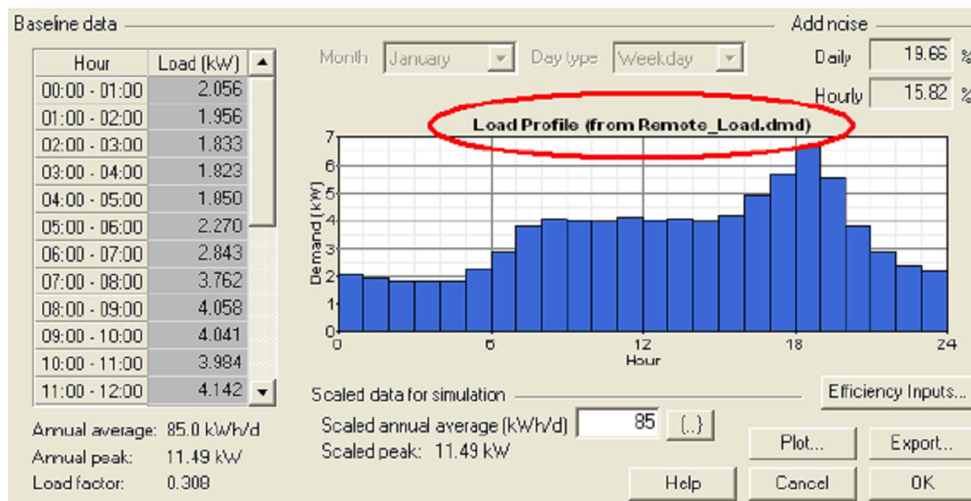


Şekil 6.4. Homer bileşen sayfası

Şekil 6.4'deki sistem onaylandıktan sonra Şekil 6.5'deki sistemde tüm butonlar aktif hale geldiğinden sistemin tüm özellikleri değiştirilebilir. Bundan sonraki aşamada oluşturulan sistemin yük özelliklerini eklenir. Bu aşamada öncelikle Primary Load 1 (birincil yük) üzerine tıklanarak yük özellikleri yüklenir. Şekil 6.6'da görülen yük profili sayfasında tasarımda beslenecek yükün gün içerisindeki değişimi saatlik olarak sisteme eklenir. Sonra beslenecek yükün türü seçilir. Yapılacak tasarımda AC olarak seçilmiştir. Bu tasarımda yükün ortalama değeri 85 kWh/d olarak girilmiştir. Aynı zamanda şebekenin kayıp ve bozuculuk oranı ise saatlik %15.82 günlük ise %19.66 olarak girilmiştir.



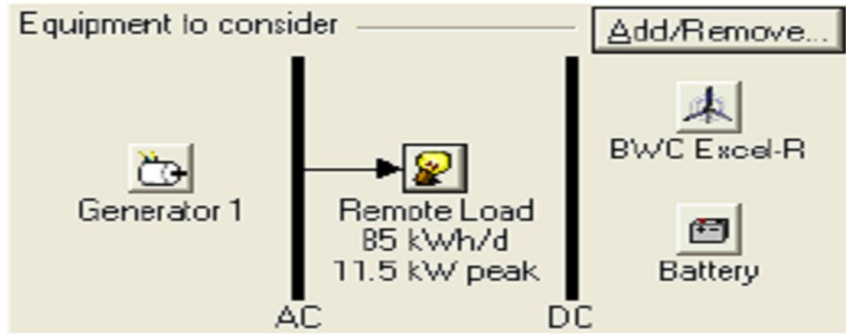
Şekil 6.5. Homer ana sayfa



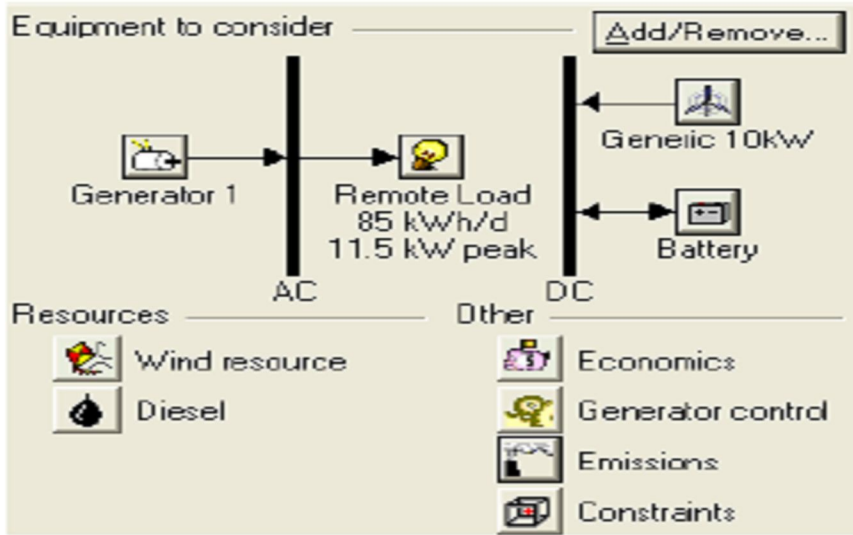
Şekil 6.6. Yük profili sayfası

Şekil 6.7'de görüldüğü gibi özellikleri yüklenen yükler sisteme uygun şekilde bağlanır. Yükümüzün tipi AC olarak seçildiğinden yük AC baraya doğrudan

bağlanmıştır. Sonraki basamakta ise rüzgâr türbini, jeneratör ve bataryanın değerleri girilir. Bu aşamada jeneratörün gücü, ilk kurulum maliyeti, ömrü ve yük tipi gibi optimizasyonu etkileyecek faktörleri seçilmiştir. Bu tasarımda jeneratörümüz dizel jeneratör olarak seçilmiştir. Rüzgâr türbininin tipi, ilk kurulum maliyeti, yakıt ve bakım masrafları gibi değerleri seçilmiştir. Yapılan bu tasarımda rüzgâr türbini olarak Generic 10 kW seçilmiştir. Bataryanın voltaj değeri, tipi (boyutu) ve maliyeti, ömrü ile ilgili olarak bilgi girilir. Bu tasarımda batarya tipi olarak Trojan L16P tipi seçilmiştir. Tüm bu özelliklerin belirlenmesinde sonra oluşan sistem Şekil 6.8’de görülmektedir.



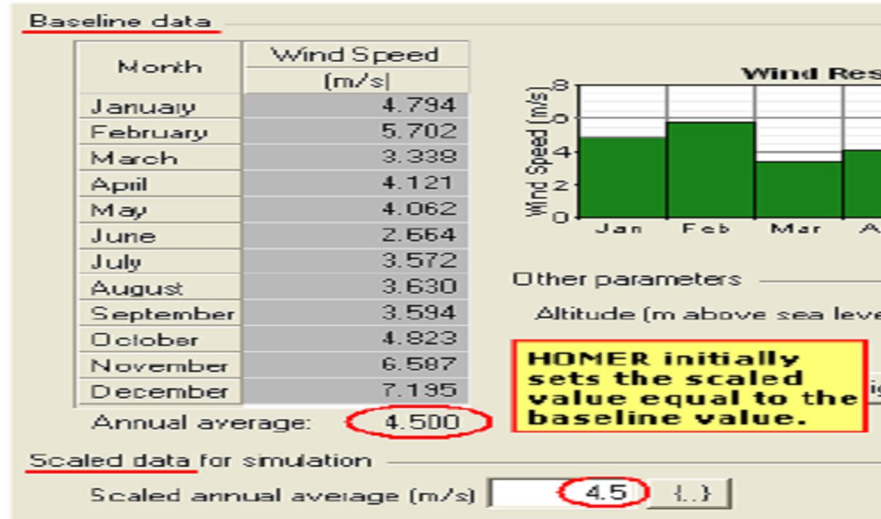
Şekil 6.7. Homer ana sayfa



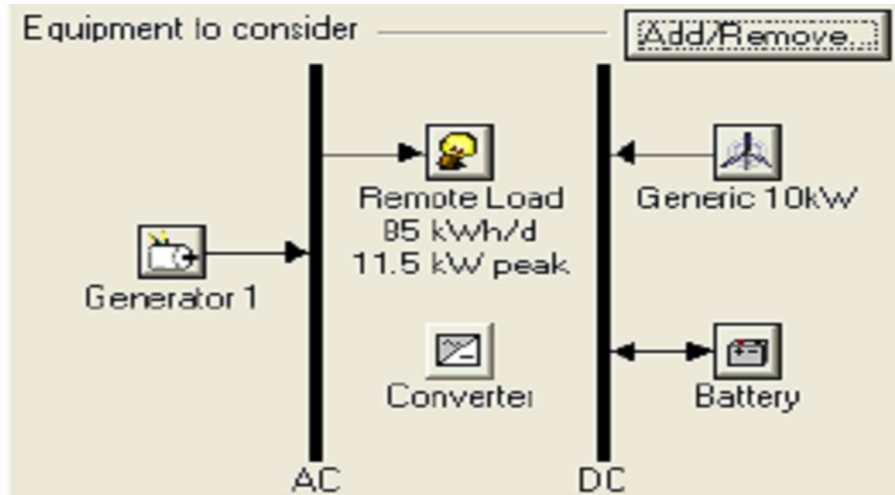
Şekil 6.8. Homer ana sayfa

Sonraki basamakta yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikleri yüklenir. Bu basamakta meteorolojik veriler göz önünde bulundurulur. Bu bölümde yapılan tasarımda sadece rüzgâr türbini kullanıldığından rüzgâr ilgili olarak aylık ortalama

rüzgâr değerleri girilir, eğer sistem fotovoltaik kaynak olsaydı güneşin aylık radyasyon seviyesiyle havanın açık olduğu günlerle ilgili bilgiler girilir. Şekil 6.9’da tasarımda kullanılacak rüzgar kaynağı ile ilgili olarak aylık ortalama rüzgar hızları verilmiştir. Sonraki basamakta yük kaynağımız AC olduğundan DC kaynakların sistemdeki yükü beslemesi ve fazla yükün bataryayı beslemesi için konverter eklenir. Şekil 6.10’da görüldüğü gibi konverter sisteme “add remove” butonu kullanılarak eklenmiştir.



Şekil 6.9. Homer rüzgar sayfası



Şekil 6.10. Homer ana sayfa

Bu aşamada konverterin boyutu, maliyeti yapım maliyeti ve saatlik maliyeti yüklenir. Son basamak ise optimizasyon sonuçlarının hesaplanmasıdır. Bu aşamada simülasyonun başlaması için “calculate” tuşuna basılır. HOMER programı simülasyonu

bitirdiğinde Şekil 6.11’de toplam net şimdiki maliyet göz önünde bulundurulardan sınıflandırılmış optimizasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 6.11’de 2 tip optimizasyon sonucu görülmektedir. Şekil 6.11’de üstte görülen sistem toplam net şimdiki maliyeti düşük olan dizel jeneratör,batarya ve konverterden oluşan sistemdir. Şekil 6.11’de altta görülen sistem ise rüzgâr türbini, dizel jeneratör, batarya ve konverterden oluşan sistem görülmektedir.

Şekil 6.12’de ise şekil 6.11’den farklı olarak sadece toplam şimdiki net maliyeti olan sistemler değil oluşturulabilecek tüm sistemler görülmektedir.

Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
		<input checked="" type="radio"/> Categorized <input type="radio"/> Overall									
Icon	Icon	G10	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
			15	8	6	\$ 30,900	\$ 319,857	0.806	0.00	17,685	6,981
		1	15	8	6	\$ 60,900	\$ 334,759	0.844	0.21	15,570	6,277

Şekil 6.11. Homer sınıflandırılmış optimizasyon sonuçları sayfası

Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
		<input type="radio"/> Categorized <input checked="" type="radio"/> Overall									
Icon	Icon	G10	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
			15	8	6	\$ 30,900	\$ 319,857	0.806	0.00	17,685	6,981
		1	15	8	6	\$ 60,900	\$ 334,759	0.844	0.21	15,570	6,277
			15	8	12	\$ 36,900	\$ 335,591	0.846	0.00	17,685	6,981
		1	15	8	12	\$ 66,900	\$ 349,442	0.881	0.21	15,502	6,246

To the Overall Optimization Results table, HOMER displays a list of the four systems

Şekil 6.12. Homer tüm optimizasyon sonuçları sayfası

Şekil 6.13’de elektriksel olarak oluşan ideal sistemlerin simülasyon sonuçları görülmektedir. Bu şekilde oluşturulan sistemlerin bileşenlerin yükü karşılayabildikleri oranlar ile her bir bileşenin ne kadar elektrik ürettiği ve bunun yanında fazla aynı zamanda eksik elektrik oranı görülmektedir.

Cost	Electrical	Generic 10kW	Generator 1	Battery	Emissions	Hourly Data
Annual electrical energy production			Annual electric loads served			
Wind turbine:		8,337 kWh	(22%)	AC primary load served		31,025 kWh
Generator 1:		29,465 kWh	(78%)			
Total production:		37,801 kWh		Total load served:		31,025 kWh
Renewable fraction:		0.221		Excess electricity:	1,071 kWh	(3%)
				Unmet electric load:	0.0000486 kWh	(0%)
				Capacity shortage:	0 kWh	(0%)

Şekil 6.13. Homer simülasyon sonuçları sayfası

7. HOMER SİMÜLASYON VE OPTİMİZASYON PROGRAMIYLA OLUŞTURULAN SİSTEM TASARIMLARI

Bu bölümde iki farklı tasarım yapılmıştır. Bunlardan ilki Hatay ili İskenderun ilçesi için yapılan tasarımdır. Bu tasarımda HOMER 2.67 versiyonu kullanılmıştır. Diğer tasarımda ise HOMER 2.19 versiyonu kullanılarak ve ilk tasarıma göre tüm özellikleri değiştirilerek tasarım yapılmıştır.

7.1. İskenderun İlçesi İçin Yapılan Sistem Tasarımı

İskenderun 35-55 kuzey enlemi ile 36-09 doğu boylamı mevkiindedir. İskenderun Körfezinin doğusunda Amanos Dağı eteğinde kurulmuştur. Mevcut puant-güç 42224 kVA olup, gözlem tahmin ve besleme trafolarının ayrıştırılması sonucu bu değer elde edilmiştir.

2005 yılı için kişi başına güç ihtiyacı 250 W/Kişi

2010 yılı için kişi başına güç ihtiyacı 300 W/kişi

2015 yılı için kişi başına güç ihtiyacı 350 W/kişi

2020 yılı için kişi başına güç ihtiyacı 400 W/Kişi

2025 yılı için kişi başına güç ihtiyacı 450 W/Kişi

olarak varsayılırsa;

2005 yılı güç ihtiyacı $175886 \times 250 = 43971 \text{ kw} \times 1,25 = 54,964 \text{ MVA}$

2010 yılı güç ihtiyacı $194385 \times 300 = 58315 \text{ kw} \times 1,25 = 72,894 \text{ MVA}$

2015 yılı güç ihtiyacı $214828 \times 350 = 75189 \text{ kw} \times 1,25 = 93,987 \text{ MVA}$

2020 yılı güç ihtiyacı $237422 \times 400 = 94968 \text{ kw} \times 1,25 = 118,711 \text{ MVA}$

2025 yılı güç ihtiyacı $262392 \times 450 = 118076 \text{ kw} \times 1,25 = 147,595 \text{ MVA}$

olacaktır.

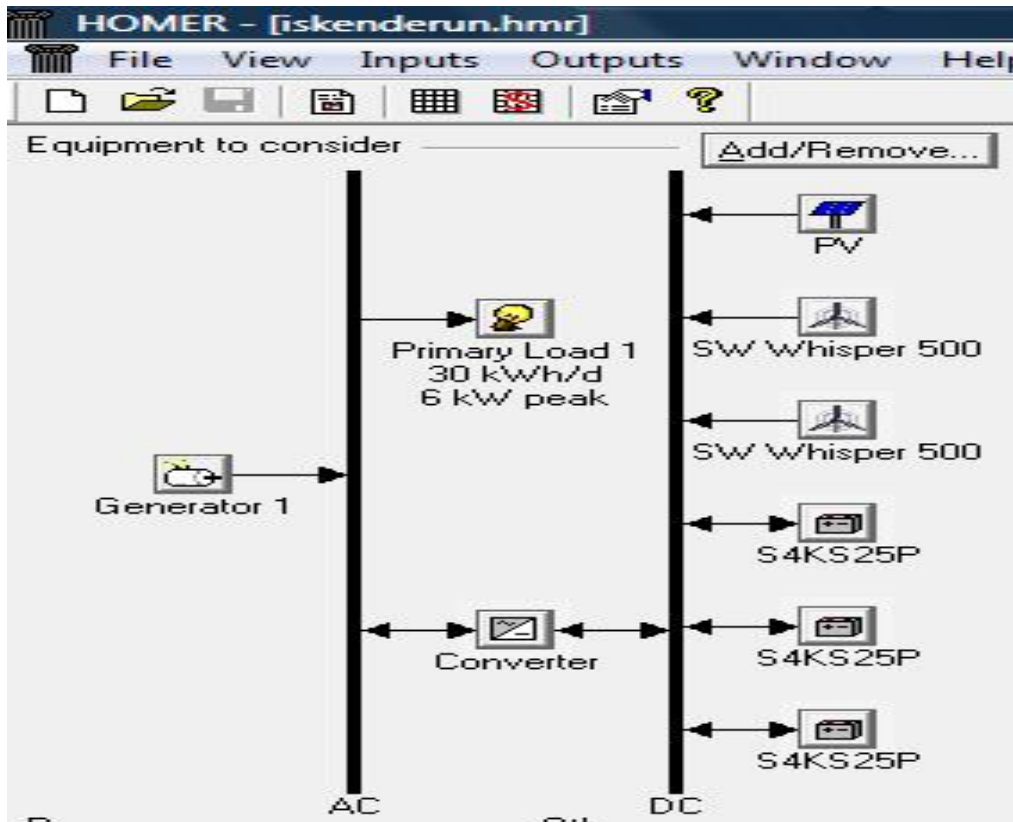
Yukarıda görüleceği üzere İskenderun uzun dönem güç ihtiyacı ortalama 147,5 MVA'dır. Bu gelişmeler doğrultusunda İskenderun'da meydana gelen aşırı yük artışı mevcut trafolar tarafından karşılanamayacak olup kente uzak noktalarda kurulacak olan bloklarda şebekeden bağımsız olarak farklı alternatif enerji (rüzgâr, güneş, hidrojen vb.) gibi kaynaklardan oluşan sistemlere ihtiyaç duyulacaktır.

Tablo 5. Bir evin enerji tüketim tablosu

Cihaz türü	Çalışma süresi(saat)	Güç(watt)	Günlük enerji ihtiyacı(Wh)
Buzdolabı	9	2000	18000
Bulaşık makinesi	1	1500	1500
Çamaşır makinesi	2	1250	2500
Elektrikli süpürge	1	1300	1300
Fırın	1	1000	1000
Bilgisayar	3	200	600
Müzik Seti	1	150	150
Televizyon	5	150	750
Ütü	1	1000	1000
Klima	1	2000	2000
Aydınlatma	7	200	1400
Ütü	1	1000	1000
Şofben	1	2000	2000

Tablo 5’de bir evin tüketim tablosu görülmektedir. Bu tablo oluşturulurken cihazların çektiği en yüksek güçler baz alınmıştır. Tablo 5’e göre günlük tüketilen güç 33200 Wh’dır. Tablo 5’deki tüketilen güç yük kaynağı olarak kabul edilerek HOMER programıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan sistem tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan sistem rüzgâr türbini, güneş pili, batarya ve dizel jeneratörden oluşmaktadır. Tasarımı yapılan sistemi Şekil 7.1’de görülmektedir.

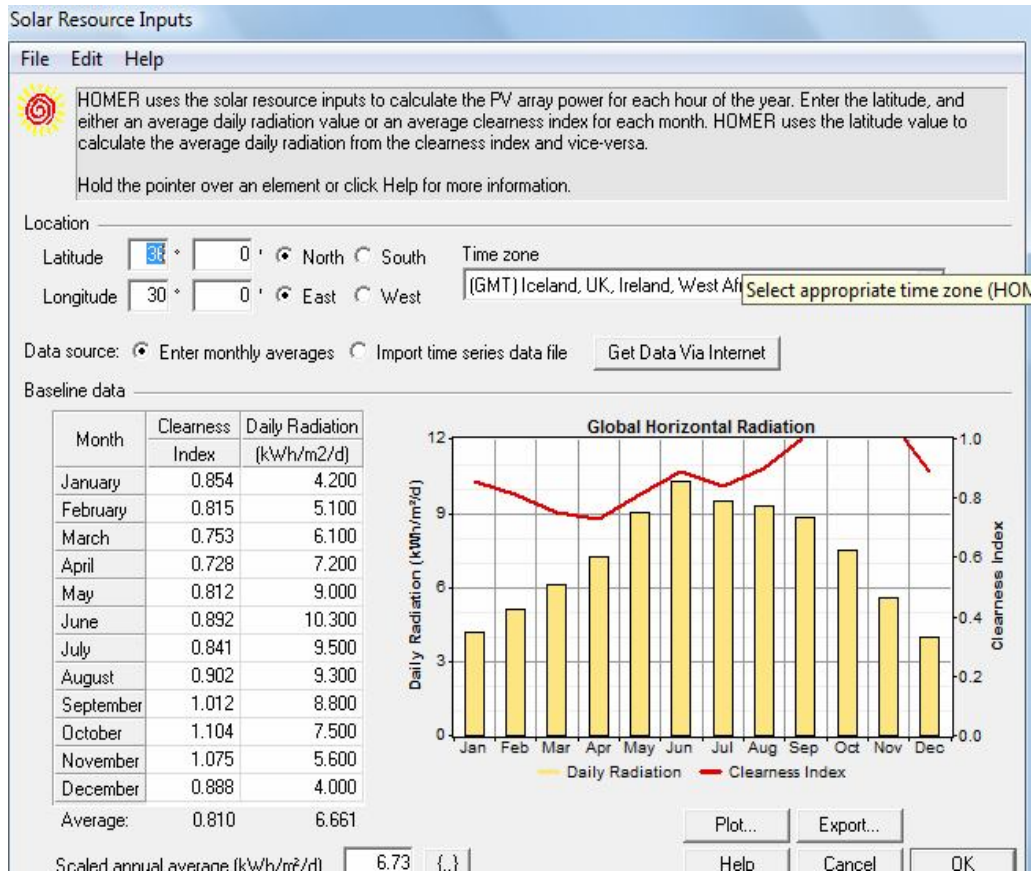
Şekil 7.1’de HOMER ana sayfası görülmektedir. Sistem tasarımı yapılırken enerji kaynakları olarak güneş ve rüzgâr kaynağı kullanılmıştır. Batarya ve jeneratör sistemin enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla sisteme yerleştirilmiştir. Bunun dışında sistemimizin optimum olmasını sağlayacak diğer koşullar olan ekonomik, jeneratör kontrolü, emisyon gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Sistemimizin kaynak karakterleri(güneş, rüzgâr) sırasıyla görülmektedir.



Şekil 7.1. Homer ana sayfası

7.1.1. Güneş kaynağı

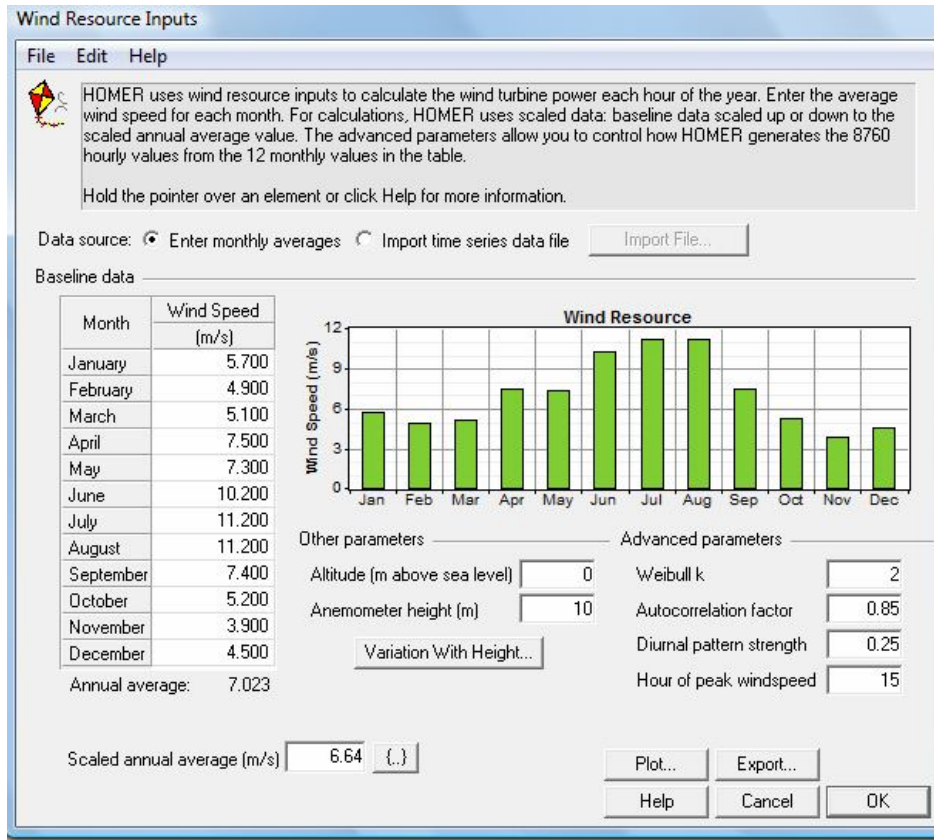
Şekil 7.1’de tasarlanan enerji kaynaklarından birisi güneş enerjisidir. Yukarıdaki sistemde kullandığımız güneş kaynağı konum olarak kuzey yarımkürede 36 derecede yer alan bir kaynaktır. Şekil 7.2’de güneş kaynağının açıklık katsayısı ve günlük ışınım değerleri görülmektedir. Buna göre aydınlık seviyesi en yüksek ay ekim ayıdır. Günlük ışınım oranı ise en yüksek haziran ayında olmaktadır.



Şekil 7.2. Güneş kaynağı sayfası

7.1.2. Rüzgâr kaynağı

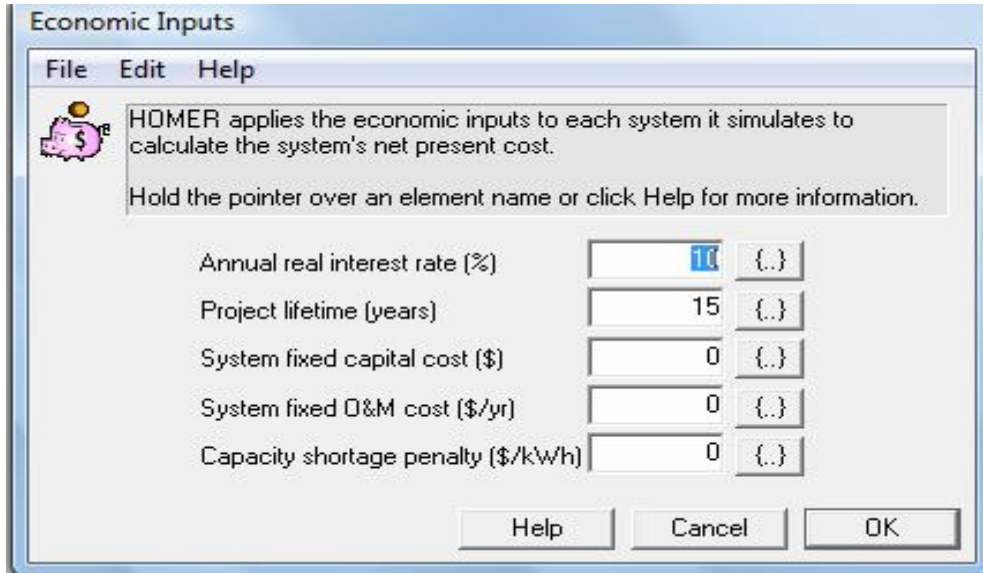
Şekil 7.3’de tasarımı yapılan sistemin enerji kaynaklarından rüzgar kaynağının parametreleri görülmektedir. Burada aylık ortalama değerler göz önünde bulundurulmuştur. Ortalama değerler göz önünde bulundurularak en rüzgârlı ayın temmuz ve ağustos ayı en rüzgârsız ayın ise kasım ayı olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızının üzerinde 6 ay bulunduğu görülmektedir. Anemometre yüksekliği 10 metredir.



Şekil 7.3. Rüzgar kaynağı sayfası

7.1.3. Ekonomik parametreler

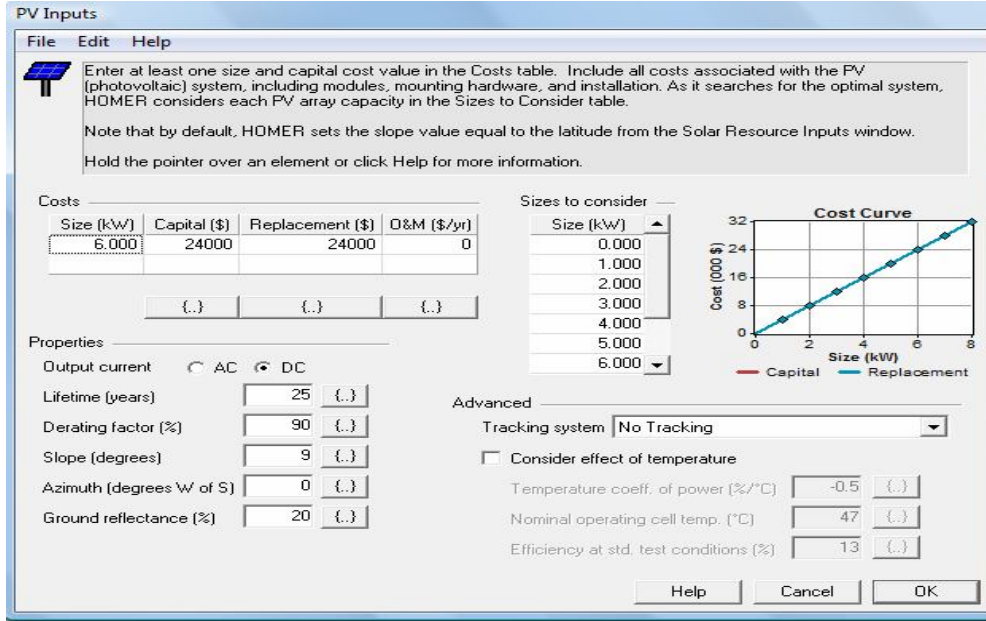
Şekil 7.4'de ekonomik parametreler görülmektedir. Ekonomik parametreler yıllık enflasyon oranı ile proje ömrüdür. Enflasyon oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Projenin ömür süresi ise 15 yıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.4. Ekonomik parametreler sayfası

7.1.4. Fotovoltaik pilin giriş bilgileri

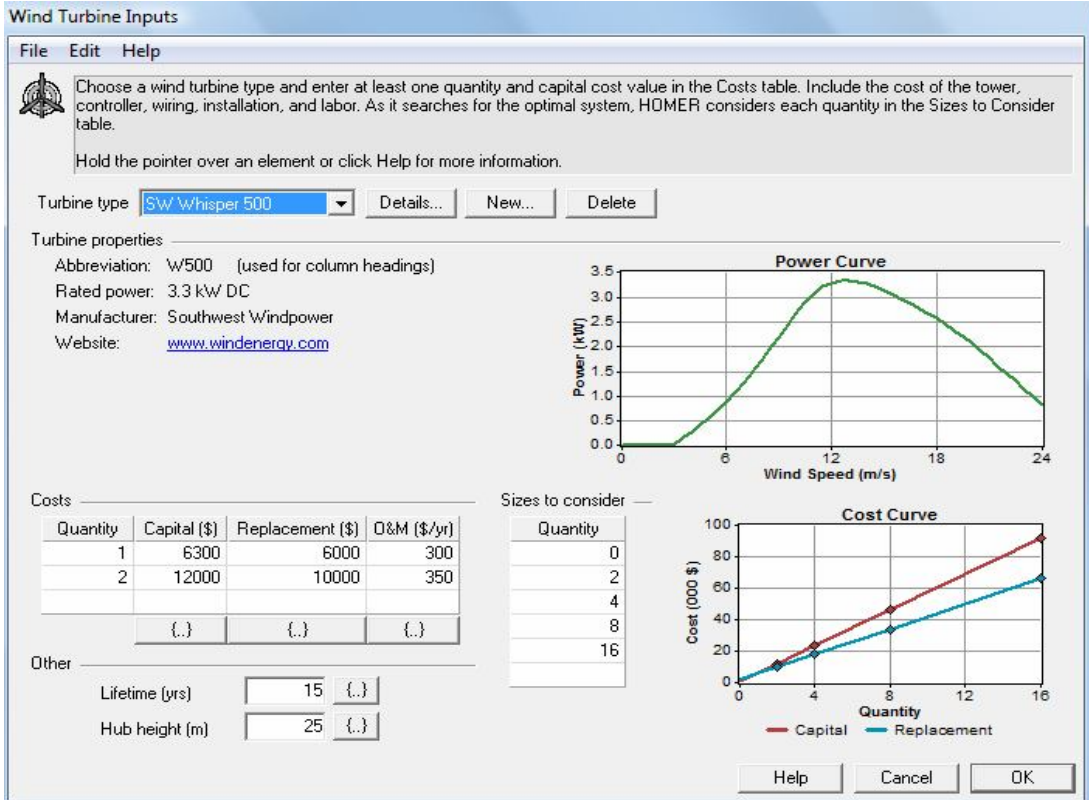
Şekil 7.5’de fotovoltaik pilin bilgileri görülmektedir. Fotovoltaik pilin boyutu yani büyüklüğü 6 kW ilk kurulum ve yenileme maliyeti 24000\$ olup herhangi bir yakıt masrafı olmadığından yakıt masrafı 0 olarak kabul edilmiştir. Güneş pilinin ömür süresi 20 yıl olarak belirlenmiştir. Güneş takip sistemi kullanılmamıştır.



Şekil 7.5. Fotovoltaik pil giriş bilgileri sayfası

7.1.5. Rüzgâr türbininin giriş bilgileri

Şekil 7.6'da sistem tasarımında kullanılan rüzgar türbiniyle ilgili bilgiler verilmektedir. İlk maliyet tek bir türbin için 6300 \$ iken iki türbin için 12000 \$'dır. Tasarlanan sistemde 2 adet rüzgâr türbini kullanılmıştır. Rüzgâr türbinin ömrü ise 15 yıldır.



Şekil 7.6. Rüzgâr türbini giriş bilgileri sayfası

7.1.6. Bataryanın giriş bilgileri

Şekil 7.7’de sistem tasarımında kullanılan bataryaların özellikleri görülmektedir. Batarya olarak surette 4KS25P seçilmiştir. Bataryanın maliyeti 3900\$ yenileme maliyeti 3600 \$ ve yıllık işletme maliyeti 120 \$’dır. Her bir bataryanın voltajı 4 V olarak belirlenmiştir.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: **Surrette 4KS25P** Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Rolls/Surrette
Website: www.rollsbattery.com

Nominal voltage: 4 V
Nominal capacity: 1,900 Ah (7.6 kWh)
Lifetime throughput: 10,569 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	D&M (\$/yr)
1	1350	1300	50.00
3	3900	3600	120.00
{.}	{.}	{.}	{.}

Advanced

Batteries per string: 1 (4 V bus)

Minimum battery life (yr): 4 {.}

Sizes to consider

Batteries
0
4
8
12
16
20
40

Cost Curve

Cost (000 \$)

Quantity

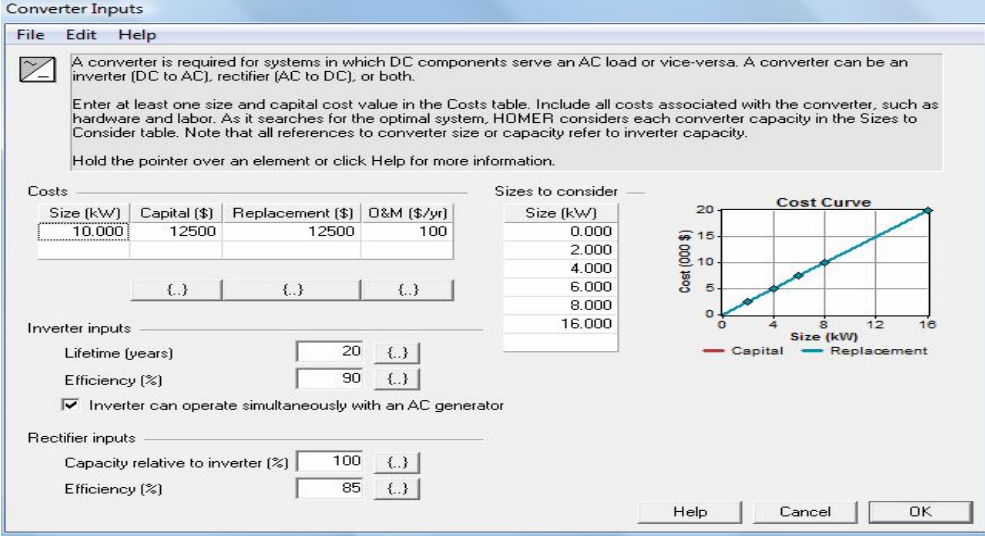
— Capital — Replacement

Help Cancel OK

Şekil 7.7. Batarya giriş bilgileri sayfası

7.1.7. Konverterin giriş bilgileri

Şekil 7.8’de konverterle ilgili giriş bilgileri verilmiştir. Konverterle ilgili olarak giriş parametresi olarak 10 kW güç 12500 \$ maliyet 12500 \$ yenileme maliyeti ve yıllık olarak 100 \$’lık yakıt masrafı maliyet değeri olarak girilmiştir. İnverterin yaşam ömrü 20 yıl olup verimi % 90’dır.



The screenshot shows the 'Converter Inputs' dialog box with the following data:

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
10.000	12500	12500	100

Inverter inputs:

- Lifetime (years): 20
- Efficiency (%): 90
- Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs:

- Capacity relative to inverter (%): 100
- Efficiency (%): 85

Cost Curve:

The graph shows Cost (000 \$) on the y-axis (0 to 20) and Size (kW) on the x-axis (0 to 16). A red line represents Capital cost, and a blue line represents Replacement cost. The total cost is the sum of these two lines.

Şekil 7.8. Konverter giriş bilgileri sayfası

7.1.8. Jeneratörün giriş bilgileri

Şekil 7.9’da jeneratörün giriş bilgileri verilmiştir. Jeneratörün gücü 8 kW olup, ürün maliyeti 6500 \$, ilk kurulum maliyeti 5500 \$ ve saatlik yakıt masrafı 0.2 \$’dır. Jeneratörün ömrü 15000 saattir.

Şekil 7.9. Jeneratör giriş bilgileri

7.1.9. Yük karakteristiğinin giriş bilgileri

Şekil 7.10. Yük karakteristiği sayfası

Şekil 7.10'daki yük karakteristiği oluşturulurken tablo 5'teki değerlerden yararlanılmıştır. Yük profili oluşturulurken ocak ayı baz alınmıştır. Yük karakteristiği olarak birincil yük seçilmiştir. Yükün cinsi AC'dir ve yukarıda günlük dağılımı görülmektedir. Akşam 17 ile gece 22 arası en fazla yük çekilmektedir.

Şekil 7.11'de tüm sistem parametreleri göz önünde bulundurularak oluşturulan sistemler sınıflandırılmış olarak görülmektedir. Bunlar sadece dizel, batarya, konverter veya güneş, batarya, konverter vb. sistemlerin en idealleri "categorized" tuşunun seçilmesiyle belirlenmiştir. Bu sistemlerden en yukarıdaki sistem şimdiki net maliyet göz önünde bulundurularak en ideal sistem bulunmuştur. Bu sistem maliyet olarak en düşük olmasının yanında sisteminin yükünün karşılayabilmektedir. Şekil 7.12'de en üstteki sistemin elektriksel olarak simülasyon sonuçları görülmektedir.

Calculate Simulations: 19440 of 19440 Progress: Sensitivities: 1 of 1 Status: Completed in 7:01.

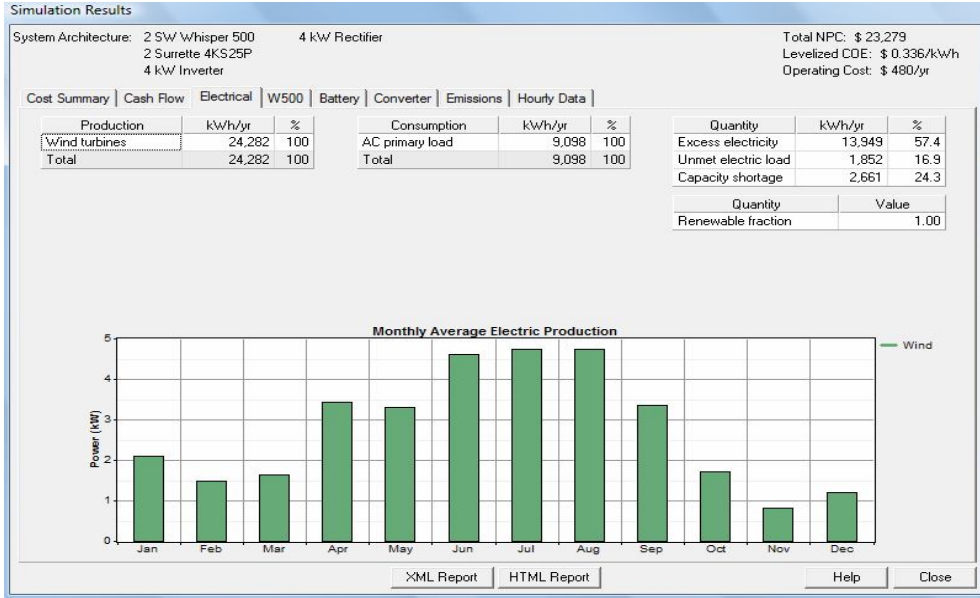
Sensitivity Results Optimization Results

Double click on a system below for simulation results. Categorized Overall [Export...](#)

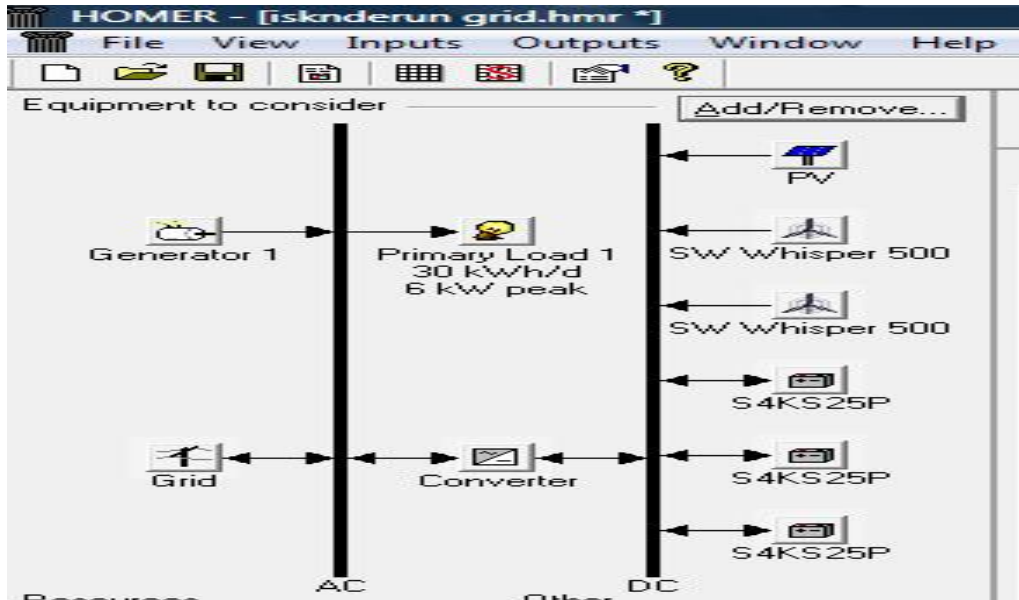
	PV (kW)	W500	W500	Label (kW)	S4KS25P	S4KS25P	S4KS25P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
		2				2		4	\$ 19,625	480	\$ 23,279	0.336	1.00	0.24		
	1	2					4	2	\$ 23,675	392	\$ 26,655	0.378	1.00	0.21		
	6						8	4	\$ 39,275	-186	\$ 37,864	0.579	1.00	0.24		
	2	4					4	4	\$ 36,400	350	\$ 39,062	0.539	1.00	0.24		
	2	2		8			4	4	\$ 28,675	1,636	\$ 41,115	0.494	0.90	0.00	1,268	942
	1	2		8			4	4	\$ 32,675	1,231	\$ 42,042	0.505	0.93	0.00	943	692
	2			8			4	2	\$ 22,175	3,986	\$ 52,490	0.630	0.37	0.00	3,659	2,526
		8					4	4	\$ 51,200	651	\$ 56,149	0.758	1.00	0.19		
				8			8	2	\$ 19,275	5,957	\$ 64,587	0.775	0.00	0.00	5,481	3,212
	2		3	8			4	4	\$ 37,200	4,359	\$ 70,352	0.845	0.86	0.00	3,532	2,825
		4		8			4	4	\$ 34,900	4,707	\$ 70,699	0.849	0.87	0.00	3,690	2,956
	4			8			2	2	\$ 25,000	8,717	\$ 91,301	1.096	0.39	0.00	7,407	5,861
				8					\$ 6,500	13,487	\$ 109,084	1.310	0.00	0.00	11,004	8,760

Şekil 7.11. Optimizasyon sonuçları sayfası

Aynı sistemi şebekeye bağlayıp hiçbir giriş değerinde değişiklik yapmadan HOMER programı aracılığıyla yeniden simüle ve optimize edecek olunursa Şekil 7.13'deki sistem oluşmaktadır.



Şekil 7.12. Simülasyon sonuçları sayfası



Şekil 7.13. Homer ana sayfa (şebekeye bağlı sistem)

Şekil 7.14'de ise şebekeye bağlı olarak oluşturulan sistemin simülasyon ve optimizasyon sonuçları görülmektedir.

Şekil 7.14 ve 7.15'deki optimizasyon sonuçları kıyaslanacak olursa ikisinde de aynı ilk kurulum maliyetleri görülmektedir. Ancak toplam net maliyet göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapılacak olursa şebekeye bağlı sistemin maliyetinin 19.590\$ şebekeden bağımsız sistemin 23.279 \$ olduğu görülmektedir. Bunun sebebi şebekeye bağlı sistemin artan yükü şebekeye satarak maliyetlerini düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 7.16 ve Şekil 7.17'de şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemin elektriksel olarak simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

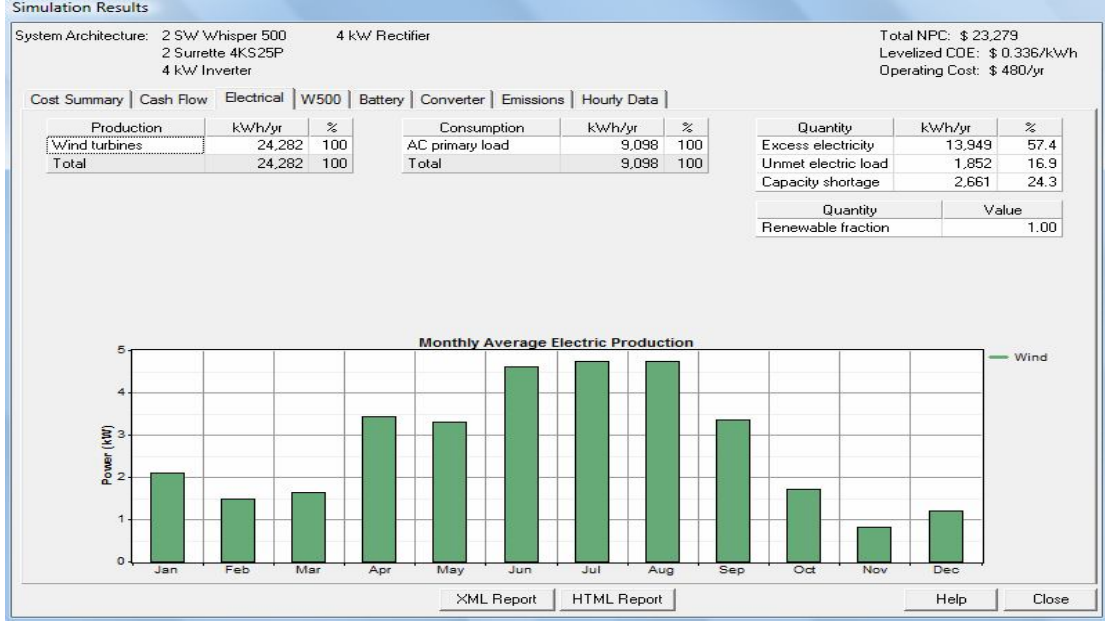
Sensitivity Results		Optimization Results														
Double click on a system below for simulation results.																
Categorized Overall Export...																
	PV (kW)	W500	W500	Label (kW)	S4KS25P	S4KS25P	S4KS25P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)
		2				2		4	0	\$ 19,625	-5	\$ 19,590	0.283	1.00	0.24	
	1	2					2	4	0	\$ 23,625	-101	\$ 22,854	0.319	1.00	0.20	
	2	4						6	0	\$ 38,900	-880	\$ 32,207	0.444	1.00	0.24	
	6							8	4	\$ 39,275	-337	\$ 36,715	0.561	1.00	0.24	
	2			8				4	4	\$ 28,675	1,126	\$ 37,239	0.447	0.90	0.00	1,268
	1	2		8				4	4	\$ 32,675	689	\$ 37,913	0.455	0.93	0.00	942
	1			8				8	0	\$ 56,200	-1,317	\$ 46,180	0.622	1.00	0.18	
	3			8				4	2	\$ 26,175	3,433	\$ 52,283	0.628	0.50	0.00	3,272
	1	4		8				6	0	\$ 41,400	2,761	\$ 62,398	0.749	0.89	0.00	3,311
	4			8				6	0	\$ 37,400	3,290	\$ 62,427	0.750	0.87	0.00	3,659
	1			8				8	2	\$ 19,275	5,957	\$ 64,587	0.775	0.00	0.00	5,481
	4			8				2	0	\$ 25,000	8,207	\$ 87,420	1.050	0.39	0.00	7,407
				8				0	0	\$ 6,500	12,955	\$ 105,039	1.261	0.00	0.00	11,004

Şekil 7.14. Şebekeye bağlı sistemin optimizasyon sonuçları

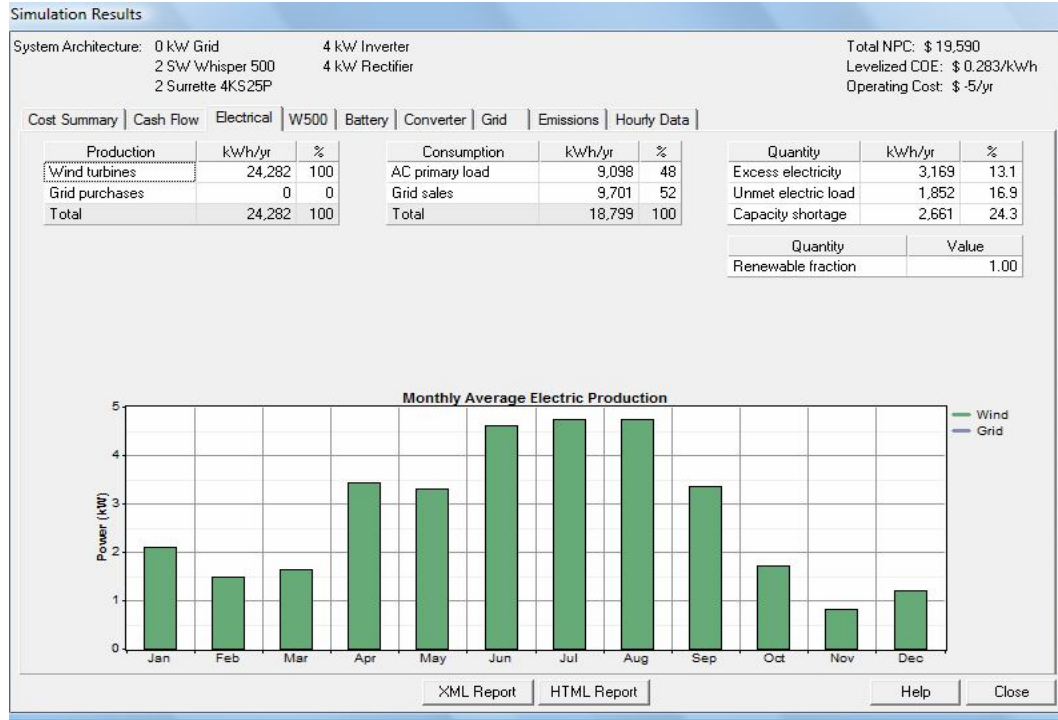
Sensitivity Results		Optimization Results														
Double click on a system below for simulation results.																
Categorized Overall Export...																
	PV (kW)	W500	W500	Label (kW)	S4KS25P	S4KS25P	S4KS25P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Label (hrs)
		2				2		4	\$ 19,625	480	\$ 23,279	0.336	1.00	0.24		
	1	2						4	\$ 23,675	392	\$ 26,655	0.378	1.00	0.21		
	6							8	\$ 39,275	-186	\$ 37,864	0.579	1.00	0.24		
	2	4						4	\$ 36,400	350	\$ 39,062	0.539	1.00	0.24		
	2			8				4	\$ 28,675	1,636	\$ 41,115	0.494	0.90	0.00	1,268	942
	1	2		8				4	\$ 32,675	1,231	\$ 42,042	0.505	0.93	0.00	943	692
	2			8				4	\$ 22,175	3,986	\$ 52,490	0.630	0.37	0.00	3,659	2,526
	1			8				4	\$ 51,200	651	\$ 56,149	0.758	1.00	0.19		
	2			8				8	\$ 19,275	5,957	\$ 64,587	0.775	0.00	0.00	5,481	3,212
	2		3	8				4	\$ 37,200	4,359	\$ 70,352	0.845	0.86	0.00	3,532	2,825
	4	4		8				4	\$ 34,900	4,707	\$ 70,699	0.849	0.87	0.00	3,690	2,956
	4			8				2	\$ 25,000	8,717	\$ 91,301	1.096	0.39	0.00	7,407	5,861
				8				0	\$ 6,500	13,487	\$ 109,084	1.310	0.00	0.00	11,004	8,760

Şekil 7.15. Şebekeden bağımsız sistemin optimizasyon sonuçları

Şekil 7.16 ve şekil 7.17’de sistemlerin elektrik üretim yönünden birbirlerinden hiçbir farklılıkların olmadığı görülmektedir. İki sistem arasındaki en önemli fark şebekeye bağlı sistemin fazla enerjiyi şebekeye satarak sistemin işletme maliyetinin düşmesidir.



Şekil 7.16. Şebekeden bağımsız sistemin elektriksel sonuçları

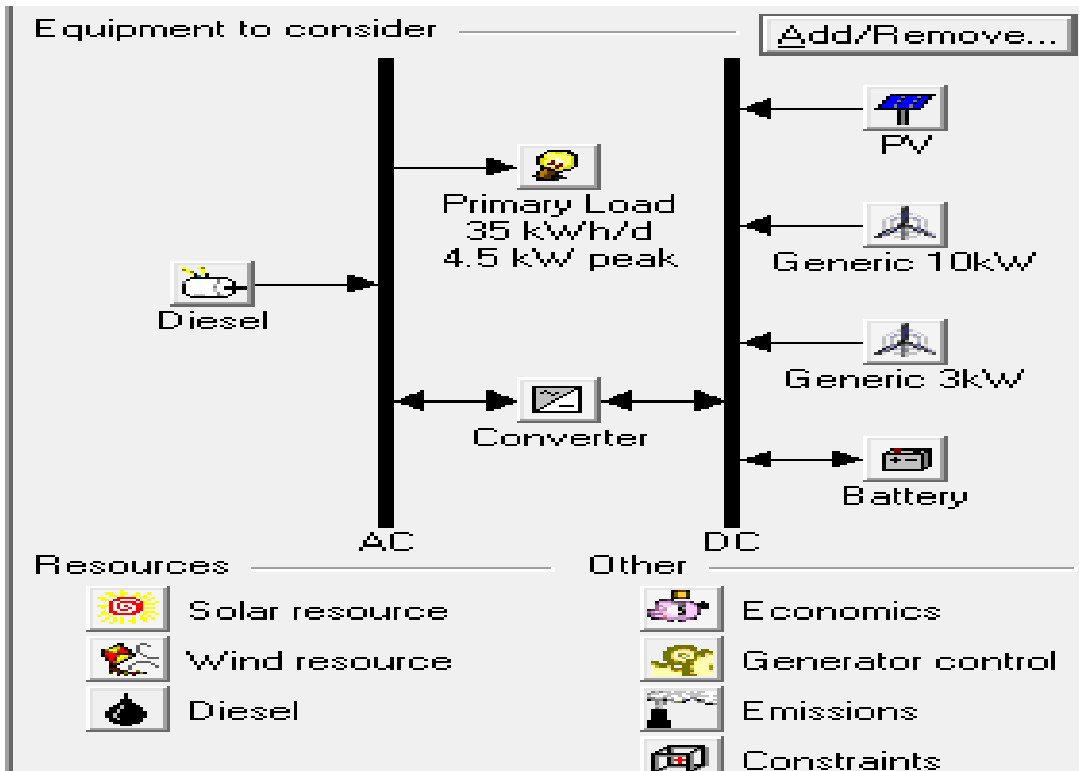


Şekil 7.17. Şebekeye bağlı sistemin elektriksel sonuçları

7.2. HOMER 2.19 Versiyonuyla Yapılmış Bir Tasarım

Bu bölümde, Bölüm 5’de anlatılan simülasyon basamakları izlenerekten yeni bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistemde şebekeye bağlı AC karakterli bir yük bulunmaktadır. Bu yükün beslenebilmesi için oluşturulan sistemde güneş enerjisinden yararlanan fotovoltaik pil, iki tane 3 kW ve 10 kW gücünde rüzgâr türbini, batarya, dizel jeneratör ve konverter kullanılmıştır. Bu sistemde batarya ve dizel jeneratör kullanılarak enerjinin sürekliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 7.18’de HOMER programı yardımıyla oluşturulan sistem görülmektedir.

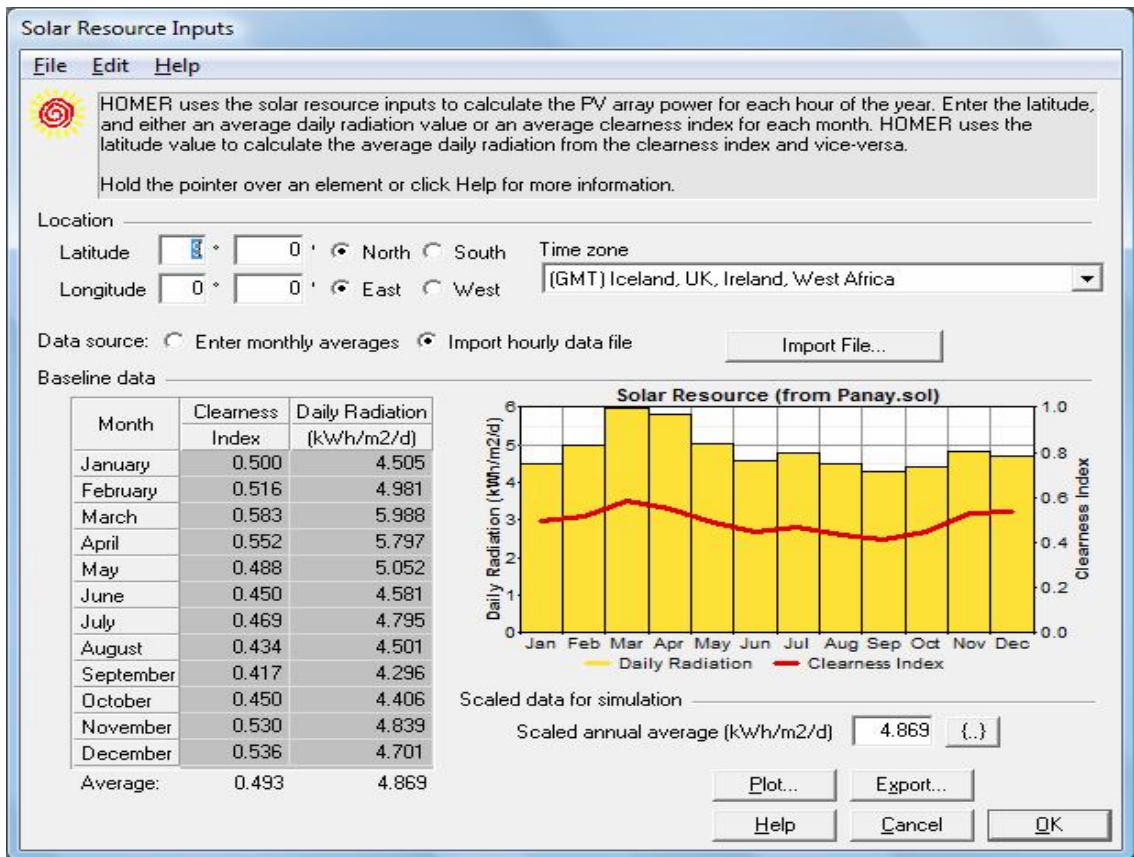
Şekil 7.18’de oluşturulan sistemin kaynaklarını göz önünde bulundurulursa bunlar güneş pilleri, rüzgâr türbini, batarya ve dizel jeneratördür. Bunun dışında sistemin optimizasyonunda baz alınacak diğer koşullar olan ekonomik parametreler, emisyon gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 7.18. Homer ana sayfası

7.2.1. Güneş kaynağı

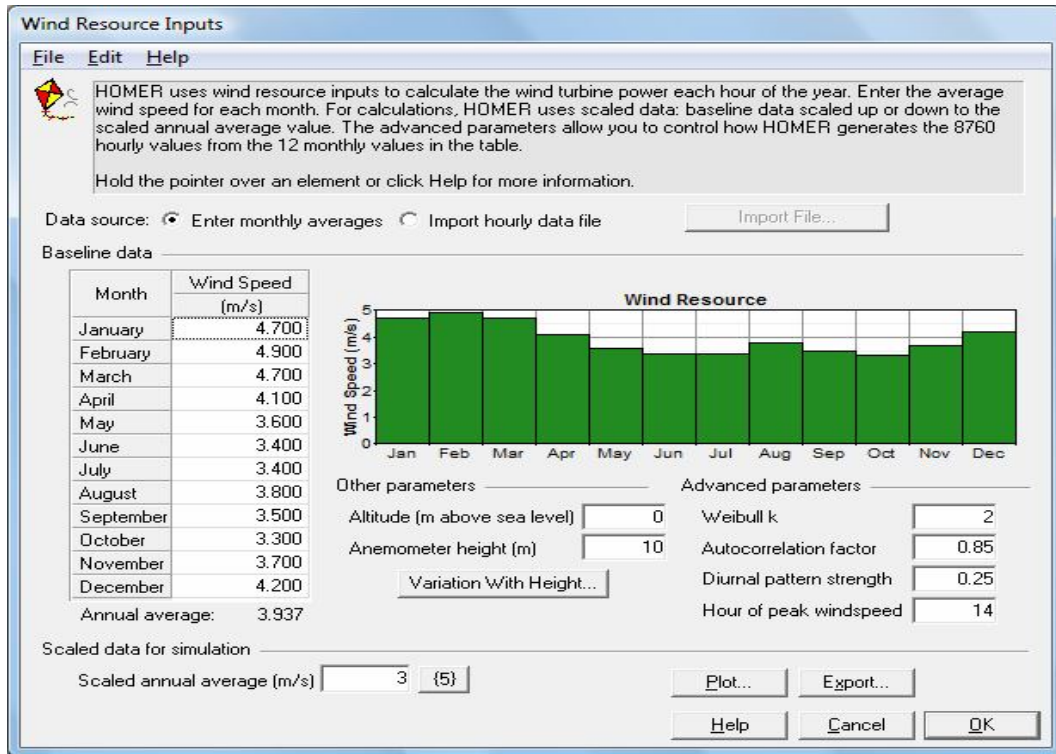
Şekil 7.19'da tasarlanan enerji kaynaklarından birisi güneş enerjisidir. Yukarıdaki sistemde kullandığımız güneş kaynağı konum olarak kuzey yarımkürede 7 derecede yer alan ve saatlik güneş datalarını alarak çalışan bir kaynaktır. HOMER'de derece girilmesi yeterlidir. Bu şekilde doğrudan NASA'dan açıklık ve aydınlık değerleri alınır.



Şekil 7.19. Güneş kaynağı sayfası

7.2.2. Rüzgâr kaynağı

Şekil 7.20’de tasarımı yapılan sistemin enerji kaynaklarından rüzgâr kaynağının parametreleri görülmektedir. Burada aylık ortalama değerler göz önünde bulundurulmuştur. Ortalama değerler göz önünde bulundurulurken en rüzgârlı ayın şubat ayı en rüzgârsız ayın ise ekim ayı olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızının üzerinde 5 ay bulunduğu görülmektedir. Anemometre yüksekliği 10 metredir.



The screenshot shows the 'Wind Resource Inputs' dialog box. It includes a menu bar (File, Edit, Help), a help text area, and a 'Data source' section with radio buttons for 'Enter monthly averages' (selected) and 'Import hourly data file'. Below this is a 'Baseline data' table and a 'Wind Resource' bar chart. The 'Other parameters' section includes 'Altitude (m above sea level)' (0), 'Anemometer height (m)' (10), and a 'Variation With Height...' button. The 'Advanced parameters' section includes 'Weibull k' (2), 'Autocorrelation factor' (0.85), 'Diurnal pattern strength' (0.25), and 'Hour of peak windspeed' (14). At the bottom, there is a 'Scaled data for simulation' section with a 'Scaled annual average (m/s)' input field (3) and a '{5}' button. Buttons for 'Plot...', 'Export...', 'Help', 'Cancel', and 'OK' are also present.

Month	Wind Speed (m/s)
January	4.700
February	4.900
March	4.700
April	4.100
May	3.600
June	3.400
July	3.400
August	3.800
September	3.500
October	3.300
November	3.700
December	4.200
Annual average:	3.937

Wind Resource

Other parameters: Altitude (m above sea level) 0, Anemometer height (m) 10, Variation With Height...

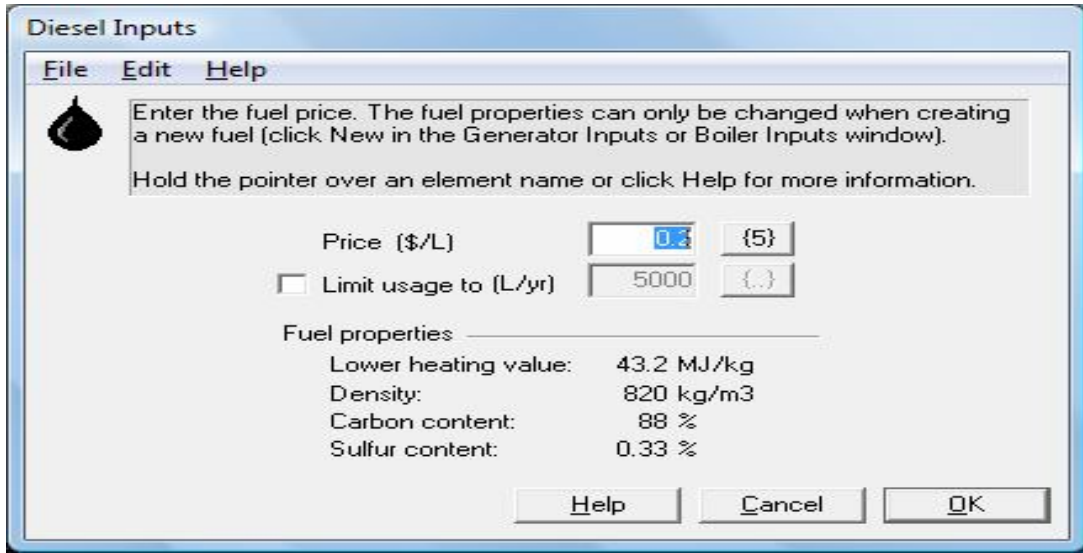
Advanced parameters: Weibull k 2, Autocorrelation factor 0.85, Diurnal pattern strength 0.25, Hour of peak windspeed 14

Scaled data for simulation: Scaled annual average (m/s) 3 {5}

Şekil 7.20. Rüzgâr kaynağı sayfası

7.2.3. Dizel yakıt masrafı

Şekil 7.21’de tasarımı yapılan sistemde enerjinin hiç kesilmemesini sağlamak amacıyla dizel jeneratörde sisteme eklenmiştir.dizel yakıtın litre fiyatı olarak 0.2\$’dır. Yoğunluğu 820 kg/m3 olup karbon oranı %88 sülfür oranı ise %0.33’dür.



Diesel Inputs

File Edit Help

Enter the fuel price. The fuel properties can only be changed when creating a new fuel (click New in the Generator Inputs or Boiler Inputs window).
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Price (\$/L) 0.2 {5}

Limit usage to (L/yr) 5000 {..}

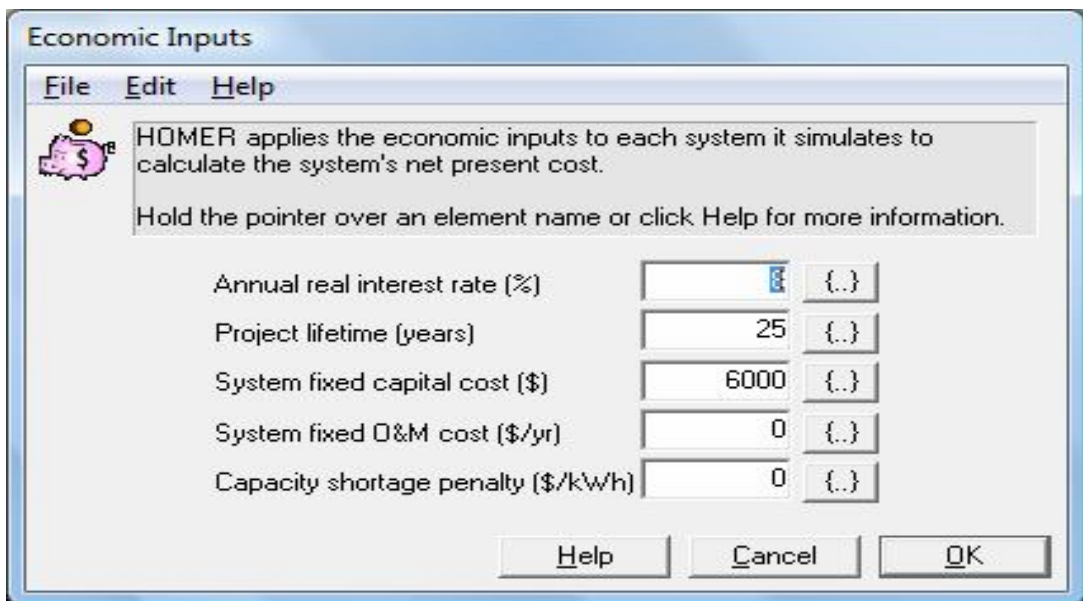
Fuel properties

Lower heating value: 43.2 MJ/kg
Density: 820 kg/m3
Carbon content: 88 %
Sulfur content: 0.33 %

Help Cancel OK

Şekil 7.21. Dizel kaynağı sayfası

7.2.4. Ekonomik parametreler



Economic Inputs

File Edit Help

HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Annual real interest rate (%) 6 {..}

Project lifetime (years) 25 {..}

System fixed capital cost (\$) 6000 {..}

System fixed O&M cost (\$/yr) 0 {..}

Capacity shortage penalty (\$/kWh) 0 {..}

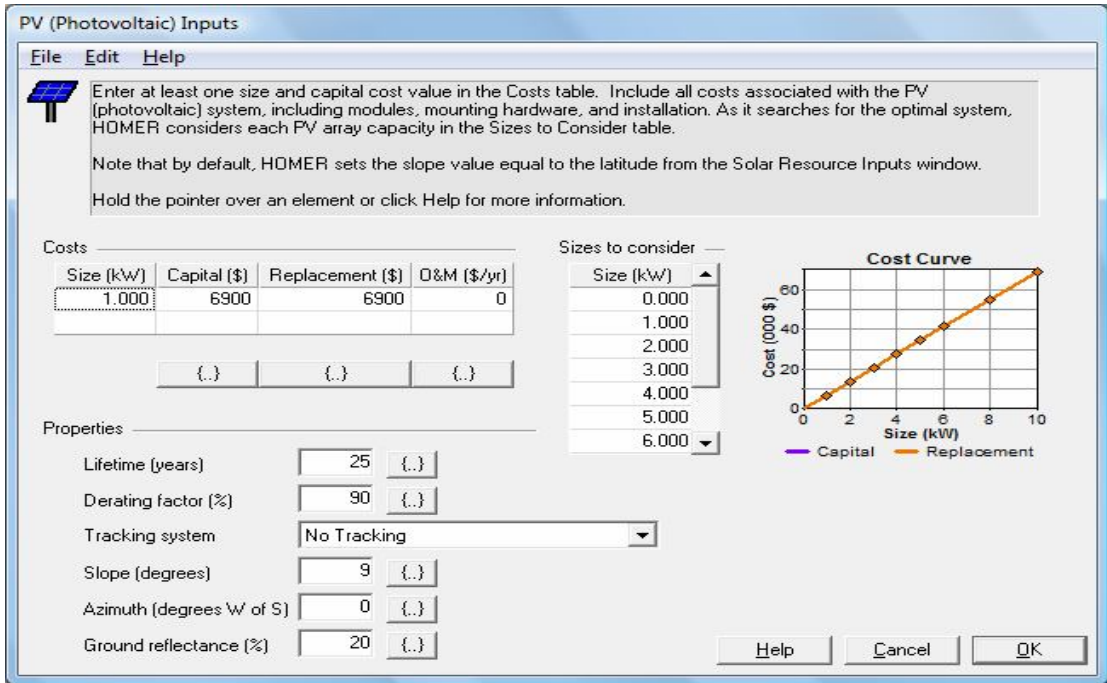
Help Cancel OK

Şekil 7.22. Ekonomik parametreler sayfası

Şekil 7.22’de ekonomik parametreler görülmektedir. Ekonomik parametreler yıllık enflasyon oranı ile proje ömrüdür. Enflasyon oranı %8 olarak kabul edilmiştir. Projenin ömür süresi ise 25 yıl olarak belirlenmiştir.

7.2.5. Fotovoltaik pilin giriş bilgileri

Şekil 7.23’de fotovoltaik pilin bilgileri görülmektedir. Fotovoltaik pilin boyutu yani büyüklüğü 1 kW ilk kurulum ve yenileme maliyeti 6900\$ olup herhangi bir yakıt masrafı olmadığından yakıt masrafı 0 olarak kabul edilmiştir. Güneş pilinin ömür süresi 25 yıl olarak belirlenmiştir. Güneş takip sistemi kullanılmamıştır.



Şekil 7.23. Fotovoltaik pil giriş bilgileri sayfası

7.2.6. Generic 3 kW rüzgâr türbininin giriş bilgileri

Şekil 7.24'de sistem tasarımında kullanılan rüzgâr türbiniyle ilgili bilgiler verilmektedir. İlk maliyet tek bir türbin için 11000\$ iken iki türbin için 20000 \$'dır. Tasarlanan sistemde 2 adet rüzgâr türbini kullanılmıştır. Rüzgâr türbinin ömrü ise 15 yıldır.

The screenshot shows the 'Wind Turbine Inputs' dialog box. It includes a menu bar (File, Edit, Help), a help text area, and several input sections:

- Turbine type:** Generic 3kW (dropdown menu)
- Turbine properties:** Abbreviation: G3, Manufacturer: (empty), Website: (empty), Current: DC
- Costs table:**

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	11000	7000	200
2	20000	12000	375
	{.}	{.}	{.}
- Sizes to consider:** A list box containing 0, 1, 2, 3.
- Other:** Lifetime (yrs) = 15, Hub height (m) = 19.9526

Two graphs are displayed on the right:

- Power Curve:** A line graph showing Power (kW) vs Wind Speed (m/s). The power starts at 0 at 0 m/s, rises to a peak of approximately 3.0 kW at 12 m/s, and then slightly decreases to about 2.0 kW at 24 m/s.
- Cost Curve:** A line graph showing Cost (000 \$) vs Quantity. It features two lines: a purple line for 'Capital' and an orange line for 'Replacement'. The Capital cost increases linearly from 0 to 20,000 as quantity goes from 0 to 2. The Replacement cost increases linearly from 0 to 12,000 as quantity goes from 0 to 2.

Şekil 7.24. Generic 3 kW rüzgâr türbini giriş bilgileri sayfası

7.2.7. Generic 10 kW rüzgâr türbininin giriş bilgileri

Şekil 7.25’de sistem tasarımında kullanılan rüzgâr türbiniyle ilgili bilgiler verilmektedir. İlk maliyet tek bir türbin için 27000\$ iken iki türbin için 50000 \$’dır. Tasarlanan sistemde 2 adet rüzgâr türbini kullanılmıştır. Rüzgâr türbinin ömrü ise 15 yıldır.

Wind Turbine Inputs

File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: Generic 10kW Details... New... Delete

Turbine properties:

Abbreviation: G10 (used for column headings)

Manufacturer:

Website:

Current: DC

Costs:

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	27000	23000	300
2	50000	43000	350
{.}	{.}	{.}	{.}

Sizes to consider —

Enter the quantities of wind turbines that you want HOMER

0
1
2

Other:

Lifetime (yrs): 15 {.}

Hub height (m): 19.9526 {.}

Power Curve:

Cost Curve:

Cost (000 \$) vs. Quantity

Capital (purple line), Replacement (orange line)

Help Cancel OK

Şekil 7.25. Generic 10 kW rüzgâr türbininin giriş bilgileri sayfası

7.2.8. Bataryanın giriş bilgileri

Şekil 7.26'da sistem tasarımında kullanılan bataryaların özellikleri görülmektedir. Batarya olarak surette 6CS25P seçilmiştir. Bataryanın maliyeti 1200\$ yenileme maliyeti 1100 \$ ve yıllık işletme maliyeti 50 \$'dır. Her bir bataryanın gerilimi 6 volt olarak belirlenmiştir.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: Surette 6CS25P Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Rolls/Surette
Website: www.rollsbattery.com

Nominal voltage: 6 V
Nominal capacity: 1,156 Ah (6.94 kWh)
Lifetime throughput: 9,645 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	1200	1100	50.00
	{.}	{.}	{.}

Advanced

Minimum battery life (yr) 4 {.}

Sizes to consider

Quantity
0
4
8
12
16
20
40

Cost Curve

Cost (000 \$)

Quantity

Capital Replacement

Help Cancel OK

Şekil 7.26. Batarya giriş bilgileri sayfası

7.2.9. Konverterin giriş bilgileri

Şekil 7.27’de konverterle ilgili giriş bilgileri verilmiştir. Konverterle ilgili olarak giriş parametresi olarak 10 kW güç 12500 \$ maliyet 12500 \$ yenileme maliyeti ve yıllık olarak 100 \$’lık yakıt masrafı maliyet değeri olarak girilmiştir. İnverterin yaşam ömrü 20 yıl olup verimi %90dır.

Converter Inputs

File Edit Help

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
10.000	12500	12500	100
{.}	{.}	{.}	{.}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
2.000
4.000
6.000
8.000

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)

Capital Replacement

Inverter inputs

Lifetime (years) {.}

Efficiency (%) {.}

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) {.}

Efficiency (%) {.}

Help Cancel OK

Şekil 7.27. Konverter giriş bilgileri sayfası

7.2.10. Dizel jeneratörün giriş bilgileri

Şekil 7.28’de jeneratörün giriş bilgileri verilmiştir. Jeneratörün gücü 8 kW olup, ürün maliyeti 6500 \$, ilk kurulum maliyeti 5500 \$ ve saatlik yakıt masrafı 0.2 \$’dır. Jeneratörün ömrü 15000 saattir.

Generator Inputs

File Edit Help

Choose a fuel, and enter at least one size, capital cost and operation and maintenance (O&M) value in the Costs table. Note that the capital cost includes installation costs, and that the O&M cost is expressed in dollars per operating hour. Enter a nonzero heat recovery ratio if heat will be recovered from this generator to serve thermal load. As it searches for the optimal system, HOMER will consider each generator size in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Cost Fuel Schedule Emissions

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)
8.000	6500	5500	0.200

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
8.000

Properties

Description Diesel Type AC DC

Abbreviation Dsl

Lifetime (operating hours) 15000

Minimum load ratio (%) 30

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)

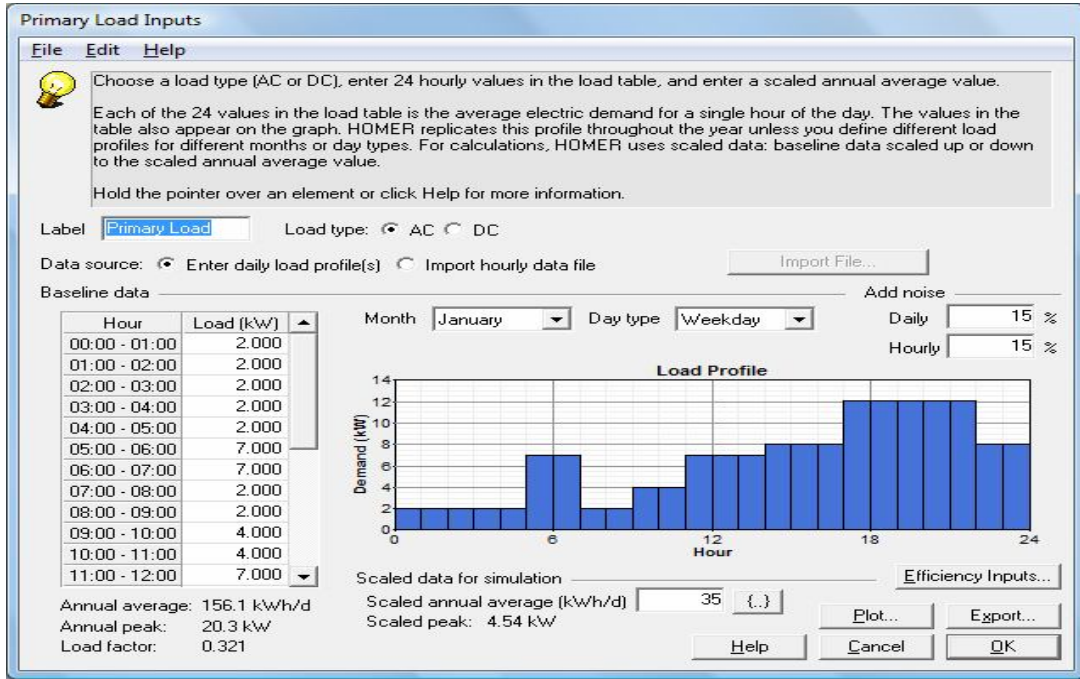
Capital Replacement

Help Cancel OK

Şekil 7.28. Dizel jeneratör giriş bilgileri sayfası

7.2.11. Yük karakteristiğinin giriş bilgileri

Şekil 7.29'da yük karakteristiği ilgili değerler görülmektedir. Yük profili oluşturulurken ocak ayı baz alınmıştır. Yük karakteristiği olarak birincil yük seçilmiştir. Yükün cinsi AC'dir ve yukarıda günlük dağılımı görülmektedir. Akşam 17 ile gece 22 arası en fazla yük çekilmektedir.



Şekil 7.29. Yük karakteristiği sayfası

Tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak simülasyon ve optimizasyon sonuçları elde edilmiştir. Burada HOMER programı farklı biçimlerde en optimum sistemler görülmektedir. Bu sistemlerden en uygun olanı en üstte olandır. Maliyet olarak en düşük sistem olmanın yanında sistemin yükünün istediği güce yanıt vermektedir. Şekil 7.31’de jeneratör, batarya ve konverterden oluşan sistemin maliyet olarak sonuçları görülmektedir.

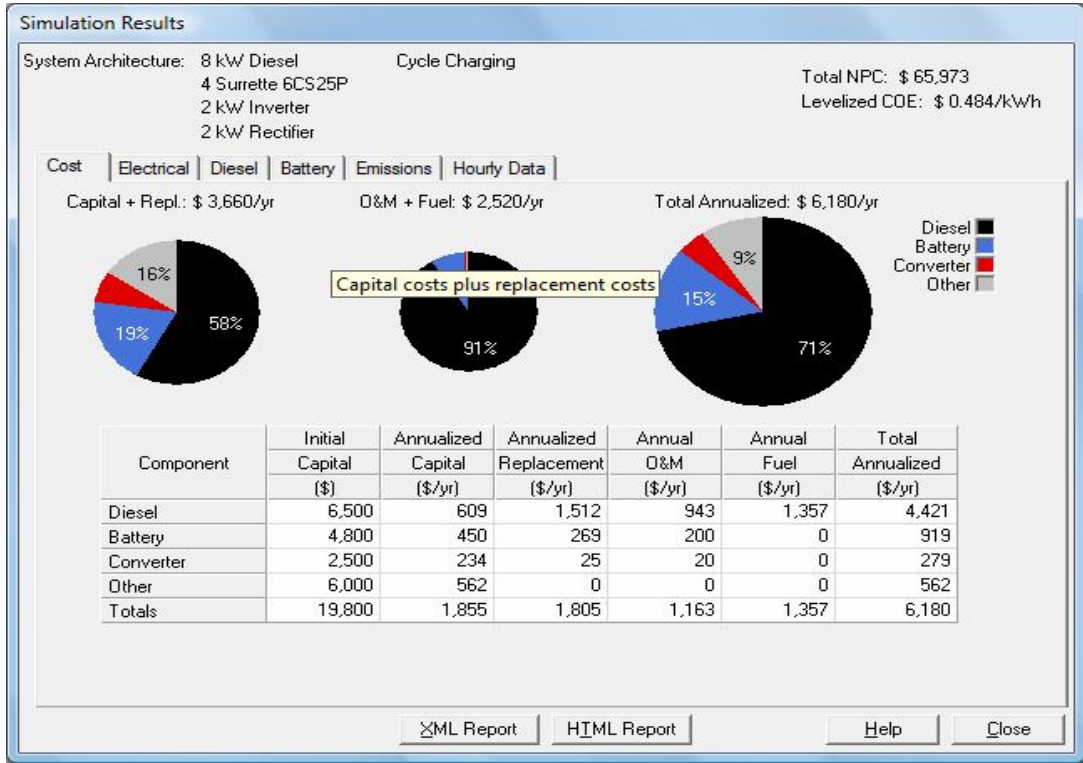
The screenshot shows the HOMER optimization results window. At the top, there are buttons for 'Calculate', 'Simulations: 0 of 7560', 'Sensitivities: 0 of 75', 'Progress:', and 'Status:'. Below this, there are tabs for 'Sensitivity Results' and 'Optimization Results'. The 'Optimization Results' tab is active, showing a table of system configurations. The table has columns for PV (kW), G10, G3, Del (kW), Batt., Conv. (kW), Disp. Strgy, Initial Capital, Total NPC, COE (\$/kWh), Ren. Frac., Capacity Shortage, Diesel (L), and Del (hrs). The table contains 8 rows of data, each representing a different system configuration. The first row is the most optimized system, with the lowest Total NPC and COE.

PV (kW)	G10	G3	Del (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	Del (hrs)
1			8	4	2	CC	\$ 19,800	\$ 65,973	0.484	0.00	0.00	6,787	4,714
1			8	4	2	CC	\$ 26,700	\$ 68,836	0.505	0.11	0.00	6,169	4,344
1		1	8	4	2	CC	\$ 30,800	\$ 79,464	0.583	0.05	0.00	6,520	4,582
1		1	8	4	2	CC	\$ 37,700	\$ 82,115	0.602	0.16	0.00	5,897	4,190
1			8			CC	\$ 12,500	\$ 87,346	0.641	0.00	0.00	11,049	8,760
1			8		2	CC	\$ 21,900	\$ 97,062	0.712	0.07	0.00	11,023	8,743
1		1	8		2	CC	\$ 26,000	\$ 105,061	0.770	0.03	0.00	10,999	8,735
1		1	8		2	CC	\$ 32,900	\$ 111,484	0.818	0.10	0.00	10,929	8,682

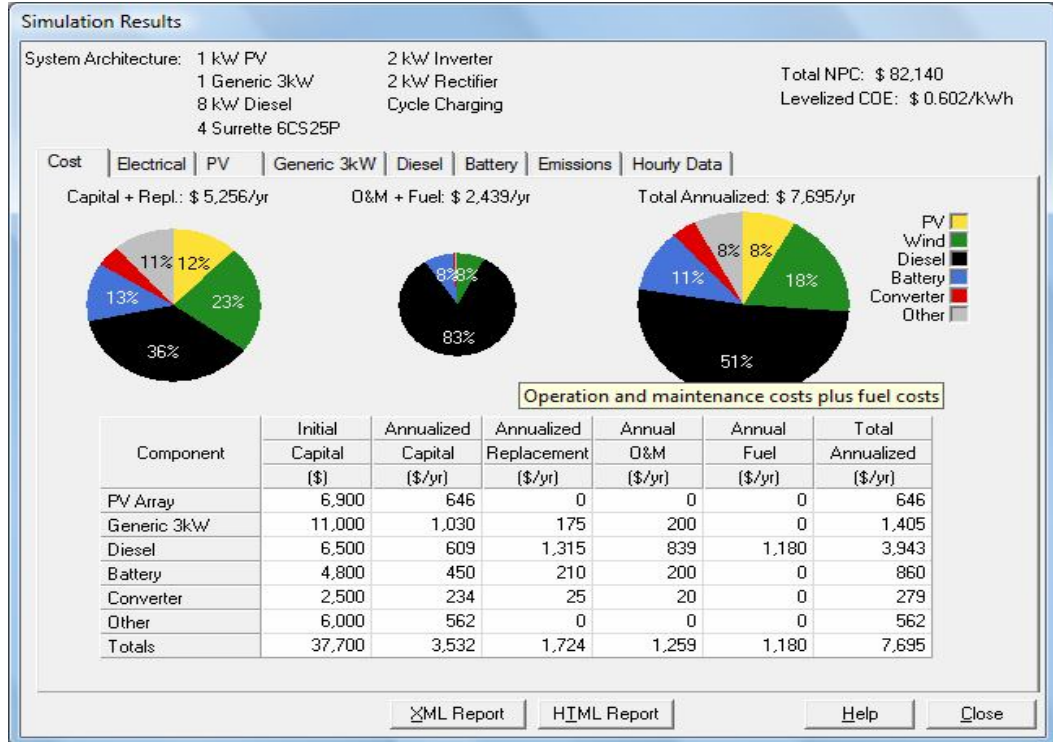
At the bottom of the window, there is a status bar that says 'Completed in 2:19:12'.

Şekil 7.30. Optimizasyon sonuçları sayfası

Şekil 7.32 aynı parametrelere sahip fotovoltaik modül, Generic 3 kW rüzgar türbini, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan sistemin maliyet sonuçları görülmektedir.

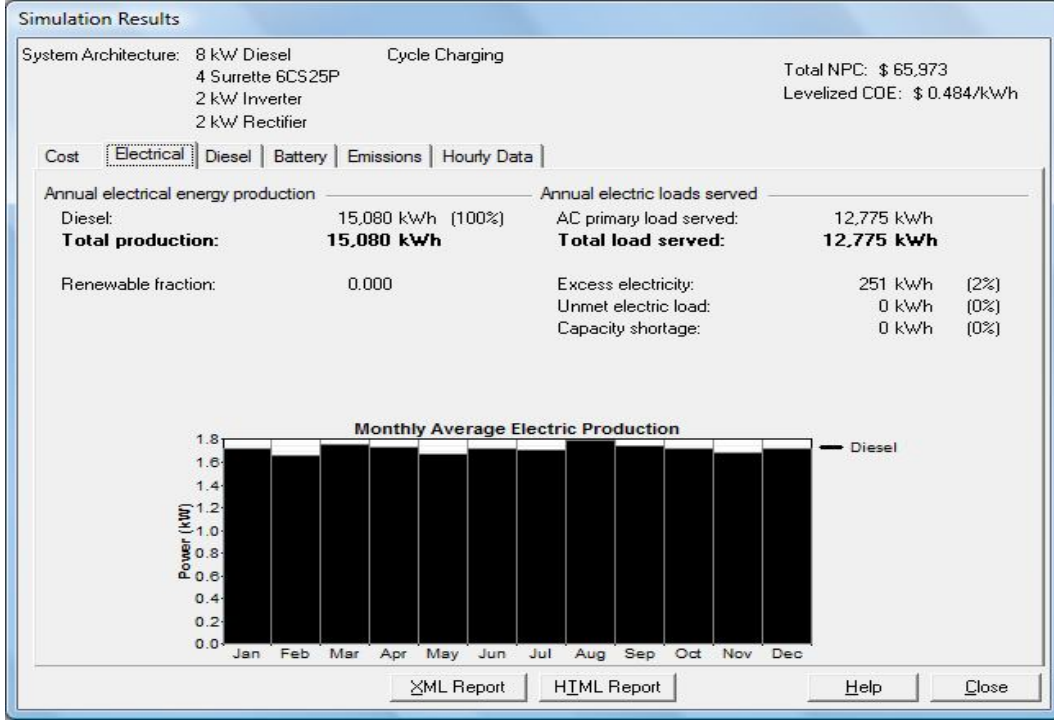


Şekil 7.31. Maliyet yönünden simülasyon sonuçları



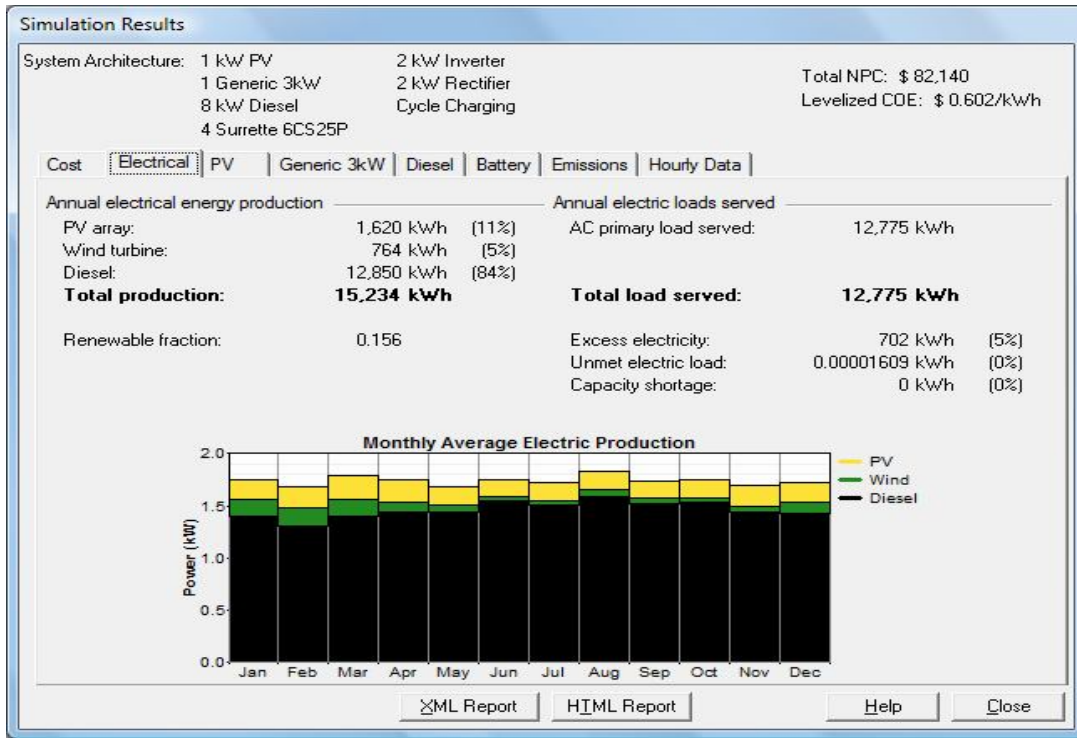
Şekil 7.32. Maliyet yönünden simülasyon sonuçları sayfası

Şekil 7.31 ve şekil 7.32’de aynı giriş parametrelerine sahip sistemler karşılaştırılacak olursa fotovoltaik modül, Generic 3 kW rüzgar türbini, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan sistemin jeneratör, batarya ve konverterden oluşan sisteme oranla daha pahalı bir sistem olduğu görülmektedir.



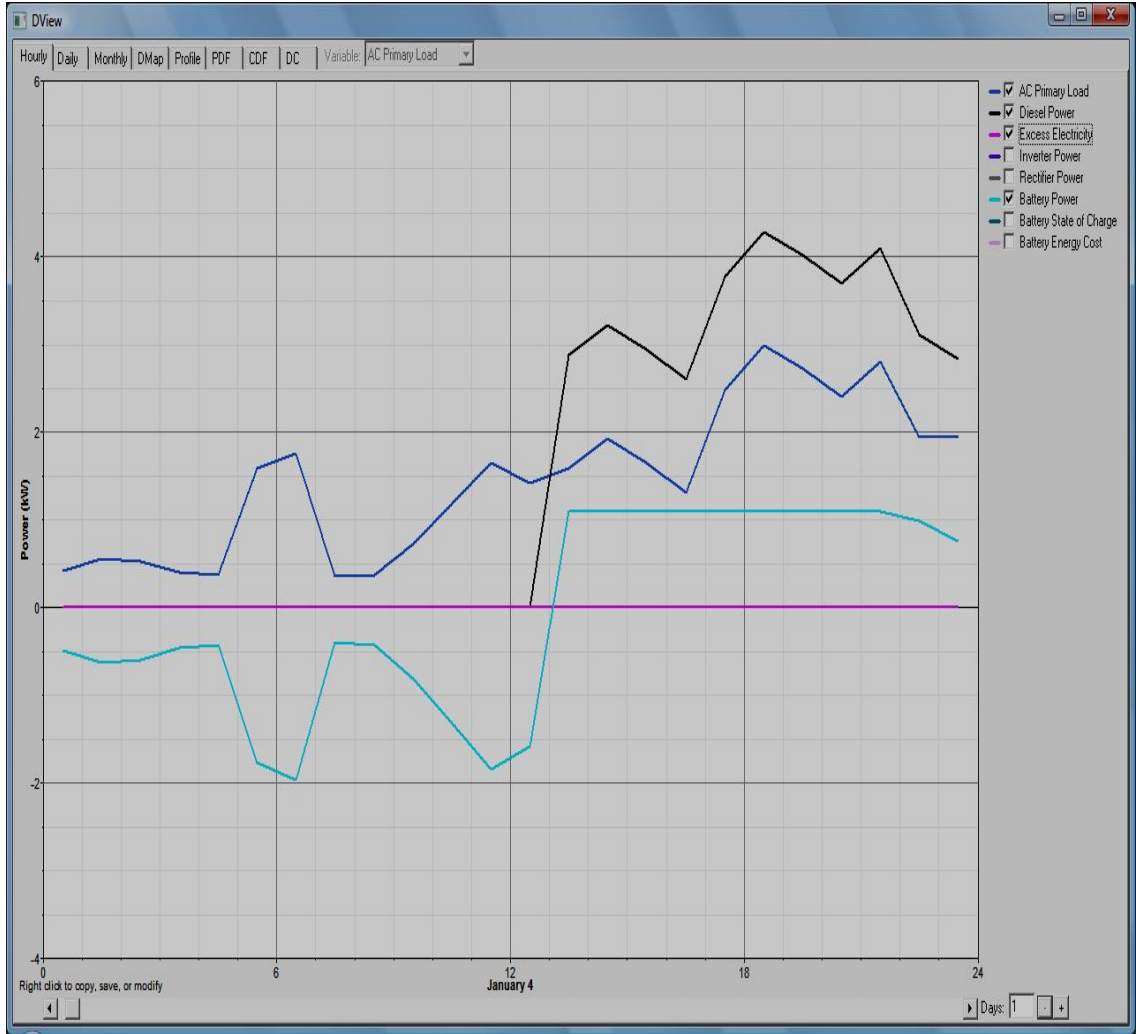
Şekil 7.33. Elektriksel yönden simülasyon sonuçları sayfası

Şekil 7.33 ve 7.34 kıyaslanacak olursa yük tarafından çekilen toplam gücün aynı olduğu (12775 kWh) ilk sistem (jeneratör, batarya ve konverterden oluşan) tarafından 15080 kWh enerji üretildiği, ikinci sistem (fotovoltaik modül, Generic 3 kW rüzgar türbini, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan) tarafından ise üretilen sistemin ise 15234 kWh enerji ürettikleri görülmektedir. İki sistemin fazla elektrik oranlarını karşılaştırdığımızda ilk sistemde (jeneratör, batarya ve konverterden oluşan) %2 ikinci sistemde (fotovoltaik modül, Generic 3 kW rüzgar türbini, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan) ise %5 oranında olduğu görülmekte olup iki sistemin kayıpları da göz önünde bulundurularak yapılan kıyaslamada ilk sistemin maliyet olarak daha uygun olmasına rağmen elektriksel olarak ikinci sistem daha uygun olduğu görülmektedir.



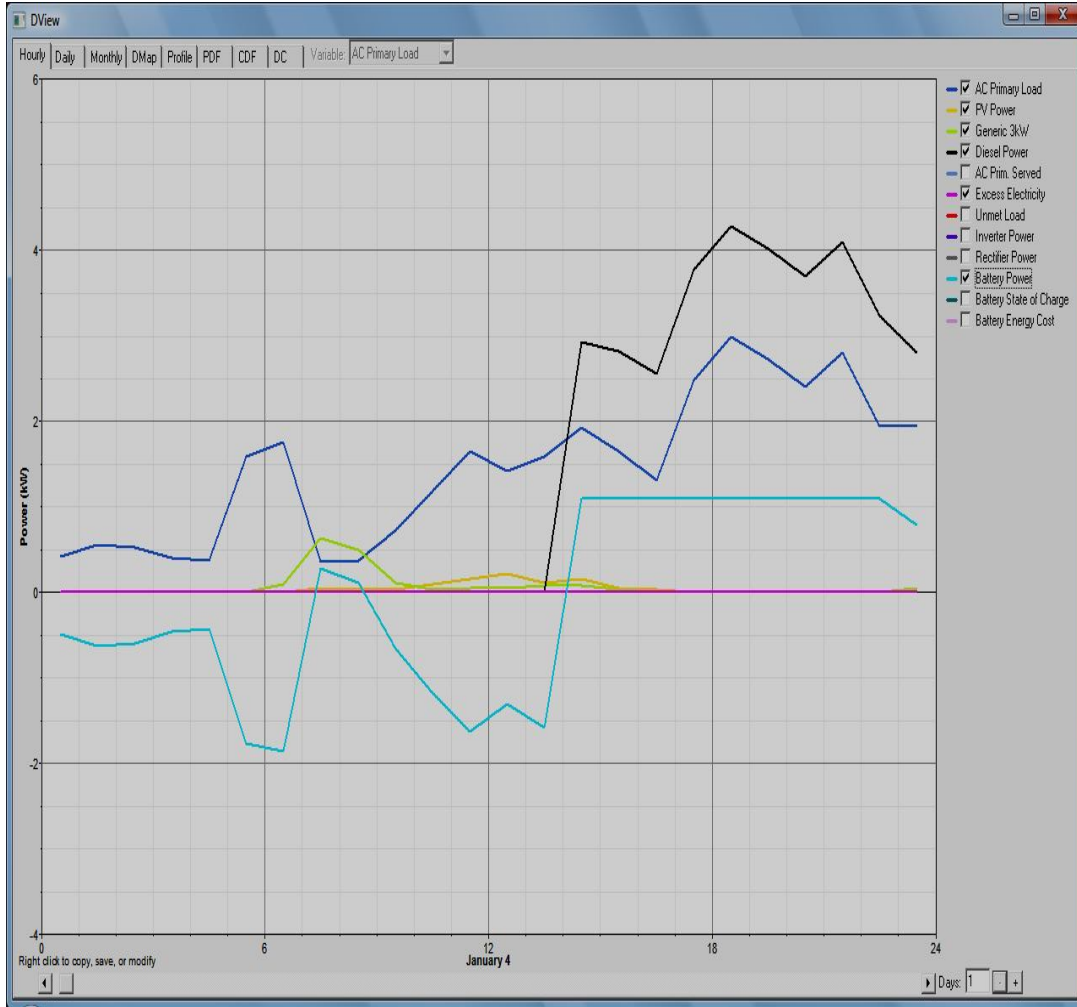
Şekil 7.34. Elektriksel yönden simülasyon sonuçları sayfası

Şekil 7.35 ve 7.36’da aynı iki sistemin 4 Ocak tarihindeki güç durumları görülmektedir. Şekil 7.35’de saat 00:00 ile öğle 12:00 arasında sürekli olarak bataryanın deşarj olduğu saat 12:00den itibaren ise bataryanın şarj olup devreye dizel jeneratörün girdiği görülmektedir.



Şekil 7.35. Güç ile yük, dizel jeneratör ve batarya ilişkisi

Şekil 7.36'da gece 00:00 ile sabah 06:00 arasında bataryanın deşarj olduğu sabah 06:00'dan itibaren oluşan rüzgarla batarya şarj konumuna geçip yükün ihtiyaı Generic 3 Kw'lık rüzgar türbini tarafından karşılanmıştır. Saat 12:00'de yani güneşin en tepede olduğu vakit fotovoltaik modül devreye girip gleden sonra 14:00'ten itibaren ise dizel jeneratör devreye girip sistemin ihtiyaını karşılayıp batarya şarj konumuna geçmektedir.



Şekil 7.36. Gücü ile yükü, pv, rüzgâr, dizel jeneratör ve batarya İlişkisi

8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasının ilk kısımlarında yenilenebilir enerji kaynakları, hibrid sistemler, maliyet optimizasyonu, maliyete etki eden faktörler, HOMER simülasyon ve optimizasyon programından bahsedilmiş, sonraki kısımlarda ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan iki farklı sistem tasarlanıp simülasyonu ve optimizasyonu yapılmıştır.

Oluşturulan sistemlerden İskenderun ilçesi için yapılan tasarımdan yenilenebilir enerji kaynaklarının hem şebeke ile hem de şebekeden bağımsız olarak yükü besleyebileceği görülmüştür. Aynı tasarımdan şebeke ile birlikte tasarlanan sistemin ürettiği fazla enerjiyi şebekeye satarak sistemin toplam net maliyetini azalttığı yani şebeke ile birlikte oluşturulan sistem tasarımının çok daha avantajlı olduğu sonucu elde edilmiştir. Yapılan ikinci tasarımdan ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan sistemlerin çok alternatifli sistemler olduğu, aynı zamanda yükün ihtiyacını karşılamak üzere diğer enerji kaynaklarıyla birlikte hibrid sistem oluşturabileceği görülmüştür. Bu tasarımdan elde edilen sonuçlarda ise diğer enerji kaynaklarıyla hibridlenerek oluşturulan sistem (dizel jeneratör, batarya, pv, rüzgâr türbini) tarafından üretilen enerjinin sadece dizel jeneratör ve bataryadan oluşan sistem tarafından üretilen enerjiden toplamda daha fazla olduğu görülmüştür. Yani enerji kaynaklarının birden fazlasının birlikte kullanılmasının enerjinin sürekliliğinin sağlanması açısından çok önemli bir avantaj olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bununla beraber rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin çıkış güçleri sabit değildir. Dolayısıyla bu tip sistemler şebekeden bağımsız çalıştıkları durumlarda harici donanımlarla desteklenmelidirler. Tasarlanan sistemlerde ya depolama cihazları ya da fosil yakıtı kullanan üretim sistemleri kullanılmalıdır. Aynı zamanda ilk kurulum maliyetini arttırmasına rağmen sistemin birim enerji maliyetini azaltacak depolama elemanının sistem tasarımı yapılırken sisteme eklenmesi tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] www.nrel.gov
- [2] E.I.Baring-Gould,H.J.Green,V.A.P.Van Djik,J.F. Manwell, *Hybrid 2: The Hybrid Power System Simulation Model*,Prepared for AWEA Windpower , Denver,1996.
- [3] G.C. Seeling-Hochmut, *A Combined Optimisation Concept for The Design And Operation Strategy Of Hybrid-Pv Energy Systems*, **Solar Energy**,1 (1997) 77-87.
- [4] R. Chadid, S.Rahman., *Unit Sizing And Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems*, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 12:1(1997) 79-85.
- [5] R. Chadid, H. Akiki, S.Rahman , *A Decision Support Technique for The Design of Hybrid-Solar Wind Power Systems*,**IEEE Transactions on Energy Conversion**, 13:1 (1998) 76-83, 1998
- [6] <http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgarpotansiyel.html>
- [7] <http://www.meteor.gov.tr/veridegerlendirme>
- [8] Yaşar Yıldırım, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Güç Üretiminde Kullanımı Ve Çevresel Etkileri",Yüksek Lisans Tezi ,Dumlupınar Üniversitesi Türkiye,2003.
- [9] Ali Hikmet Özdemir, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Hibrid Kullanımı İle Bir Botun Modellenmesi Ve Maliyet Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Türkiye,2002.
- [10] <http://www.enerji.gov.tr/yenilenebilirenerji.htm>
- [11] Z.Abidin Fıratoğlu,Bülent Yeşilata *Lineer Elektriksel Yüke Bağlı Pv Panellerinin Optimizasyon Ve Bölgesel Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, **Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Ocak 2003 ,Cilt 1 Sayı 1.
- [12] M.K.Desmukh,S.S.Desmukh *Modelling Of Hybrid Renewable Energy Systems* , **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, 12 (2008) 235-249.
- [13] A.N.Çelik *Optimisation And Technoeconomic Analysis Of Autonomous Photovoltaic Wind Hybrid Energy Systems In Comparison To Single Photovoltaic And Wind System*, **Energy Conversion and Management**,43(2002) 2453-2468
- [14] Ovid Ndondo,"*Pv-Diesel Hybrid System For Rural School Electrification*",Master Thesis ,Curtin University of Technology Australia, 2004
- [15] Mustafa Engin,"*Fotovoltaik-Rüzgâr Hibrid Sistemlerinin İzmir Koşullarında Tasarımı Ve Denenmesi*",Doktora Tezi, Ege Üniversitesi,2002
- [16] Hongxing Yang Lin Lu,Wei Zhou *A Novel Optimization Sizing Model For Hybrid Solar-Wind Power Generation System* , **Solar Energy** 81 (2007) ,pp.76–84
- [17] <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/matematik/kuralim.html>

- [18] M.Uzunoğlu,T. Geçer,K.Eren,A.Kızıl ,Ö. Çağlar Onar *Matlab Ve Risk Yönetimi*,İstanbul,2005
- [19] Julie Camerlynck,"*Modelling Of Renewable Energy Systems İn Maldives*" , An İnternship Report,Utrecht University
- [20] M.Mussell,G.Notton,A.Louche *Design Of Hybrid-Photovoltaic Power Generator With Optimization Of Energy Management* **Solar Energy** 65:3(1999) 143–157.
- [21] Gabriele Seeling-Hochmuth , *Optimisation Of Hybrid Energy Systems Sizing And Operation Control* , A Dissertation presented To The University Of Kassel in Candidacy For The Degree Of Dr.-Ing.,1998
- [22] Godfrey Sikha, Branko N.Popov , *Performance Optimization Of A Battery-Capacitor Hybrid System*, **Journal Of Power Sources**, 134 (2004) 130–138
- [23] K.Mitchell,M.Nagrial,J.Rizk *Simulation And Optimisation Of Renewable Energy Systems*, **Electrical Power And Energy Systems** 27 (2005) 177–188
- [24] <http://www.nrel.gov/HOMER>
- [25] Tom Lambert,Paul Gilman and Peter Lilienthal, **Micropower System Modelling With HOMER**
- [26] *Getting Started Guide for HOMER Version*,2005

ÖZGEÇMİŞ

05.04.1982 tarihinde Adıyaman'ın Tut ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 2000 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2007–2008 yılları arasında Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.'de çalışmış olup halen BOTAŞ'ta görev yapmaktadır.