

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRMASINDA VERİ
ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Serdar ÇAKIR

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRMASINDA VERİ
ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yusuf Serdar ÇAKIR
(301071032)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder GÜLER

HAZİRAN 2013

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301071032 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yusuf Serdar ÇAKIR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“HİBRİT SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRMASINDA VERİ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ETKİSİNİN ANALİZİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Güven KÖMÜRĞÖZ KIRIŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **06 Haziran 2013**

Beni her zaman destekleyen aileme ve sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince hoşgörü ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Önder Güler'e ve Araştırma Görevlisi Seyit Ahmet Akdağ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezde yapılan modellemeyi destekleyen HOMER programı çalışanlarına ve gerekli kaynak verilerinin elde edilmesinde Amerika Dünya Sistem Araştırma Laboratuvarına teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Yusuf Serdar Çakır

Elektrik-Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xviii
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	8
2. HİBRİT SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	13
2.1 Güneş Panelleri(Fotovoltaik Sistemler)	15
2.1.1 PV hücresi	16
2.1.2 PV modül.....	21
2.1.3 PV dizisi	25
2.2 Rüzgar Türbinleri	26
2.2.1 Jeneratör	27
2.2.2 Kuleler	30
2.2.3 Başlatma ve düşük rüzgar hızı davranışı.....	31
2.2.4 Yüksek hız koruması	32
2.3 Enerji Depolama Sistemleri-Aküler	33
2.3.1 Kurşun Asit (L/A) aküler	34
2.3.2 Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) aküleri	35
2.3.3 Sodyum Sülfür (Na-S) aküler.....	35
2.3.4 Lityum İyon (Li-ion) aküler	35
2.3.5 Metal-hava aküler.....	36
2.4 Çeviriciler (İnvertörler)	36
2.4.1 Şebekeye bağlı sistemler için çeviriciler.....	36
2.4.2 Şebekeden bağımsız sistemler için çeviriciler.....	37
3. KULLANILAN YÖNTEM.....	39
3.1 HOMER Tanıtımı	39
3.2 Simülasyon	41
3.3 Optimizasyon.....	46
3.4 Hassas Analiz	50
3.5 Fiziksel Modelleme	50
3.5.1 Yükler.....	51
3.5.2 Kaynaklar	52
3.5.3 Bileşenler.....	54
3.5.4 Sistem dağıtımı.....	62
3.6 Ekonomik Modelleme	63
4. YÜK (PİLOT EV) VE KAYNAK KARAKTERİSTİĞİ	67
4.1 Pilot Ev Yük Karakteristiği	67

4.2 Örnek Bölge Kaynak Karakteristiği	73
5. OPTİMUM HİBRİT SİSTEM TASARIMI.....	85
5.1 Kaynak Verisi Sabit iken Talep Veri Çözünürlüğü Senaryoları	87
5.2 Talep Verisi Sabit iken Kaynak Veri Çözünürlüğü Senaryoları	93
5.3 Kaynak ve Talep Verilerinin Eş Zaman Aralıklı Çözünürlük Senaryoları	94
5.4 Değerlendirme	94
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	139

KISALTMALAR

ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
BM	: Birleşmiş Milletler
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Mtoe	: Milyon Ton Eşdeğeri Petrol
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TYÜKO	: Talebin Yerli Üretimle Karşılanma Oranı
TSR	: Kanat Ucu Hız Oranı
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
SMJ	: Sabit Miknatıslı Jeneratörler
NREL	: Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
PV	: Fotovoltaik Güneş Paneli
RT	: Rüzgar Türbini
YES	: Yenilenebilir Enerji Sistemleri
INV	: Çevirici
OS	: Optimum Sistem
BM	: Başlangıç Maliyeti (Sermaye Maliyeti)
KYO	: Kapasite Yetersizlik Oranı
TEÜ	: Toplam Elektrik Üretimi
NPC	: Bugünkü Net Maliyeti
COE	: Üretilen Enerjinin Birim Maliyeti
GSYH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
NOCT	: Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyon
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Enerji talep–üretim ve ithalatının gelişimi	5
Çizelge 4.1 : Yedi çeşit zaman kümesi yük karakteristiklikleri	69
Çizelge 4.2 : Bölge aylık güneşlenme değerleri	75
Çizelge 4.3 : Aylık ortalama rüzgar hızları	79
Çizelge 4.4 : Kabul edilen yüzey pürüzsüzlük değerleri	81
Çizelge 5.1 : Şebekeden bağımsız sistem maliyet değerleri	86
Çizelge 5.2 : Şebeke bağlantısız sistemde PV ve RT çıkış değerleri	90
Çizelge 5.3 : Şebeke bağlantısız sistemde akülerin çıkış değerleri	92
Çizelge 5.4 : 17 senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları	96-97
Çizelge A.1 : Senaryo-2 PV, RT ve akü çıkış değerleri	107
Çizelge A.2 : Senaryo-3 PV, RT ve akü çıkış değerleri	109
Çizelge A.3 : Senaryo-4 PV, RT ve akü çıkış değerleri	111
Çizelge A.4 : Senaryo-5 PV, RT ve akü çıkış değerleri	113
Çizelge A.5 : Senaryo-6 PV, RT ve akü çıkış değerleri	115
Çizelge A.6 : Senaryo-7 PV, RT ve akü çıkış değerleri	117
Çizelge B.1 : Senaryo-8 PV, RT ve akü çıkış değerleri	119
Çizelge B.2 : Senaryo-9 PV, RT ve akü çıkış değerleri	121
Çizelge B.3 : Senaryo-10 PV, RT ve akü çıkış değerleri	123
Çizelge B.4 : Senaryo-11 PV, RT ve akü çıkış değerleri	125
Çizelge B.5 : Senaryo-12 PV, RT ve akü çıkış değerleri	127
Çizelge C.1 : Senaryo-13 PV, RT ve akü çıkış değerleri	129
Çizelge C.2 : Senaryo-14 PV, RT ve akü çıkış değerleri	131
Çizelge C.3 : Senaryo-15 PV, RT ve akü çıkış değerleri	133
Çizelge C.4 : Senaryo-16 PV, RT ve akü çıkış değerleri	135
Çizelge C.5 : Senaryo-17 PV, RT ve akü çıkış değerleri	137

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kaynaklar bazında dünya birincil enerji tüketimi.	2
Şekil 1.2 : 2002 – 2021 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi.	4
Şekil 1.3 : Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.	6
Şekil 2.1 : Tipik bir YES bazlı şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi.	15
Şekil 2.2 : Hücreler, modüller ve diziler.	16
Şekil 2.3 : PV sistemlerinin örnekleri.	17
Şekil 2.4 : Farklı aydınlanma seviyelerinde gerçek ve ideal PV hücrelerinin I-V özellikleri.	18
Şekil 2.5 : PV hücre çalışma karakteristiği üzerinde maksimum güç noktasının belirlenmesi.	19
Şekil 2.6 : 4 ışınım seviyeli bir PV hücre için güç ve voltaj karşılaştırması.	20
Şekil 2.7 : PV hücre için güç ve voltaj eğrisinin karşılaştırılmasında sıcaklığa bağımlılık.	21
Şekil 2.8 : Engelleme diyotu varken ve yokken, PV modülü üzerinden batarya deşarj yolu.	23
Şekil 2.9 : Bir PV modülü için kompozit çalışma özelliklerinin belirlenmesi.	25
Şekil 2.10 : PV sistemlerinin örnekleri.	26
Şekil 2.11 : MG4520 200 W rüzgar türbinin bir rüzgar tüneline ölçülen rüzgar türbini enerji eğrisi.	27
Şekil 2.12: Basit sabit mıknatıslı jeneratör (SMJ). Sol: rotor. Sağ: üç stator sargısından biri.	28
Şekil 2.13 : Sabit mıknatıslı rotorlarla bir Rutland 910 türbin arasından demirsiz stator.	29
Şekil 2.14 : Rüzgar türbini tamamen rüzgardan kaçınır ancak rüzgar yönü değiştiğinden dönmeye devam eder.	32
Şekil 2.15 : Akü depolamalı enerji konfigürasyonu.	34
Şekil 3.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki kavramsal ilişki.	40
Şekil 3.2 : HOMER'ın modellediği bazı mikro enerji sistem tiplerinin şematik diyagramları.	43
Şekil 3.3 : Örnek saatlik simülasyon sonuçları.	46
Şekil 3.4 : Rüzgar-dizel sistemi.	47
Şekil 3.5 : 140 sistem yapılandırması içeren arama bölgesi.	48
Şekil 3.6 : Toplam net şimdiki maliyete göre sıralanmış sistem maliyetlerini gösteren genel optimizasyon sonuçları.	49
Şekil 3.7 : Kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları.	49
Şekil 3.8 : Örnek rüzgar türbini enerji eğrisi.	57
Şekil 3.9 : Kinetik akü modeli.	59
Şekil 4.1 : Pilot Ev.	67
Şekil 4.2 : Cihazın genel görüntüsü ve pilot ev uygulama resmi.	68
Şekil 4.3 : 1 dakikalık ve 5 dakikalık Ocak ayı yük grafiği.	70

Şekil 4.4 : 10 dakikalık ve 15 dakikalık Ocak ayı yük grafiği	71
Şekil 4.5 : 30 dakikalık ve 60 dakikalık Ocak ayı yük grafiği.....	72
Şekil 4.6 : Günlük Ocak ayı yük grafiği	73
Şekil 4.7 : PENN State Üniversitesinde bulunan meteorolojik ölçüm istasyonu	74
Şekil 4.8 : Ölçüm istasyonun bulunan ekipmanlar	75
Şekil 4.9 : Bölge güneş ışınımı ve berraklık indeksi	76
Şekil 4.10 : Dakikalık yıllık güneş ışınımı	77
Şekil 4.11 : Aylara göre bölge güneş ışınımı profili.....	78
Şekil 4.12 : Aylara göre bölge uzay radyasyonu profili.	78
Şekil 4.13 : Aylık ortalama rüzgar profilleri.....	79
Şekil 4.14 : Dakikalık yıllık rüzgar hızları.....	80
Şekil 4.15 : Kullanılacak türbin yüksekliğinde rüzgar hızı değişimi.....	82
Şekil 4.16 : Bölge rüzgâr hızı frekansı ve Weibull dağılımı.....	83
Şekil 5.1 : Şebekeden bağımsız sistem yapısı.....	85
Şekil 5.2 : Şebekeden bağımsız sistem akış diyagramı.....	86
Şekil 5.3 : Şebekeden bağımsız sistem bileşen bazında maliyetler	88
Şekil 5.4 : Şebekeden bağımsız sistem proje ömrü süresindeki nakit akışı detayları.	88
Şekil 5.5 : Şebekeden bağımsız sistem aylık enerji üretim oranları.	89
Şekil 5.6 : Ocak ayı için talebin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması.....	90
Şekil 5.7 : Nisan ayı için talebin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması.....	91
Şekil 5.8 : Akü sisteminin frekans histogramı ve aylara göre akü bankası şarj durumu	92
Şekil 5.9 : Tüketim, üretim ve depolanan enerjinin bir arada gösterimi.....	93
Şekil A.1 : Senaryo-2 simülasyon detayları.....	108
Şekil A.2 : Senaryo-3 simülasyon detayları	110
Şekil A.3 : Senaryo-4 simülasyon detayları.....	112
Şekil A.4 : Senaryo-5 simülasyon detayları.....	114
Şekil A.5 : Senaryo-6 simülasyon detayları.....	116
Şekil A.6 : Senaryo-7 simülasyon detayları.....	118
Şekil B.1 : Senaryo-8 simülasyon detayları.....	120
Şekil B.2 : Senaryo-9 simülasyon detayları.....	122
Şekil B.3 : Senaryo-10 simülasyon detayları.....	124
Şekil B.4 : Senaryo-11 simülasyon detayları.....	126
Şekil B.5 : Senaryo-12 simülasyon detayları.....	128
Şekil C.1 : Senaryo-13 simülasyon detayları.....	130
Şekil C.2 : Senaryo-14 simülasyon detayları.....	132
Şekil C.3 : Senaryo-15 simülasyon detayları.....	134
Şekil C.4 : Senaryo-16 simülasyon detayları.....	136
Şekil C.5 : Senaryo-17 simülasyon detayları.....	138

HİBRİT SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRMASINDA VERİ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ETKİSİNİN ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışma için Türkiye’de şebekeye bağlı pilot bir evin enerji tüketim değerleri incelenmiş ve benzer kaynak potansiyeline sahip bir bölgenin güneş ışınım ve rüzgar hızı verileriyle şebekeden bağımsız hibrit bir sistem dizaynı yapılmıştır. Talep ve kaynak verileri 1 dakikalık ortalamalar halinde ölçülmüş olup daha sonra 5, 10, 15, 30, 60, 1440 dakikalık ortalamalara çevrilerek simülasyonlar her farklı senaryo için tekrarlanmıştır.

Ayrıca geleneksel enerji üretim sistemleriyle kıyasla, yenilenebilir enerji sistemlerinden muhtelif karma teknolojilerin maliyet avantajları incelenerek eşik değerler araştırılmış, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan rüzgâr ve güneş enerjisinin getirdiği pratik problemler için akü çözümleri (enerji aktarımı ve depolanması) incelenmiştir. Şebekeden bağımsız bir yapıda, akü teknolojisi kullanımı üzerinden yapının/yapıların yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonu ekonomik açıdan irdelenmiştir.

Tasarım simülasyonu ve uygun konfigürasyonların hesaplanması için HOMER (NREL,US) yazılımı kullanılmıştır. Teknik ve ekonomik parametrelerin hesaplanabilmesi için teknoloji opsiyonları, bileşen maliyetleri ve kaynak uygunluğu girdilerini gerektiren bu yazılım, girilen değerleri kullanarak her bir konfigürasyon için net maliyetleri hesaplamakta ve uygun sistem kombinasyonlarını listelemektedir.

Çalışmada, yenilenebilir kaynaklı enerjinin kullanılmasını hedefleyen ve ekonomik optimizasyonu ideal bir ailenin tüketim karakteristiğinde hitap edebilecek yapıda olması için İstanbul, Beylerbeyi’nde (Türkiye) müstakil bir ev seçilmiştir. Seçilen pilot eve dair teknik ve ekonomik ölçütler üzerinden, farklı veri çözünürlüğü senaryoları için en uygun sistem maliyetine sahip hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Minimum maliyet hesaplanırken, pilot evin bölgesine benzer herhangi bir bölgenin kaynak uygunluğuna ve pilot evin enerji ihtiyacına göre sistem boyutlandırılmıştır. Güvenilir enerji arzında maksimum kapasite hedeflenmiştir. Son kullanıcının şebekeden bağımsız sistem kullanımların da, gündelik yaşantılarını ve elektrik kullanımlarını etkileyecek herhangi bir değişikliğe yol açacak tasarım yapılmamıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlar incelendiğinde tüm hibrit yapılara baktığımızda, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretim maliyeti, enerji depolama maliyeti açısından daha avantajlıdır. Sistem yapısı ve maliyetlerin analizinde, bileşen maliyetleri, işletme maliyetleri, yenileme maliyetleri ve sıfır kapasite yetersizlik oranı gibi girdiler baz alınmıştır. Önceki yılları incelediğimizde modellemesi yapılan hibrit sistemin yüksek maliyetle enerji ürettiği görülürken, günümüzde bileşen maliyetlerindeki azalmanın da katkısıyla bu modelin mevcut enerji üretim sistemleriyle rekabet edebilir olduğu görülmüştür. Enerji depolanması alanında yapılacak verimlilik artırıcı ve maliyet azaltıcı her yenilik, hibrit sistemlerin yaşantımıza entegrasyonunu hızlandıracak ve rekabet edilemez bir konuma getirecektir.

Önümüzdeki yıllarda bu tür şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin yaygınlaşmasıyla yaşanacak potansiyel dizayn hatalarının önüne geçmek için yapılması gereken en önemli konulardan biri veri çözünürlüğünün sisteme olan etkisini hesaplamaktır. Gerek kaynak, gerekse de talep tarafındaki verilerin çözünürlüğünün artmasıyla sistem ihtiyaçlarını daha kesintisiz karşıyalacak dizaynların yapılmasının mümkün olacağına bu çalışma ile ulaşılmıştır.

ANALYSING THE EFFECT OF DATA RESOLUTION IN SIZING HYBRID SYSTEMS

SUMMARY

For this study, energy consumption values of a grid connected house were explored and a hybrid system independent from grid was designed together with solar irradiance and wind speed data. Demand and source data was measured in periods of 1 min averages and later they are converted to 5, 10, 15, 30, 60, 1440 minutes averages and the simulations were repeated for each different scenario.

Also, compared to the conventional power generation systems, the cost advantages of various hybrid technologies among renewable power systems were investigated and battery solutions (energy transmission and storage) for practical problems caused by wind and solar power used in electricity production were explored. In a structure independent from the grid, the integration of the renewable energy resources in the buildings by using battery technology was examined in terms of economy.

To calculate the design simulation and appropriate configuration, HOMER (NREL, US) software was used. This software which requires technology options, component costs and source availability inputs in order to calculate technical and economical parameters, calculates the net cost for each configuration by using the entered values and lists the appropriate system combinations.

A stand-alone house in Beylerbeyi, Istanbul (Turkey) which uses renewable energy was selected to ensure that the economic optimization of the structure reflects the consumption characteristics of an ideal family. Using the technical and economic metrics of the pilot house, the hybrid system with most economic system cost was designed for different data resolution scenarios. During the calculation of minimum cost, the system was sized based on the availability of the resource in a region similar to the pilot house's region and the energy needs of the pilot house. Maximum capacity is targeted in reliable energy supply. The design doesn't alter the end user's system usage independent of the grid, daily life and electricity consumption.

Upon the analysis of the data we gathered, taking all hybrid structures in consideration energy production cost of the renewable resources are more advantageous in terms of energy storage costs. In the analysis of system structure and costs, the input values such as component costs, operating costs, replacement costs and zero capacity shortage ratios were based on. It was seen that the modeled hybrid system produced energy with high costs in the previous years, however thanks to the decrease in component costs today, it was seen that this model can compete with present energy production systems. Each innovation in the energy storage field which increase the efficiency and decrease the costs will speed up the integration of hybrid systems into our life and place them in an unbeatable position.

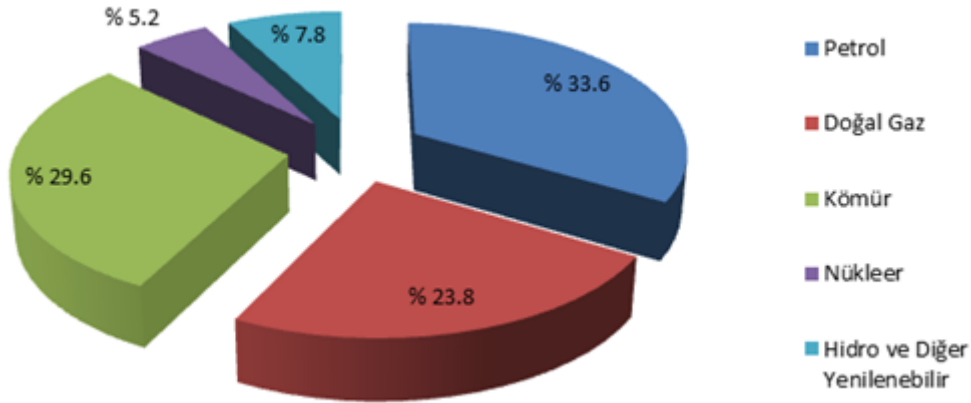
In order to prevent potential design errors which will occur with the popularization of hybrid systems independent of the grid within the coming years, the most important thing to do is to figure the effect of data resolution on the system. It was understood with this study that, increasing the data resolution of both resource and demand data will ensure the creation of system designs which will meet the system requirements more continuously.

1. GİRİŞ

Enerji insanların yaşam tarzını ve kalitesini belirleyen önemli bir faktör olup, ekonominin temel girdisini oluşturmakta ve medeniyetin sürekliliğindeki en önemli gereksinimdir. Dünya nüfusu ve bağlantılı olarak enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır; 2009 yılında 6,8 milyar olan nüfusun 2035’de 8,6 milyara yükseleceği öngörülmektedir. Bununla birlikte dünya nüfusunun yaklaşık % 40’ı geleneksel enerjileri (biyokütle) kullanarak yemek pişirmektedir, % 20’si (1 milyardan fazla insan) ise halen elektrik enerjisinden yoksundur. IEA'nın tahminleri orta ve uzun vadede bu durumun önemli bir değişikliğe uğramayacağı yönündedir. Tahminler 2030 yılında nüfusun yaklaşık % 12'sine karşılık gelecek 1 milyar insanın (%85'i kırsal bölgede) yaşamlarını elektriksiz devam ettireceklerini söylemektedir. Bu nüfusun büyük çoğunluğu Orta ve Güney Afrika, Hindistan ve gelişmekte olan Asya ülkelerinde (Çin hariç) bulunacaktır. Bu durumun iyileştirilmesi, hatta bu fakir ülkelerdeki açlık ve yoksulluk mücadelelerinin başarısı enerjiye erişimle doğrudan alakalıdır. Bu da 2030 yılına kadar yılda yaklaşık 50 milyar ABD doları civarında bir kaynak yaratılmasını gerektirmektedir [1].

Enerji kullanımının insanlığa sayısız yararlarının yanında kimi olumsuzluklardan da bahsedilebilir ve bu konudaki ana problem çevreye ve doğal yaşama verilen zarardır. Bu zararlardan sadece bir tanesi olan ve yoğun enerji kullanımının neden olduğu sera etkisi (küresel ısınma) geleceğimizi büyük oranda etkileme potansiyeli olan bir çevre olayıdır. Bu gerçekler Türkiye için de farklılaştırılmış ve kapsamlı enerji yatırım programları gerektirmektedir. Ülkemizde nüfus artışı ve sanayileşmeyle birlikte enerji gereksinimi artmakta, farklı enerji yatırım ihtiyaçları açığa çıkmaktadır. Enerji yatırım programları ülkeler için yüksek öneme sahip stratejik bir konudur. Arz-talep dengesinin korunması ve bağlantılı sorunların önüne geçilmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve özellikle alternatif enerji kaynakları arayışı kaçınılmazdır ve bu konulardaki yatırımlar da son dönemlerde oldukça fazlalaşmıştır. Bu alternatif enerji üretim yöntemleri arasında en büyük pay yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir ve farklı enerji üretim metodlarını

içerdiklerinden dolayı ülkeler tarafından enerji tedarikinde olurlu çözümler arasında görülmektedir. Şekil 1.1’de dünya birincil enerji tüketim değerleri kaynaklar bazında verilmektedir.



Şekil 1.1 : Kaynaklar bazında dünya birincil enerji tüketimi.

2008’de başlayan küresel ekonomik kriz nedeniyle kısa vadeli ekonomik büyüme tahminlerinde belirsizlik doğurmuştur. Bununla birlikte sanayileşme ve kentleşme ile yüksek korelasyona sahip olan orta ve uzun vadeli dünya nüfus artışı hızı ve dünya ekonomisindeki ortalama % 3,5’lik büyüme beklentisi; doğal kaynaklar ve enerji gereksinimini de önemli ölçüde arttıracaktır [1].

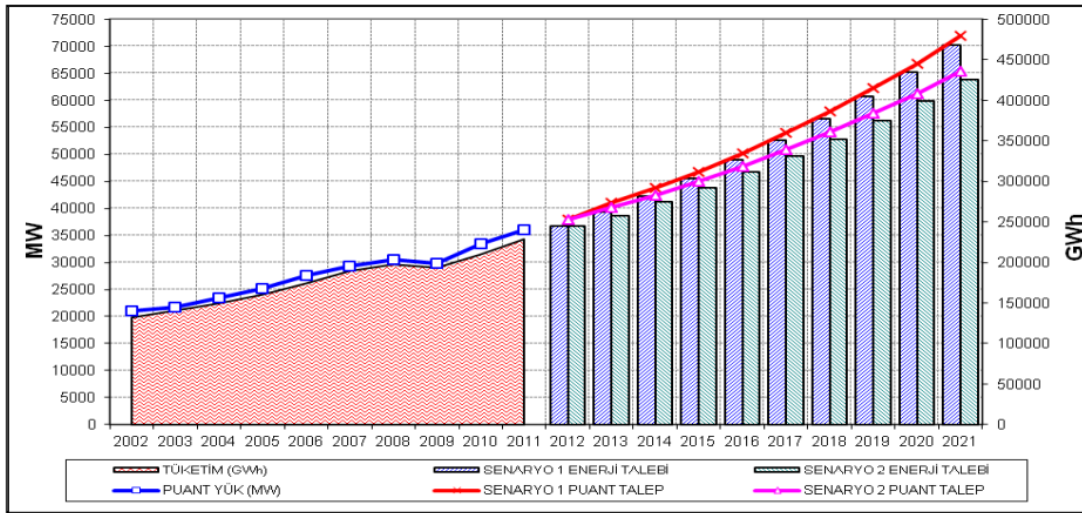
Tahminler enerji politikalarının bu şekilde devam etmesi halinde, dünya toplamında, 2035 yılındaki enerji talebinin 2009 yılına göre % 51 daha fazla (12.132 Mtoe'den-18.302 Mtoe’ye) olacağını öngörmektedir. Talep artış miktarının yüzde 86,2’si 2009-2035 aralığında yüksek ekonomik büyüme (yıllık ortalama % 4,9) ve nüfus artışı (yıllık ortalama % 1) oranına sahip olacak OECD dışı ülkelerde (özellikle Çin ve Hindistan) gerçekleşecektir. Bu aralıkta yıllık ortalama değer yaklaşık % 2,3 olarak hesaplanmıştır. Yine 2009-2035 aralığında GSYH (gayrisafi yurt içi hasıla) artışı % 2,2, OECD ülkelerinde ise % 0,5 olacaktır. 2015-2035 arasında dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi Çin olurken 2035 yılında ABD ile arasındaki enerji tüketim farkı +% 70 olacaktır. Yine 2035 yılında Çin, ABD ve Avrupa Birliği’nin ardından Hindistan dördüncü büyük enerji tüketicisi konumuna gelecektir. Bu dört büyük tüketici 2020 yılında dünya toplam enerji üretiminin % 56,3’ünü, 2035 yılında ise % 55,5’ini tüketiyor olacaktır. Bu taleplerin kesintisiz karşılanabilmesi için 2011-2035 aralığında enerji sektörüne yaklaşık 38 trilyon ABD Doları yatırım yapılması gerekmektedir [1,2].

2009 itibarıyla Avrupa Birliği, Çin ve ABD'nin ardından en büyük üçüncü enerji tüketicisi olmuştur. AB genelindeki birincil enerji talebi 1990-2009 aralığında yıllık ortalama % 0,07 gibi düşük düzeyde bir artış göstermekle birlikte, 2009-2035 arasında bu artışın yıllık ortalama % 0,36 olması beklenmektedir [1]. AB enerji ithalat bağımlılığı oranı; birincil enerji arzında 2008'de % 54,7 ve 2009 yılında % 53,9 olarak gerçekleşmiş (petrolde % 83,6 doğalgazda % 64,2 katı yakıtlarda % 41,1), 2030 yılında ise % 59,1 olarak öngörülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı sanayileşme ve kalkınma süreci bu ülkelerdeki elektrik talebini de arttırmaktadır. Kişi başına düşen gelirle birlikte yaşam kalitesi de yükselmekte ve bağlantılı olarak endüstri, aydınlatma ve ev aletleri için gerekli elektrik talebi artmaktadır. Dünya genelinde artış göstermesi beklenen elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 2009-2035 aralığında brüt 4,081 GW artması beklenmektedir [3,4,5].

Yenilenebilir enerji teknolojileri doğal enerjiyi kullanılabilir biçimlere dönüştürmemizi sağlar; örneğin rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, yeryüzü ısı, dünya çekirdeğinin ısı, bitkilerin enerjileri ve diğer bilinen-bilinmeyen pek çok enerji formu. Bu mevcut enerjiler insanların daha konforlu ve her anlamda daha yüksek standartlarda yaşam kalitesine ulaşmaları için kullanılabilir enerji biçimlerine dönüştürülür. Doğal enerji kaynakları günümüzde kullanılan geleneksel enerji kaynaklarından çok daha idealdir. Söz konusu kaynağa göre değişmekle birlikte kaynakların süreksizliği, istenildiği anda hazır bulunmamaları, muhtelif bölgesel değişiklikler ve dağınık olmaları nedeniyle yeterince yaygınlaşmamışlardır. Ancak tüm bunların ötesinde, yaygın kullanımı engelleyen en önemli sorun halen fosil yakıtların doğal enerji kaynaklarına kıyasla çok daha ekonomik oluşudur. Teoride yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut potansiyeli, dünya enerji talebinden daha fazladır ama ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı bu potansiyelin kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülmesi sürekli ve kayıpsız şekilde gerçekleştirilememektedir. Bu doğal kaynakların potansiyelini kullanma yöntemleriyle ilgili çok sayıda bilimsel çalışma ve projeler vardır. Bu çalışmaların da belirttiği gibi yenilenebilir enerji kaynakları; ülkenin sahip olduğu doğal kaynakların değerlendirilmesi, mevcut şebeke yükünün hafifletilmesi, enerji çeşitliliğini artırarak dışa bağımlılığın azaltılması ve çevresel faktörler açısından çok önemli avantajlara ve faydalara sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili 1990'lı yılların başından itibaren Avrupa Birliği Ülkeleri başta olmak üzere dünya genelinde ciddi bir bilinçlenme ve yatırım girişimi görülmektedir. Eskiden uygulamaya çok uzak görünen pek çok teknoloji şimdi ticarileşmiş ve geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla hem maliyet etkin hem de çevre konusunda daha duyarlı alternatifler sunmaktadır.

Türkiye'de de elektrik pazarı düzenli bir artışla büyümektedir. Sanayileşme ve şehirleşmeyle doğru orantılı olarak 1994 yılından bu yana elektrik talebi ve üretiminin artış oranı yıllık ortalama yüzde 6,4 düzeyindedir. Geçtiğimiz 10 yıllık dönemde OECD ülkeleri içinde enerji talep artışı hızının en hızlı gerçekleştiği ülke Türkiye olmuştur. Aynı şekilde 2000 sonrası doğal gaz ve elektrik talebi artış hızında Türkiye, Çin'in ardından ikinci sıradadır. Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi artışı son 5 yılda % 43 olarak gerçekleşmiştir. Bu oran dünya genelindeki en yüksek artışlardan biridir. Son 10 yıla bakıldığında ekonomik büyümede yaşanan olumsuz dalgalanmalar piyasayı sınırlı şekilde etkilemiş ve elektrik talep ve üretimi Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi 2002 ve 2009 yılları dışında hep pozitif bir büyüme göstermiştir.



Şekil 1.2 : 2002 – 2021 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi.

TEİAŞ'ın 10 yıllık öngörü raporuna göre bu büyüme devam edecek ve 2017 yılı elektrik ihtiyacı 390 TWh düzeyinde olacaktır. Bu rakamlar mevcut üretimin iki katına çıkması anlamına gelmektedir. Ayrıca Avrupa Birliği müktesebatına uyum çalışmaları, arzın sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından yatırımları ve sektörün serbestleşmesini sağlayacak bir dizi düzenlemeyi zorunlu kılmaktadır [6].

Çizelge 1.1'in incelenmesinden de görüleceği üzere, enerji kaynaklarımızın ve buna bağlı olarak üretim miktarlarımızın kısıtlı olması ve ithalatın giderek artmasına neden olmuştur. Talebin iç üretimle karşılanma oranı 2003 yılında % 28 seviyesindeyken, 2005 yılında % 25'e gerilemiştir. 2010 yılında % 29 olan bu oranın 2020 yılında ise % 30 olması beklenmektedir.

Çizelge 1.1 : Enerji talep–üretim ve ithalatının gelişimi (BİN TEP).

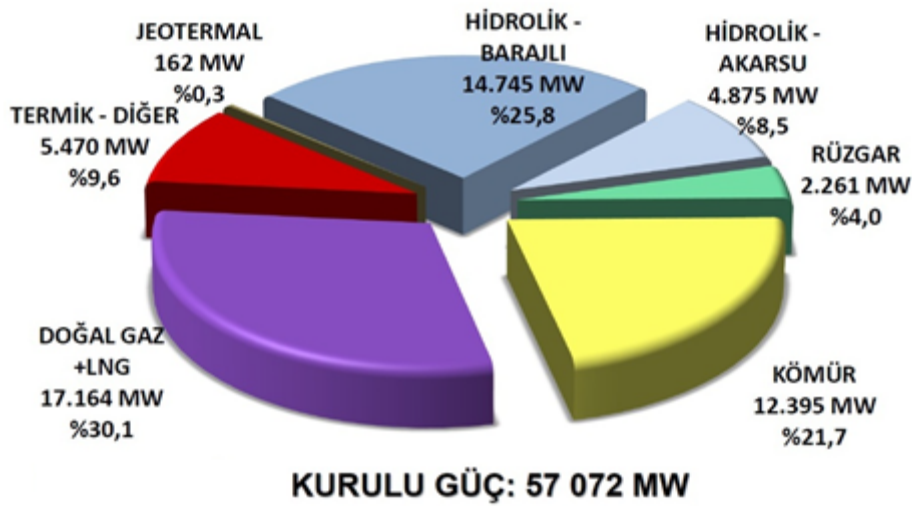
	2003	2005	2010	2015	2020
TALEP	83804	91048	125585	169486	222274
ÜRETİM	23812	23091	36690	53710	65649
NET İTHALAT	60458	67957	88894	115776	156625
TYÜKO (%)	28	25	29	32	30

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve arzın güvenli bir şekilde sağlanması için kaynak çeşitlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Kimi alternatif enerji kaynakları yerel olarak seçilen pilot projelerde kullanılmaya başlanmıştır ve sonuçların verimliliğine göre merkezileştirilerek ya da bölgesel olarak yaygınlaştırılarak enerji çeşitliliği yaratılacaktır. Böylece hem sahip olunan potansiyel değerlendirilmiş hem de gelişmişliğin en önemli faktörlerinden biri olan enerji alanında önemli aşamalar kaydedilmiş olacaktır.

Günümüzde Avrupa Birliği enerji politikalarının amaçları rekabet gücü, enerji arzının güvenliği ve çevrenin korunması arasında bir denge kurarak, kömürün toplam enerji tüketiminde payını azaltmak, doğal gazın payını arttırmak, nükleer enerji santralleri için maksimum güvenlik şartlarını oluşturmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını arttırmaktır.

Türkiye'de bugün yenilenebilir kaynaklardan en çok klasik rüzgar enerjisi ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Jeotermal enerji üçüncü sırada yer almakla birlikte, kullanımı sınırlıdır. Güneş enerjisi oldukça düşük oranda kullanılmakta, biyokütle enerjisinden faydalanma yeni başlamaktadır. Deniz dalga enerjisinin kullanımı ise sembolik düzeydedir. Modern biyokütle enerjisinin önemli bir potansiyele sahip olmasına karşın enerji bitkileri tarımı yeterince tanınmamaktadır ve gündemde de ön planda değildir. Bağlantılı olarak enerji ormancılığı da oldukça sınırlı bir kapsama sahiptir [11]. Doğal gazın toplam elektrik üretimi içindeki payı 1990 yılında % 17,7 iken 19 yılda hızla artarak % 48'e ulaşmıştır. Yeni devreye alınan santrallerle dışa

bağımlılığı yüksek doğal gazın kullanımı minimize edilmeye çalışılmaktadır. Elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.3’de özetlenmektedir.



Şekil 1.3 : Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları payının 2023 yılında en az % 30 düzeyinde ve rüzgar enerjisi kurulu gücünün ise 2023 yılına kadar 20.000 MW'a çıkarılması ETBK'nın temel hedefleri arasındadır.

Bu çalışma için Türkiye’de şebekeye bağlı pilot bir evin enerji tüketim değerleri incelenmiş ve benzer kaynak potansiyeline sahip bir bölgenin güneş ışınım ve rüzgar hızları verileriyle şebekeden bağımsız hibrit bir sistem dizaynı yapılmıştır. Talep ve kaynak verileri 1 dakikalık ortalamalar halinde ölçülmüş olup daha sonra 5, 10, 15, 30, 60, 1440 dakikalık ortalamalara çevrilerek simülasyonlar her farklı senaryo için tekrarlanmıştır.

Tasarım simülasyonu ve uygun konfigürasyonların hesaplanması için HOMER (NREL,US) yazılımı kullanıldı. Teknik ve ekonomik parametrelerin hesaplanabilmesi için teknoloji opsiyonları, bileşen maliyetleri ve kaynak uygunluğu girdilerini gerektiren bu yazılım, girilen değerleri kullanarak her bir konfigürasyon için net maliyetleri hesaplamakta ve uygun sistem kombinasyonlarını listelemektedir.

Çalışmada, yenilenebilir kaynaklı enerjinin kullanılmasını hedefleyen ve ekonomik optimizasyonu ideal bir ailenin tüketim karakteristiğinde hitap edebilecek yapıda olması için İstanbul, Beylerbeyi'nde (Türkiye) müstakil bir ev seçilmiştir. Seçilen pilot eve dair teknik ve ekonomik ölçütler üzerinden, farklı veri çözünürlüğü senaryoları için en uygun sistem maliyetine sahip hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır.

Minimum maliyet hesaplanırken, pilot evin bölgesine benzer herhangi bir bölgenin kaynak uygunluğuna ve pilot evin enerji ihtiyacına göre sistem boyutlandırılmıştır. Güvenilir enerji arzında maksimum kapasite hedeflenmiştir. Son kullanıcının şebekeden bağımsız sistem kullanımların da, gündelik yaşantılarını ve elektrik kullanımlarını etkileyecek herhangi bir değişikliğe yol açacak tasarım yapılmamıştır. Teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik açıdan en optimum sistem tasarlanmaya çalışılmış, tüketiciler ve sosyal ve ekonomik kısıtlamalar hesaba katılmamıştır.

Modellemede farklı girdi değerleri kullanılmıştır. Belirli sınır koşulları değiştirilerek farklı durumlar için kaynakların yeterliliğine (rüzgar, güneş), maliyet farklılıklarına ve yük durumuna göre en uygun yenilenebilir enerji bazlı sistem tasarımı belirlenmeye çalışılacaktır. Alt bileşenlerin sisteme etkisini daha iyi analiz etmek için, sistem çalışmasının yıllık simülasyonunda HOMER yazılımı kullanılmıştır. Hibrit sistemler çok farklı yenilenebilir enerji üretimi ve depolama yöntemleri içermektedir. Enerji ihtiyacına uygun sistem yapısı belirlenirken, planlama farklı olasılıklara ve ekonomik ölçütlere göre yapılmalıdır. Bu hibrit sistemlerin fizibilite analizinde kullandığımız HOMER yazılımı Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiştir. HOMER çok sayıda proje raporu, bilimsel araştırma ve yayınların hazırlanmasında başarıyla kullanılmıştır [7]. Bu tez içerisinde Bölüm 1.1’de bahsedilen yayınların birçoğunda HOMER yazılımından faydalanılmıştır.

HOMER programı yılın her saati için yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik talebini karşılayıp karşılayamayacaklarını belirler. Kaynakların yetersiz kalması durumunda ise sürekliliğin sağlanması açısından jeneratör veya şebeke gücü gibi kaynakların uygun şekilde devreye girmesini sağlar. Program, sistem çalışmasının simülasyonunu bir yıl içerisindeki her saat için (toplam 8760 saat) enerji dengesini hesaplayarak yapmaktadır. Yılın her bir saati için gerçekleştirilen bu optimizasyon modeli, sistemin belirli bir saat için sağlayacağı enerjiyi elektrik enerjisi talebiyle kıyaslamakta ve modeldeki her bileşen için ilişkili enerji akışını hesaplamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları için sistem modellemesi karmaşık olabilmesine rağmen, kontrol gerektirmediğinden kullanılan ekipmanları modellemek daha basit olmaktadır. Bunun nedeni yenilenebilir enerji kaynaklarının elverişli olduğu her durumda bileşenlerin enerji üretmeye hazır olmasıdır.

HOMER, sistem kontrolünde maliyet optimizasyonunu temel almaktadır. Yazılımda kontrol edilebilir her bir enerji kaynağının maliyeti; saatlik sabit maliyet ve kWh başına enerji maliyeti (EM) olarak iki değerle ifade edilmektedir. Bunlar güç kaynaklarının istenilen zamanda enerji üretmeleri için gerekli maliyetlerdir. Yazılım bu verileri kullanarak talep yükünü karşılayacak kaynak kombinasyonlarını araştırmakta ve karşılayan simülasyonlar arasından en düşük maliyete sahip sistemi bulmaktadır [8].

Literatürde gerek tek bir enerji kaynağına bağımlı olmamak gerekse sistem bileşenlerinin büyük değerlerle boyutlandırılmamaları için hibrit yapıların oluşturulması önerilmektedir [9,10].

Simülasyonda, temel olarak bir enerji üretim teknolojisinin ya da karma kullanımın maliyet açısından etkin olduğu eşik değerleri bulmak amaçlanmıştır. Yedek enerji kaynağı olarak akü kullanılmıştır. Günümüz teknolojisinde yüksek miktarda enerji depolamak için uygun çözümlerin olmaması akülerin önemini daha da artırmaktadır. Bunu doğrulayan en geçerli örnek, bugün hidrolik santrallerden elde edilen enerjinin depolanmasının mümkün olması durumunda, dünya enerji sorununun da büyük oranda çözülmüş olacağına teorik olarak gösterilmiş olmasıdır. Yedek enerji sağlamak amacıyla akülerin kullanılmadığı durumlarda, güvenilir bir enerji arzı sağlanması amacıyla yenilenebilir enerji sistemi bileşenleri büyük ebatlarda boyutlandırılacaktır. Bu da toplam sistem maliyetini önemli oranda artırmaktadır. Öte yandan akü sistemi bulduran bir hibrit yenilenebilir enerji santrali sistem maliyetini düşürürken dalgalanmaları da bastırarak güvenilir bir enerji arzı sağlamaktadır.

Tezin ikinci bölümünde sistemde kullanılan bileşenlerin genel özellikleri ve teknik/ekonomik verilerin seçimi, üçüncü bölümde modelleme yöntemi, dördüncü bölümde ise yük ve kaynak karakteristikleri hakkında detaylı bilgi verilecektir. Beşinci bölümde optimum hibrit sistem tasarımını ele alırken, altıncı bölümde ise simülasyon sonuçları ve önerilerden bahsedilecektir.

1.1 Literatür Özeti

Koutroulis ve diğerleri (2006), genetik algoritma kullanarak minimum maliyetli bir hibrit sistemi optimum şekilde boyutlandırmıştır. Elde edilen sonuçlar, hibrit rüzgar-

güneş düzeneğinin sadece güneş ya da rüzgar enerjisine dayalı sistemlere kıyasla sistem maliyetini düşürecek bir çözüm sunduğu görülmüştür. Kullandıkları yöntemde; fotovoltaik modül eğim açısı, rüzgar türbini montaj yüksekliği gibi enerji maliyetini ve kurulum/bakım masraflarını önemli oranda etkileyen parametreler hesaba katılarak en uygun sistem kombinasyonları belirlenmiştir [12].

Kelouwani ve diğerlerinin (2005) geliştirdiği dinamik modelde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen, enerji depolamada da akümülatör ve gaz hidrojen kullanan, elektrik-hidrojen arasında dönüştürücü olarak da yakıt pilleri ve elektrolizörden faydalanan güç sistemlerinin simülasyonu yapılmıştır. Bu dinamik modelde güç arabirimleri hem geçici hem de kalıcı haller için modellenmişlerdir [13].

Khan ve Iqbal (2005), Newfoundland, Kanada'daki uygulamalar için hidrojeni enerji taşıyıcı olarak kullandıkları bir hibrit enerji sistemi için fizibilite çalışması hazırlamışlardır. Benzetim ve optimizasyon için HOMER programını kullanarak çeşitli yenilenebilir ve konvansiyonel enerji çözümleri ve farklı enerji depolama yöntemleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarında bugünkü fiyatlarla rüzgar-dizel-akümülatör sistemi uygun çözüm görünmüş ancak yakıt pillerinde % 15 civarında bir maliyet düşüşü yaşandığı takdirde rüzgar-yakıt pili sistemini daha cazip hale geleceği belirtilmiştir [14].

Dalton ve diğerlerinin (2008) yenilenebilir enerji modellemelerine göre şebekeden bağımsız bir YES, büyük ölçekli bir otelin enerji gereksinimini güvenilir ve uygun şekilde karşılayabilmektedir. Ayrıca çalışmada büyük ölçekli işletmeler için, rüzgar enerjisi sistemlerinin PV sistemlerine göre daha ekonomik YES olacağını ifade etmiş ve daha çok alana ihtiyaç duyması PV sistemlerinin olumsuzlukları arasında belirtilmiştir [15].

H. Dagdougui ve diğerlerinin (2010) yaptığı çalışma sonunda yenilenebilir enerji kaynakları “doğal” bir çevresel seçenek, iyi rüzgar ve güneş kaynaklarının olduğu yerlerde konvansiyonel enerji üretimiyle ekonomik olarak yarışabilir olduğunu ifade etmişlerdir. Hibrit santraller enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji sistemlerine ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliklerini artırmada yardımcı olabilir. Çalışmalarında amaçları farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu yoluyla yerel ölçekte optimal enerji yönetimi için kullanılacak bir Karar Destek Sistemi'nin mimarisini sunmaktır. Şebekeye bağlı bir hibrit enerji üretimini temsil

eden bütünleştirilmiş model geliştirilmiştir. Model, fotovoltaik ve güneş termal modülleri, rüzgâr türbini ve biyokütle santralinden meydana gelmektedir. Dahası, mikroşebekenin su ihtiyacının yanında elektrik ve termal enerji talebini de temin edecek farklı yolların optimizasyonu için, gerçek zamanlı enerji optimal kontrolü için iki ana meseleye, bir depolama sisteminin varlığına/yokluğuna referansla bir çalışma çerçevesi sunmaktadır. En sonunda, optimizasyon modeli bir vaka analizine uygulanmaktadır [16].

Tomson ve Tamm (2005) güneş radyasyonun dakika uzunluğundaki zaman aralığında değişkenliğine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Kuzey Avrupa'daki güneşlenme iklimi, güneş parlaklığının dalgalanmasını tetikleyen stokastik bulutlanma nedeniyle, “kararlı” yahut “çok değişken” olarak sınıflandırılmaktadır. Genel olarak, güneş ışınımı herhangi bir periyotta hem pozitif hem de negatif artışlar sergilemektedir. Bu artışların dağılım fonksiyonları genlikleri ve süreleri göz önünde bulundurularak araştırılmışlardır. Dağılım fonksiyonlarının radyasyon artışlarının genliğine bağlı olan farklı üslü iki farklı üstel fonksiyonun bir süperpozisyonu olduğu yaptıkları çalışmayla anlaşılmıştır [17].

Richardson ve diğerleri (2010) bağımsız bir ev yerleşimindeki elektrik kullanımı modeli, büyük ölçüde evde yaşayanların faaliyetlerine ve elektrikli ev aletlerini kullanımlarına bağlı olduğundan yola çıkarak, etkin evde bulunma (örn. İnsanların evde bulunmaları ve uyanık olmaları gibi) ve insanların belirli faaliyetleri gerçekleştirirken zamanlarını nasıl harcadıklarını karakterize eden günlük aktivite profillerini temel alan, ev içinde elektrik kullanımının ayrıntılı bir modelini sunmuşlardır. Ev aletleri kullanımının simülasyonu üzerinden genel bir sentetik elektrik talebi verisi türetilmiş olup; model ev ortamında yaygın olarak bulunan başlıca bütün ev aletlerini içermektedir. Modeli doğrulamak için, elektrik talebi İngiltere, Doğu Midlands'ta yer alan 22 hane içinde bir yıllık bir süre boyunca kaydedilmiştir. Türetilmiş ve ölçülmüş veri setleri arasında kapsamlı bir kantitatif karşılaştırma yapılmış ve bunların benzer istatistiksel karakteristiklere sahip oldukları görülmüştür. Modelin karşıdan yüklenebilir bir örneği mevcut olup ve kullanıcıların özel ihtiyaçlarına göre yapılandırılabilen ya da başka modellere eklenebilmektedir [18].

Richardson ve diğerleri (2008) evlerdeki enerji kullanımının karbon emisyonlarının büyük bir kaynağı olduğunu ve kullanıcıların aktivitelerine son derece bağlı

olduğunu savunmuşlardır. Daha spesifik olarak, enerji kullanımının zamanı, özellikle elektriğin kullanımı zamanı ev sakinlerinin aktivitelerinin zamanlamasına son derece bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden, evsel talep profillerini geçici derin çözümlemeyle modelleyebilmek için, örneğin, talep tarafı yönetim sistemlerinin (talebin zamanla kaydedilmesi de dahil ederek) tasarlanması ve kararlaştırılması bağlamında, ev sakinlerinin ev aletlerini, aydınlatmasını ve ısıtmasını kullanma davranışlarını hesaba katmışlardır. Bu çalışmada Birleşik Krallık meskenleri için insanların neyi ne zaman yaptıklarını tanımlayan araştırma yapılmış zamana bağlı verileri temel alan detaylı ve tam bir metod sunmuşlardır. Çalışmalarında ortaya koydukları yaklaşım, on dakikalık zaman aralığında haftaiçi ve haftasonundaki farklılıkları dikkate alarak zamana bağlı istatistiksel doluluk verileri üretmişlerdir. Model aynı zamanda, örneğin enerji kullanımının paylaşımını (ortak kullanılan aletler, vs.) modellemek için mühim olan, belirli bir zamanda bir evde aktif olan sakinlerin sayısını da belirtmektedir. Modelin verileri zamana bağlı doluluk verilerini temel bir değişken olarak kullanan herhangi bir evsel enerji modeli için veya ayrıntılı doluluk verisi gerektiren başka herhangi bir uygulama için girdi olarak kullanılabilir. Model Excel’de hayata geçirilmiş ve ücretsiz indirilebilmektedir [19].

McKenna ve diğerleri (2011) düşük karbonlu ekonomiye geçişte kritik bir adım olduğunu savunan kesimlerle birlikte, akıllı sayaçların dünya çapında büyük bir şekilde yaygınlaştığını söylemektedirler. Ancak akıllı sayaçlara karşı hâlâ çözülememiş, akıllı sayaçların meskende yapılan özel aktiviteleri açığa çıkarmak için kullanılıyor olabileceği üzerine kurulu belli olumsuz tepkilerin mevcut olduğunu ifade ediyorlar. Her ne kadar akıllı sayaç verileri kişisel veri olarak sınıflandırılırsalar ve bu tür veriler AB’deki bilgi koruma çerçeveleri içinde korunuyor olsa da, bilhassa veriye ‘kanunla düzenlenmiş görevler’in yapılmasıyla ilgili meşru uygulamalarca ihtiyaç duyulduğu yerlerde istisnalar mevcuttur. Çalışmalarında, elektrik temin endüstrisi içinde sunulan bazı akıllı sayaç veri uygulamalarının veri gereksinimlerini gözden geçirerek bu tartışmaya katkıda bulunuyor ve kişisel veri kullanımının azaltılıp azaltılamayacağını ve hatta bundan kaçınıp kaçınılamayacağını araştırıyorlar. Bu tartışma sistem dengeleme, talep azaltma, talep karşılığı ve dağıtım ağı işletimi ve planlamasını kapsamakta ve bu tip uygulamaların çoğunluğu için kişisel veri gereksinimlerinin gayet azaltılabileceğini belirtmektedirler [20].

Veri sıklığı ve çözünürlüğü üzerine bazı çalışmalar da mevcuttur. Richardson ve diğerleri (2009) elektrik aydınlatmasının meskenlerde kullanımını esas olarak dışarıdan gelen doğal ışıkla beraber ev sakinlerinin aktivitelerine bağlı olduğuna dayanarak çalışmaya başlamışlardır. Bu çalışma bu iki faktörü temel girdisi olarak gören ev aydınlatması kullanımının detaylı bir modelini sunmaktadır. Ayrı ayrı lambaların işletimi bu modelde açıklanmakta ve ayrı ayrı meskenler için derin çözümlemeli aydınlatma elektriği talep profilini oluşturmak için kullanılmaktadır. Model işlemsel olarak verimli ve çok sayıda mesken için bir dakikalık çözümlemedeki veriyi kolaylıkla vermektedir. Model birincil girdi olarak zamana bağlı değişen, bir meskendeki aktif sakinleri (evde ve uyanık olan insanlar) temsil eden bir veri kullanılmaktadır. Bu sayede belirli bir meskenin sakinleri arasında aydınlatmanın paylaşımını göstermesine olanak veriyor ve mesken içindeki diğer enerji kullanım modelleriyle karşılıklı olarak ilişkilendirilmesini kolaylaştırıyor. Meskenler arasındaki uygun korelasyona, uygun aktif mesken doluluğu verisi ve dış ortam ışık verisi yoluyla ulaşılmaktadır [21].

Elma ve Selamoğulları (2012) Şebekeden bağımsız bir meskenin elektrik ihtiyacını temin etmek için rüzgar ve güneş enerji kullanımı araştırmıştır. Güneş ve rüzgar enerji kaynaklarını birleştirmek, birbirlerini dekteledikleri için, şebekeden bağımsız uygulamalar için daha güvenilir enerji kaynağı olmaktadır. Kesintisiz enerji için yedekleme ünitelerine (batarya/süperkapasitör) de ihtiyaç duyulur. Bu tip sistemlerde düzgün bir yedekleme boyutlandırması için, literatürde bulunan saatlik ortalama veriye karşılık derin çözümlemeli yük verisi, rüzgâr hızı ve güneş ışınım verisi kullanılmalıdır. Bu çalışmada, hem yük hem de kaynak tarafındaki derin çözümlemeli veri deneysel olarak toplanmaktadır. Daha sonra, toplanmış veri düşünülen hibrit güç sistemindeki yedeklemenin boyutlandırması için Matlab/Simulink'teki sistem simülasyonlarına girdi olarak kullanılmaktadır. Şarjın yedekleme durumu karar verme kriteri olarak kullanılmıştır. Yük ve şebeke dinamikleri ele alındığında, saatlik ortalama değerlerle bulunan yedekleme boyutuna karşılık yaklaşık % 10 daha az yedekleme boyutu gerektiği gösterilmiştir. Bu çalışma bu tip sistemlerdeki yedekleme boyutlandırmasında veri çözümlemesinin önemini gösteriyor ve yenilenebilir enerji sistem tasarımcıları için bir rehber niteliğindedir [22].

2. HİBRİT SİSTEM BİLEŞENLERİ

Yenilenebilir enerji sistemlerinden (YES) istifade eden enerji sistemleri uzaktaki tüketicilerin elektrikleştirilmesi için hem ilginç hem de çevre dostu teknolojik çözümlerdir. Yine de, ilk kurulum maliyeti oldukça yüksektir [56], bazı durumlarda yaşam-boyu maliyeti de yüksektir [52]. Sözü edildiği üzere, nispeten yüksek işletme masraflarını sınırlamak ve sistem güvenilirliğini artırmak için bazı araştırmacılar şebekeden bağımsız çözümün birden fazla YES'ten paralel şekilde faydalanarak, bir başka deyişle her aday bölgede mevcut olan yenilenebilir potansiyeli temel alan şebekeden bağımsız enerji sistemlerinin kurulumuyla, güçlendirilmesini önermektedir.

Aslında, hibrit bir enerji sistemi ya yalnızca YES temelli veya küçük bir termal güç ünitesinin de (örneğin dizel elektrik jeneratörü ya da küçük bir gaz türbini) kullanımı temelli iki veya daha fazla elektrik üretim seçeneğinden ve bunlara eşlik eden uygun bir enerji depolama kümesi ve ihtiyaç duyulan elektronik aygıtlardan oluşur. Bu bağlamda, bir hibrit enerji sistemi birden fazla YES'in, bir başka deyişle rüzgâr/güneş/hidro-güç ve hatta biyokütle sisteminin, potansiyelini birleştirir; bunun yanında yakın gelecekte jeotermal ve dalga enerjisinin de kullanımı beklenmektedir.

YES-temelli hibrit enerji sisteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Birden fazla elektrik üretim kaynağı temelli olduğu için, hibrit enerji sisteminin artan güvenilirliği,
- Özellikle kullanılan farklı YES'in tamamlayıcı özellik gösterdiği durumlarda, enerji depolama kapasitesinin küçültülmesi,
- Özellikle fotovoltaik (PV) panellerin kurulumunun kurşun-asit bataryalar gibi klasik enerji depolama aygıtlarının kullanıldığı durumlarda, sınırlı bakım ve işletim maliyeti,
- Özellikle hibrit enerji sisteminin hiçbir fosil yakıt kullanmadığı (sadece YES-temelli hibrit enerji sistemleri) durumlarda, optimum çevre dostu durum,

- Özellikle hibrit enerji sisteminin optimum tasarım teknikleriyle kurulduğu durumlarda, fosil yakıt fiyatlarının zamanla değişimine bağlı olmayan, minimum yaşam-boyu elektrik üretim maliyeti.

Diğer yandan, hibrit enerji sisteminin bazı dezavantajları da mevcuttur;

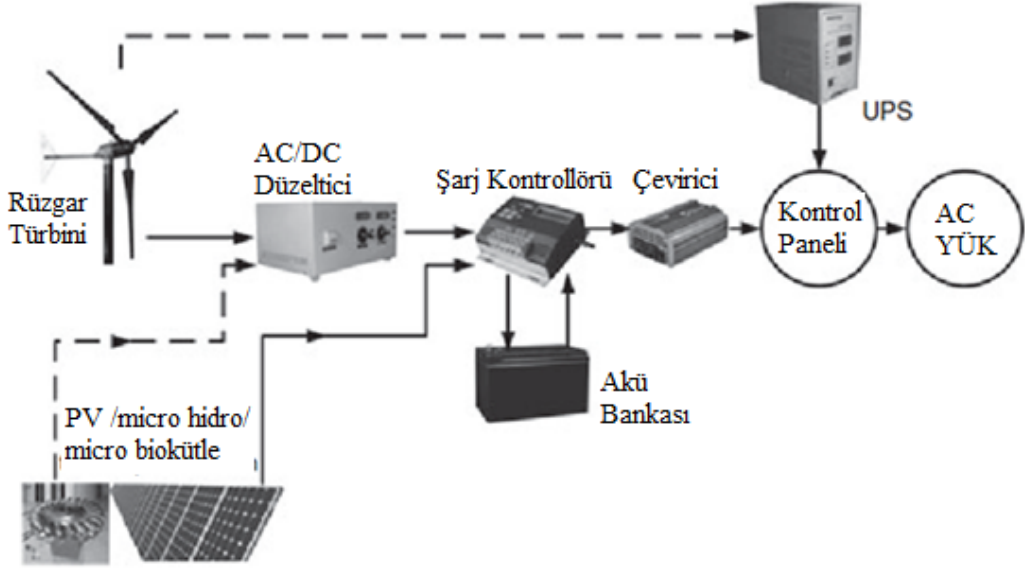
- Çoğu durumda hibrit enerji sistemi daha büyük boyutlandırılmıştır, çünkü sistem tasarımcıları her bir sistem bileşeninin yük talebini diğer enerji kaynaklarının katılımı olmadan sağlayabilmesi için çabalar. Yine de, bu sorun yeni boyutlandırma algoritmaları kullanılarak çözülebilir.
- Uzun vadeli maliyeti normalde düşük olmasına rağmen, ilk kurulum maliyeti yüksektir. Bu yüksek kurulum maliyeti bazı potansiyel yatırımcıları çekimser hale getirmektedir.
- Farklı teknolojilerin uygulanması şebekeden bağımsız sistemlere bir derece karmaşıklık getirir (özellikle elektronik kontrol aygıtlarında ve bakım ve işletim prosedürlerinde), özellikle uzaktaki tüketiciler için ciddi bir problemdir.
- Termal ünitelerin (örn. dizel elektrik jeneratörleri) ve bataryaların kullanılmasının çevresel etkilerle ilişkisi vardır, bu yüzden bu YES-temelli sistemlerin çevre dostu özelliklerini düşürmektedir.

Uluslararası literatürde bulunan bilgi temel alınırca, bir kimse birkaç rüzgar-bazlı hibrit enerji yapılandırmasına ulaşabilir, örn: rüzgâr-dizel sistemler; rüzgâr-PV-bazlı sistemler; rüzgâr-hidro tesisler; rüzgâr-biyokütle-bazlı tesis; rüzgâr-PV ve dizel-bazlı sistemler; rüzgâr-hidro ve dizel-bazlı tesisler; rüzgâr-hidrojen/yakıt pili hibrit enerji sistemleri vb.

Benzer güç istasyonları müstakil köyler ve uzaktaki adalara kadar, uzaktaki bir tüketicinin elektrik ihtiyacını, minimum fosil yakıt tüketimi ile, karşılayabilir.

Özetle, şebekeden bağımsız bir sistemin, uzaktaki bir tüketicinin elektrik talebini gerçekçi bir maliyetle ve belli bir yük kaybında (veya güvenilirlik seviyesinde) karşılama yetisi sınırlıdır. Ehemmiyetine ve hizmet edilecek kuruluşa bağlı olarak, bir kimse yük geri çevrilmesi olmadan (bir başka deyişle yük her durumda karşılanarak) işletim isteyebilir veya elektrik yük beslemesi olmadan (önceden belirlenmiş) bir maksimum zamanla sınırlayabilir. Şekil 2.1’de tipik bir yenilenebilir

enerji sistemlerinden oluşan şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Tipik bir YES bazlı şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi.

2.1 Güneş Panelleri (Fotovoltaik Sistemler)

Fotovoltaik sistemler fotovoltaik hücre etrafında tasarlanır. Tipik bir fotovoltaik hücre, 0,5 V DC'de 3 W'tan az üretim yaptığından, yüksek enerji gerektiren uygulamalara yönelik yeterli enerji üretmesi için hücreler seri-paralel konfigürasyonlarında bağlanmalıdır. Şekil 2.2 hücrelerin modüller olarak yapılandırılmasını ve modüllerin diziler halinde bağlanmasını göstermektedir. Modüller, hedeflenen uygulamaya bağlı olarak bir kaç wattan 300 W'a kadar değişebilen tepe üretim enerjilerine sahip olabilir. Genel dizi üretim enerjisi 100 W ile kW aralığındadır, ayrıca MW dizileri de mevcuttur.

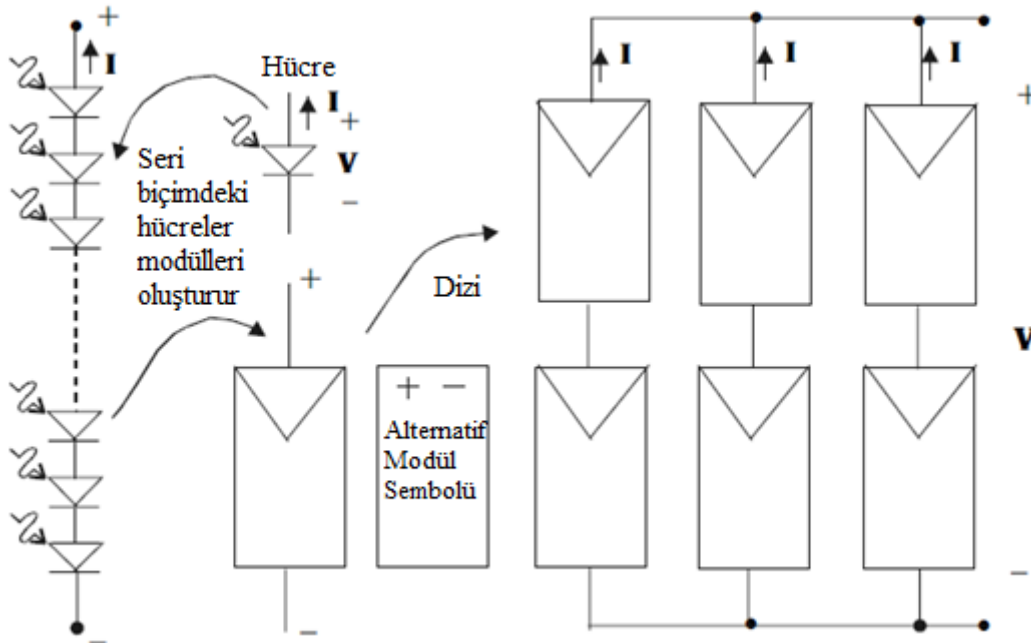
PV dizileri yalnızca aydınlıkta enerji ürettiğinden, PV sistemlerinde genelde enerji depolama mekanizmaları olur, böylece toplanan elektrik enerjisi daha sonra kullanılabilir. En yaygın depolama mekanizması yeniden şarj edilebilir aküleri içerir, ancak farklı depolama mekanizmaları kullanmak da mümkündür. Enerji depolamanın yanı sıra, depolama aküleri aynı zamanda kısa süreli baskılama, sistem gerilimi düzenleme ve PV dizisi kapasitesini aşabilecek bir akım kaynağı oluşturur.

Akü depolama mekanizması kullanıldığında, genelde sisteme bir de şarj denetleyici dahil edilir, böylece bataryalar fazla şarj edilmiş veya şarjı boşalmış bir konuma gelmekten korunur. Sistem tarafından hizmet verilecek yüklerin tamamının ya da bir kısmının AC yükleri olması mümkündür. Bu durumda, PV dizisini AC'den DC'ye dönüştürmek için bir çevirici gereklidir. Bir sistem, PV sisteminin yeterli enerji üretmemesi halinde sistemi devralması için bir yedekleme sistemi içerirse, o zaman sistemin yedekleme sistemini çalıştırmak için bir denetleyiciye ihtiyacı vardır.

PV sisteminin elektrik şebekesine bağlı olması da mümkündür. Bu tür sistemler, fazla enerjiyi şebekeye iletebilir veya yetersiz PV üretimi halinde şebekeyi bir yedekleme sistemi olarak kullanabilir. Bu şebekeye bağlı sistemlerin, PV sisteminin şebeke arızası halinde şebekeyle bağlantısını kesmesine imkan tanıyan uygun arayüz devrelerine sahip olması gerekir. Şekil 2.3 çeşitli fotovoltajik sistem türlerinin bileşenlerini göstermektedir.

2.1.1 PV hücresi

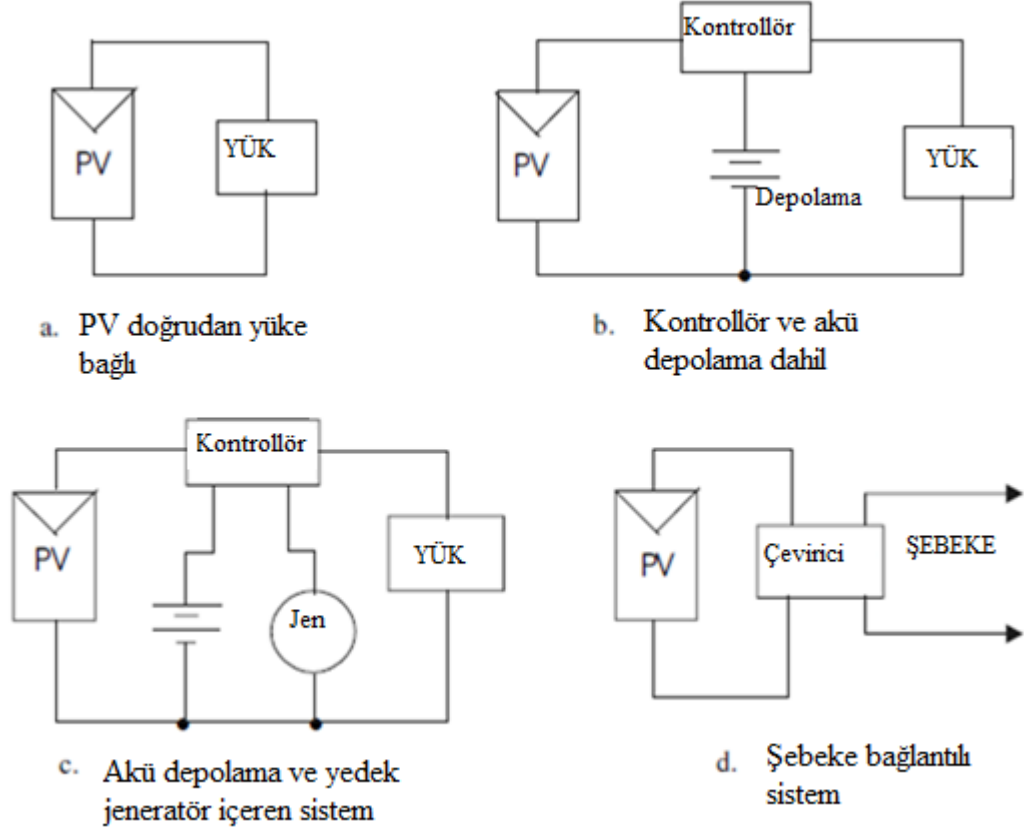
PV hücresi, özel olarak tasarlanmış bir pn bağlantısı veya Schottky bariyer cihazıdır. İyi bilinen diyot denklemi, gölgeli PV hücresinin çalışmasını açıklamaktadır.



Şekil 2.2 : Hücreler, modüller ve diziler.

Hücre aydınlatıldığında, elektron deliği çiftleri, hücre atomlarıyla orada bulunan fotonların etkileşiminden elde edilir. Hücre bağlantısıyla oluşturulan elektrik alanı, fotonun ürettiği elektron deliği çiftlerinin ayrılmasına neden olur, elektronlar

hücrenin n-bölgesine ve delikler de p bölgesine kayar. Bu bölüm için, PV hücrenin terminal özelliklerini bilmek yeterlidir.



Şekil 2.3 : PV sistemlerinin örnekleri.

Şekil 2.4'te tipik bir PV hücrenin I-V karakteristiklerini verilmektedir. Hücrenin akım ve gerilim miktarlarının hücre aydınlanma seviyesine bağlı olduğu unutulmamalıdır. İdeal durumda, I-V (akım-gerilim) karakteristiği denklemi

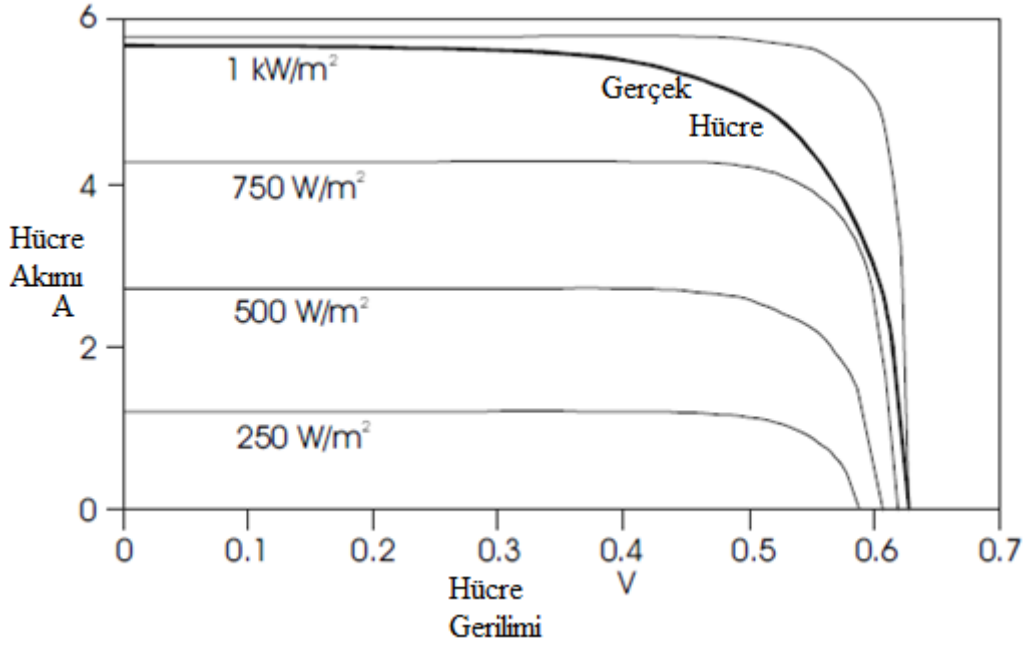
$$I = I_l - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

şeklindedir. Burada, I fotonlara bağlı olarak hücre akımı bileşeni, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ coulomb, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ j/K ve T içindeki hücre sıcaklığı K. Gerçek PV hücrelerinin I-V özellikleri ideal halinden farklı olsa da, (2.1) PV hücrelerin ideal performans sınırlarını belirlememizi sağlamaktadır.

Şekil 2.4 PV hücrenin hem sınırlayan gerilime hem de sınırlayan akıma ihtiyaç duyduğunu gösterir. Böylece, hücre açık devre veya kısa devre koşullarında çalışarak hasar görmez. PV hücrenin kısa devre akımını belirlemek için, üslü sayıda $V=0$ ayarı yapmanız yeterlidir. Bu $I_{SC} = I_l$ sonucunu verir. Çok iyi bir yaklaşıma ile

hücre akımı hücre ışınımı ile doğru orantılıdır. Yani, standart test koşulları altında hücre akımı biliniyor, AM 1,5 iken, $G_0 = 1 \text{ kW/m}^2$, bu nedenle başka bir ışınımdaki hücre akımı olan G ,

$$I_L G = (G/G_0)I_L(G_0) \quad (2.2)$$



Şekil 2.4 : Farklı aydınlanma seviyelerinde gerçek ve ideal PV hücrelerinin I-V özellikleri.

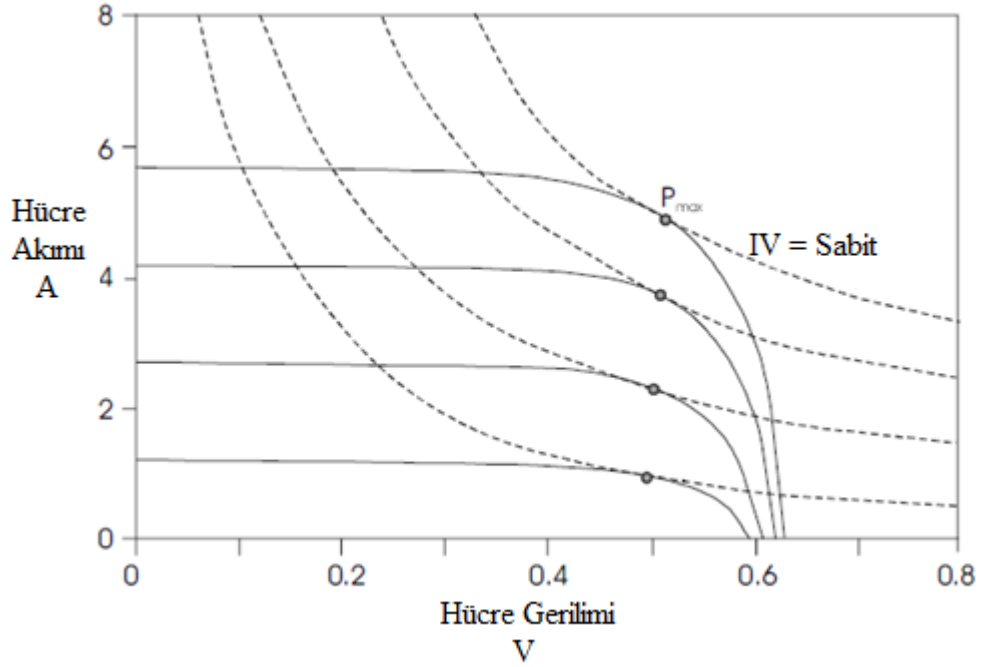
Hücrenin açık devre voltajını belirlemek için, hücre akımı sıfır olarak belirlenir ve (2.1) V_{oc} için çözümü yapılır, ortaya çıkan sonuç,

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_L + I_0}{I_0} = \sim \frac{kT}{q} \ln \frac{I_L}{I_0} \quad (2.3)$$

normalde $I_L \gg I_0$ olarak kabul edilir. Örneğin, doygunluk akımını tersine döndürecek foto akımın oranı 10^{10} ise, 26 mV termal voltajı kullanarak (kT/q) $V_{oc} = 0.6 \text{ V}$ sonucu elde edilir. Açık devre voltajının hücre ışınımına yalnızca logaritmik olarak bağlı olduğu, ancak kısa devre akımının hücre ışınımıyla doğrudan orantılı olduğu dikkate alınır.

Hücre akımını hücre voltajıyla çarpmak suretiyle hücre gücü elde edilir. Pahalı PV hücreden mümkün olduğunca çok elektrik elde edebilmek için, hücrenin maksimum güç üretecek şekilde çalıştırılması arzu edilir. Şekil 2.5'e bakıldığında hücrenin maksimum güç ürettiği hücre I-V özelliğinin üstünde bir nokta olduğu görülür. Aynı zamanda, maksimum güçte gerilimin hücre ışınım düzeyine bağlıdır. Maksimum

güç noktası, $IV = \text{sabit}$ olarak tanımlanan bir hiperbol kümesini işaretleyerek elde edilebilir ve eğriye değmeme ya da eğriyi iki noktada kesmeyle kıyaslandığında, hücre I-V eğrisine sadece bir noktada teğet olan hiperbolla ilişkili enerjiyi dikkate alarak elde edilebilir. Maksimum güç noktası da hücre enerjisi denkleminin türevi alınarak ve sonucu sıfıra eşitleyerek de belirlenebilir. Bu koşullara uyan gerilim değeri bulunduktan ve bu gerilim değerinin maksimum değeri temsil ettiği doğrulandıktan sonra, maksimum güç noktası bulunur.



Şekil 2.5 : PV hücre çalışma karakteristiği üzerinde maksimum güç noktasının belirlenmesi.

Maksimum güç noktası, ayrıca Şekil 2.6'da gösterildiği gibi hücre enerjisinin hücre gerilimiyle karşılaştırıldığı bir grafik çizilerek de kolayca bulunabilir.

I_m maksimum enerjide hücre akımını temsil ediyorsa ve V_m maksimum enerjide hücre gerilimi temsil ediyorsa, o zaman hücre maksimum gücü şu şekilde ifade edilebilir,

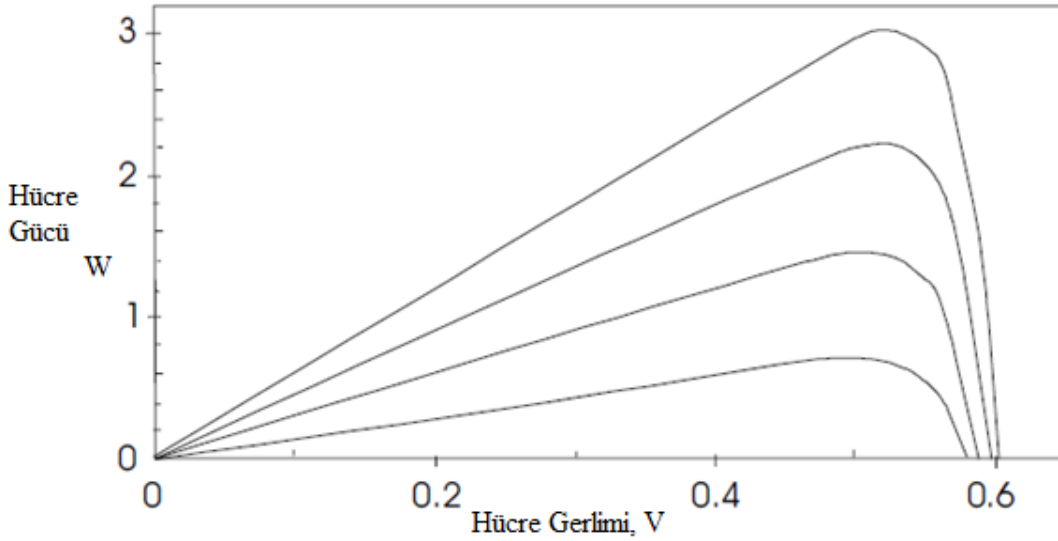
$$P_{max} = I_m V_m = FF I_{SC} V_{OC} \quad (2.4)$$

Bu denklemde FF hücre doldurma faktörü olarak tanımlanır. Doldurma faktörü, hücrenin kalitesini ölçer. Geniş dahili dirence sahip hücrelerin daha küçük doldurma faktörleri vardır, ideal hücrenin doldurma faktörü ise bire eşittir. Doldurma faktörünün bir olması dikdörtgen hücre I-V özelliğinin göstergesidir. Bu tür bir özellik hücrenin ideal bir gerilim kaynağı ya da ideal bir akım kaynağı olarak mı

çalışacağını gösterir. Gerçek bir hücrenin dikdörtgensele özelliği olmasa bile, çalışmasının, ideal voltaj kaynağına yaklaştığı bir bölgesinin ve çalışmasının ideal akım kaynağına yaklaştığı başka bir bölgesinin olduğu da açıktır.

Hücre enerjisi ile hücre gerilim eğrisi karşılaştırması hücre yüküne aktarılan enerjiyi en üst düzeye çıkarmayı düşünürken özellikle önemlidir.

PV hücresi I-V eğrisi sıcaklığa karşı da duyarlıdır. (2.3)'e kısaca bakıldığında, açık devre voltajının hücrenin mutlak sıcaklığıyla doğru orantılı olduğu görülebilir. Daha uzun süre baktığınızda, ters doyumluk akımının da büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olduğu görülebilir.



Şekil 2.6 : 4 ışınım seviyeli bir PV hücre için güç ve voltaj karşılaştırması.

Silikon bir PV hücrenin açık devre gerilimi yaklaşık $0,5/^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışıyla $2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ düşüş gösterir. Kısa devre akımı ise neredeyse sabit kalır. Sonuç olarak, hücre enerjisi de yaklaşık olarak $0,5/^{\circ}\text{C}$ azalır. Şekil 2.7, PV hücre gücünün gerilim karakteristiklerine bağlılığı görülmektedir.

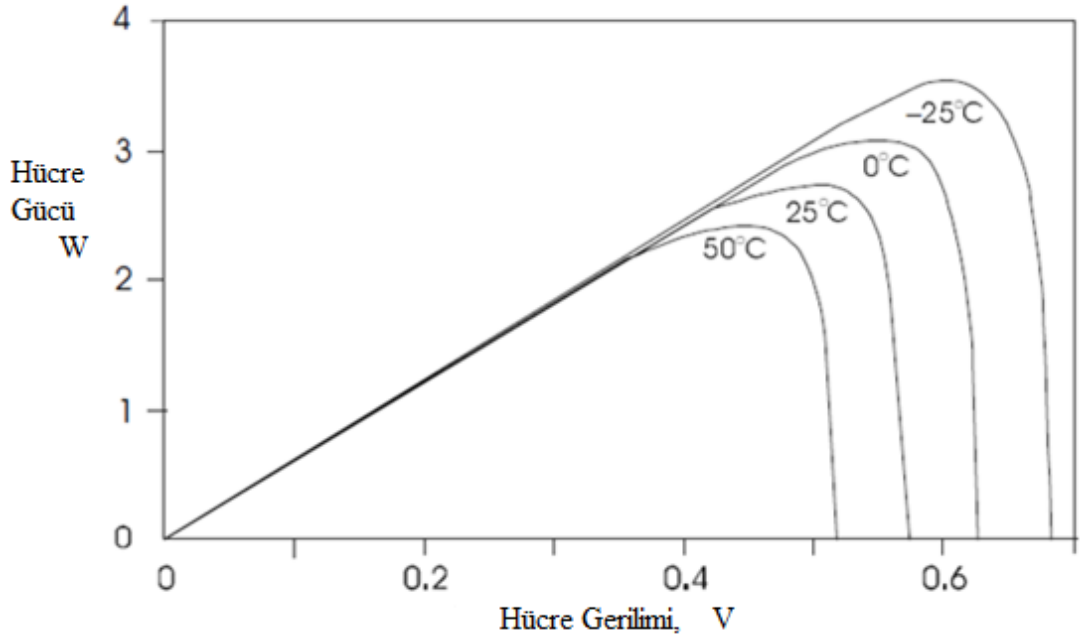
Bir hücre ışıklandırıldığında, genelde ışınımın % 20'sinden azını elektrığe dönüştüreceğini unutulmamalıdır. Geriye kalan ısıya dönüştürülerek hücrenin ısınmasına neden olur. Sonuç olarak, hücrenin ortam sıcaklığının üstünde çalışması söz konusudur. Hücre bir yoğunlaştırıcı sistemin parçası ise, o zaman daha da fazla ısınarak, hücre performansında ilave düşüşüne neden olur.

PV hücrede geliştirilen foto akım, hücre üzerine düşen ışığın yoğunluğuna bağlıdır. Foto akım aynı zamanda düşen ışığın dalga uzunluğuna da büyük ölçüde bağlıdır. PV

hücreler, bu spektrumun elektriğe dönüştürülmesinin mümkün olduğunca verimli olmasını sağlayacak malzemelerden yapılır. Hücre teknolojisine bağlı olarak, bazı hücrelerin emmeyi maksimum düzeye çıkarabilmek için diğerlerinden daha kalın olması gerekir. Hücreler genelde yansıtmayan kaplama ile kaplanarak güneş ışığının hücrelerden yansımalarını en aza indirir.

2.1.2 PV modül

Yeterli üretim gerilimini elde etmek için PV hücreler seri bağlantı ile bir PV modülü oluşturmak için bağlanır. PV sistemler genelde 12 V ve katlarıyla çalıştırıldığından modüller genel olarak bu sistemlerde optimum düzeyde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Tasarım hedefi, yeterli sayıda hücreyi seri şekilde bağlamak ve böylece modülün V_m 'sini batarya/sisteminin gerilimini ortalama ışınım koşullarında rahat bir aralıkta tutmaktır.



Şekil 2.7 : PV hücre için güç ve voltaj eğrisinin karşılaştırılmasında sıcaklığa bağlılık.

Bu yapıldıktan sonra, modülün enerji çıkışı maksimuma yakın seviyede korunabilir. Bu, tam ışık koşullarında, V_m 'nin yaklaşık 16-18 V arasında olması gerektiği anlamına gelir, çünkü V_m normalde V_{oc} 'nin yaklaşık % 80'i kadardır, bu da modülü yaklaşık 20 V V_{oc} elde edecek şekilde tasarlamak gerektiğini gösterir. Genelde 0,5 - 0,6 V aralığında olan silikon hücre açık devre gerilimi göz önünde

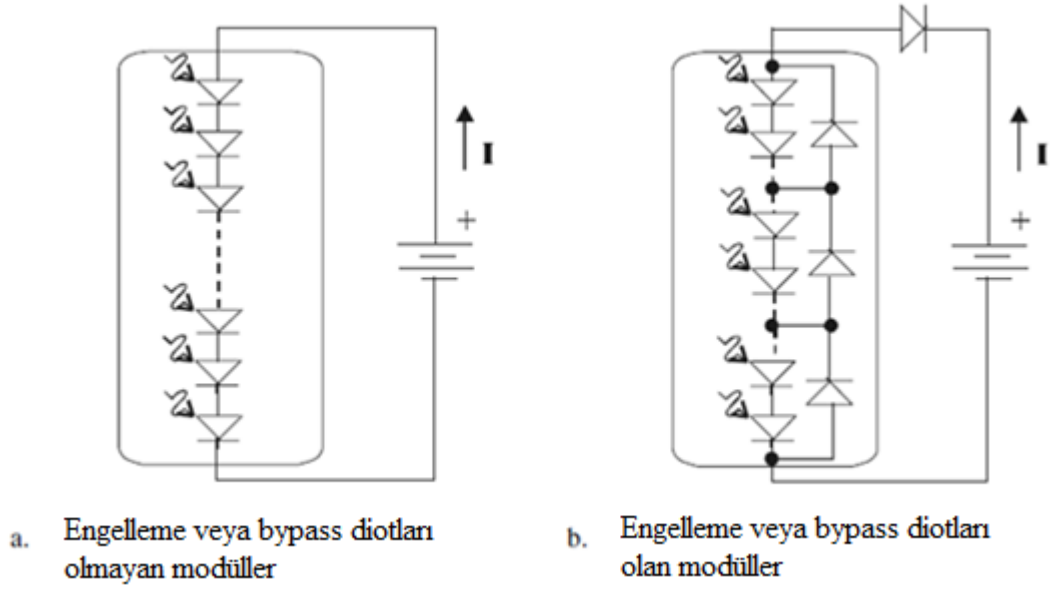
bulundurulduğunda, bu, modülün seri bağlantılı durumda iken 33-26 hücre içermesi gerektiğini gösterir. Her bir bağımsız hücrenin yaklaşık 2-3 W üretecek kapasitesi vardır, buna bağlı olarak modülün 70-100 W arası üretim yapabilmesi beklenmektedir.

Bir modülü sisteme bağlarken, göz önünde bulundurulması gereken birinci şey modül aydınlanmazsa ne olacaktır. Bu gece olabilir, ancak aynı zamanda hücre veya hücrenin bir bölümü herhangi bir şekilde gölgede kalırsa gün içinde de olabilir.

Gece koşullarında, hücrelerden hiçbiri yeterli foto akım üretmezken, modülü Şekil 2.8'de gösterildiği gibi sistem depolama bataryaları tarafından ileri gerilim oluşturacak seri bağlantılı diyot olarak düşünmek gerekli olabilir. Örneğin, modülün 33 hücreden oluştuğunu, bunlardan her birinin 10 - 10 A kadar test doygunluk akımı olduğunu varsayalım. Ayrıca, sistem bataryası voltajının 12,8 V olduğunu ve bu gerilimin seri bağlanmış hücreler arasında eşit dağıtıldığı varsayıldığında her bir hücrenin ileri gerilim yönünde 0,388 V sahip olacağı anlamına gelir. Bu durumun 0,32 mA akımın bataryalardan PV modülüne akmasıyla sonuçlandığını gösterir.

Eğer modül 28 hücreden oluşuyorsa, güneşin tepede olduğu sürede bataryanın daha verimli şarj edilmesini sağlar, çünkü V_m , batarya gerilimine daha yakın olan 14,6 V değerine yaklaşır. Ancak, güneş altında değilse, her bir hücrede 0,457 V bulunur ve 4,63 mA batarya deşarj akımı akışı olur. Ayrıca, zayıf güneş ışığı altında veya yüksek sıcaklıklarda, modülün ürettiği gerilim batarya geriliminden düşük olabilir ve şarj işlemi gerçekleşmez.

Başka bir diyot seri bağlantıyla modüle bağlanmışsa, akımın ters yönde akışını engellemek için bu engelleme diyotu ileri gerilim düşüşüne sahip olur ve modül foto akım sağlarken 1 W'dan daha fazla enerji kaybı oluşur.



Şekil 2.8 : Engelleme diyotu varken ve yokken, PV modülü üzerinden batarya deşarj yolu.

Modül yalnızca 50 W sağlıyorsa, kaybedilen enerji, modülün ürettiği toplam enerjinin % 2-3'üne karşılık gelir. Sonuç olarak, seri bağlantıda daha fazla hücre olması daha verimlidir. Aslında, engelleme diyotları PV sistemlerde nadiren kullanılır. Hücrelerin tam sayısı, tek bir hücrenin performans özelliklerine bağlıdır. Modüllerin üreticileri, açık devre gerilimini belirtir ve tam güneş test koşulları altında modül maksimum güç değeriyle birlikte modüllerin kısa devre akımlarını belirtir. Bu parametreler, bağımsız hücreler için Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

PV hücrelerin seri olarak bağlanmasıyla ilgili bir diğer önemli gözlemse, bağımsız hücrelerin gölgede kalmasıyla ilgilidir. Bir modüldeki hücrelerden herhangi biri gölgede kalırsa, o hücrenin performansı düşer. Hücreler seri bağlantılı olduğunda, gölgede kalmayan diğer modüller paralel bağlandıysa, bu hücrenin ileri gerilimli olabileceği ve sonuçta hücrenin ısınabileceği anlamına gelir. Bu olay prematür hücre arızasına neden olabilir. Sistemi bu tür bir arızadan kurtarmak için modüller genelde bypass diyotlarıyla korunur. Bu durum Şekil 2.8'de gösterilmektedir. PV akımı, modüldeki bir veya daha fazla PV üzerinden akamazsa, onun yerine bypass diyotundan akar.

Hücreler modüllere monteli ise, genelde yansıtmayan kaplamayla kaplanırlar, daha sonra hücre bağlantılarının bozulmasını önlemek için özel bir lamine ile kaplanırlar. Modül yatağı genelde metaldir, bu da modüle fiziksel dayanıklılık kazandırır. PV

hücreleri modüle monte edildiğinde, nominal çalışan hücre sıcaklığına sahip olarak karakterize edilebilirler. NOCT, 20 °C ortam sıcaklığında, AM 1,5 ışınım $G=0,8$ kW/m² ve 1 m/sn'den az rüzgar hızı koşullarında açık devrede çalıştıklarında hücrelerin erişeceği sıcaklıktır.

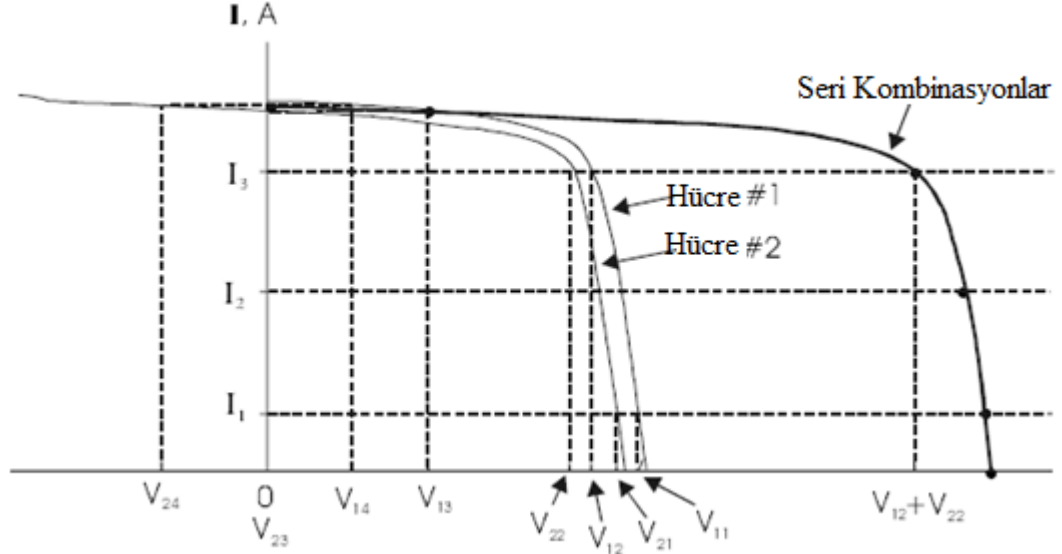
Bir modülün verimliliğini en zayıf bağlantısına göre belirleneceğini dikkate almak önemlidir. Hücreler seri bağlı olduğundan, modüldeki hücrelerin mümkün olduğunca yakın eşleştirilmesi önemlidir. Bu durum geçerli değilse, bazı hücreler tepe verimlilikte çalışırken, diğerleri optimize edilmiş olmayabilir. Sonuç olarak, modülün enerji üretimi hücre sayısının ve bir hücrenin maksimum enerjisinin çarpımından daha az olacaktır.

Şekil 2.9, bağımsız hücrenin çalışma özelliklerinin modülün kompozit çalışma özelliklerini üretmek için nasıl kombine edilmesi gerektiğini göstermektedir. Tüm hücreler aynı akımı taşıdığından, tek tek hücrelerin gerilimlerinin harici yük tarafından uygulanan akım kısıtlamasını karşılamak için aynı şekilde uyum sağlaması gerektiği dikkate alınmalıdır. Seri bağlı n tane hücre için kompozit I-V karakteristiği, her bir hücrenin gerekli akımı sunmasını sağlayan bağımsız hücre gerilimleri toplayarak elde edilir. Modülden elde edilebilecek maksimum akım, çalışma ışınımında belirtilen yük koşulları altında en düşük akıma sahip hücreden olumsuz etkilenir. Bu nedenle, modül içindeki tüm hücrelerin aynı I, V ve ışınım eğrilerine sahip olmaları gerekir. Bir hücrenin enerji üretiminin diğer hücrelerinkinden farklılaşabileceği koşulları düşünmek, özellikle de kuş sürülerinin modülü iyi bir dinleme yeri olarak görebileceği bir yerde kullanılıyorsa çok zor değildir.

Seri bağlı iki hücre için kompozit I-V eğrisini elde etmek için, gerekli akımı üretmek için gereken gerilimler Şekil 2.9'da gösterildiği gibi toplanır. Bir hücre diğerine göre daha geniş bir I_{SC} 'ye sahipse, kombinasyonun gerilimi sıfırken, her bir hücrenin geriliminin sıfır olmak zorunda olmadığı dikkate alınmalıdır. Şekil 2.9'da 2 nolu hücrenin 1 nolu hücreden daha düşük bir I_{SC} değeri vardır ve bu nedenle akımı 1 nolu hücrenin akımına eşit olana kadar voltajı negatif değerde kalır. Bu, bir numaralı hücrenin enerji ürettiği ve 2 numaralı hücrenin bu enerjiyi harcadığı anlamına gelir.

Yaklaşık 30 hücre seri olarak bağlandığında, aynı I-V eğrisine sahip değilse, o zaman modül kısa devre yaptığında, hücrelerin bir kısmı enerji üretirken diğer hücreler bu enerjiyi harcar. Hücreler arasındaki uyumsuzluk ne kadar yüksekse, daha

zayıf hücrelerde boşa harcanan enerji miktarı o kadar fazla olur. Tüm hücreler arasında mükemmel bir uyum varsa, kısa devre koşulları altında modül içinde enerji kaybı yaşanmaz.



Şekil 2.9 : Bir PV modülü için kompozit çalışma özelliklerinin belirlenmesi.

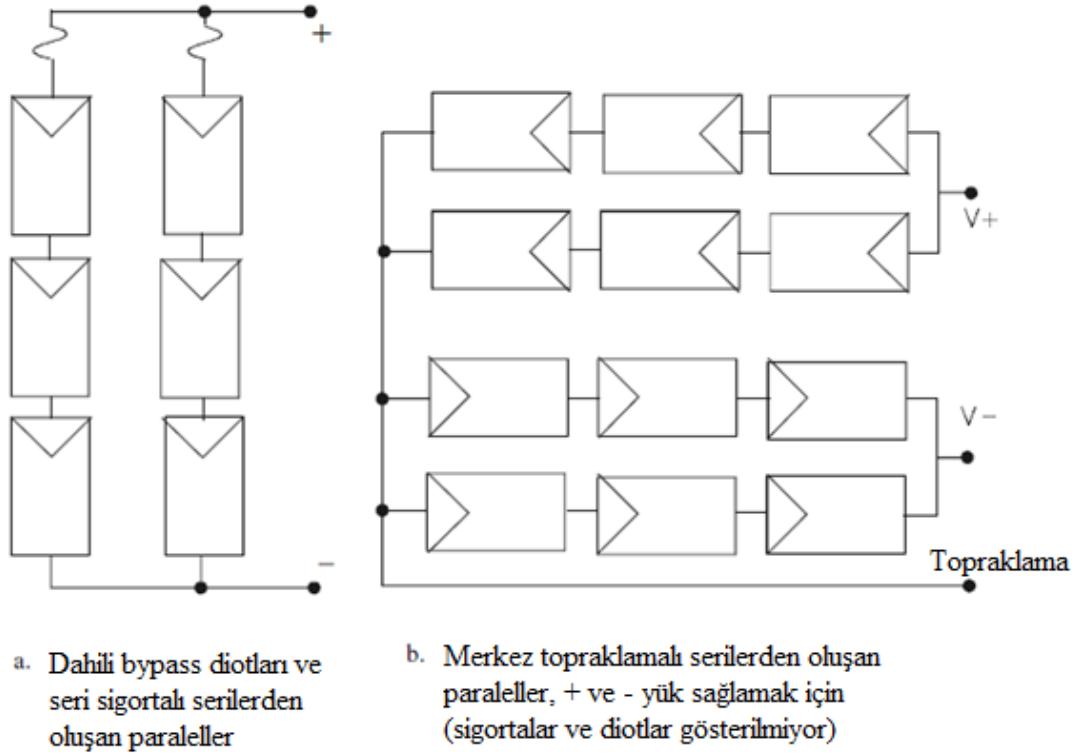
2.1.3 PV dizisi

Tek bir modülün sağlayabileceğinden daha yüksek modüller veya akımlar gerekiyorsa, modüller dizilere bağlanmalıdır. Seri bağlantı daha yüksek gerilim değerleri sağlarken, paralel bağlantılar daha yüksek akım sağlar. Modüller seri bağlanırsa, her bir modülün maksimum enerji üretiminin aynı akımda gerçekleşmesi istenir. Modüller paralel bağlanırsa, her bir modülün maksimum enerji üretiminin aynı gerilimde gerçekleşmesi istenir. Bu nedenle, modülleri monte ederken ve bağlarken, kurulumu yapan kişi her bir modülle ilgili bu bilgileri dikkate almalıdır.

Şekil 2.10, iki yaygın modül yapılandırmasını gösterir. Şekil 2.10'da, modüller seri-paralel olarak bağlanmıştır. Şekil 2.10'daki paralel bağlantıda, sigortalar modüllerin her bir seri dizilimine seri bağlanır, böylece herhangi dizilimde arıza olsa bile, kalan serilerin fazla enerjisi arızalı dizilimden ters yönde akışı arızalı dizilimdeki sigorta ile durdurulur.

Şekil 2.10'da, modüller topraklamaya göre hem pozitif hem de negatif gerilim üretmek için bağlanır. Üç modül seti bu şekilde bağlanırsa, toplam üretim, 3 fazlı çevirici sistemini beslemek için rahatlıkla yeter. 15 kW 3-fazlı bir sistem bazen üç 5

kW çevirici kullanır ve bağlanan üç modül dizisi maksimum enerji koşulları altında yaklaşık ± 250 V üretir.



Şekil 2.10 : PV sistemlerinin örnekleri.

2.2 Rüzgar Türbinleri

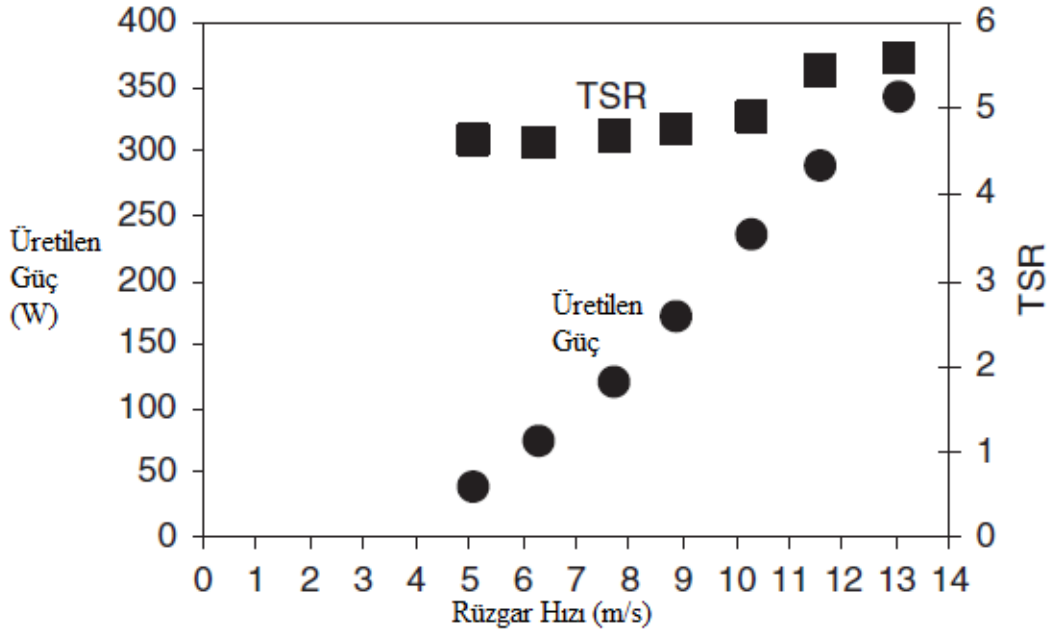
Bu bölümde, daha iyi bilinen büyük türbinlerin aksine küçük rüzgar türbinlerinin temel bileşenleri ele alınacaktır. Ancak, türbinlerin işleyişinde her boyuttaki türbinde ortak olan yönler vardır. Ana işletim parametresi, kanat ucu hız oranıdır (TSR), TSR, kanat uçlarının çevresel hızının rüzgar hızına bölünmesiyle elde edilir. TSR, kanat aerodinamiğini, özellikle de hava akışının bıçaklara vuruş açısını kontrol eder. Bu da karşılığında, kaldırma : sürüklenme oranını ve sonra da enerji üretimini belirler [59]. Çoğu türbin, 5 ile 10 arası bir TSR'de çalışır, ve alt değerler genelde üç veya daha fazla kanatlılarda görülürken daha yüksek değerler ise iki kanatlılarda görülür. Genelde, Şekil 2.11'de gösterilen türbin verilerinin yaklaşık davranışı olduğu üzere, rüzgar hızı değiştikçe sabit bir TSR'de çalışması tercih edilir ve ideal olarak bu TSR optimum enerji elde etme verimliliği sağlar. Optimum TSR'yi sürdürmek zorlu bir denetim sorunu olabilir, çünkü rüzgar hızı anemometre yokken değişkenlik gösterir. Anemetreler küçük türbinlere göre çok pahalıdır.

Tipik enerji eğrisinin bir bölümü (enerji üretimine karşılık rüzgar hızı) Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Büyük ve küçük türbinler arasında en önemli farklılıklar, devreye girme hızında görülür, enerjinin üretildiği en düşük değer ve küçük türbinler daha düşük seviyede rüzgar hızında gerçekleşir. Emniyet mekanizmalarındaki önemli farklılıklar vardır.

Simülasyonları yapılan 17 adet senaryo için Southwest Windpower markasının SW Whisper 100 modeli (0.9 kW) kullanılmıştır.

2.2.1 Jeneratör

İdeal rüzgar türbini jeneratörü, rüzgar eser esmez enerji üretmeye başlar ve ürettiği enerjinin gücü rüzgar arttıkça artar. Jeneratörün üretimi yetersiz kalırsa jeneratör zarar görmeden, türbini duraklatacak kadar yavaşlatır. Son olarak, ideal jeneratör maksimum gücün alınmasını sağlayan MPPT, "maksimum güç noktası izleme" sağlayacak şekilde kontrol edilebilir olmalıdır.



Şekil 2.11 : MG4520 200 W rüzgar türbininin bir rüzgar tüneline ölçülen rüzgar türbini enerji eğrisi.

Uygulamada, jeneratörün enerjiyi bir batarya veya elektrik şebekesi gibi bir yüke beslemek için yeterli gerilim üretmeden önce ulaşması gereken bir minimum hız vardır.

Jeneratörün hızı arttıkça, üretilen gerilim artar ve yüke ekstra enerji verir. Ancak, kanatlardan ve rüzgardan maksimum miktarda güç elde edebilecek şekilde rotorun optimum güç/hız özelliklerine uymaları nadiren gerçekleşir. Genelde, istikrar amacıyla rüzgar türbini ve jeneratörü hızı optimum hızdan daha yüksek olacak şekilde tasarlanarak durma ihtimali azaltılır.

Bir çok küçük bağımsız rüzgar türbini (genelde 5 kW'nin altında) sabit mıknatıslı jeneratörler kullanırlar, SMJ, dışarıdan harekete geçirilmeyi gerektirmediklerinden avantajlıdırlar. SMJ'ler bir akü için doğrudan akım voltajı üretmek için yalnızca bir düzelticiye ihtiyaç duyduklarından kullanımı en basit olanlardır, ancak manyetik kısımları hassastır ve sıcaklığa karşı çok duyarlıdır. Şekil 2.12'de basit sabit mıknatıslı jeneratörler gösterilmektedir.

Senkronize jeneratörler SMJ'lere benzerdir, ancak manyetik alan oluşturmak için bir alan akımına ihtiyaç duyduklarından verimlilikleri çok daha düşüktür. Sonuç olarak, akülere bir dönüştürücü üzerinden bağlanırlarsa bu jeneratörlerden tatmin edici performans elde edilebilir. Ancak, bir AC yüke sabit frekansla bağlandıklarında, türbin hızı sabit tutulmalıdır ve bir çevirici eklenmediği sürece verimlilikte düşüş olur.



Şekil 2.12 : Basit sabit mıknatıslı jeneratör (SMJ). Sol: rotor. Sağ: üç stator sargısından biri.

Hem sincap kafesli hem de iki kat tahrikli asenkron jeneratörleri AC jeneratörlerdir. Bunlar, uygun bir denetleyici ile aküyü şarj edebilir. Kendi kendine tahrik verimliliklerini düşürür, ancak sincap kafesli asenkron jeneratörü çok sağlamdır. Ancak, her iki jeneratörün ürettiği enerji de genelde hem jeneratör hızına hem de yük düzeyine karşı çok duyarlıdır. Bu nedenle hassas bir dengeleyici ile gerilimi ve güç üretiminin faydalı sınırlar içinde tutulması gerekir. Sincap kafesli asenkron

makinelerinin fırçaları veya dişli geçme torkları yoktur, ancak genellikle rotorun optimum TSR'sini yakalamak için çok hızlı döndüklerinden bir dişli kutusu gerektirirler. Şekil 2.13'de demirsiz bir stator gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : Sabit mıknatıslı rotorlarla bir Rutland 910 türbin arasından demirsiz stator.

Üç fazlı jeneratörler genelde tek fazlı jeneratörlere tercih edilirler, çünkü üç fazlılar daha küçüktür ve aynı enerji verimini sağlamalarına rağmen daha ucuzdur.

Yukarıda belirtilen tüm jeneratörler AC (alternatif akım) üretir. DC jeneratörler de kullanılabilir ancak, komütatör ve fırça kullandıkları ve fırçalarla komütatörler düzenli bakım gerektirdiğinden genellikle küçük rüzgar türbinleri için uygun değildir. Diğer jeneratör türleri, genelde çok özelleştirilmiştir ve küçük türbinler için çok pahalıdır, bu farklı teknolojiler ortaya çıktıkça ve diğer jeneratör üreticileri pazara girdikçe değişebilir.

Bazı jeneratörlerin dönmesi için pozitif bir torka ihtiyaçları vardır ve özellikle de bir dişli kutusu kullanılıyorsa aktarma organlarında ek sürtünme torku oluşabilir. Nedeni ne olursa olsun, rüzgar eserken dönmeyen bir türbin, arızalı veya kötü tasarım yapıldığını gösterir ve üreticinin saygınlığını zedeler. Türbin dönse bile, bir bataryayı veya AC kaynağını beslemek için yeterli gerilim üretemiyor olabilir. Ancak, bu durum izleyenler tarafından pek fark edilmez.

Dirençli torkun nedenleri aşağıdakiler olabilir: yüksek sürtünmeli yataklar (özellikle çalışma öncesinde sızdırmazlığı sağlanmış yataklar) fırça sürtünmesi; dişli geçme torku, özellikle sabit mıknatıslı jeneratörlerde, jeneratör ve dişli kutusu arasındaki yağlı keçeler.

Küçük türbinlerin diğer özellikleri, büyük türbinlere kıyasla, daha küçük türbinler genellikle: aynı rüzgar hızında daha büyük dönme hızlarına sahiptir; rüzgara doğru yönlendirilmeleri için bir kuyruk yüzgeçleri vardır ve bunlar kanatlarda ve ana milde geniş jiroskopik (sapmalı) yüklere neden olabilir; daha küçük kule uzunlukları vardır ve daha düşük ortalama rüzgar hızları olur; daha basit ve ucuz emniyet sistemleri vardır, bu sistemler yüksek rüzgarlara dayanma yeteneklerini azaltabilir.

Daha yüksek dönme hızı, daha yüksek maksimum kanat dönmesi frekansı demektir, ayrıca kule rezonansı ve birim zamanda daha çok sayıda kanat yıpranma döngüsü ihtimali de daha yüksektir. Küçük kanatlar aynı zamanda, daha yüksek merkez kaç yüklerine sahiptir, çünkü bunlar uç yarı çapı ile dönme hızının karesinin çarpımına bağlıdır.

Kulenin rüzgarı ve kanatların konilemesi yalpalama istikrarı sağlar. Aşağı rüzgarlar, rotorlarının yalpalamada iyi performans sergilemediği söylene de, davranışlarıyla ilgili ayrıntılı bir çalışma yapılamamıştır. Ancak, rüzgar yönüne yerleştirilen makinelerde kule etkileşimleriyle ilgili gürültü sorunları ve diğer sorunlar olabilir. "Serbest yalpalama" davranışının rüzgara karşı duran rotorlar için düzenlenmesi ikinci derece doğrusal sistemi oluşturur [58], ve bu, yüksek yalpalama oranları kanat kökünde ve ana milde büyük jiroskopik momentlere neden olabilir. Bu yükler, kanatın hareketsizliği, açısal hız ve yalpalama oranının çarpımıyla orantılıdır. IEC'nin basit yük modeline göre küçük bir türbinde en büyük yükler olabilir [56]. Ana milin tasarımına özellikle dikkat gösterilmesi gerekir ve genelde yüksek düzeyde sağlamlığı olan üst sınıf çelik kullanmak gerekebilir.

2.2.2 Kuleler

Küçük türbinlerin kuleleri, kendi kendini destekleyen boru şeklinden kafesli kulelerden gergi teliyle kablolanmış kulelere kadar farklı modellere sahiptir. Bir çok kule tek direkli vinç, kablo ve traktör ya da el vinci kullanılarak alçaltılmış ve yükseltilmiştir. Bir türbinin montajı için iyileştirme onayı almak için, satın alınan türbinin ve kulenin bölgedeki maksimum rüzgar hızına dayanacak şekilde tasarlandığını göstermek zorundadır. Bu hız, genelde uygun ulusal standartta rüzgar yükleri bölümünde yer alır ve yapının genelde yapının düşmesi halinde insan hayatı üzerinde oluşturduğu tehdit olarak tanımlanan "öneminden" etkilenir. Türbinin önem derecesi şehir dışında ya da şehir içinde olmasına bağlı olarak değişir.

Gergili kuleler en yaygın olanlardır, bunun nedeni muhtemelen ucuz olmaları ve gergi tellerinin kapladığı alanın şehir dışı kurulumlarda çok sorun oluşturmamasıdır. Diğer taraftan, gergi telleri genelde kulenin tabanındaki devirme momentine dirençli olmalıdır. Bu nedenle pahalı ve şehir dışı bölgeler için nakliye sorununa neden olabilecek büyük temeller gerektirebilirler. Kafesli kulelerin nakliyesi daha kolaydır (sökülmedikleri sürece) ancak direk kulelere göre daha kısa kullanım ömrüne sahiptirler. Boru tipi, bağımsız kuleler, daha küçük temel gerektirir ancak genelde diğer tiplerden daha ağırdırlar ve bu nedenle satın almak ya da nakliye daha pahalıdır. Sıcak daldırma galvanizli boru kuleler genelde en uzun kullanım ömrüne sahiptir ve bu okyanusa yakın monte edilen türbinler için göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsurdur.

Küçük bir türbinin optimum kule yüksekliği, birim sermaye maliyeti başına maksimum enerjii üretimi sağlayan yükseklik, genelde türbin boyutuna ve rüzgar rejimine bağlı olarak 18-33 m arasında değişiklik gösterir. Yüksekliğin bu kadar düşük olmasının nedeni, büyük türbinlere kıyasla küçük türbinlerin genelde daha düşük rüzgar hızlarında, 10-15 m/sn sınıflandırılmalarıdır ve bu nedenle yükseklik arttıkça rüzgar hızının artması üretilen enerjinin sınırlandırılmasına neden olur ve sonra türbinin daha uzun bir süre boyunca kapalı kalması gerekir. Wood'un analizi, bir çok özellik gerektirmekle birlikte nakliye ve montaj maliyetlerini dikkate almamıştır ve bu nedenle optimum yüksekliği daha yüksek tahmin etmiştir, ancak küçük bir türbin için en iyi yüksekliğin büyük bir türbininkinden daha kısa olması gerektiği açıkça ortadadır. Bu şüphesiz, türbini yüküne yakın bir yere yerleştirme ihtiyacına bağlı olarak zaten taviz verilen ortalama rüzgar hızını düşürür. Küçük bir türbin için ideal göbek yüksekliği ortalama rüzgar hızı 5m/sn'dir. Düşük ortalama rüzgar hızı, olası maksimum enerjiiyi elde etmek için iyi bir başlatma performansı gerektirir.

2.2.3 Başlatma ve düşük rüzgar hızı davranışı

Düşük rüzgar performansı genelde cut-in rüzgar hızıyla ölçülür ve "Başlatma" olarak adlandırılır [42]. Yüksek başlatma rüzgar hızı istenmesi de anlaşılabilir, çünkü küçük türbinler nadiren kanat eğim ayarı kullanır. Bu büyük türbinlerle aralarındaki farklardan biridir. Yani, hareketsiz kanatlara saldırı açıları çok yüksektir ve bu da aerodinamik torkun düşük olmasına neden olur.

Başlatmada önemli olan iki unsur daha vardır. Birincisi, yavaş bir işlemdir, başlatma süresi rüzgar hızının ters karesi alınarak ölçülür ve ikinci olarak, başlatma aerodinamik torku, en fazla enerjinin üretildiği uç bölgesinden ziyade kanadın kök bölümüyle belirlenir [50].

2.2.4 Yüksek hız koruması

Küçük rüzgar türbinlerinin genelde acil durum durdurmaları için otomatik frenleri yoktur. En yaygın güvenlik mekanizmaları türbin yunuslaması veya yukarı eğimi ve rüzgardan kaçınmadır, ikinci mekanizma Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Yukarı eğim, türbinin yatak kanadının türbinin ağırlık merkezinin arkasına asılmasını gerektirir, böylece rotor itme gücü eklemi civarındaki moment yer çekimi nedeniyle geri yükleme momentini aşacaktır. Genelde biraz azaltma gerekir. Yunuslama, ana mildeki jiroskopik momentin yalpalama hızının işaretine bağlı olarak yunuslamayı desteklediği ya da ona direnç gösterdiği gerçeğiyle sekteye uğrar, bu nedenle türbinin güvenliği için yunuslama yapması gereken durumların olması muhtemeldir ancak bu ters yöne ani yalpalama ile engellenir. Ayrıca, türbin boyutu arttıkça jiroskopik momentin itme gücü nedeniyle momentten daha hızlı arttığı görülmektedir.

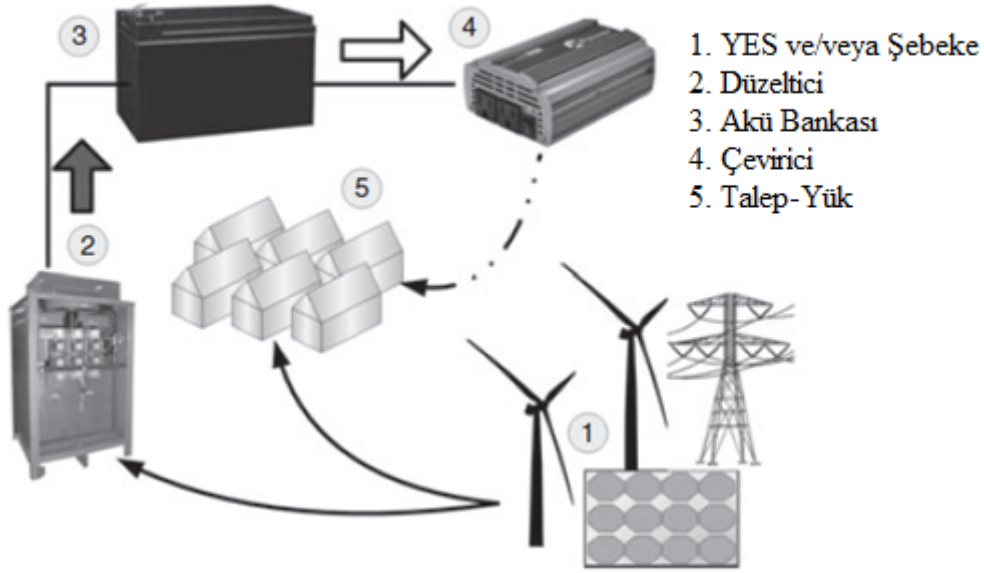


Şekil 2.14 : Rüzgar türbini tamamen rüzgardan kaçınır ancak rüzgar yönü değiştiğinden dönmeye devam eder.

Yunuslama, küçük türbinlerde çok daha sık görülür. Rüzgardan kaçınma, rotor eksenine yalpalama eksenine (kule) arasında bir mesafe ve bir kapanabilir kuyruk yüzgeci olmasını gerektirir. Yeterince yüksek rüzgar hızında, rotordaki yalpalama hareketi yüzgeç nedeniyle bu hızı aşabilir ve rotor kuyruğa doğru düşüp rüzgardan yalpalalar. Rüzgardan kaçınma, normal çalışma sırasında önemli bir enerji kaybıyla birlikte genelde rotorun ortalama bir yalpalama hatasına sahip olmasına neden olur. Kuyruk yüzgecine bağlı yalpalama hareketi büyük ölçüde rüzgar hızına bağlı olduğundan, rüzgardan kaçınmanın hem türbin normal çalışırken yüksek rüzgar hızlarındaki yüksek itme gücünden kaçınmak hem de ortalama rüzgar hızlarında yük kaybı gibi bir hatadan kaçmak için koruma sağlar. Yığılma yönün aynı zamanda türbinin yalpalama yönüyle rüzgardan kaçınma aynı zamanda çok yüksek jiroskopik yüklerle ilişkilendirilebilir.

2.3 Enerji Depolama Sistemleri-Aküler

Aküler en çok benimsenmiş enerji depolama teknolojisidir ve pek çok YES temelli bağımsız uygulamada kullanılmıştır. Her biri kendine özgü karakteristikleriyle, var olan çok sayıda batarya tipi güç kalitesinden enerji yönetimine geniş bir uygulama alanını kapsar. Burada değerlendirilen teknolojiler, son zamanlarda ticari olarak piyasada bulunabilen lityum-iyon ve metal-hava bataryalarla beraber ‘olgunlaşmış’ kurşun-asit (L/A) ve nikel-kadmiyum (Ni-Cd) ve gelişmiş sodyum-sülfür (Na-S) aküleri de içermektedir. Tipik bir batarya sistemi elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye ve tam tersi yönde dönüştürüldüğü bir akü yığını (istenen seviyede gerilim ve akım çıkışını elde edebilmek için seri veya paralel bağlanmış batarya hücreleri), üretim tarafında bir AC/DC doğrultucu ve alıcı tarafında bir çevirici ile birlikte bir yük arayüzü, enerji kaynağı ve en sonunda, sistem çalışmasını koordine etmek için kullanılan her tür kontrol sistemi uygulamasından oluşur. Esas teknolojik avantajları bakım gerekliliklerini azaltan hareketli parçaların yokluğu iken bataryalar genellikle verimlilikleri, deşarj derinlikleri, şarj-deşarj sayıları, işletim sıcaklıkları, enerji yoğunlukları ve kendiliğinden deşarjlarına göre seçilir. Şekil 2.15’de akü bankalı bir enerji sistemi konfigürasyonu gösterilmiştir. Simülasyonları yapılan bütün senaryolarda kurşun asit akülerden 6FM55D model nolu Vision Batteryler kullanılmıştır.



Şekil 2.15 : Akü depolamalı enerji konfigürasyonu.

2.3.1 Kurşun Asit (L/A) aküler

L/A bataryalar anodu kurşundan, katodu kurşun dioksitten yapılmış, elektrotları elektriksel olarak izole etmek ve deşarj reaksiyonları için sülfat iyonlarını sağlamakla görevli bir elektrolit (seyreltilmiş H_2SO_4) ile ayrılmış iki elektrottan oluşur. L/A bataryalar iki çeşittir: açık ve kapalı. Açık tip L/A bataryalar periyodik bakım gerektirir (yeniden su doldurmak gerekir) ve orta seviyede enerji yoğunluğu sağlarlar (25 Wh/kg), oysa kapalı tip L/A bataryalar bakım gerektirmez, daha yüksek enerji yoğunluğu (50 Wh/kg'a kadar çıkabilir) ve daha derin deşarj sağlarlar. Öte yandan, açık tip bataryaların ömrü, kapalı tipteki bataryalara göre daha uzundur (sırasıyla 1000 ve 300 şarj-deşarj); yine de, herhangi bir enerjinin depolanmasında, iki çeşidin de yararlılık süreleri en düşüklerdendir.

Genel olarak, L/A bataryalar bilinen performans karakteristikleri ve güvenilir bir piyasa arkaplanı ile olgunlaşmış bir teknoloji olarak tanımlanabilir [44]. Kendiliğinden deşarjları (enerji depolamada en düşüklerden olsalar da) kabul edilebilirdir, bunun yanında az bakım gerektirmeleri faydalarından biridir. Öte yandan, düşük enerji yoğunlukları, sınırlı yararlılık süresi, çevreye dost olmayan içerikleri ve tavsiye edilen düşük deşarjları bu teknolojinin dezavantajları olarak sayılabilir.

2.3.2 Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) aküler

Ni-Cd bataryalar da olgunlaşmış bir teknoloji olarak kabul edilebilir. Bu bataryaların ana yapısı bir nikel hidroksit katot plaka, bir kadmiyum hidroksit anot plaka, bir ayırıcı ve bir alkalın elektrolit (genellikle KOH) içerir. Enerji yoğunlukları eş değeri olan L/A bataryalara göre daha yüksek olsa da, kendiliğinden deşarj daha belirgindir. Derin deşarj ve yüksek birim maliyetlerini dengeler şekilde, kabul edilebilir bir yararlılık süresi bu teknolojinin en olumlu özelliklerindendir; düşük verimlilik oranları ve kadmiyum toksisitesi ile ilgili çevresel sorunlar ise bu teknolojinin en olumsuz özelliklerindendir [46].

2.3.3 Sodyum Sülfür (Na-S) aküler

Na-S bir bataryada katot (sıvı sülfür) ve anot (sıvı sodyum) sadece pozitif sodyum iyonlarının geçmesine izin veren katı bir beta alümina seramik elektrolit ile ayrılır. Deşarj süresince, pozitif sodyum iyonları elektrolitten geçer ve elektronlar gerilim üreterek bataryanın dış devresinden akar. Sülfürle birleştiğinde, sodyum iyonları sodyum polisülfürleri oluştururlar. İşlemin tersi şarj süresince meydana gelir. Ancak bataryanın işletimi için 300 °C'lık bir sıcaklık gereklidir, bu da bir Na-S sistemi için bir ısı kaynağını düşünmek gerektiği anlamına gelir. Beta-alüminanın (elektron iletkenliği sıfırdır) varlığı sebebiyle kendiliğinden deşarj olmaz iken, materyalin yüksek enerji potansiyeli sayesinde, Na-S bataryalar hem hacimsel hem de ağırlıksal olarak uygun enerji yoğunlukları sergiler. Ek olarak, hem verimlilik hem de deşarj derinliği bu tip bataryalar için oldukça yüksektir [51]; ne var ki, yüksek sıcaklığa duyulan ihtiyacın oluşturduğu engel nedeniyle, Na-S'ün kullanımı belli uygulama gereksinimlerini karşılamayabilir.

2.3.4 Lityum İyon (Li-ion) aküler

Li-ion bir bataryada katot lityumlu bir metal oksittir (LiCoO_2 , LiMO_2), anotu grafitik karbondan yapılmıştır [45]. Elektrolit organik karbonatlarda çözülmüş lityum tuzları içerir. Şarj süresince katottaki lityum atomları iyonize olur. Bu iyonlar elektrolit vasıtasıyla dış elektronlarla birleştikleri ve en nihayetinde karbon tabakaları arasında lityum atomları oldukları anota geçerler. İşlemin tersi deşarj süresince meydana gelir. Bu teknolojinin esas avantajı daha da yüksek kapasiteler için bir potansiyelle yüksek enerji yoğunluğu, yüksek verimlilik değeri ($\approx 95\%$) ve hatırı sayılır şarj-deşarj sayısı ile derin deşarjlardır [43]. Ek avantajlar düşük bir

kendiliğinden deşarj oranı ve analog bakım ihtiyacını içerir. Şu andaki kısıtlamalar gerilim ve akımı güvenli aralıklar içinde tutabilmek için gerekli koruma devreleri, teknolojinin olgunlaşmamış olması ve en önemlisi, yatırım maliyetidir. Sonuç olarak, Li-ion bataryalar günümüzde küçük taşınabilir aygıtlar içinde kullanılıyor ve ileriki yıllarda uygulama alanlarını genişletmesi beklenmektedir.

2.3.5 Metal-hava aküler

Metal-hava bataryalarda [56], katot için gözenekli bir karbon yapı veya uygun bir çözücü ile uyumlu bir metal kullanılırken, anot için oksitlendiğinde elektron veren, tercihen yüksek enerji yoğunluklu, yaygın metaller (örn. çinko ve alüminyum) kullanılır. Sıvı haldeki KOH veya KOH ile doyurulmuş katı bir polimer membran elektrolit olarak kullanılır. Yüzlerce Wh/kg ölçeklerdeki enerji yoğunluğu bu teknoloji için normaldir, yine de çetin yeniden şarj koşulları sistem performansını sistem ömrü boyunca en fazla % 50 verimlilikle ve birkaç yüz şarj-deşarj ile sınırlar. Sistem maliyeti kWh başına 100 € iken, kendiliğinden deşarj ihmal edilebilir.

2.4 Çeviriciler (İnvertörler)

Çeviriciler çeşitli fotovoltaik (PV) sistem yapılandırılmasında kullanılan güç elektroniği aygıtlarıdır. Enerji sistemlerinde başlıca kullanıma alanları;

- Şebekeye bağlı sistemler
- Yeniden şarj edilebilir bataryalı şebekeden bağımsız sistemler
- Depolama bataryalarından yoksun pompalama sistemleri.

2.4.1 Şebekeye bağlı sistemler için çeviriciler

Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin planlaması uygun bir çeviricinin seçimiyle başlar. Çevirici şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin en önemli ikinci bileşenidir. Görevi güneş hücreleri tarafından üretilen doğru akımı şebekeye uyan 50 Hz'lik alternatif bir akıma çevirmektir. Şebekeden bağımsız çalışması istenen çeviricilere zıt olarak, paralel işletim için kullanılmak istenenler PV performansı ile olduğu kadar şebeke karakteristikleriyle de uyum göstermelidir. Bütün güneş enerjisinden üretilen akım çeviriciden aktığı için, çeviricilerin özellikleri fotovoltaik sistemin davranışını ve işletim sonuçlarını temelden etkiler.

Doğru akımın alternatif akıma verimli dönüşümünden ayrı olarak, çevirici elektroniği günlük işletim modundan sorumlu bileşenleri de içerir. Güneş hücreleri yeterli gücü verir vermez işletimin doğru zamanda başlamasını da güvence altına alırlar. Başarısız başlama girişimleri şebekeden enerji ihtiyacı doğurur ve iyi kontrol sağlanarak bundan kaçınılmalıdır. Gün içerisinde, I-V karakteristik eğrisinde optimum çalışma noktası güneş ışınımı ve modül sıcaklığındaki dalgalanmalara göre değişir. Akıllı çevirici kontrolü maksimum güç noktası (MPP) takibini ve en uygun çalışma noktası için sürekli düzeltmeyi kapsar. PV üretiminde ve şebekede düzensizlikler oluşursa sistemi otomatik olarak devre dışı bırakan koruyucu aygıtlar da çeviriciye entegre edilmiştir.

Bugün çoğu çevirici modeli ek olarak güç, gerilim, akım ve diğer işletim parametrelerini sürekli kaydetmeye izin veren veri kaydediciler ve ölçüm bilgisayarlarıyla donatılmıştır. Bu veriler belli aralıklarla seri arayüz yoluyla bir dizüstü bilgisayar ile okunabilir ve analiz edilebilir.

2.4.2 Şebekeden bağımsız sistemler için çeviriciler

Şebekeden bağımsız sistem çeviricilerin spesifik işletim şartlarından dolayı, farklı tasarım yönleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Tipik bir konutun beslemesinde, tepe gücün ortalama güce oranı 25:1 civarındadır, bu yüzden çevirici yaklaşık % 90'lık bir yüksek verimliliğe sahip olmalıdır, özellikle kısmi yük aralığında (ölçülü gücün % 5-10'unda). Yalnızca az sayıda çevirici bu şartı sinüzoidal çıkış gerilimi ve kısa süre için iki ya da üç kata kadar aşırı yüke dayanabilme kapasitesiyle birlikte sağlar. Gerekliliklere bağlı olarak, hem sinüzoidal hem de kare dalga şekilleri kullanılabilir.

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler için en önemli gereklilikler şu şekilde sıralanabilir;

1. Geniş giriş gerilimi aralığı (Ölçülmüş gerilimin - % 10 ile + % 30'u arası).
2. Sinüse olabildiğince yakın çıkış gerilimi.
3. Çıkış gerilimi ve frekansında küçük dalgalanma.
4. $\pm\%8$ gerilim sabitliği, $\pm\%2$ frekans sabitliği.

5. Kısmi yükleme için yüksek verimlilik; % 10'luk kısmi yüklemeye en az % 90 verimlilik.
6. Cihaz başlangıç şartları için kısa süreli aşırı yüklemeye dayanabilme yetisi, örneğin, çamaşır makineleri ve buzdolapları için 5 saniye süre ile ölçülmüş akımın iki veya üç katı.
7. Kapasitif ve endüktif yükler için mümkün olan en küçük aşırı gerilim.
8. Bir diyotla güç düşümünden kaynaklı, yarım-dalga çalışma imkânı, örneğin, saç kurutma makinelerinde.
9. Kısa devrelere dayanabilme yetisi.

Ancak, çeviricilerin kare dalga şekliyle kullanımında aşağıdaki kısıtlamalar vardır:

1. Sıfır geçişindeki gerilim seviyesi açıkça tanımlanmadığı için, elektronik kontrollü bazı aletlerin (örn. modern çamaşır makinelerinin) çalışması etkilenir.
2. Ani gerilim yükselmeleri basit güç aletlerindeki (örn. dondurucular) rezistansları aşırı yüklemeye tahrip eder.
3. Ani gerilim yükselmeleri transformatörler ve motorlarda artan gürültü ve ısı üretimi ile sonuçlanır. Dahası, verimlilikte % 10 civarında bir düşüş beklenmelidir.

3. KULLANILAN YÖNTEM

3.1 HOMER Tanıtımı

HOMER Mikro Güç Optimizasyon modeli, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarında (NREL), mikro güç sistemlerinin tasarımlarını desteklemek ve enerji üretimi teknolojilerinin birçok farklı uygulamada karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir bilgisayar modelidir. HOMER, bir enerji sisteminin fiziksel davranışını ve sistemin kullanım ömrü boyunca gerçekleşen kurulum ve çalıştırmanın toplam maliyeti olan, kullanım ömrü maliyetini modeller. HOMER, modelleyicinin çok sayıda farklı tasarım seçeneğini teknik ve ekonomik ölçütlerine göre karşılaştırmasını sağlar. Aynı zamanda, girdilerdeki belirsizliğin etkilerini veya girdilerdeki değişimleri anlama ve ölçmede de yardımcı olur.

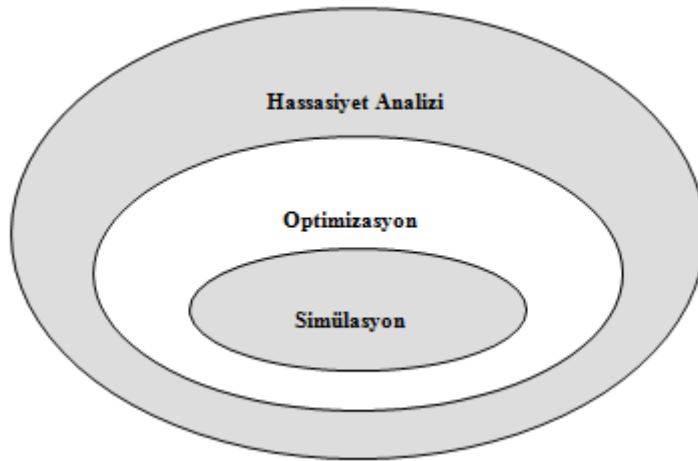
Mikro güç sistemi, yanındaki bir yükün kullanımı için elektrik ve muhtemelen ısı üreten bir sistemdir. Bu tür bir sistem, elektrik üretimi ve depolama teknolojilerinin tüm kombinasyonlarına sahip olabilir ve şebekeye bağlı ya da herhangi bir iletim şebekesinden bağımsız şekilde otonom olabilir. Uzaktaki bir yüke hizmet eden bir güneş pili sistemi, izole edilmiş bir köye hizmet eden bir rüzgar - dizel sistemi ve bir fabrikada elektrik ile ısı sağlayan şebekeye bağlı bir doğal gaz mikro türbini, mikro güç sistemlerine örnek olarak yer alabilir. Yüksek gerilimli iletim sistemlerine elektrik sağlayan elektrik santralleri belirli bir yüke ayrılmadıkları için mikro enerji sistemi olarak kabul edilmezler. HOMER, elektrik ve termik yüklere hizmet eden, fotovoltaik (PV) modüller, rüzgar türbinleri, küçük hidro, bio kütle enerji, pistonlu motor jeneratörleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri, aküler ve hidrojen depoları dahil olmak üzere, şebekeye bağlı veya şebeke dışı mikro güç sistemlerini modeller.

Mikro enerji sistemlerinin analizi ve tasarımı, oldukça çeşitli tasarım seçenekleri ve yük boyutu ve gelecekteki yakıt fiyatları gibi anahtar parametrelerin belirsizliği nedeniyle zorlu olabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, karmaşıklığı daha da artırır, çünkü enerji üretimleri kesintili, mevsimsel ve dağıtılamaz olabilir ve yenilenebilir

kaynakların kullanılabilirliği belirsiz olabilir. HOMER, bu zorlukları ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır.

HOMER, üç ana görev gerçekleştirir: simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi. Simülasyon sürecinde, teknik fizibilitesini ve kullanım ömründeki maliyetini belirlemek için HOMER belirli bir mikro enerji sistem konfigürasyonunun yılın her bir saatindeki performansını modeller. Optimizasyon sürecinde, HOMER, en düşük kullanım ömrü maliyetindeki teknik kısıtlamalara uyan modeli bulmak için çok sayıda farklı sistem konfigürasyonlarını simüle eder. Hassasiyet analizi sürecinde, HOMER belirsizliğin veya model girdilerindeki değişikliklerin etkilerini ölçmek için bir dizi girdi tahminine göre çoklu optimizasyonlar gerçekleştirir. Optimizasyon, sistemi oluşturan bileşenlerin karışımı ve bunlardan her birinin boyutu ve miktarı gibi sistem tasarımcısının kontrolü altında olan değişkenlerin optimum değerini belirler. Hassasiyet analizi, ortalama rüzgâr hızı veya gelecekteki yakıt fiyatları gibi tasarımcının kontrolü altında olmayan değişkenlerdeki belirsizliğin veya değişimlerin etkilerini belirlemeye yardımcı olur.

Şekil 3.1'de simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Optimizasyon ovali, simülasyon ovalini kapsar, bu da tek bir optimizasyonun çok sayıda simülasyon içerdiği gerçeğini gösterir. Benzer şekilde, hassasiyet analizi ovali, optimizasyon analizini kapsar, çünkü tek bir hassasiyet analizi çok sayıda optimizasyon içerir.



Şekil 3.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki kavramsal ilişki.

Optimizasyonu ve hassasiyet analizini kolaylaştırmak amacıyla, yeterinde hızlı hesaplama yapılmasına imkan sağlamak ve girdi karmaşıklığını sınırlamak için, HOMER'in simülasyon mantığı, Hybrid2 [64], PV-DesignPro [23] ve PV*SOL [24] gibi mikrú güç sistemlerine yönelik çeşitli ayrı zaman serileri simülasyon modellerinden daha az ayrıntı içerir. Diğer taraftan, HOMER, RETScreen [25] gibi zaman serileri simülasyonu geręekleřtiren istatistiksel modellerden daha ayrıntılıdır. Tüm bu modeller için HOMER simüle edebileceği sistemlerin çeşitliliği açısından en esnek olandır.

Bu bölümde, HOMER'ın özelliklerini özetleyecek ve mikro enerji sistemi modelleyicisine sağlayabileceği faydaları tartışılacaktır. Bölüm 3.2 ile 3.4 arasında HOMER'in yapısını, amacını ve özelliklerini açıklayacak ve modeli tanıtılacaktır. Bölüm 3.5 ve 3.6'da simülasyon sürecinin teknik ve ekonomik yönleri de daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

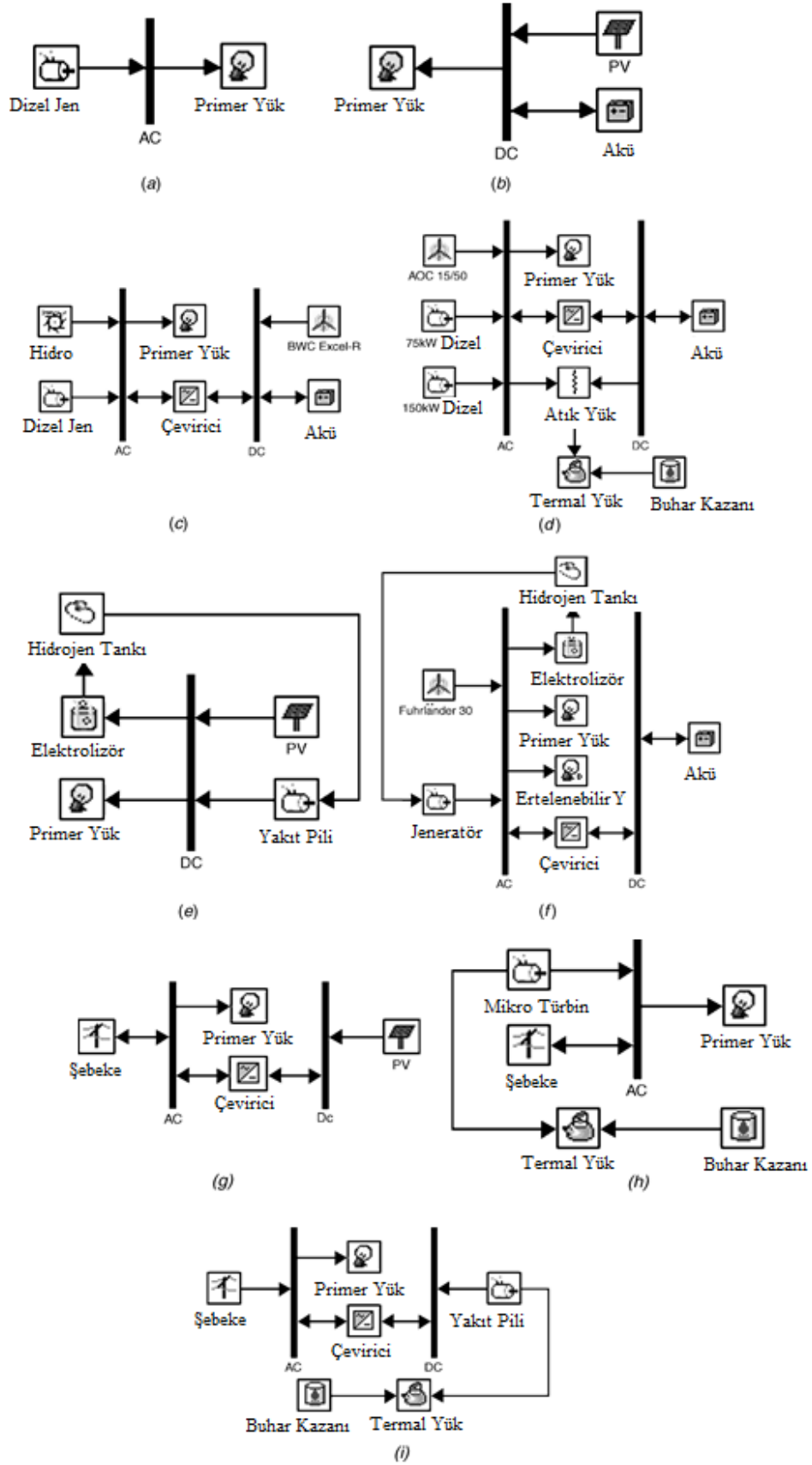
3.2 Simülasyon

HOMER'ın temel özelliği mikro enerji sisteminin uzun vadeli çalışmasını simüle etmesidir. Üst düzey özellikleri arasında yer alan optimizasyon ve hassasiyet analizleri, bu simülasyon özelliğini esas alır. Simülasyon işlemi, belirli bir sistem yapılandırmasının, belirli boyutlardaki sistem bileşenlerinin kombinasyonunun ve birlikte çalışan bileşenleri tanımlayan bir işletim stratejisinin belirli bir süre zarfında belirli bir ayarda nasıl davranacağını belirler.

HOMER, PV dizisi, bir veya daha fazla rüzgâr türbini, akarsu hidro türbini ve üç adete kadar jeneratörü, akü bankasını ve ac-dc dönüştürücü, elektrolizör ve hidrojen depolama tankı da dâhil olmak üzere çeşitli mikro enerji sistemi konfigürasyonlarını simüle edebilir. Sistem, şebekeye bağlı veya otonom olabilir ve ac veya dc elektrik yüklerine ve bir termal yüke hizmet edebilir. Bir akü bankası ve bir yada daha fazla jeneratör içeren sistemleri, sistemin akü bankasını nasıl şarj edeceğini belirleyen bir dizi kuraldan oluşan bir dağıtım stratejisi gerektirir. HOMER, iki farklı dağıtım stratejisi modelleyebilir: yük izleme ve şarj döngüsü. Yük izleme stratejisi altında, yenilenebilir enerji kaynakları aküyü şarj eder ancak jeneratörler etmez. şarj döngüsü stratejisinde, jeneratörler çalıştığında, yüke hizmet etmek için gerekenden daha fazla enerji üretirler ve fazla enerji akü bankasını şarj eder.

Simülasyon sürecinin iki amacı vardır. Birincisi, sistemin fizibilitesinin olup olmadığını belirler. HOMER, elektrik yüklerini ve termal yükleri yeterli şekilde sunması ve kullanıcının getirdiği diğer kısıtlamaları yerine getirmesi halinde, bir sistemi uygulanabilir olarak değerlendirir. İkincisi, sistemin kullanım ömrü boyunca gerçekleşen kurulum ve çalıştırmanın toplam maliyeti olan, kullanım ömrü maliyetini tahmin eder. Kullanım ömrü maliyeti, çeşitli sistem yapılandırmalarının ekonomisini karşılaştırmak için kullanışlı bir ölçüttür. Bu tür karşılaştırmalar Bölüm 3.3'te açıklanan HOMER'ın optimizasyon sürecinin esasını oluşturur.

Şekil 3.2 HOMER'ın simüle edebileceği bazı mikro enerji sistemi türlerinin örneklerinin şematik diyagramını göstermektedir. (a) ac elektrik yüküne hizmet eden bir dizel sistem; (b) dc elektrik yüküne hizmet eden bir PV akü sistemi; (c) akü yedeklemeli ve ac-dc dönüştürücülü bir hibrit hidro rüzgar dizel sistemi ve (d) iki jeneratörlü, akü bankalı, kazanlı, fazla rüzgar türbini enerjisini dirençli bir ısıtıcıdan geçirerek termal yük sağlamaya yardımcı olan yükleme boşaltma cihazı bulunan bir rüzgar dizel sistemi; (e) Bir elektrolizörün fazla PV enerjisini hidrojene dönüştürdüğü ve bir enerji tankında yetersiz PV enerjisi durumunda bir yakıt hücresinde kullanılmak üzere depoladığı, bir PV hidrojen sistemi, (f) hidrojenin ve dahili yanmalı motor jeneratörünün yakıtı olduğu, hem akü hem de yedek olarak hidrojen kullanan rüzgar enerjili bir sistem; (g) şebeke bağlantılı PV sistemi; (h) bir mikro türbinin hem elektrik hem de ısı ürettiği, şebeke bağlantılı, kombine ısı ve enerji (CHP) sistemi; (i) bir yakıt hücresinin elektrik ve ısı sağladığı şebeke bağlantılı bir CHP sistemi.



Şekil 3.2 : HOMER'in modellediği bazı mikro enerji sistem tiplerinin şematik diyagramları.

HOMER, bir yıllık çalışması sırasında saatlik zaman serileri simülasyonu gerçekleştirerek belirli bir sistem konfigürasyonunu modeller. HOMER, bir yıllık sürede, mevcut yenilenebilir enerjiyi hesaplayarak, bunu elektrik yüküyle karşılaştırarak ve fazla üretim zamanlarında artan yenilenebilir enerjiyle ne yapılacağına karar vererek veya yetersiz kalması halinde ek enerji üretmek (veya şebekeden satın almak) için en iyi yolun hangi olduğuna karar vererek her saat başı bir adım ilerler. Bir yıla karşılık gelen hesaplamalarını bitirdiğinde, HOMER sistemin kullanıcının toplam elektrik talebinin karşılanan kısmının, yenilenebilir kaynakların ürettiği enerjinin oranı veya belirli polüsyon emisyonları gibi niceliklere uyguladığı kısıtlamaları karşılayıp karşılamadığını belirler. HOMER, aynı zamanda, sistemin kullanım ömrü maliyetini hesaplamak için gereken, yıllık yakıt tüketimi, yıllık jeneratör çalışma saatleri, tahmini akü ömrü ve şebekeden bir yılda alınan enerji miktarı gibi nicelikleri hesaplar.

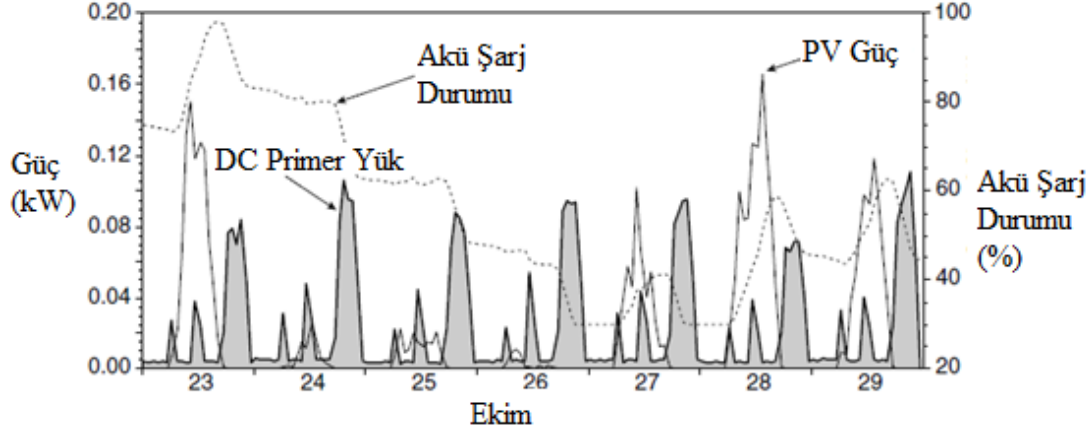
HOMER'ın sistemin kullanım ömrü maliyetini göstermek için kullandığı nicelik, bugünkü toplam net maliyettir (NPC). Bu tek değer, projenin kullanım ömrü içindeki tüm maliyetleri ve gelirleri, bugüne göre hesaplanmış gelecek nakit akışlarıyla birlikte içerir. Şimdiki toplam net maliyet sistem bileşenlerinin başlangıç sermayesi maliyetini, projenin kullanım ömrü içinde gerçekleşen her türlü bileşen değiştirme maliyetini, bakım ve yakıt maliyetini ve şebekeden enerji satın alma maliyetini içerir. Şebekeye enerji satışından elde edilen tüm gelirler, toplam NPC'yi azaltır. Bölüm 3.6'da HOMER'ın toplam NPC'yi nasıl hesapladığını daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

Bir çok mikro enerji sistemi açısından, özellikle de kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili olanlar için, sistemin davranışı kabul edilebilir bir kesinlikte modellemek için bir saatlik süreli adım yöntemi gereklidir. Bir rüzgar - dizel - akü sisteminde, örneğin, aylık ortalama (veya hatta günlük ortalama) rüzgar enerjisi üretimini bilmek yeterli değildir, çünkü bu enerji üretiminin zamanlaması ve değişkenliği de ortalama miktarı kadar önemlidir. Dizel yakıt tüketimini, dizelle çalışma saatlerini, aküden enerji akışını ve fazladan üretilen elektrik miktarını doğru tahmin edebilmek için, rüzgar enerjisi üretiminin elektrik yüküyle korelasyonunun ne kadar yakın olduğunu ve rüzgar enerjisinin uzun rüzgarlardan sonra uzun hareketsiz dönemlerde mi gerçekleşmeye eğimli olduğu ya da çok daha hızlı dalgalanmalar mı yaşandığını bilmek gereklidir. HOMER'ın bir saatlik süreli adımı, yükün ve kesintili

yenilenebilir kaynakların en önemli istatistiksel yönlerini yakalayabilmek için yeterince küçüktür, ancak optimizasyon ve hassasiyet analizlerinin kullanışsız olmasına neden olacak ölçüde hesaplamayı yavaşlatacak kadar da küçük değildir. HOMER daha kısa süreli adımlar gerektiren elektriksel geçici dalgaları veya diğer dinamik etkenleri modellemez.

Şekil 3.3, Şekil 3.2b'de gösterilene benzer bir PV akü sistemini modellerken HOMER'ın ürettiği saatlik simülasyon sonuçlarının bir bölümünü göstermektedir. Bu tür bir sistemde, akü bankası PV enerji üretimi yükü aştığında enerjiyi dengeler ve yük PV enerji üretimini aştığında enerjiyi boşaltır. Grafik, akü bankasında depolanan enerjinin güneş ışığının az olduğu art arda üç gün boyunca akü bankasında depolanan enerji miktarının nasıl düştüğünü göstermektedir, Ekim 24-26. Akünün azalması, sistemin 26-27 Ekim tarihlerinde tüm yükü tedarik edemediği anlamına gelir. HOMER, bu tür enerji yetersizliklerini kaydeder ve simülasyon sonunda sistemin kullanıcı tanımlı kısıtlamalara göre uygulanabilir olarak değerlendirilmesi için toplam yükün yeterli bir kısmını tedarik edip etmediğini belirler. HOMER, aynı zamanda akünün kullanım ömrünü hesaplamak için kullandığı akü verimini (yıl boyunca aküde devinen enerji miktarı) hesaplamak için de simülasyon sonuçlarını kullanır. Akünün kullanım ömrü sistemin şu andaki toplam net maliyetini etkiler.

HOMER, sistemin bir yıl boyunca nasıl çalıştığını simüle eder ve proje kullanım ömründe o yılın önemli simülasyon sonuçlarını (yakıt tüketimi, akü verimi ve ekstra enerji üretimi gibi) tahmin eder. Zaman içinde gerçekleşen yük artışı veya akü performansının yıpranmaya bağlı olarak düşmesi gibi değişimleri hesaba katmaz. Ancak modelleyici Bölüm 3.4'te açıklanan hassasiyet analizini kullanarak bu etkilerin bir çoğunu analiz edebilir. Bölüm 3.5 ve 3.6'da HOMER'ın simülasyon sürecinin teknik ve ekonomik yönleri daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.



Şekil 3.3 : Örnek saatlik simülasyon sonuçları.

3.3 Optimizasyon

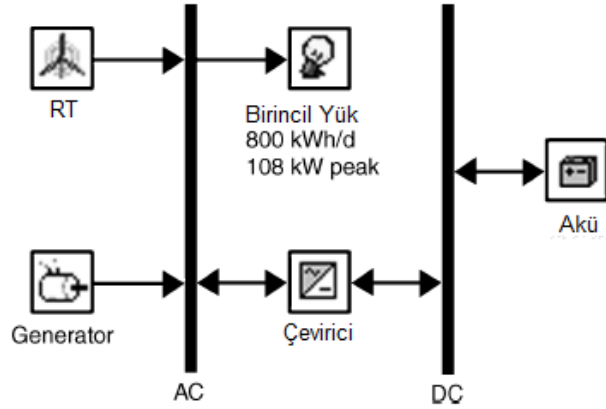
Simülasyon süreci belirli bir sistem yapılandırmasını işliyor olsa da, optimizasyon süreci olası en iyi sistem yapılandırmasını belirler. HOMER'da olası en iyi veya optimum sistem yapılandırması, kullanıcı tanımlı kısıtlamalara en düşük toplam şimdiki net maliyette uyan sistem yapılandırması demektir. Optimum sistem yapılandırmasını bulmak, sistemin içermesi gereken bileşenlerin karışımına, her bir bileşenin boyutuna ve sistemin kullanması gereken dağıtım stratejisine karar vermeyi gerektirebilir. Optimizasyon işleminde, HOMER çok farklı sistem yapılandırmalarını simüle eder, uygulanabilir olmayanları eler (kullanıcı tanımlı kısıtlamalara uymayanları), kullanılabilir olanları toplam şimdiki net maliyete göre sıralar ve en düşük toplam şimdiki net maliyete sahip, uygulanabilir olanı optimum sistem konfigürasyonu olarak sunar.

Optimizasyon sürecinin amacı, modelleyiciyi ilgilendiren her bir karar değişkeninin optimum değerini belirlemektir. Bir karar değişkeni, sistem tasarımcısının kontrolünde olan ve HOMER'ın optimizasyon süreci içindeki çoklu olası değerleri değerlendirebileceği bir değişkendir. HOMER'ın olası karar değişkenleri şunları içerir:

- PV dizisinin boyutu
- Rüzgar türbinlerinin sayısı
- Hidro sistemin varlığı (HOMER, yalnızca hidro sistemin bir boyutunu değerlendirebilir, bu nedenle karar güç sisteminin hidro sistem içerip içermemesi gerektiği olur)

- Her bir jeneratörün boyutu
- Akü sayısı
- AC-DC konvertörünün boyutu
- Elektrolizörün boyutu
- Hidrojen depolama tankının boyutu
- Dağıtım stratejisi (sistemi nasıl çalıştığını yöneten kurallar dizisi)

Optimizasyon, modelleyicinin bir çok seçenek içinden optimum sistem yapılandırmasını bulmasına yardımcı olabilir. Örneğin, mevcut bir dizel enerji sistemini rüzgar türbinleri ve akülerle güçlendirme görevini ele alalım. Sistemi yeniden tasarlama seçeneklerini analiz ederken, modelleyici Şekil 3.4'de yer alan bileşen düzenini değerlendirmek isteyebilir ancak kaç adet rüzgar türbininin, kaç tane akünün ve hangi boyuttaki konvertörün kullanım ömrü maliyetini azaltacağını bilemez



Şekil 3.4 : Rüzgar-dizel sistemi.

Bu üç değişken, bu analizdeki karar değişkenleri olacaktır. Dağıtım stratejisi aynı zamanda bir karar değişkeni olabilir, ancak bu tartışmayı karmaşıktırmamak için dağıtım stratejisi dahil edilmeyecektir.

HOMER, modelleyicinin her bir karar değişkeni için çoklu değerler girmesine imkan tanır. Şekil 3.5'da gösterildiği gibi bir tablo kullanarak, kullanıcı her bir karar değişkeni için her sayıda değer girebilir. Değerler arasındaki aralığın eşit olması gerekmez. Bu örnekte, modelleyici sıfırdan dörde kadar, beş adet rüzgar türbini; mevcut jeneratör boyutunu; 0 ile 128 arasında değişen yedi aküyü ve 0 ile 120 kW arasında değişen dört çevirici boyutunu seçmiştir. Bu tablo arama bölgesini

göstermektedir. Bu bölge, HOMER'ın optimum sistem konfigürasyonunu arayabileceği tüm olası sistem konfigürasyonlarının kümesidir. Bu arama bölgesi 140 ayrı sistem yapılandırması içerir, çünkü karar değişkenlerinin olası değerleri 140 farklı kombinasyon içermektedir; beş adet rüzgar türbini, dört farklı boyutta konvertörle eşleştirilen yedi adet aküyle eşleştirilir.

Optimizasyon sürecinde, HOMER arama bölgesindeki her bir sistem konfigürasyonunu simüle eder ve uygulanabilir olanları toplam net şimdiki maliyete göre bir tabloda sıralar.

	RT	Gen	Akü	Çevirici
	(Sayı)	(kW)	(Sayı)	(kW)
1	0	135.00	0	0.00
2	1		16	30.00
3	2		32	60.00
4	3		48	120.00
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				

Şekil 3.5 : 140 sistem yapılandırması içeren arama bölgesi.

Şekil 3.6 örnek rüzgar-dizel güçlendirme analizinin sonuçlarını göstermektedir. Tablodaki her bir satır uygulanabilir bir sistem yapılandırmasını gösterir. İlk dört sütun, farklı bileşenlerin olduğunu gösteren simgeler içerir, sonraki dört sütun ise her bir birleşenin sayısını veya boyutunu gösterir ve sonraki beş sütun anahtar simülasyon sonuçlarından bir kaçını içerir. Bunlar, sistemin toplam sermaye maliyeti, toplam net şimdiki maliyeti, enerji maliyeti, yıllık yakıt tüketimi ve jeneratörlerin saat olarak yıllık çalışma süresi. Modelleyici, eksiksiz simülasyon sonuçlarına erişebilir, herhangi bir belirli sistem yapılandırması için saatlik veriler de buna dahildir, bu tablo çok sayıda farklı yapılandırmanın simülasyonunun özeti.

Şekil 3.6'daki ilk satır, optimum sistem yapılandırmasıdır, yani en düşük net şimdiki maliyete sahip olan yapılandırmadır. Bu durumda, optimum konfigürasyon bir rüzgar türbini, 135 kW jeneratör, 64 akü ve bir 30 kW konvertör içerir. İkinci sırada yer alan sistem, bir yerine iki rüzgar türbini içermesi dışında birinci sıradakiyle aynıdır. Üçüncü sırada yer alan sistem daha az akü içermesi dışında birinciyle aynıdır. Sekizinci ve onuncu sırada yer alan sistemler rüzgar türbini içermemektedir.

HOMER, aynı zamanda her bir sistem kategorisi veya türü içinde yalnızca en düşük maliyetli yapılandırmayı görüntüleyerek bu genel optimizasyon sonuçlarının bir alt kümesini de gösterebilir. Şekil 3.6'da gösterilen genel listede, en üstte yer alan sistem, rüzgar akü sistemi kategorisi içindeki en düşük maliyetli yapılandırmadır. Benzer şekilde, sekizinci sırada yer alan sistem, dizel - akü sistemi kategorisi içindeki en düşük maliyetli yapılandırmadır.

FL30	Gen (kW)	Batt.	Çevirici (kW)	Başlangıç Sermaye	TŞM	EM (\$/kWh)	Dizel (L)	Gen (saat)
1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
	135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
	135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613

Şekil 3.6 : Toplam net şimdiki maliyete göre sıralanmış sistem maliyetlerini gösteren genel optimizasyon sonuçları.

FL30	Gen (kW)	Batt.	Çevirici (kW)	Başlangıç Sermaye	TŞM	EM (\$/kWh)	Dizel (L)	Gen (hrs)
1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
	135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
	135			\$ 0	\$ 996,273	0.320	132,357	8,760
1	135			\$ 130,000	\$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

Şekil 3.7 : Kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları.

Şekil 3.7'de gösterilen, kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları listesi, genel listede gösterilen uzun sistem listesinde gezinme ihtiyacını ortadan kaldırarak, her bir kategori için en düşük maliyetli yapılandırmanın hangisi olduğunu görmeyi kolaylaştırır.

Şekil 3.7'deki sonuçlar, bu analizin varsayımlarına göre, rüzgar türbinleri ve bir akü bankası eklemenin sistemin kullanım ömrü maliyetini azalttığını göstermektedir. Optimum sistem için 216.500 dolarlık başlangıç yatırımı, üçüncü satırda gösterilen

mevcut sistemle karşılaştırıldığında, net şimdiki maliyette 146.000 dolar tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Optimizasyon sonuçları tablosu, bu tür karşılaştırmalara imkan tanır, çünkü yalnızca optimum sistem konfigürasyonundan daha fazlasını gösterir. Genel optimizasyon sonuçları tablosu, toplam net şimdiki maliyeti optimum konfigürasyondan yalnızca biraz daha yüksek olan çok sayıda sistem konfigürasyonunu gösterir şeklindedir. Modelleyici bu alt - optimum konfigürasyonlardan birinin HOMER'ın optimum olarak sunduğu konfigürasyona göre bir şekilde daha tercih edilebilir olduğuna karar verebilir. Örneğin, simülasyon sonuçları optimum konfigürasyona kıyasla biraz daha yüksek toplam net şimdiki maliyete sahip bir sistem konfigürasyonunun, gerçek sistemlerde akü ömrünü önemli oranda kısaltan akü bankasının derin ve uzun süreli boşalmasını önlemede daha iyi iş gördüğünü gösterebilir. Bu, modelin kapsamı dışındaki teknik bir ayrıntıdır ancak modelleyici son kararını vermeden önce bunu dikkate alabilir.

3.4 Hassas Analiz

Hassas analizde HOMER farklı girdi varsayımlarını kullanarak çoklu optimizasyon işlemi gerçekleştirmektedir. Bu analiz çıkış sonuçlarının giriş verilerindeki değişikliğe ne kadar hassas olduğunu göstermektedir. Hassas analizde kullanıcı tek bir girdi bileşeni için farklı değerler dizisi girebilmekte ve bu değerlere hassas değerler denilmektedir. Bunlara örnek olarak, şebeke enerji ücreti, yakıt ücreti, PV panellerin ömrü, faiz oranı sayılabileceği gibi saatlik elektrik yükü yada yenilenebilir kaynak datası gibi değişkenler de hassas değişken olarak kullanılabilir. Bu çalışmada hassas analiz kullanılmamıştır.

3.5 Fiziksel Modelleme

Bu bölümde, HOMER yazılımı ile bir sistemin fiziksel işleyişinin nasıl modellediğini daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. HOMER'da bir mikro enerji sisteminin en az bir elektrik veya termal enerji kaynağı (rüzgar türbini, dizel jeneratör, boyler veya şebeke gibi) içermesini ve o enerjinin en az bir gönderilecek yerinin olmasını (elektrik yükü veya termal yük veya şebekeye elektrik satabilme) gerektirir. Aynı zamanda, AC-DC konvertör veya elektrolizör gibi dönüştürme cihazları ve akü bankası veya hidrojen depolama tankı gibi enerji depolama cihazlarını içerebilir.

Aşağıdaki alt bölümlerde, HOMER'ın sistemin hizmet etmesi gereken yükleri nasıl modellediğini, sistemin bileşenlerini ve ilgili kaynaklarını, ayrıca bu bileşenler toplamının yüklere hizmet etmek için birlikte nasıl çalıştığı açıklanacaktır.

3.5.1 Yükler

HOMER'da yük, elektrik veya termal enerji talebine karşılık gelir. Yüklere hizmet etmek, mikro enerji sistemlerinin varlık amacıdır, bu nedenle bir mikro enerji sisteminin modellenmesi, sistemin hizmet edeceği yükün veya yüklerin modellenmesi ile başlar. HOMER üç yük türünü modeller. Primer yük, belirli bir zaman çizelgesine göre karşılanması gereken elektrik talebidir. Ertelenebilir yük, belirli bir zaman aralığı içinde herhangi bir zamanda tedarik edilebilecek elektrik talebidir. Termal yük, ısı talebidir.

Primer Yük: Primer yük, enerji sisteminin belirli bir süre içinde karşılaması gereken elektrik talebidir. Lamba, radyo, TV, elektrikli ev aletleri, bilgisayarlar ve endüstriyel işlemlerle ilgili elektrik talebi genelde primer yük olarak modellenir. Bir tüketici lambayı açtığında, enerji sistemi, o lambaya anında elektrik vermelidir, yük daha sonraya ertelenemez. Elektrik talebi arzı aşarsa, HOMER'ın karşılanmayan yük olarak kaydettiği bir açık oluşur.

HOMER kullanıcısı, saatlik verileri içe aktararak veya HOMER'ın ortalama günlük yük profillerinden saatlik verileri sentezlemesini sağlayarak yılın her bir saati için gereken primer yükü kilovat cinsinden belirtir. Yük verisini sentezlerken, HOMER kullanıcı tanımlı günlük yük profillerini esas alan saatlik yük değerleri oluşturur. Modelleyici, yıl boyunca geçerli olan tek bir 24 saatlik profil belirleyebilir veya hafta içi ve hafta sonu için farklı ya da her ay için farklı profiller belirleyebilir. HOMER, her bir günün yük modeli bir diğerinden farklı olacak şekilde, sentezlenen yük verisine kullanıcı tanımlı bir rastlantısallık ekler. HOMER, her biri AC veya DC olabilecek olan iki ayrı primer yükü modelleyebilir.

HOMER'ın modellediği üç yük tipi arasında, kullanıcı tanımlı bir işletim rezervi gerektirdiğinden, primer yükle özellikle ilgilenilir. İşletim rezervi, işletilen ve elektrik yükündeki ani bir artışa veya yenilenebilir enerji üretimindeki ani düşüşe hemen yanıt verebilecek ekstra elektrik üretme kapasitesidir. Daha yaygın bir terim olan spinning reserve (dönen rezerv) ile aynı anlama sahip olsa bile, aküler, yakıt hücreleri ve şebeke de bunu sağladığından ancak onlar dönmediğinden, buna işletim

rezervi diyoruz. Sistemin çalışmasını simüle ederken, HOMER sistemin işletim kapasitesinin her zaman primer yükü ve gereken işletim rezervini tedarik etmeye yeterli olmasını sağlamaya çalışır.

Ertelenebilir Yük: Ertelenebilir yük, belirli bir zaman aralığı içinde herhangi bir zamanda tedarik edilebilen elektrik talebidir. Su pompaları, buz yapıcılar, ve akü değiştirme istasyonları, ertelenebilir yüklere örnektir, çünkü bu yüklerin her birinde bulunan depolama, sistemin kendilerine hizmet edebileceği süre konusunda biraz esneklik sağlar. Bir yükü tedarik etmeyi erteleyebilme, genelde kesintili yenilenebilir enerji kaynakları içeren sistemler için avantajlıdır, çünkü güç üretiminin zamanlamasının hassas bir şekilde kontrol edilmesine duyulan ihtiyacı azaltır. Yenilenebilir enerji tedarigi, primer yükü aşarsa, artan enerji atık olmak yerine ertelenebilir yüke hizmet edebilir.

Termal Yük: HOMER, termal yük, primer elektrik yükü gibi modellenir, tek fark işletim rezervi konseptinin termal yüke uygulanamaz olmasıdır. Kullanıcı saatlik verileri içe aktararak veya HOMER'ın 24 saatlik yük profillerinden saatlik verileri sentezlemesini sağlayarak yılın her bir saati için gereken termal yükü belirtir. Sistem termal yükü jeneratörden gelen artık ısı, veya boylar ya da fazla elektriği kullanarak dirençli ısıtma ile termal sağlar.

3.5.2 Kaynaklar

Kaynak ifadesi, sistem tarafından elektrik veya termal enerji üretmek için kullanılan ve sistem dışından gelen her şey anlamına gelir. Bu dört yenilenebilir kaynağının yanı sıra (güneş, rüzgar, hidro ve bio kütle) sistemin bileşenleri tarafından kullanılan her türlü yakıtı içerir. Yenilenebilir kaynaklar, konuma göre büyük değişiklik gösterir. Güneş kaynak, büyük ölçüde rakıma ve iklime bağlıdır, rüzgar kaynağı geniş ölçekli atmosferik sirkülasyon yapılarına ve coğrafik etkilere bağlıdır, hidro kaynak ise yerel yağış oranı ve topografiye, bio kütle kaynağı ise yerel biyolojik üretime bağlıdır. Dahası, herhangi bir konumda, yenilenebilir bir kaynak mevsimden mevsime ve saatten saate önemli farklılıklar gösterebilir. Yenilenebilir kaynakların doğası, yenilenebilir enerji sistemlerinin davranışını ve ekonomisini etkiler, çünkü kaynak, yenilenebilir enerji üretiminin miktarını ve zamanlamasını belirler. Bu nedenle, yenilenebilir kaynakların dikkatli modellenmesi, sistem modellemenin

önemli bir öğesidir. Bu bölümde, HOMER'in dört enerji kaynağının ve yakıtını nasıl modelleneceği açıklanacaktır.

Güneş Kaynağı: Bir PV dizisi içeren sistemi modellemek için, HOMER kullanıcısı ilgilenilen alan için güneş kaynak verisi sağlamalıdır. Güneş kaynak verisi, bir yıl içinde dünyanın yüzeyine vuran, küresel güneş ışınım miktarını gösterir (doğrudan güneşten gelen ışın radyasyonu ve gökyüzünün bütün parçalarından yayılan radyasyon). Veriler üç biçimden biri halinde olabilir: yatay yüzeydeki saatlik ortalama küresel güneş ışınımı (kW/m^2), yatay yüzeyde aylık ortalama küresel güneş ışınım (kWh/m^2 gün) veya aylık ortalama aydınlık indeksi. Aydınlık indeksi, dünyanın yüzeyine vuran güneş ışınımının atmosferin en üstüne vuran güneş ışınımına oranıdır. Sıfır ile bir arasında bir sayı olan aydınlık indeksi, atmosferdeki aydınlığın ölçümüdür.

Kullanıcı, aylık güneş kaynak verisi sağlamayı seçerse, HOMER, Graham ve Hollands tarafından geliştirilen sentetik saatlik küresel güneş ışınım verisi oluşturur [28]. Bu algoritmaya yapılan girişler aylık güneş ışınım değerleri ve rakımdır. Sonuç, gerçekte ölçülen veri setlerine benzer istatistiksel karakteristiklere sahip 8760 saatlik veri setidir. Bu istatistik özelliklerinden biri bir günün sonraki güne ve bir saatin bir sonraki saate benzer olma eğilimi anlamına gelen oto korelasyondur.

Rüzgar Kaynağı: Bir veya daha fazla rüzgar türbini içeren bir sistemi modellemek için HOMER kullanıcısı türbinlerin bir yıl içinde kullanacağı rüzgar hızlarını gösteren rüzgar kaynağı verisi sağlamalıdır. Kullanıcı, varsa ölçülen saatlik rüzgâr hızı verisini sağlayabilir. Aksi takdirde HOMER, 12 aylık ortalama rüzgâr hızlarından ve dört ilave istatistik parametrelerden türetilmiş saatlik veriler oluşturabilir: Weibull şekil faktörü, otokorelasyon faktörü, günlük model gücü ve en yüksek rüzgar hızı saati. Weibull şekil faktörü yıl içindeki rüzgâr hızlarının dağıtımının bir ölçümüdür. Otokorelasyon faktörü, bir saat içindeki rüzgâr hızının bir önceki saatteki rüzgar hızına ne kadar bağlı olduğunun bir ölçütüdür. Günlük model gücü ve en yüksek rüzgar hızının olduğu saat, sırasıyla rüzgar hızının ortalama günlük modelinin şiddetini ve aşamasını gösterir. HOMER, bu parametrelerin her biri için varsayılan değerler sağlar.

Kullanıcı, rüzgar hızı verisinin ölçüldüğü ve tahmin edildikleri yerden yüksekliği anlamına gelen anemometre yüksekliğini belirtir. Rüzgâr türbini göbek yüksekliği,

ananometre yüksekliğinden farklıysa, HOMER türbin göbeği yüksekliğindeki rüzgar hızını, rüzgarın hızının yerden yüksekliğin logaritmasına orantılı olduğunu varsayan logaritmik yasayı veya rüzgar hızının yükseklikle orantılı olarak değiştiğini varsayan güç yasasını kullanarak hesaplar. Logaritmik yasayı kullanmak için kullanıcı çevredeki arazinin pürüzlülüğünü karakterize eden yüzey pürüzlülüğü uzunluğunu girer. Güç yasasını kullanmak için, kullanıcı α katsayısı (Helman katsayısı) değerlerini girer.

Kullanıcı aynı zamanda, bölgenin denizden yüksekliğini de belirtir, HOMER bu bilgiyi, ABD Standart Atmosferine göre kullanır.

Hydro Kaynak: Bir akarsu hidro türbini içeren sistem modellemek için, HOMER kullanıcısı, bir yıl içinde türbinde bulunan su miktarını gösteren ırmak akış verilerini sağlamalıdır. Kullanıcı varsa, ölçülen saatlik ırmak akış hızı verisini sağlayabilir. Aksi takdirde, HOMER akış hızının, bir ay içinde her gün sabit kaldığını varsayarak, aylık ortalamaları kullanabilir. Kullanıcı aynı zamanda, fazla akışı belirtir, bu ekolojik olarak, hidro türbini aşması gereken minimum ırmak akışıdır. HOMER, artık akışı ırmak akışı verisinden çıkararak, türbinin kullanabileceği ırmak akışını belirler.

Bio Kütle Kaynağı: Biokütle kaynağı, çeşitli biçimlerde yer alır (örn. tahta atığı, tarımsal artık, havyan artığı, enerji bitkileri) ve ısı veya elektrik üretmek için kullanılabilir. HOMER, bio kütle enerjiyi elektriğe dönüştüren bir kütle enerji sistemlerini modeller. Bio kütle kaynağının iki özelliği, onu HOMER'ın modellediği dört yenilenebilir kaynak arasında eşsiz kılar. Öncelikle, kaynak kısmen hasat, taşıma ve depolama gibi insan çabasına bağlıdır. Sonrasında, kesintili olmamasına rağmen, mevsimsel olabilir. Ayrıca, ücretsiz değildir. İkincisi, bio kütle hammaddesi, gaz veya sıvı yakıtı dönüştürülerek, konvansiyonel bir jeneratörde de tüketilebilir. Bio kütle kaynağının modellenmesi, bu nedenle herhangi bir yakıtın modellenmesine çeşitli yönlerden benzerdir.

3.5.3 Bileşenler

HOMER'da, bir bileşen enerji üreten, aktaran, dönüştüren veya depolayan bir mikro enerji sisteminin herhangi bir parçası demektir. HOMER 10 bileşen türünü modeller. Üçü yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretir: fotovoltaik modüller, rüzgar türbinleri ve hidro türbinler. PV modülleri güneş ışınımını DC elektriğe dönüştürür. Rüzgar

türbinleri rüzgar enerjisini AC veya DC elektriğine dönüştürür. Hidro türbinleri akan suyun enerjisini AC veya DC elektriğine dönüştürür. HOMER, yalnızca nehir üzerindeki hidro kurulumları, yani depolama bölümü olmayan kurulumları modelleyebilir.

Diğer üç bileşen türü olan, jeneratörler, şebeke ve brülörler, dağıtılabılır enerji kaynaklarıdır, yani sistemler gerektiğinde bunları kontrol edebilir. Jeneratörler, AC veya DC elektrik üretmek için yakıt tüketir. Jeneratör aynı zamanda atık yakıt dönüştürme ile de termal enerji üretebilir. Şebeke, şebekeye bağlı sisteme AC elektrik iletir ve aynı zamanda sistemdeki fazla enerjiyi de almayı kabul edebilir. Boylerler, termal enerji üretmek için yakıt tüketir.

İki bileşen türü, konvertörler ve elektrolizörler elektrik enerjisini başka bir forma dönüştürür. Konvertörler, elektriği AC'den DC'ye veya DC'den AC'ye dönüştürür. Elektrolizörler, fazla AC veya DC elektriği suyun elektrolizini kullanarak hidrojene dönüştürür. Sistem, hidrojen depolayabilir ve onu bir veya daha fazla jeneratör için yakıt olarak kullanabilir. Son olarak, iki tür bileşen de enerjiyi depolar: aküler ve hidrojen depolama tankları. Aküler, elektrik enerjisini depolar. Hidrojen tankları, elektrolizörden üretilen hidrojenleri bir veya daha fazla jeneratör için yakıt olarak kullanılmak üzere depolar.

Bu bölümde, HOMER'ın bu bileşenlerden her birinin nasıl modellediğini açıklanacak ve kullanıcının her birini açıklamak için kullanabileceği fiziksel ve ekonomik özellikleri tartışılacaktır.

PV Dizisi: HOMER, PV dizisini, sıcaklığından ve maruz kaldığı gerilimden bağımsız olarak, küresel güneş ışınım olayıyla doğru orantılı olarak DC elektrik üreten bir cihazdır. HOMER, aşağıdaki denklemi kullanarak PV dizisinin enerji üretimini hesaplar.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} \quad (3.1)$$

Denklemden, f_{PV} , PV değer kaybı faktörü, Y_{PV} PV dizisinin nominal kapasitesi (kW), I_T PV dizisinin yüzeyine düşen radyasyon (ışın artı dağılım) (kW/m²), ve I_S dizisinin kapasitesini derecelendirmek için kullanılan standart radyasyon miktarı olan

I_s ise 1 kW/m^2 'dir. Aşağıdaki paragraflarda bu değişkenler daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

PV dizisinin nominal kapasitesi (bazen uç kapasite olarak adlandırılır), 1 kW/m^2 parlaklık ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ panel sıcaklığı standart test koşulları altında üreteceği enerji miktarıdır. HOMER'da, bir PV dizisinin boyutu her zaman nominal kapasite cinsinden belirtilir. Nominal kapasite PV modülünün hem alanı hem de verimliliği anlamına gelir, böylece bu iki parametre de HOMER'da açıkça görüntülenmez. Amorfus silikondan yapılan 40 W modül (nispeten daha düşük verimliliğe sahiptir), polikristal silikondan yapılan 40 W modülden (nispeten daha yüksek verimliliğe sahiptir) daha geniş olur, ancak bu boyut farkı HOMER'da sonuçta farklılık oluşturmaz.

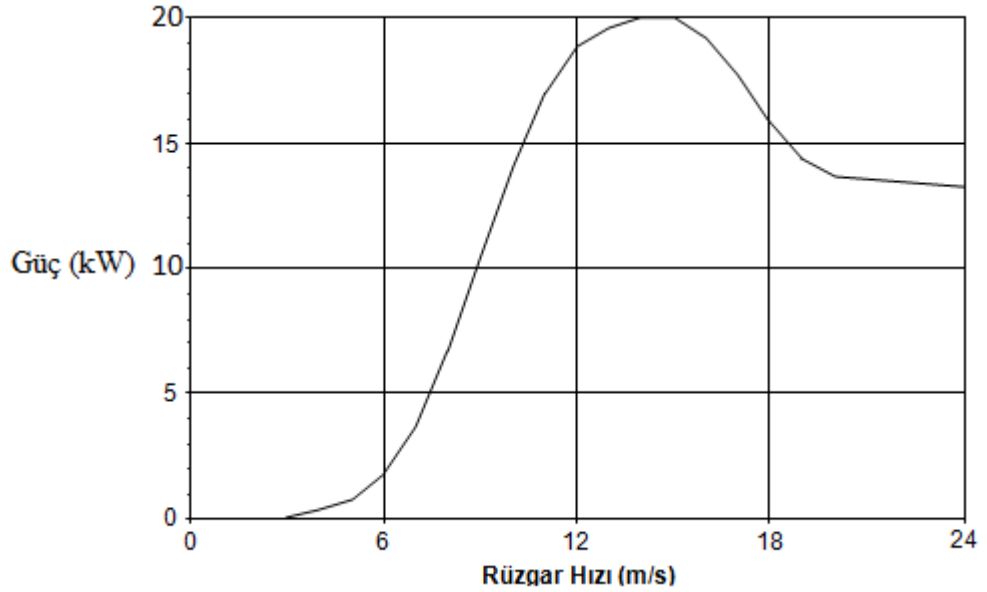
Yılın her saati, HOMER PV dizisi üzerindeki küresel güneş ışınımı, güneş kaynağının geçerli değerini (yatay bir yüzeye düşen küresel güneş ışınımı), PV dizisinin yönünü, dünya yüzeyindeki konumunu, yılın hangi zamanı ve günün hangi saati olduğunu dikkate alır. Dizinin yönelimi sabit olabilir veya çeşitli izleme şemalarına göre değişiklik gösterebilir.

Değer kaybı faktörü, paneldeki tozun, kablo kayıplarının, sıcaklık artışının veya PV dizisinin üretiminin ideal koşullarda beklenenden sapmasına neden olacak herhangi bir şey anlamına gelir. HOMER panel sıcaklığını hesaba katmadan PV'den üretilen enerjiyi hesaplar, ancak HOMER kullanıcısı sıcak iklimler için sistem modellemesi yaparken, bu etkinin değer kaybı faktörünü arttırabilir ve daha gerçekçi bir sonuca ulaşabilir.

Gerçekte, PV dizisinin verimi maruz kaldığı gerilimle güçlü bir şekilde ve doğrusal olmayan bir yapıda bağlıdır. Maksimum güç noktası (enerji veriminin en yüksek olduğu gerilim), güneş ışınımına ve sıcaklığa bağlıdır. PV dizisi doğrudan bir DC yüküne veya bir akü bankasına bağlıysa, bu genellikle maksimum güç noktasından farklı bir gerilime maruz kalır ve performans zarar görür. Bir maksimum güç noktası izleyici, PV dizisi ile sistemin diğer DC bileşenleri arasına yerleştirilen, dizi gerilimini sistemin kalanından ayırıp ve dizi geriliminin her zaman maksimum enerji noktasına eşit olmasını sağlayan sabit bir aygıttır. PV dizisinin maruz kaldığı gerilimin etkisini yok sayarak, HOMER etkin bir şekilde bir maksimum enerji noktası izleyicinin sistemde yer aldığını varsayar.

PV dizisinin maliyetini açıklamak için, kullanıcı başlangıç sermayesi maliyetini, değiştirme maliyetini ve işletim ile bakım maliyetini her bir yıl için dolar cinsinden belirtir. Değiştirme maliyeti, PV dizisini kullanım ömrü sonunda değiştirme maliyetidir, kullanım ömrü yıl cinsinden ifade edilir. Varsayılan olarak, değiştirme maliyeti, sermaye maliyetine eşit olabilir ancak çeşitli nedenlere bağlı olarak aralarında farklılıklar olabilir. Örneğin, bir hibe kuruluşu başlangıç sermayesinin bir kısmını veya tamamını karşılayabilir ancak değiştirme maliyetini karşılamaz.

Rüzgar Türbini: HOMER, rüzgar türbinini, belirli bir güç eğrisine göre, rüzgarın kinetik enerjisini AC veya DC elektriğe dönüştüren bir cihaz olarak modeller. Türbin güç eğrisi, göbek yüksekliğindeki rüzgar hızına karşılık, güç veriminin grafiğidir. Şekil 3.8’de bir rüzgar türbinin güç eğrisi görülmektedir. HOMER, güç eğrisinin



Şekil 3.8 : Örnek rüzgar türbini enerji eğrisi.

1,225 kg/m³ standart hava yoğunluğu için geçerli olduğunu varsayar, bu da standart sıcaklık ve basınç koşullarına karşılık gelir.

Her bir saat için, HOMER, dört adımlı bir işlem dahilinde rüzgar türbininin enerji üretimini hesaplar. İlk olarak, anemometre yüksekliğinde, rüzgar kaynağı verilerine başvurmak suretiyle bir saatteki ortalama rüzgar hızını belirler. İkinci olarak, türbinin göbek yüksekliğinde, logaritmik kanunu veya güç kanununu kullanarak karşılık gelen rüzgar hızını hesaplar. Üçüncü olarak, hava yoğunluğu standart olarak kabul edilerek, enerji üretimini hesaplamak için türbinin enerji eğrisini referans alır. Dördüncü olarak, enerji üretimi değerini hava yoğunluğu oranıyla çarpar. Hava

yoğunluğu, gerçek hava yoğunluğunun standart hava yoğunluğuna oranıdır. HOMER hava yoğunluğu oranını, bölge yüksekliğine göre, ABD Standart Atmosferini kullanarak hesaplar. HOMER, hava yoğunluğu oranının yıl boyunca sabit olduğunu varsayar.

Türbinin enerji eğrisine ve göbek yüksekliğine ek olarak, kullanıcı türbinin beklenen kullanım ömrünü yıl cinsinden, başlangıç sermayesini dolar cinsinden, değiştirme maliyeti dolar cinsinden ve yıllık işletim ve bakım maliyetini dolar cinsinden her bir yıl için belirtir.

Hidro Türbin: HOMER, hidro türbini, düşen suyun enerjisini AC veya DC elektriğe sabit bir verimlilikte dönüştüren, su depolama ya da enerji üretimini modüle etme özelliği olmayan bir cihaz olarak modeller. Düşen suyun enerjisi, ırmak akışının ve suyun düştüğü dikey mesafe olan düşü üretimiyle doğru orantılıdır. Hidro türbine gelen ırmak akışı bilgileri, hidro kaynak verilerinden alınır. Kullanıcı aynı zamanda, kullanılabilir düşü ve friksiyon nedeniyle emme borusunda meydana gelen düşü kaybını girer.

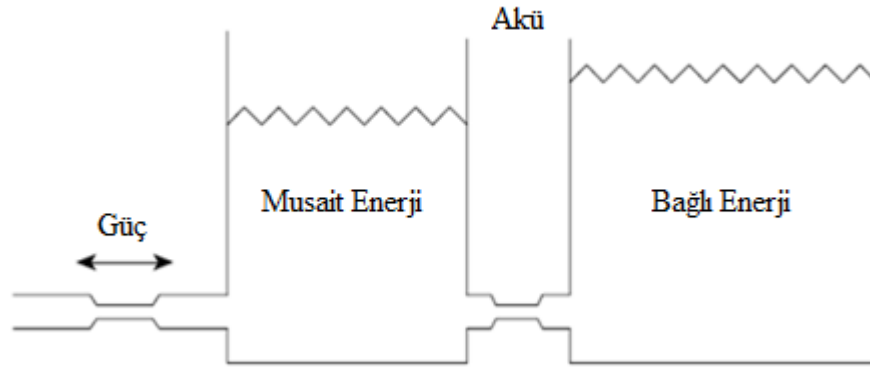
Jeneratörler: Bir jeneratör, elektrik ve yan ürün olarak da muhtemelen ısı üretmek için yakıt tüketir. HOMER'ın jeneratör modülü, çok çeşitli jeneratörleri modellemeye yetecek esneklikte, bunlar arasında içten yanmalı motor jeneratörleri, mikrotürbinler, yakıt hücreleri, Stirling motorları, termofotovoltaik jeneratörler ve termoelektrik jeneratörleri yer alır. HOMER, en fazla 10 jeneratör içeren bir enerji sistemini modelleyebilir, bunlardan her biri AC veya DC olabilir ve her biri farklı bir yakıt tüketebilir.

Jeneratörün temel fiziksel özellikleri, maksimum ve minimum elektrik enerjisi üretimi, çalışma saati cinsinden beklenen kullanım ömrü, tükettiği yakıt türü ve tüketilen yakıt miktarını üretilen elektrik enerjisiyle ilişkilendiren yakıt eğrisidir. HOMER'da, jeneratör yakıt arşivinde yer alan yakıtlardan herhangi birini tüketebilir (kullanıcı arşive kendi yakıtlarını ekleyebilir) veya iki özel yakıttan birini tüketebilir: hidrojen depolama tankından elektolize edilmiş hidrojen veya bio kütle kaynağından elde edilen bio kütle. Ayrıca, bir jeneratörü bio yakıt ve başka bir yakıt bileşimiyle çalıştırmak da mümkündür.

Batarya Kümesi: Batarya kümesi bir ya da daha fazla sayıda müstakil bataryadan meydana gelir. HOMER tekil bir bataryayı ne kadar çabuk şarj ve deşarj olabileceği,

hasar vermeden ne kadar derin deşarj edilebileceği ve değişim gerektirmeden ne kadar enerji döngüsüne katılabileceği sınırlarıyla sabit bir çift taraflı enerji verimliliği ile belli bir miktarda DC elektrik depolayabilen bir aygıt olarak modeller. HOMER bataryanın özelliklerinin ömrü boyunca sabit kalacağını ve sıcaklık gibi dış faktörlerden etkilenmeyeceğini düşünür.

HOMER'da bataryanın en önemli fiziksel özellikleri nominal gerilimi, kapasite eğrisi, ömür eğrisi, minimum şarj durumu ve çift taraflı verimliliğidir. Kapasite eğrisi bataryanın amper bazında deşarj akımına karşı amper-saat türünden deşarj kapasitesini gösterir. Üreticiler bu eğrideki her bir noktayı tam dolu bir bataryadan sabit bir akımda deşarj edilebilen amper-saat değerini ölçerek belirler. Kapasite genel olarak artan deşarj akımı ile azalır. Ömür eğrisi şarj-deşarj derinliğine karşı şarj-deşarj sayısını gösterir. Şarj-deşarj sayıları genellikle artan şarj-deşarj derinliği ile azalır. Minimum şarj durumu, bataryanın kalıcı hasara uğramaması için deşarj edilmemesi gereken şarj durumunu belirtir. Sistem simülasyonunda, HOMER bataryanın bu limitten daha derinde deşarj edilmesine izin vermez. Çift taraflı verimlilik bataryadan çekilebilecek enerjinin bataryaya giren enerjiye yüzde olarak oranıdır.



Şekil 3.9 : Kinetik akü modeli.

Bataryanın maksimum müsaade edilebilir şarj veya deşarj değerini hesaplamak için bataryayı Şekil 3.9'da gösterildiği gibi iki tank sistemi olarak gören kinetik batarya modelini kullanır [29]. Kinetik batarya modeline göre, bataryanın enerji depolama kapasitesinin bir kısmı şarj veya deşarj için daima müsaittir ancak geri kalanı kimyasal olarak bağlıdır. Kullanılabilir enerji ile bağlı enerji arasındaki dönüşüm oranı iki tank arasındaki "yükseklik" farkına bağlıdır. Üç parametre bataryayı

tanımlar. Bataryanın maksimum kapasitesi, müsait olan ve bağlı tank büyüklüğünün toplamıdır. Kapasite oranı kullanılabilir tankın büyüklüğünün iki tankın büyüklüğünün toplamına oranıdır. Sabit oran ise tanklar arasındaki borunun büyüklüğüne benzerdir.

HOMER batarya enerji maliyetini simülasyonun her saatinde batarya kümesini şarj etmenin o güne kadarki yıl boyunca toplam maliyetini, batarya kümesinde o güne kadarki yıl boyunca depolanan enerji miktarına bölerek hesaplar. Yük-izlemeli devreye alım stratejisinde, batarya kümesi yalnızca artan elektrik ile şarj edilir, bu sebeple batarya kümesini şarj etmeyle ilgili maliyet hep sıfırdır. Döngü şarjlı strateji altında ise, bir jeneratör batarya kümesini şarj etme amacıyla ekstra elektrik üretecektir (ve dolayısıyla ek yakıt tüketecektir), bu sebeple batarya kümesini şarj ile ilgili maliyetler sıfır değildir.

Şebeke: HOMER şebekeyi mikrogüç sisteminin AC elektrik satın alabileceği ve AC elektrik satabileceği bir bileşen olarak modeller. Şebekeden güç alımının maliyeti bir fatura döneminde satın alınan enerji miktarını esas alan bir enerji ücreti ve talebin tepe değerini esas alan bir talep ücretini içerebilir. HOMER şebeke enerji fiyatı terimini elektrik kuruluşunun şebekeden enerji alımı için biçtiği fiyat (\$/kWh) ve talep değeri terimini elektrik kuruluşunun şebekeden talebin tepe değeri için biçtiği fiyat (\$/kW) için kullanır. Bir üçüncü terim, geri satış değeri, elektrik kuruluşunun şebekeye satış için biçtiği fiyatı (\$/kWh) belirtir.

HOMER kullanıcısı her biri farklı şebeke güç fiyatı, talep değeri ve geri satış değeri sahip 16 farklı değer tanımlayabilir ve zamanlayabilir. Değerlerin zamanlaması aya, günün zamanına ve hafta içi / hafta sonuna göre değişebilir. Örneğin, HOMER Temmuz ve Ağustos aylarının hafta içi öğlen zamanlarında pahalı bir değer, Haziran ve Eylül aylarının hafta içi öğlen ve Haziran'dan Eylül'e kadar hafta sonu öğlen zamanlarında orta seviyeli bir değer, diğer zamanlarda ise ucuz bir değer uygulandığı bir durum modelleyebilir.

Buhar Kazanı HOMER buhar kazanını talep edildiğinde sınırsız miktarda termal enerji sağlayabilecek idealize edilmiş bir bileşen olarak modeller. Jeneratörleri elektrik yükünü beslemek için devreye alırken, HOMER termal yükü beslemek için jeneratörden elde edilebilecek her tür ısı kaybının değerini ele alır ancak sadece termal yükü beslemek için jeneratörü devreye almayacaktır. Sistemin jeneratörlerin

beslemediği termal yükü beslemek için daima buhar kazanına güveneceğini varsayar. HOMER bunu termal yükün beslendiği her sistemde bir buhar kazanının olduğunu garanti eder, buhar kazanının yakıtında herhangi bir tüketim limitine izin vermez ve buhar kazanının biyokütle ya da depolanmış hidrojen tüketmesine izin vermez (çünkü iki yakıt da zaman zaman mevcut olmayabilir).

Çevirici: “çevirme” işlemiyle elektrik gücünü DC’den AC’ye çeviren ve/veya “doğrultma” adı verilen bir işlemle AC’den DC’ye çeviren bir aygıttır. Bir karar değişkeni olan çevirici boyutu, çevirici kapasitesine işaret eder, bu da aygıtın DC gücü çevirerek elde edebileceği maksimum AC güç miktarıdır. Kullanıcı doğrultucu kapasitesini belirler, bu da AC gücü doğrultarak elde edilebilecek maksimum DC güç miktarına eşittir, çevirici kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilir. Bu sebeple doğrultucu kapasitesi ayrı bir karar değişkeni değildir. HOMER çevirici ve doğrultucu kapasitelerinin, aygıtın sadece kısa bir zaman dilimi için sağlayabileceği, aniden artıp azalan kapasiteler olmadığını varsayar, daha ziyade, aygıtın gerektiği kadar sağlayabileceği, sürekli kapasiteler olduğunu düşünür.

HOMER kullanıcısı çeviricilerin şebeke ya da jeneratör gibi bir başka AC güç kaynağı ile paralel çalışıp çalışmayacağını belirtir. Böyle yaparak çeviricilerin, AC frekansı ile senkronize olmasını gerektirir, bazı çeviriciler bu yeteneğe sahip değildir. Çeviricinin son fiziksel özelliği ise HOMER’ın sabit kabul ettiği, çevirme ve doğrultma verimleridir. Çeviricinin ekonomik özellikleri dolar cinsinde yatırım maliyeti ve değişim maliyeti, yıllık bakım ve işletim maliyeti ve yıl bazında beklenen ömrüdür.

Elektrolizör: Bir elektrolizör suyun elektrolizi ile hidrojen üretmek için elektrik tüketir. HOMER’da kullanıcı elektrolizörün maksimum elektriksel girişi bazında, bir karar değişkeni olan, boyutunu belirler. Kullanıcı aynı zamanda elektrolizörün AC güç mü yoksa DC güç mü tükettiğini ve o gücü hidrojene çevirdiği verimi girer. HOMER elektrolizör verimini üretilen hidrojenin (yüksek ısıtma değeri temelli) enerji içeriğinin tüketilen elektrik miktarına bölümü olarak tanımlar. Son fiziksel özelliği ise çalışabildiği minimum güç girişi olan minimum güç oranıdır, bu da maksimum güç girişinin yüzdesi olarak ifade edilir. Elektrolizörün ekonomik özellikleri dolar bazında yatırım ve değişim maliyeti, yıllık bakım ve işletim masrafı ve yıl bazında beklenen ömrüdür.

Hidrojen Tankı: HOMER’da hidrojen tank elektrolizör tarafından üretilen hidrojeni sonraki zamanlarda hidrojen-yakıtlı jeneratör tarafından kullanılması için depolar. Kullanıcı hidrojen tankının içerebileceği hidrojen kütlesi bazında, bir karar değişkeni olan, boyutunu belirtir. HOMER tanka hidrojen eklemenin elektrik gerektirmeyeceğini ve tankın herhangi bir kaçağının olmadığını varsayar.

3.5.4 Sistem dağıtımı

Her bir bileşenin davranışını modellemeye ek olarak, HOMER bu bileşenlerin beraber bir sistem olarak nasıl çalıştığını da simüle etmelidir. Bu da hangi jeneratörlerin hangi güç seviyesinde çalıştırılması gerektiğine, bataryaların şarj ya da deşarj edilmelerine, şebekeden enerji almaya veya şebekeye enerji satmaya dair saatlik kararlar gerektirir. Bu bölümde kısaca HOMER’ın bu tip kararları verme mantığı açıklanacaktır. İşletim rezervi konusu her şeyden önce gelir çünkü işletim rezervi kavramı HOMER’ın bu kararları vermesini önemli ölçüde etkiler.

İşletim rezervi İşletim rezervi yenilenebilir enerji üretimindeki ve elektrik yükündeki değişkenliğe rağmen güvenilir elektrik teminini sağlamaya yardım eden bir güvenlik marjı sağlar. Gerçekte her gerçek mikro güç sistemi daima bir miktar işletim rezervi sunmalıdır, aksi halde elektrik yükü bazen sistemin işletim kapasitesinin üstüne çıkacak şekilde dalgalanır ve kesinti meydana gelir.

Herhangi bir anda, bir güç sisteminin sunduğu işletim rezervi, işletim kapasitesinden elektrik yükünün çıkarılmasıyla elde edilen değere eşittir. Örneğin, 80 kW’lık bir dizel jeneratörün elektrik yükünü beslediği basit bir dizel sistemi düşünelim. Bu sistemde, yük 55 kW ise, dizel sistemi 55 kW elektrik üretecek ve 25 kW’lık bir işletim rezervi sağlayacaktır. Bir başka deyişle, yükte aniden 25 kW’lık artış olsa bile sistem yükü besleyebilecektir. HOMER’da, modelleyici gerekli işletim rezervi miktarını belirtir ve HOMER en az bu miktardaki bir işletim rezervini sağlayacak şekilde sistemi simüle eder.

Devreye Alınabilir Sistem Bileşenlerinin Kontrolü Yılın her saatinde, HOMER yenilenebilir güç sistemlerinin kendiliğinden elektrik yükünü besleyip besleyemeyeceğini, gerekli işletim rezervini ve termal yükü saptar. Eğer değilse, yüklere ve işletim rezervine yeterli gelebilmek için devreye alınabilecek sistem bileşenlerinin (jeneratörler, batarya kümesi, şebeke ve buhar kazanı) en iyi nasıl devreye alınabileceğini saptar. Sistem bileşenlerinin her saat nasıl devreye

alınabileceğini belirlemek HOMER'in simülasyon mantığının en kompleks kısmıdır. Her ne kadar kompleks sistem modellemelerine ihtiyaç doğarsalar da, devreye alınamayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kendileri modellemek için basittir. Çünkü kontrol mantığı gerektirmezler, yalnızca yenilenebilir araçlara direkt olarak güç sağlarlar. Devreye alınabilen kaynakları modellemek daha zordur çünkü talep ve beslemeyi eşleştirmek ve yenilenebilir güç kaynaklarının kesintilerini tazmin edebilmek için kontrol edilmelidirler.

Devreye Alma Stratejisi Bir önceki kısımda anlatılan ekonomik devreye alma mantığı yükleri beslemek için enerji üretimini yönetir ve bu yüzden HOMER'in modellediği bütün sistemlere uygular. Ancak hem batarya kümesi hem jeneratör içeren sistemler için, jeneratörün bataryayı şarj etmesinin gerekli olup olmadığını (gerekliyse nasıl yapacağını) konu alan ek bir sistem işletim yönü ortaya çıkar. Bu batarya şarj mantığı basit ekonomik prensipler üzerine kurulamaz, çünkü batarya kümesini şarj etmenin değerini hesaplamak için hiçbir deterministik yol yoktur. Bataryayı bir saatte şarj etme değeri, gelecek saatlerde ne olacağına bağlıdır. Örneğin bir rüzgâr-dizel-batarya sisteminde bataryayı bir saatte dizel jeneratör gücüyle şarj etmek, eğer sistemin dizel jeneratörü ilerleyen saatlerde kullanılmaktan kaçınmasına izin verecekse, belli bir değere sahip olur. Ancak eğer sistem ilerleyen saatlerde bataryayı tamamen şarj etmeye yetecek enerjiden daha fazlasını rüzgâr gücünden alırsa, bunun hiçbir değeri olmaz. Bu durumda, bataryaya koyulan dizel gücü ziyan edilmiş olur çünkü rüzgâr gücü bataryayı her halükârda dolduracaktı.

Yük Önceliği HOMER sistem tarafından üretilen elektriği nasıl dağıtacağıyla ilgili ayrı bir dizi karar verir. Hem AC hem DC baraların varlığı bu kararları bir şekilde karmaşıktırır. HOMER üretilen barada elektriğin önce aynı bustaki birincil yüke, sonra diğer baradaki birincil yüke, sonra aynı baradaki ertelenebilir yüke, sonra diğer baradaki ertelenebilir yüküne gideceğini, sonra batarya kümesini şarj edeceğini, sonra şebekeye satılacağını, sonra elektrolizi besleyeceğini, sonra da tercihen termal yük olan artık yükü besleyeceğini varsayar.

3.6 Ekonomik Modelleme

Ekonomi, HOMER'in hem toplam net güncel maliyetini minimize etmek için sistemin yönetildiği simülasyon işleminde, hem de en düşük toplam net güncel maliyeti ile sistem yapılandırmasının araştırıldığı optimizasyon işleminde temel bir

rol oynar. Bu kısım neden yaşam döngüsü maliyetinin farklı sistem yapılandırmalarının ekonomisiyle karşılaştırmak için uygun ölçü olduğunu, neden HOMER'ın ekonomik en yüksek fayda göstergesi olarak toplam net güncel maliyetini kullandığını ve HOMER'ın toplam net güncel maliyeti nasıl hesapladığını açıklamaktadır.

Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji türleri genel çok farklı maliyet karakteristiklerine sahiptir. Yenilenebilir kaynaklar düşük işletim maliyeti ve yüksek başlangıç yatırım maliyetine sahip iken, konvansiyonel yenilenemeyen kaynaklar düşük yatırım maliyeti ve yüksek işletim maliyetine sahiptirler. Optimizasyon işleminde HOMER farklı miktarlarda yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarını içeren çok sayıda sistem yapılandırmasının ekonomisini sıklıkla karşılaştırmalıdır. Adil olması adına, bu tip karşılaştırmalar hem yatırım hem de işletim maliyetlerini göz önüne almalıdır. Yaşam döngüsü maliyeti analizi bunu sistemin bütün yaşam süresi boyunca meydana gelecek maliyetleri dahil ederek yapmaktadır.

HOMER toplam bugünkü net maliyeti (NPC) bir sistemin yaşam döngüsü maliyetini göstermek için kullanır. Toplam NPC projenin ömrü boyunca meydana gelen bütün maliyetleri ve gelirleri, gelecekteki nakit akışını günümüze iskonto oranı ile indirmekle beraber, bugünün dolarında tek bir götürü içinde özetler. Modelleyici iskonto oranını ve proje ömrünü belirtir. NPC başlangıç inşaatı, bileşen değişimleri, bakım, yakıt maliyetlerine ek olarak şebekeden satın alınan enerji maliyetini ve kirletici emisyonlarından kaynaklanan cezalar gibi çeşitli maliyetleri kapsar. Gelirler, şebekeye enerji satmaya ek olarak proje ömrünün sonundaki hurda değerinden gelen gelirleri kapsar. NPC ile maliyet pozitif, gelirler negatiftir. Net bugünkü değer zıddıdır. Bunun bir sonucu olarak, net bugünkü maliyetin net bugünkü değerden tek farkı işarettir.

HOMER proje ömrü boyunca tüm fiyatların aynı oranda arttığını varsayar. Bu varsayımla, gelecekteki nakit akışını günümüze iskontolarken, enflasyon nominal faiz oranından ziyade analizden gerçek (enflasyona göre ayarlanmış) faiz oranını kullanarak devre dışı bırakılabilir. HOMER kullanıcısı bu sayede aşağı yukarı nominal faizden enflasyon oranının çıkarılmasıyla elde edilen değere eşit olan gerçek faiz değerini girer. HOMER'daki bütün maliyetler gerçek maliyetlerdir, bu da demektir ki sabit dolar değeri şartlarında tanımlanmış olur.

Modelleyici sistemin her bileşeni için sıfır yılında meydana gelen başlangıç maliyetini, projenin ömrü sonunda bileşenin gerektirdiği değişimin meydana getirdiği değişim maliyetini ve her yıl meydana gelen bakım ve işletim maliyetini belirler. Kullanıcı pekçok bileşenin ömrünü yıl bazında girer, HOMER batarya ve jeneratörlerin ömrünü hesaplar. Bir bileşenin değişim maliyeti bazı sebeplerden dolayı yatırım maliyetinden farklı olabilir. Örneğin, modelleyici bir rüzgar türbininin jeneratör korumasının 15 yıl sonra değişime ihtiyaç duyacağını varsayabilir ancak kule ve temel proje ömrü boyunca dayanacaktır. Bu durumda, değişim maliyeti başlangıç yatırım maliyetinden nispeten daha az olacaktır. Hibe ajansları veya faiz indirimli programlar bir PV dizisinin başlangıç yatırım maliyetinin bir kısmını ya da hepsini karşılayabilir ancak değişim maliyetlerini karşılamaz. Bu durumda, değişim maliyeti başlangıç yatırım maliyetinden daha fazla olabilir.

Her bileşenin proje ömrü sonundaki hurda değerini hesaplamak için HOMER

$$S = C_{deg} \frac{R_{deg}}{R_{tum}} \quad (3.2)$$

denklemini kullanır. Burada S hurda değeri, C_{deg} bileşenin değişim maliyetini, R_{deg} bileşenin kalan ömrü, R_{tum} bileşenin ömrüdür. Örneğin projenin ömrü 20 yıl ve PV dizisinin de ömrü 20 ise, PV dizisinin proje ömrü sonundaki hurda değeri sıfır olacaktır, çünkü daha fazla ömrü yoktur. Öte yandan PV dizisinin ömrü 30 yıl ise, 20 yıllık proje ömrü sonunda hurda değeri, değişim maliyetinin üçte biri kadar olacaktır.

HOMER her bir bileşen için, bileşenin yıllık maliyetini bulmak için yatırım, değişim, bakım ve yakıt maliyetleriyle beraber hurda değeri ve diğer gelirleri ya da maliyetleri birleştirir. HOMER sistemin toplam yıllık maliyetini bulmak için her bileşenin yıllık maliyetleriyle beraber kirletici emisyonu kaynaklı cezalar gibi diğer muhtelif maliyetlerle toplar. Bu değer önemlidir, çünkü HOMER bunu ekonomik en yüksek fayda göstergesini, toplam net güncel maliyet ve toplam enerji kurulum maliyetini hesaplamak için kullanır.

HOMER toplam güncel maliyeti hesaplamak için şu denklemi kullanır:

$$C_{NPC} = \frac{C_{yil,top}}{CRF(i,R_{proj})} \quad (3.3)$$

Burada $C_{yil,top}$ toplam yıllık maliyet, i yıllık gerçek faiz oranı (iskonto oranı), R_{proj} proje ömrü ve CRF sermaye geri dönüş faktörü, aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\mathbf{CRF(i, N)} = \frac{i(1+i)^N}{i(1+i)^N - 1} \quad (3.4)$$

Burada i yıllık gerçek faiz oranı ve N yıldır.

HOMER toplam enerji kurulum maliyetini hesaplamak için aşağıdaki denklemi kullanır:

$$\mathbf{COE} = \frac{C_{y1,top}}{E_{bir} + E_{ert} + E_{seb,sat}} \quad (3.5)$$

Burada $C_{y1,top}$ toplam yıllık maliyet, E_{bir} ve E_{ert} sırasıyla, sistemin yılda verdiği toplam birincil ve ertelenebilir yükler, $E_{seb,sat}$ yılda şebekeye satılan enerji miktarıdır. Denklemin paydası sistemin yılda ürettiği toplam kullanılabilir enerji miktarının bir ifadesidir. Toplam enerji kurulum maliyeti de, bu yüzden, sistem tarafından üretilen kullanılabilir elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyetidir.

Toplam enerji kurulum maliyeti farklı sistemlerin maliyetleriyle karşılaştırma için uygun bir ölçüt olsa da, HOMER bunun yerine toplam NPC'ü birincil ekonomik en yüksek fayda göstergesi olarak kullanır. Örneğin, optimizasyon işleminde, HOMER sistem yapılandırmalarını toplam enerji kurulum maliyetinden ziyade NPC'a göre sıralar. Bunun sebebi toplam enerji kurulum maliyetinin, NPC'un tartışılmadığı bir yönden tartışılabilir olmasıdır.

4. YÜK (PİLOT EV)VE KAYNAK KARAKTERİSTİĞİ

4.1 Pilot Ev Yük Karakteristiği

Kurulması planlanan sistemin ve ekonomik analizin yapılacağı pilot yer olarak İstanbul Beylerbeyinde dört kişilik bir ailenin yaşadığı bir müstakil ev seçilmiştir. Şekil 4.1’de söz konusu çalışmanın yapılacağı pilot ev gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Pilot Ev.

Pilot evin yük karakteristiğini belirlenmesinde Entes MPR60S serisi enerji analizörü kullanılmıştır. Şekil 4.2’de kullanılan enerji analizörünün genel görüntüsünü ve uygulama resmi gösterilmiştir. Cihaz bir elektrik şebekesine ait tüm parametreleri ölçmek ve istenildiğinde kaydetmek amacıyla tasarlanmıştır. DSP (Dijital Sinyal İşlemcisi) tabanlı universal bir cihazdır. Ölçülen parametreler 3,6 inç’lik LCD ekranda görüntülenmekte ve istenildiği takdirde karanlık ortamlarda ekran aydınlatma (ışık) aktif yapılarak kolay okunma sağlanabilmektedir. Cihaz MODBUS seri haberleşme arayüzüne sahiptir. Parametreler tablosunda verilen ölçüm değerleri LCD ekrandan izlenebilir. Akım ve gerilim trafosu ile çevirme oranlarını değiştirilir. 3 Faz+Nötürlü, 3 Faz Nötürsüz, Aron bağlantılı sistemlerde ölçüm yapılması mümkündür. Ayrıca RS-485 çıkışlarını kullanarak bilgisayarla veri alışverişinde bulunabilir. İstenilen parametreler cihazın 1MB kalıcı belleğine tarih ve saatle

birlikte, istenilen sıklıkta kayıt söz konusudur. Kaydedilen bu parametreler, analizörün kendi programı kullanarak bilgisayar ortamına aktarılır. Fazların varlığı LCD ekranın sağ üst köşesindeki V_{L1} , V_{L2} , V_{L3} sembollerinden her an izlenebilir. Enerji analizörü şebeke parametrelerinden; gerilimler, akımlar, güç faktörü, kayma faktörü, aktif-reaktif, görünür güçler, frekans, nört akımı değerlerini kaydedebilir. Bu parametreler talebe göre daha da çeşitlendirilebilir.

Entes RS-USB2 dönüştürücü, RS485 üzerinden haberleşen cihazların bilgisayara USB portundan bağlanmasını sağlar. Bu şekilde USB portunuzu standart seri port (COM port) olarak kullanabilir ve bilgisayara bağlandığınız cihazlarla haberleşebilirsiniz.



Şekil 4.2 : Cihazın genel görüntüsü ve pilot ev uygulama resmi.

Bu tarz şebekeden bağımsız tüketim noktalarını, hibrit yenilenebilir enerji ile beslemek için dizayn edilirken yük karakteristikleri büyük önem taşımaktadır. Örnek vermek gerekirse, puant yük talebi akşam vakitlerinde oluyor ise (ailenin eve dönüşüyle birlikte), bunu karşılamak için doğrudan güneş enerjisini kullanmak olanaksızdır [49]. Bu durumda puant yük talebi gün boyunca rüzgâr ve güneş enerjisi (PV) tarafından üretilmiş ve depolanmış akünün enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla karşılanacaktır.

Pilot evin yük profili oluşturulurken enerji analizörü ile 35 günlük bir zaman aralığında tüm parametrelerin dakikalık ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Bu veriler HOMER'a girilirken 35 günlük ölçülen data tekrarlı halde 365 güne tamamlanmıştır. Analize, bu dakikalık ölçümlerin bir yıla tamamlanmış halinden, zaman kümeleri oluşturularak başlanmıştır. Beş, on, onbeş, otuz, altmış dakikalık ve günlük ortalamalar halinde toplam 7 adet zaman kümesi oluşturulmuştur.

HOMER programına girilen bu dataların ölçeklendirilmemesi için simülasyon zaman basamağını saatlikten, bir dakikalığa ayarlanmıştır. Enerji analizörünün ölçtüğü 1 dakikalık talep ortalamalarına göre 1 yıl için ortalama tüketim HOMER programı tarafından günlük 6,91 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama yük 0,288 kW, puant yük olarak 4,02 kW ve yük faktörü 0,072 değerleri yine HOMER tarafından girdiğimiz veriler kullanılarak elde edilmiştir. Burada yük faktörü ortalama yükün puant yüke oranıdır ve boyutsuz bir büyüklüktür.

Zaman kümelerine göre HOMER programının oluşturduğu yük karakteristikleri Çizelge 4.1'deki gibidir. Çizelgeden de görüldüğü gibi yük veri aralığı arttıkça puant yük değeri azalmaktadır.

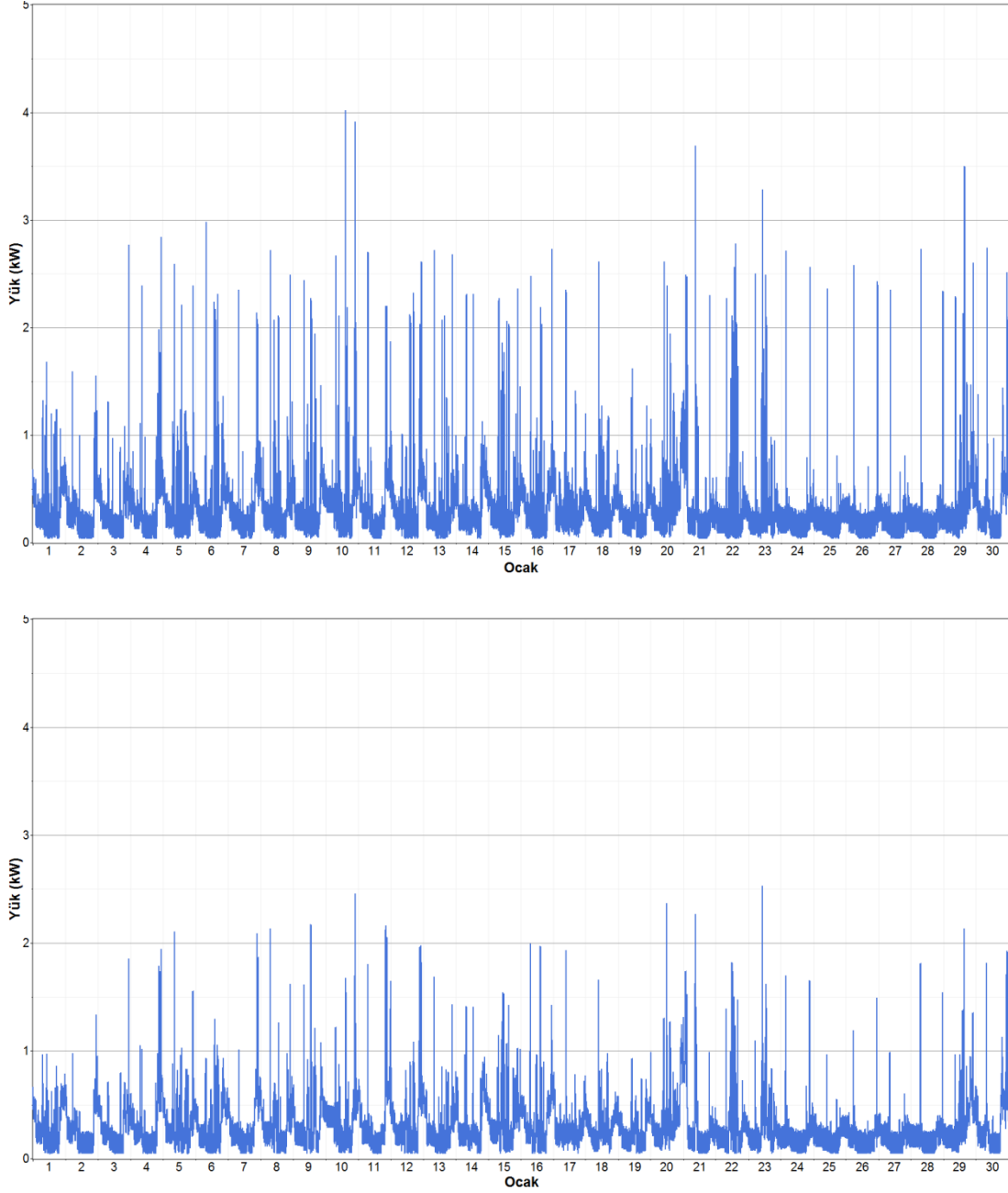
Çizelge 4.1 : Yedi çeşit zaman kümesi yük karakteristikleri.

	1 dak.	5 dak.	10 dak.	15 dak.	30 dak.	60 dak.	Günlük
Ortalama Tüketim (kWh/gün)	6,91	6,91	6,91	6,91	6,91	6,91	6,91
Ortalama Yük (kW)	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
Puant Yük (kW)	4,02	2,53	2,02	1,96	1,43	1,29	0,395
Yük Faktörü	0,072	0,114	0,143	0,147	0,201	0,223	0,729

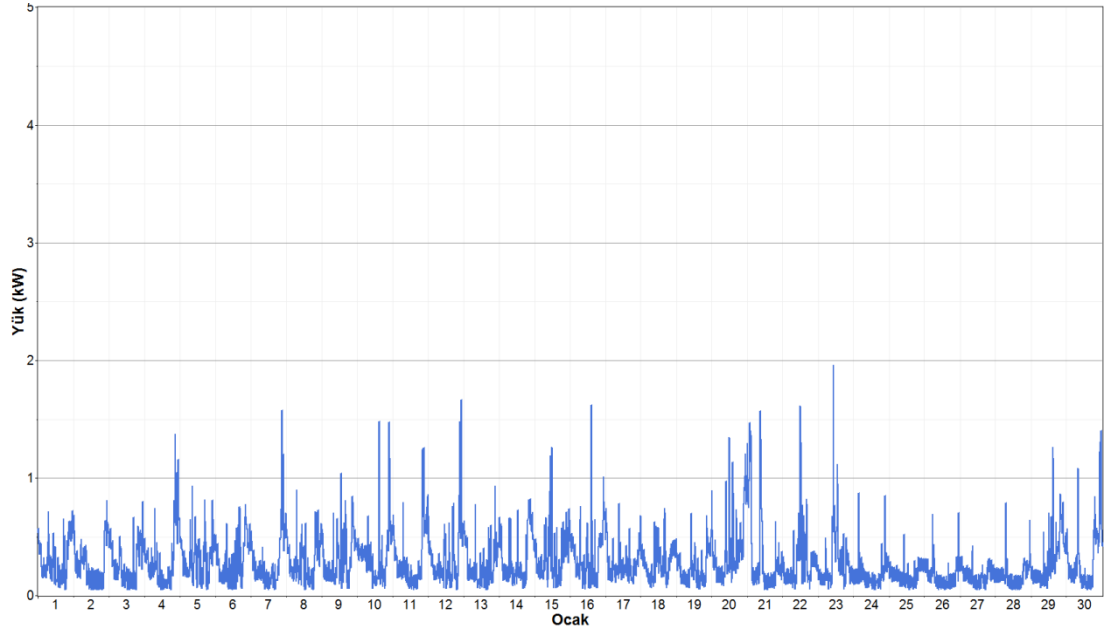
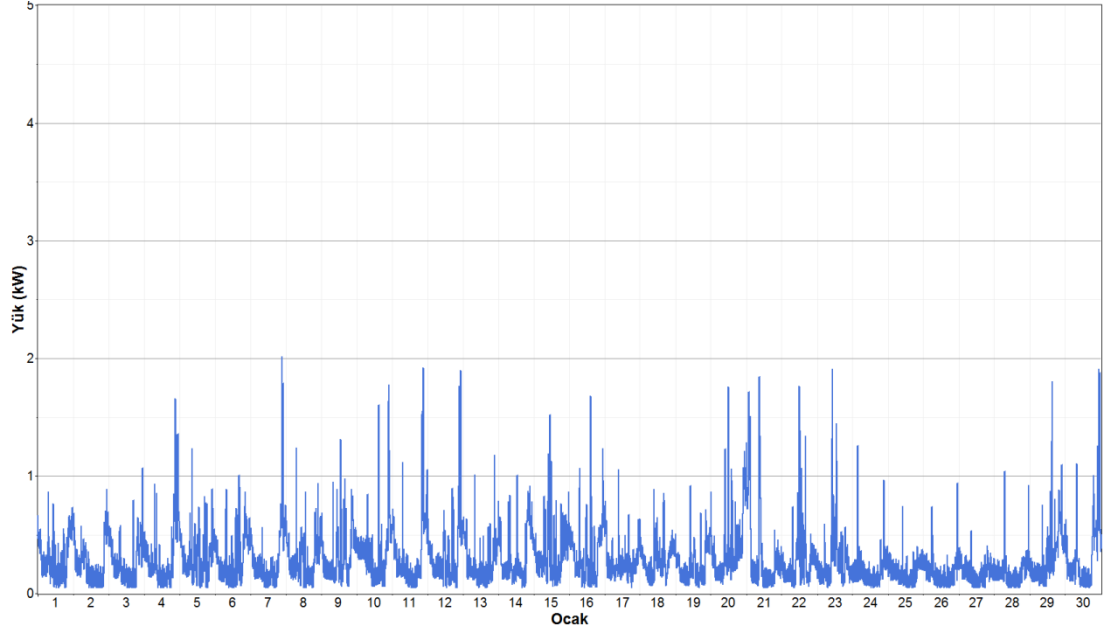
Ocak ayına ait farklı zaman verileri için yük profilleri Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6'daki gibidir.

Şekillerden görüldüğü gibi pilot evin enerji gereksiniminin bayağı dalgalı ve değişken olduğu gözlenmektedir. Bunun içindir ki; şebekeden bağımsız sistemlerde enerji depolamanın önemi, hibrit sistemlerin emre amedeliklerinde ki dezavantajı azaltması açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir.

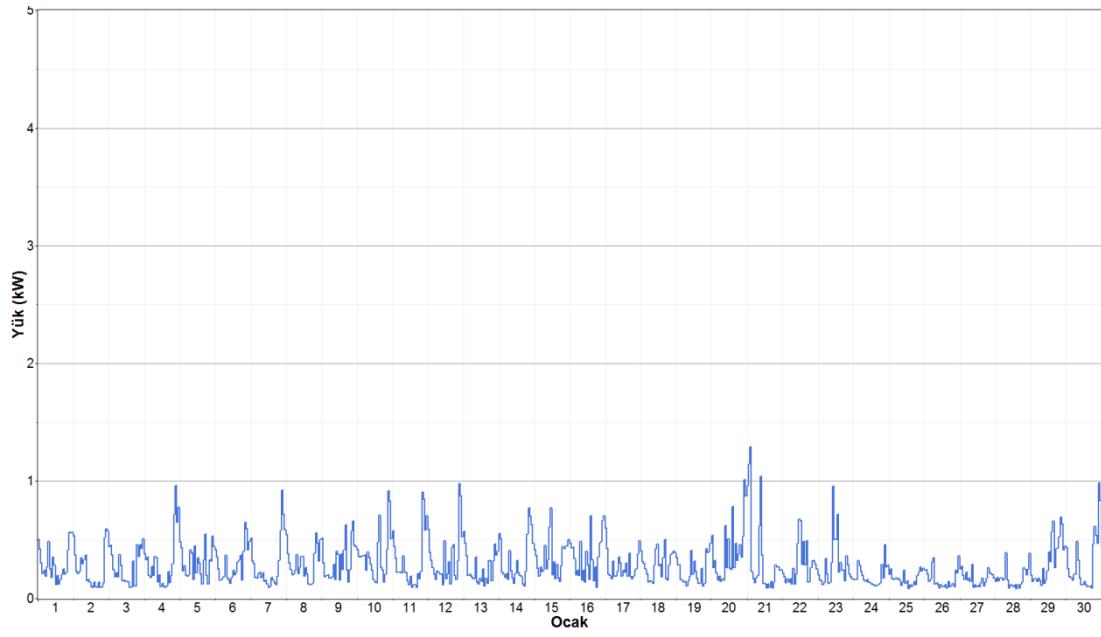
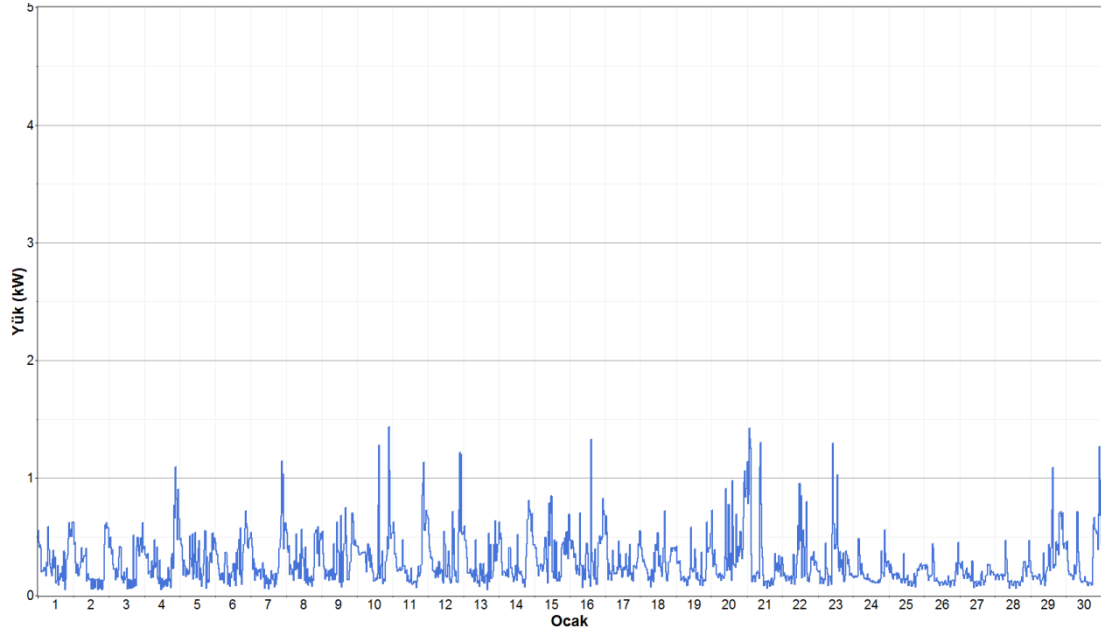
Dakikalık zaman kümelerinde zaman aralığını arttırdıkça grafikte yük çizgisinin dalgalıdan git gide köşeli ve kare dalgaya dönüştüğünü de gözlemliyoruz. Burada tüm zaman kümelerinde yük çizgisinin altında alan eşit olmakla birlikte, dakikalık ortalama yük arttırdıkça paunt yük git gide düşmektedir.



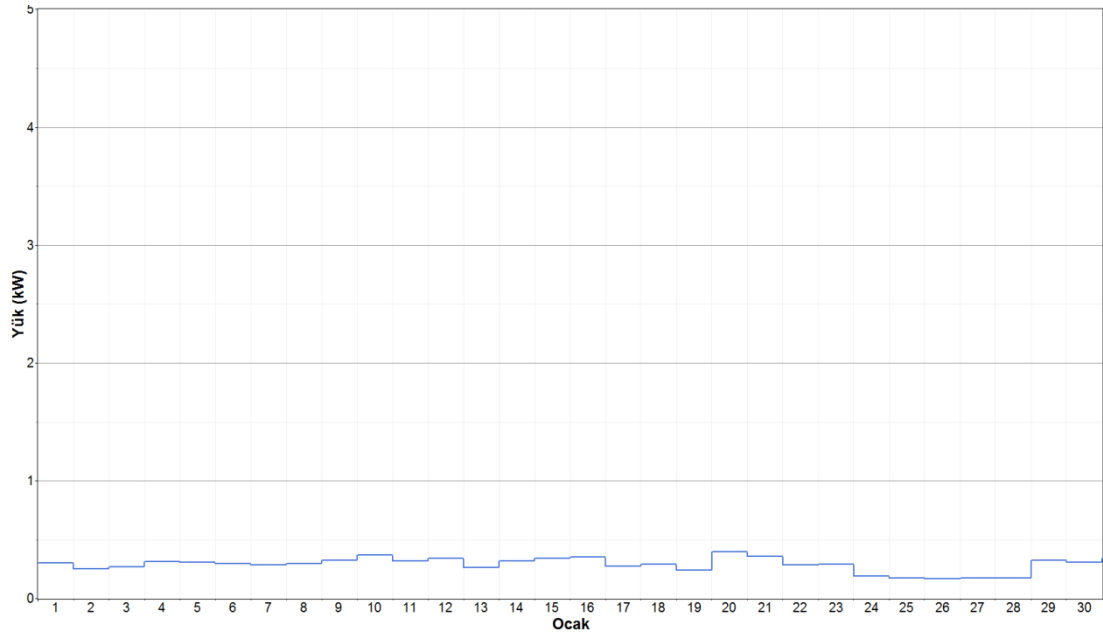
Şekil 4.3 : 1 dakikalık ve 5 dakikalık Ocak ayı yük grafiği.



Şekil 4.4 : 10 dakikalık ve 15 dakikalık Ocak ayı yük grafiği.



Şekil 4.5 : 30 dakikalık ve 60 dakikalık Ocak ayı yük grafiği.



Şekil 4.6 : Günlük Ocak ayı yük grafiği.

4.2 Örnek Bölge Kaynak Karakteristiği

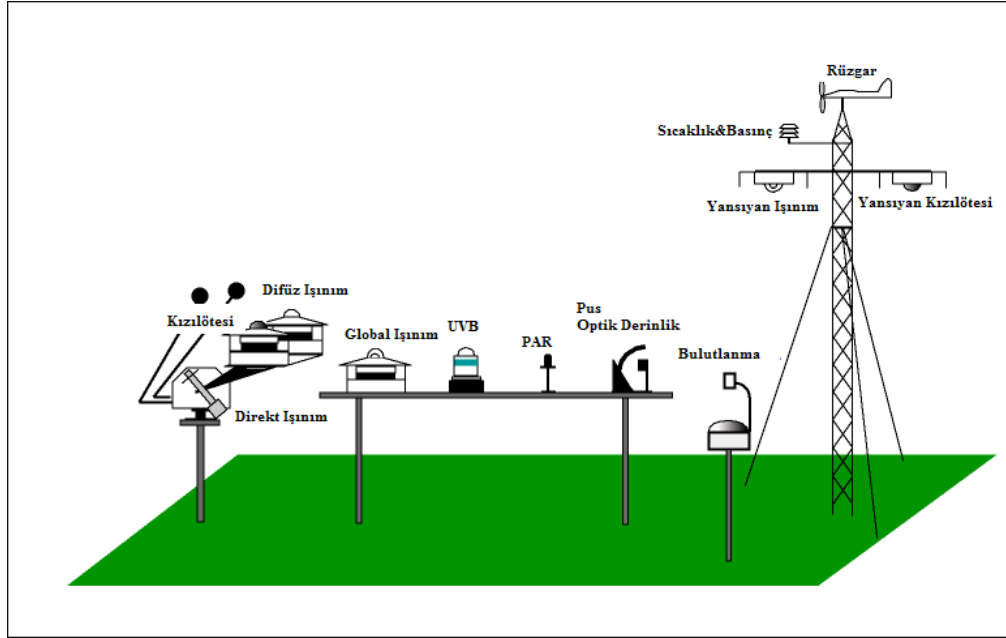
Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl'dır. (günlük toplam 3,6 kWh/m²). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda, teknik kapasitesi 405 milyar kWh, ekonomik potansiyeli de 380 milyar kWh olarak tahmin edilen, güneşe dayalı elektrik üretim kapasitesi bütünüyle değerlendirilmeyi beklemektedir. Ülkemizde dakikalık verilere ulaşım oldukça zordur. Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye, güneş enerji sistemleri açısından aynı paralel bandındadır. Bu nedenle çalışmada ABD'deki veriler kullanılmıştır.

Programda kullanılan güneş ve rüzgar dataları Türkiye'ye yakın güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli bulunan Penn State Üniversitesindeki SURFRAD istasyonundan alınmıştır. (Enlem: 40.72 derece Kuzey, Boylam: 77.93 derece Batı, Rakım: 376 metre, Zaman Dilimi: Yerel Saat + 5 saat = UTC) Buradaki ölçümler 2012 yılına ait 1 dakikalık olarak yapılmıştır. Datalar bir zemin üzerine düşen ortalama güneş ışınımıdır ve yılın her bir saati için kWh/m² olarak ifade edilen 525600 adet değer kümesidir. Bölge güneşlenme, rüzgar hızı ve sıcaklık değerleri SURFRAD verilerine göre HOMER programına yüklenmiştir. Şekil 4.7'da SURFRAD istasyonunun çalışır halde ki resmini gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : PENN State Üniversitesinde bulunan meteorolojik ölçüm istasyonu.

SURFRAD ölçüm platformunda havadar piranometre, PAR ve UVB ışın ölçer, veri yükleyicisi ve ölçüm istasyonu enerji altyapısı bulunmaktadır. Tüm sistemin enerji ihtiyacını her an karşılayabilmek için UPS alt yapısında mevcuttur. Bunların yanında direk ışınımı ölçmek için güneş takip sistemli pyrneliometre, difüz ve kızılötesini ölçmek içinde birer adet piranometre ve pirajometre yer alıyor. 10 metrelik direkte yansıyan ışınım ve kızılötesini ölçmek için iki adet daha sensör kullanılmıştır. Hava sıcaklığını, nem ve basınç ölçen sensörler rüzgar anometresinin hemen yanında yer almaktadır. Şekil 4.8’de SURFRAD istasyonunda kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Ölçüm istasyonunun bulunan ekipmanlar.

Böylelikle, elimizde dakikalık gerçek şekilde değişkenlik ve oto korelasyon gösteren bir değerler dizisi ile analizleri gerçekleştirmek mümkün olmaktadır.

Enerji optimizasyonunun da kullanılacak ölçüm yapılan SURFRAD bölgesinin aylık ortalama berraklık indeksi ve günlük ışınım oranı ($\text{kWh/m}^2/\text{g}$) Çizelge 4.2’de verilmiştir ve Şekil 4.9’de özetlenmiştir.

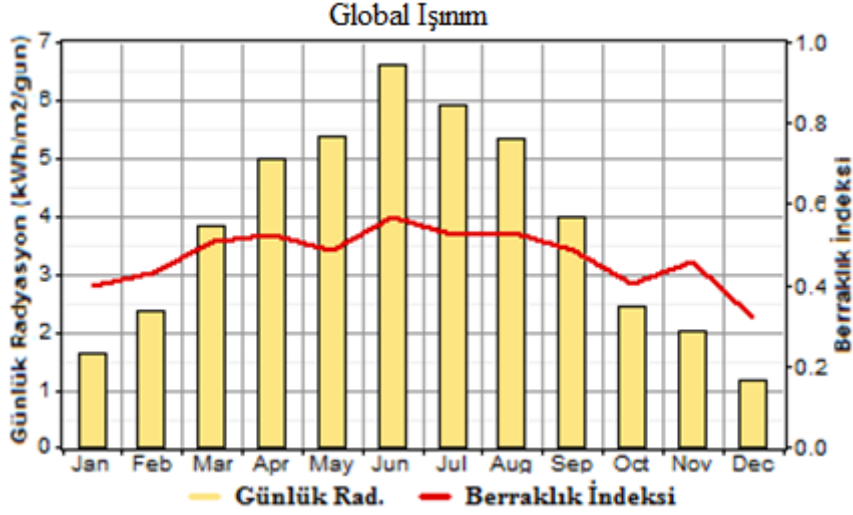
Çizelge 4.2 : Bölge aylık güneşlenme değerleri.

Aylar	Berraklık İndeksi	Günlük Işınım $\text{kWh/m}^2/\text{g}$
Ocak	0,399	1,625
Şubat	0,433	2,372
Mart	0,511	3,827
Nisan	0,524	4,998
Mayıs	0,487	5,357
Haziran	0,569	6,597
Temmuz	0,523	5,899
Ağustos	0,532	5,354
Eylül	0,488	3,993
Ekim	0,401	2,432
Kasım	0,460	2,013
Aralık	0,323	1,176
Ortalama	0,491	3,801

Berraklık indeksinin tanımlamak gerekirse;

Berraklık İndeksi: Atmosferin açıklığını belirten bir ölçüdür. Güneş ışımının atmosfer tarafında iletilen ve yeryüzüne ulaşan bir fraksiyonudur. Yüzey ışımının

uzay ışınımına oranı, 0 ile 1 arasında boyutsuz bir sayıdır. Berraklık indeksi havanın güneşli açık olduğu koşullarda yüksek, kapalı ve bulutlu olduğu durumlarda ise düşük değerde olmaktadır. İndeks aylık ya da saatlik de olabilmektedir. HOMER programında kullanılan aylık ortalama değerlerdir ve K_t sembolü ile ifade edilmiştir [48].



Şekil 4.9 : Bölge güneş ışınımı ve berraklık indeksi.

Aylık ortalama indeks K_t aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$K_t = \frac{H_{ort}}{H_{0,ort}} \quad (4.1)$$

H_{ort} kara yüzeyindeki aylık ortalama güneş ışınım seviyesi, $H_{0,ort}$ ise aylık ortalama uzay yatay ışınım değeridir ve atmosferin tepesindeki yatay düzlemdeki ışınımdır. Herhangi bir enlem değeri için, $H_{0,ort}$ değeri yılın herhangi bir ayı için hesaplanabilir. HOMER programı herhangi bir ay için yüklediğimiz verileri kullanarak diğer bilinmeyenleri hesaplamakta ve bir grafik oluşturmaktadır.

Öncelikle $H_{0,ort}$ değerinin hesaplanması gerekmektedir. HOMER, atmosferinin tepesinde güneş ışınlarına dik bir yüzeydeki güneş ışınımı yoğunluğunun hesaplanması için aşağıdaki ifadeyi kullanmaktadır. Buna uzay normal ışınımı denmektedir.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (4.2)$$

Burada n , yılın günlerini, G_{sc} solar sabittir. θZ tepe açısıdır ve

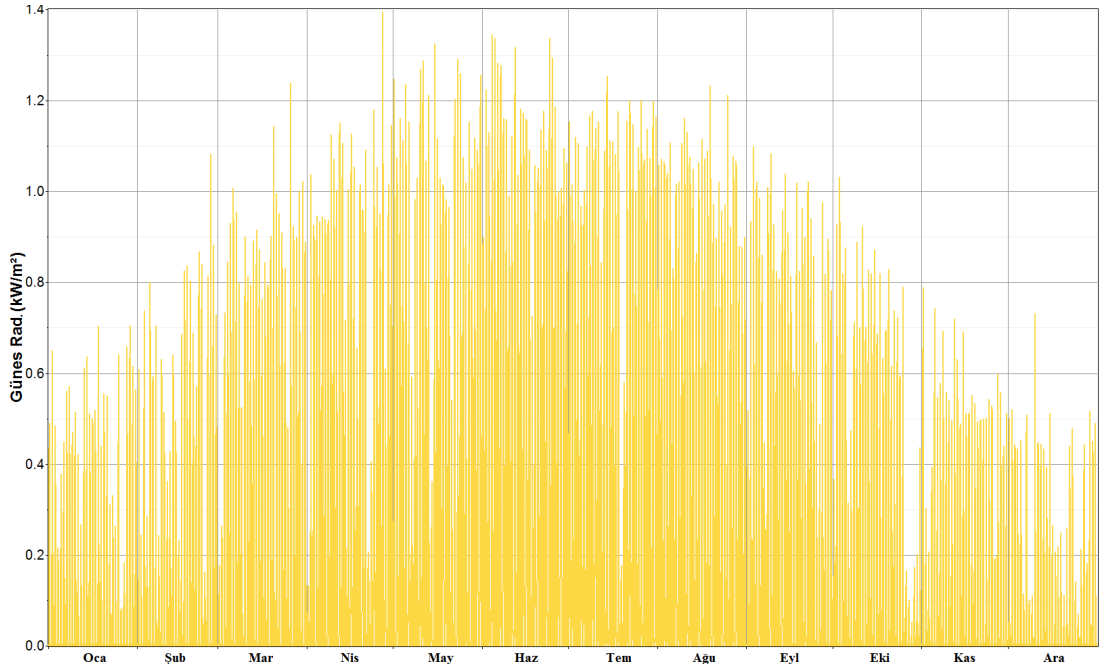
$$\cos \theta_x = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (4.3)$$

Burada ϕ enlem, δ sapma ve ω ise saat açısıdır. Sapma değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (4.4)$$

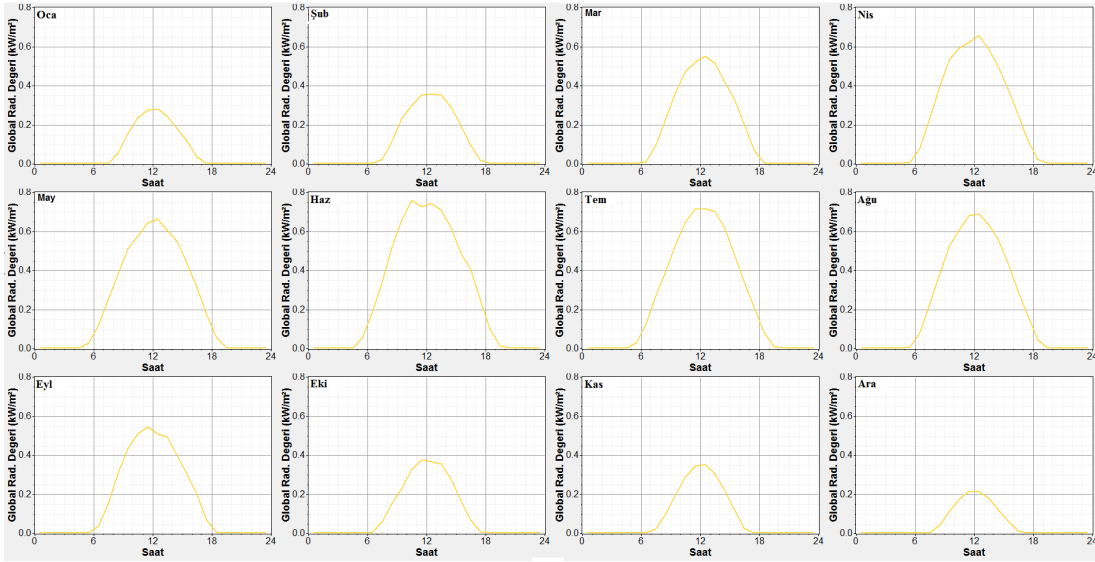
K_t değerleri 0,25 (çok bulutlu bir ay, örnek olarak Londra'da ortalama bir Aralık ayı) ile 0,75 (çok güneşli bir ay, örnek olarak Phoenix'de Haziran ayı) arasında sıralanmaktadır.

Yıllık dakikalık ölçülmüş olan güneş ışınım verileri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

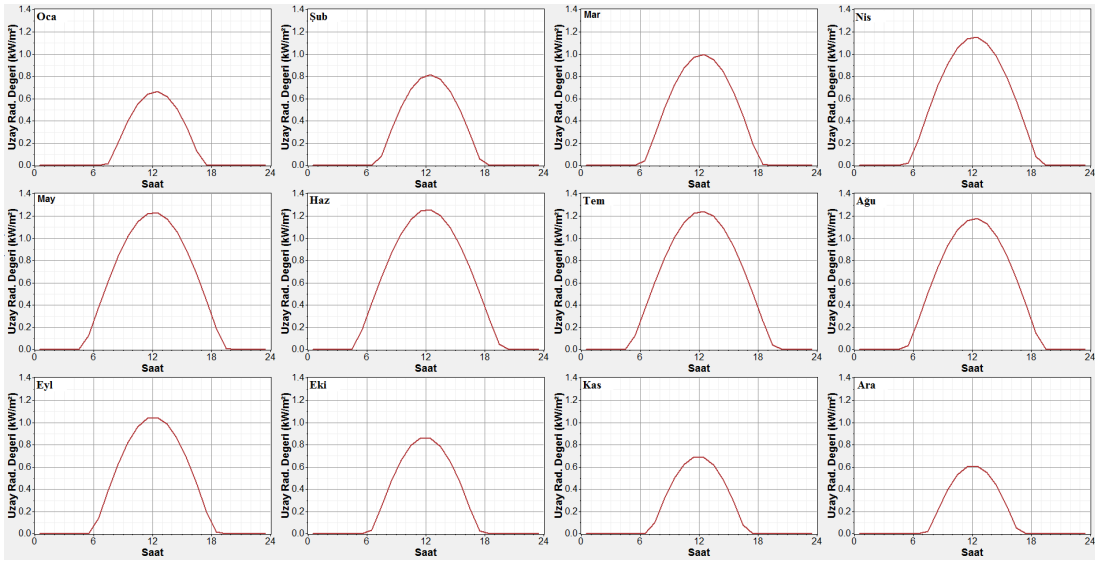


Şekil 4.10 : Dakikalık yıllık güneş ışınımı.

Oluşturulmuş olan bir yıllık bölgedeki ışınım verileri ve bölgedeki uzay radyasyon miktarı aylara göre Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki gibi bir dağılım göstermektedir.

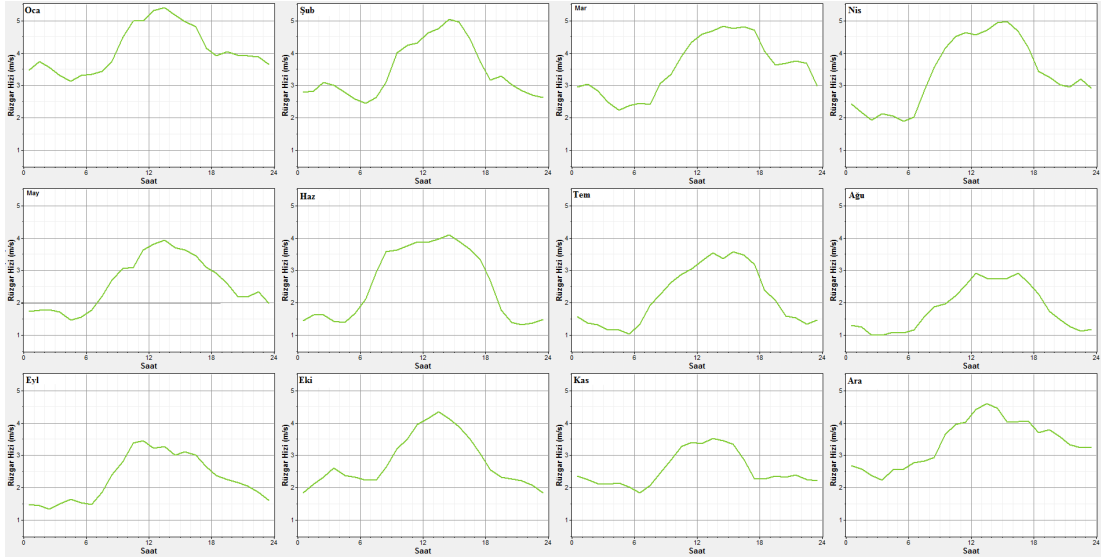


Şekil 4.11 : Aylara göre bölge güneş ışıınımi profili.



Şekil 4.12 : Aylara göre bölge uzay radyasyonu profili.

Bir yıl boyunca dakikalık ölçüm yapılan bölgenin aylık ortalama rüzgar profilleri Şekil 4.13'de, rüzgar hızlarında Çizelge 4.3'de özetlenmiştir. Aylara göre bir yıllık dakikalık bazda rüzgar hızı değişimi Şekil 4.14'de ifade edilmiştir.

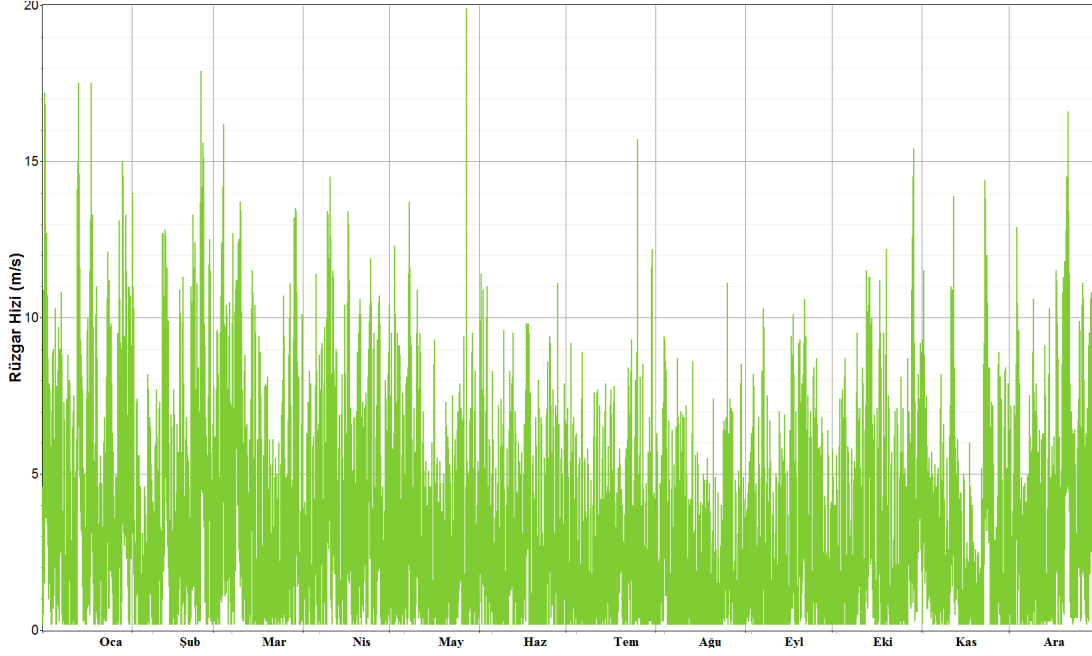


Şekil 4.13 : Aylık ortalama rüzgar profilleri.

Çizelge 4.3 : Aylık ortalama rüzgar hızları.

Rüzgar Hızı	
Ay	(m/s)
Ocak	4,102
Şubat	3,452
Mart	3,559
Nisan	3,373
Mayıs	2,595
Haziran	2,576
Temmuz	2,184
Ağustos	1,821
Eylül	2,286
Ekim	2,815
Kasım	2,561
Aralık	3,395
Ortalama	2,891

Rüzgâr hızı verileri yerden 10 m. yükseklikte ölçülmüştür. Topografik yapı, bitki örtüsü ve binalar gibi engeller, rüzgar türbinlerinin kurulacağı alanın yüzeyine yakın yerlerde rüzgâr hızını azaltma eğilimindedir. Bu tarz negatif etki yer yüzeyinden yükseldikçe azaldığından, rüzgâr hızı da ters orantılı olarak rüzgar türbini yüksekliğine bağlı şekilde artan bir eğilim gösterecektir. Rüzgar enerjisi mühendisleri yükseltme etkisini iki matematiksel yöntemden birini; logaritmik profil ya da güç profili olarak seçerek hesaplarda kullanmaktadırlar.



Şekil 4.14 : Dakikalık yıllık rüzgar hızları.

Logaritmik Profil: Rüzgar hızının yerden yükseklik logaritmasıyla orantılı olarak değiştiği bu profil yaklaşımda kabul edilmektedir. Aşağıdaki formülasyon, anonametre yüksekliğindeki rüzgar hızıyla türbin yüksekliğindeki rüzgar hızı oranını vermektedir.

$$\frac{v(Z_{türbin})}{v(Z_{ano})} = \frac{\ln(Z_{türbin} / Z_0)}{\ln(Z_{ano} / Z_0)} \quad (4.5)$$

- $Z_{türbin}$ = Rüzgar türbini yerden yüksekliği [m]
- Z_{ano} = Anonametre sisteminin yüksekliği [m]
- Z_0 = Yüzey pürüzlülük (engebelik) boyu [m]
- $v(Z_{türbin})$ = Türbin yüksekliğindeki rüzgar hızı değeri [m/s]
- $v(Z_{ano})$ = Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı değeri [m/s]
- $\ln(..)$ = Doğal logaritma

Yüzey pürüzlülük boyu, sistemi çevreleyen bölgenin engebelerini karakterize eden bir parametredir. Çizelge 4.4’de Manwell, McGowan, and Rogers (2002)’da kabul edilen yüzey pürüzlülük boyları verilmiştir [65].

Çizelge 4.4 : Kabul edilen yüzey pürüzsüzlük değerleri.

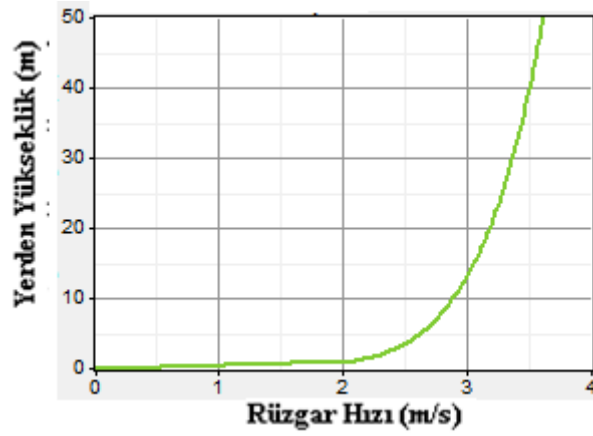
Bölge Açıklaması	Z ₀
Çok düz, buzlu yada bulanık	0,00001 m
Durgun açık deniz	0,0002 m
Kabarık deniz	0,0005 m
Kar yüzeyi	0,003 m
Çimenlik alan	0,008 m
Pürüzlü çayır	0,010 m
Nadaslık alan	0,03 m
Ekin alanı	0,05 m
Az sayıda ağaç	0,10 m
Çok sayıda ağaç, az sayıda bina	0,25 m
Orman ve ağaçlı arazi	0,5 m
Şehir dışı	1,5 m
Şehir merkezi, uzun binalar	3,0 m

Güç Profili: Farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızı oranları aşağıdaki ifadeyi kullanarak bulunmaktadır.

$$\frac{v(Z_{türbin})}{v(Z_{ano})} = \left(\frac{Z_{türbin}}{Z_{ano}} \right)^\alpha \quad (4.6)$$

Yukardaki formülasyonda α güç katsayısı boyutsuz bir katsayıdır. Bu değer düz bir tabaka üzerine türbülanslı düzensiz bir akış için; yapılan akışkanlar mekaniği üzerine çalışmalarda, 1/7 değerine eşit olduğunu gösterilmiştir. Bu rağmen, rüzgar enerjisi mühendisleri uygulamada bu katsayının arazi engebeliği, sezon, ısı ve diğer bazı faktörlere bağlı olduğunu sunmuşlardır.

Bu çalışmada kullanacağımız profil, güç profili olarak seçilmiştir. Burada α güç katsayısı değeri ise 0,14 alınmıştır. Sonuç olarak türbin yüksekliğinde rüzgâr hızı değişimi Şekil 4.15'deki gibi olmaktadır.



Şekil 4.15 : Kullanılacak türbin yüksekliğinde rüzgar hızı değişimi.

Bir bölgenin rüzgar enerji karakteristiğini ifade etme de; Weibull k sabiti, oto korelasyon sabiti, günlük yapı şiddeti ve pik rüzgar hızı saatleri kullanılmaktadır.

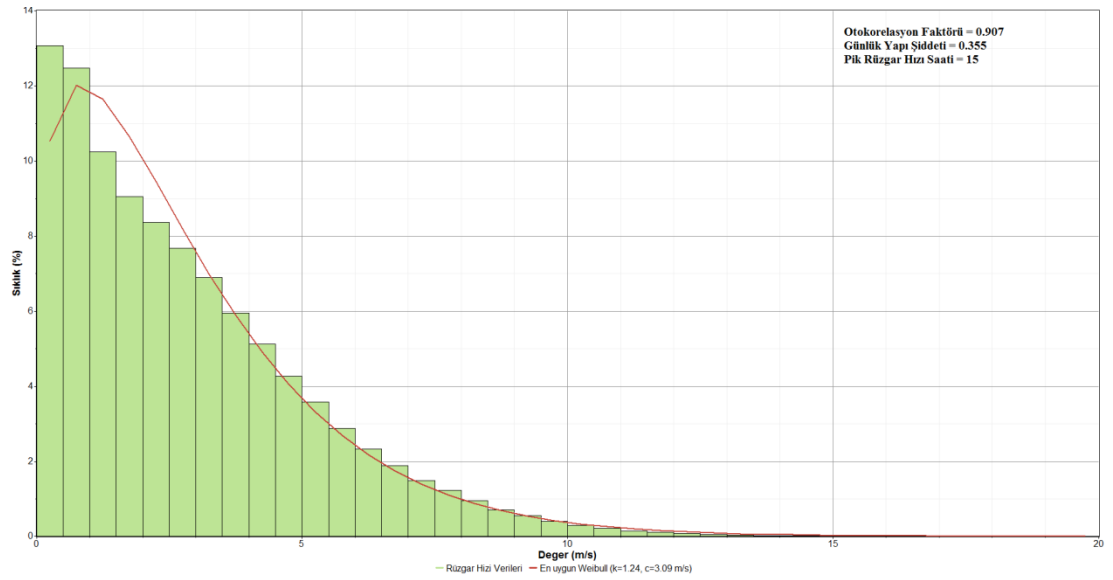
Weibull k değeri, rüzgâr hızı dağılımlarının genişliğinin bir ölçüsüdür. Uzun dönem rüzgar hızı dağılımlarının ölçüsü Weibull k değeri olarak tanımlanmıştır. Ölçüm sisteminin olduğu bölgede, rüzgar hızı dağılımlarına istinaden 1,24 olarak hesaplanmıştır. Daha geniş rüzgar dağılımlarını daha düşük Weibull k değerleri göstermektedir. Bu göstergede rüzgar hızının çok sıklıkla değişim içerisinde olduğunu simgelemektedir. Örnek vermek gerekirse; tropikal iklim rüzgarları daha dar aralıkta değişim sergilediği için, bu seferde daha yüksek değerlerde Weibull k sabitine sahip olacaklardır. Analizimizde kullanılan HOMER programına yüklenen rüzgar verilerine bir Weibull dağılımı yapılmaktadır, bunun neticesinde de k değeri belirlenmektedir.

Rüzgar hızının günün saatine hangi oranda bağımlı olduğunu günlük yapı şiddetiyle gösterilir. Örneğin, çoğu yerlerde öğlen saatleri sabahtan daha rüzgarlı olması ve rüzgar hızının güneş radyasyon değerinede bağımlı olduğu için, birçok bölgede rüzgar hızı günlük bir eğilim göstermektedir. Yüksek değerlerdeki günlük yapı şiddetinin göstergesi, rüzgar hızının gün saatine olan bağımlılığıdır. Düşük değerlerdeki günlük yapı şiddeti ise, rüzgar hızının gün saatine bağımlılığının uzak olduğunu gösterir. Ölçüm istasyonunun rüzgâr hızı dağılımına göre, bu değer 0,355 olarak hesaplanmıştır.

Rüzgârın rastgeleliği oto korelasyon faktörü ile gösterilir. Rüzgar hızında devamlılık ve saatler arasındaki hız benzerliklerini ifade eden bir parametredir. Bu değer sistemin kurulacağı bölge için 0,907 değerindedir. Oto korelasyon faktörü karmaşık

topografyalarda düşük (0,70-0,80), muntazam topografyalarda ise daha yüksek (0,90-0,97) değerdedir. Oto korelasyon faktörünün yüksek olduğu durumlarda belirlenen bir saatteki rüzgâr hızının bir önceki saatteki rüzgâr hızına büyük ölçüde ilişkili olduğunu ifade etmektedir. Saatten saate daha değişken rüzgar hızlarının izlendiği durumlarda ise oto korelasyon faktörü daha düşük değerlerde olur. Yerel topografya, oto korelasyon faktörü üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Yıl boyunca ortalama olarak günün en rüzgarlı olduğu saat, pik rüzgâr hızı saati olarak tanımlanır. İstasyon bölgesi rüzgâr hızı karakteristiğini ve eğilimini oluşturan bu veriler ve bölgenin Weibull dağılımı Şekil 4.16’de belirtilmiştir.

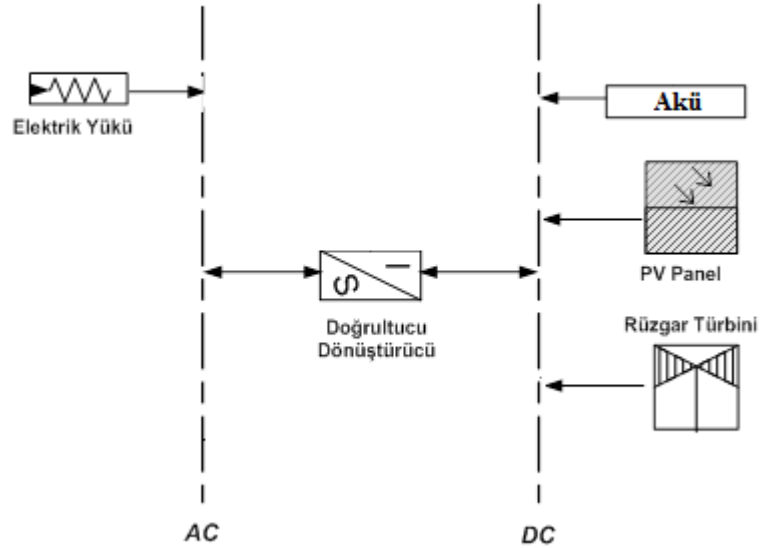


Şekil 4.16 : Bölge rüzgâr hızı frekansı ve Weibull dağılımı.

Ayrıca HOMER’da analiz yapılacak hibrit sistem opsiyonlarında PV’lerin elektrik üretimlerini daha gerçekçi olması için SURFRAD istasyonundan alınan bir yıllık sıcaklık değerleride programa yüklenmiştir. Böylece sıcaklık artışlarında PV’nin üretim verimliliği etkilenecek ve daha hassas bir sistem tasarlanacaktır.

5. OPTİMUM HİBRİT SİSTEM TASARIMI

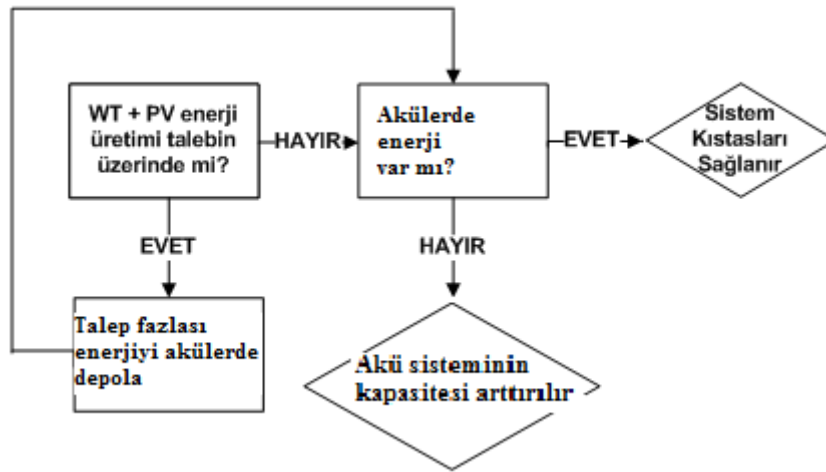
Kurulması planlanan sistemde tabelin beslenmesinde, rüzgâr ve güneş enerjisini birincil enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Hidrid enerji kaynaklarının bileşenlerinin büyüklüğü ihtiyacın karşılanması amacıyla belirlenmiştir. Bu bileşenlerin sistem kurulum maliyetini artıracak şekilde gereksiz büyük boyutlandırılmamaları için yedek enerji olarak akü sisteminden faydalanılacaktır. Bir yıllık tüketim ve kaynak verileri bir dakikalık ortalamalar halinde alınmış olup, sisteme farklı senaryolar için farklı ortalamalar ile girdi yapılmıştır. Şebeke bağımsız sistemde bileşenler arasındaki ilişki Şekil 5.1’de özetlenmiştir.



Şekil 5.1 : Şebekeden bağımsız sistem yapısı.

Sistemde güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden elde edilen enerjinin o an sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiden fazla olması durumunda, bu tüketim talebi fazlası elektrik enerjisi akü aracılığıyla depolanacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel yapısı olarak 24 saatlik bir yük profilini karşılayacak uygunlukta olmaması, ayrıca planlanmayan formda enerji üretmelerinden dolayı, ihtiyaç durumunda aküler kullanılarak yeniden elektrik enerjisi sağlanacaktır. Dolayısıyla, rüzgar ve güneş enerjisiyle birlikte enerji taşıyıcısı, diğer bir ifadeyle enerji depolayıcısı olarak akü

sistemlerinden faydalanılması planlanmıştır. Şebeke bağımsız sistemin akış diyagramı Şekil 5.2’de ifade edilmiştir.



Şekil 5.2 : Şebekeden bağımsız sistem akış diyagramı.

Şebekeden bağımsız sistemin proje ömür süresince bileşen maliyetleri, yenileme maliyetleri, işletme bakım maliyetleri Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 : Şebekeden bağımsız sistem maliyet değerleri.

Bileşen Birim Maliyet	SM (\$)	Değişirme (\$)	İşletme/Bakım (\$)
PV / kW	2000	1750	30
RT (adet)	3000	2800	50
Akü (adet)	70	70	3
KON / kW	750	600	30
Bileşen Birim Maliyet	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	
PV / kW	0	0	
RT (adet)	0	0	
Akü (adet)	0	0	
KON / kW	0	0	

Bu sistemlerde yedek enerji akülerden temin edilmektedir. Akülerin dizel generatörlere göre önemli avantajları bulunmaktadır. Dışarıdan bir yakıt tedariki ve nakliyesi ihtiyacı bulunmamaktadır. Öte yandan sistemde kullanılan akü yedekleme sistemi hareketli parça içermediklerinden dolayı generatör sistemine kıyasla daha az bakım-onarım ihtiyacı ve maliyeti gerektirmektedir. Modüler olmaları ve hızlı devreye girmeleri akülerin diğer avantajları arasında sayılabilir. Şebekeden bağımsız ve uzak yerlerde kurulmasının uygun olduğu düşünüldüğünde, gerek sistem bakım

masraflarının azlığı, gerekse yakıt nakliyesi ihtiyacının olmaması önemli avantajlar olarak göze çarpmaktadır.

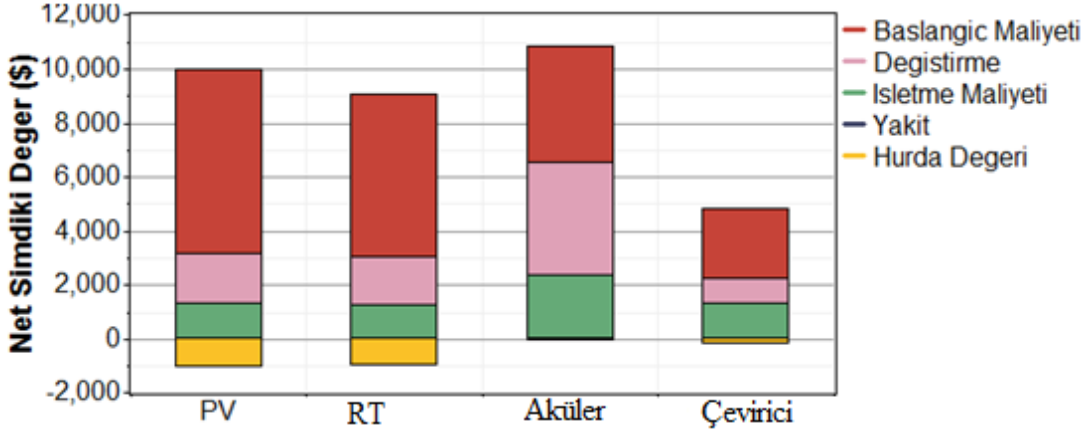
Türkiye’de TEİAŞ verilerine göre elektrik iletim hatlarındaki kayıplar % 3, dağıtım hatlarındaki kayıplar ise % 9 olarak gerçekleşmektedir. Tüketim yerinde üretim yapılması, merkezi elektrik üretim sistemleri yerine, bu sistemdeki gibi bağımsız enerji üretimi ile elektrik iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların azalması sağlanacaktır. Ayrıca, sistem bileşenlerindeki arızalarda etki altında kalan alanlar daha sınırlı olmaktadır.

Toplam kapasite kısıtlılığı ya da yıllık kapasite yetersizliği yıl boyunca oluşan arz eksikliği kapasite yetersizlik oranıdır (KYO). Yükün bir kısmının karşılanmamasını kabul etmek, sistem bileşenlerinin ani yük durumları için boyutlandırılmasına ihtiyaç olmadığı anlamına gelmektedir ve sistemin maliyetlerini azaltacaktır. HOMER programı kısa süreli puant yük değerlerini bile karşılayacak bir yapı oluşturacak ve bunun neticesinde işletme süresinin büyük çoğunluğunda kullanılmayacak pahalı ekipmanlar sisteme dâhil edilecektir.

5.1 Kaynak Verisi Sabit iken Talep Veri Çözünürlüğü Senaryoları

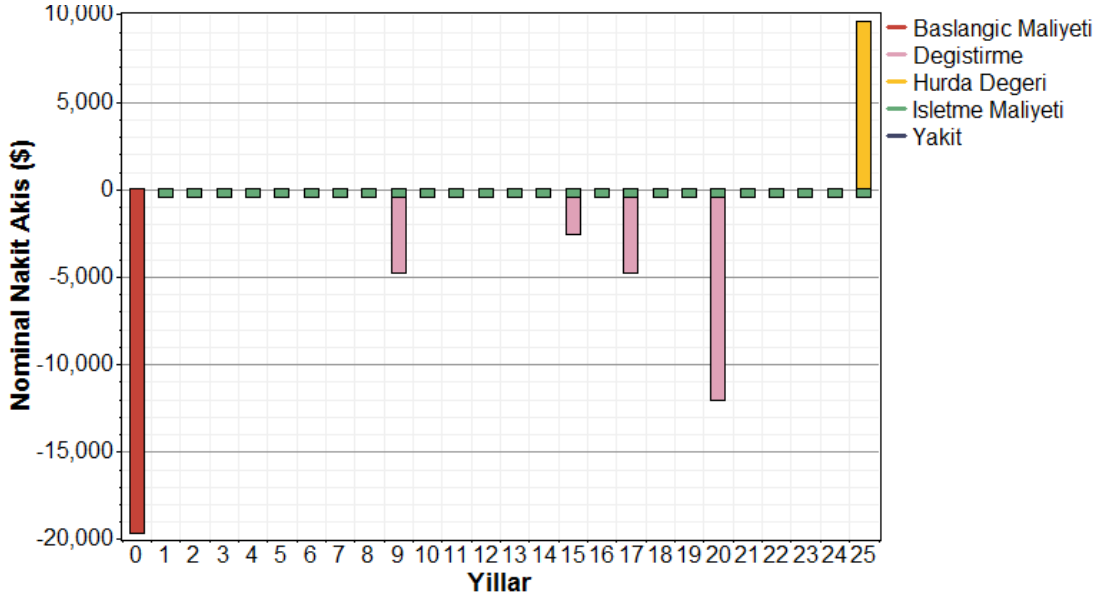
Bu çalışmada rüzgar ve güneş kaynağı verileri bir dakikalık olarak programa girilmiştir. Talep tarafındaki veriler de bir dakikalık aralıklarla alınmıştır. Böylece ilk senaryoya ait analizler gerçekleştirilmiştir. Modellemenin sonucunda şebeke bağımsız hibrit sistem için pilot ev enerji ihtiyacını en düşük maliyete karşılayacak olan optimum sistem, hesaplama sonuçlarına göre 3,4 kW PV, 1,8 kW RT, 61 Akü ve 3,5 kW INV bileşenlerini içermektedir. Söz konusu konfigürasyonun başlangıç maliyeti 19.695\$ olurken, sistem maliyeti 32.409\$ olarak hesaplanmıştır. Elektrik enerjisi birim maliyeti 1,005 \$/kWh olarak elde edilmiştir.

Şebekeden bağımsız sistemin maliyet çeşidine ve değerlerine göre maliyet dağılımı, bileşen bazında Şekil 5.3’de özetlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, RT ve PV panellerin 25 yıllık proje ömrü boyunca hurda değerleri ve sistem bileşenlerinin genel olarak düşük işletme ve bakım maliyetleri içermesi, geleneksel enerji üretim sistemleriyle kıyaslandığında sistemi bu yönden avantajlı kılmaktadır. Akülerin 8,5 yıl ortalama kullanım ömürlerinin olması, 25 yıl alınan proje süresi içerisinde proje maliyetlerine etkisi görülmektedir.



Şekil 5.3 : Şebekeden bağımsız sistem bileşen bazında maliyetler.

Şebekeden bağımsız hibrit sistemin proje ömrü süresindeki nakit akışı detayları Şekil 5.4’de belirtilmiştir. Burada her 8,5 yılda akü bileşenlerinin ve 20. yılda PV ve RT değişime maliyetlerinin proje ömrü süresince sistem maliyetini önemli oranda artırdığı görülmektedir.

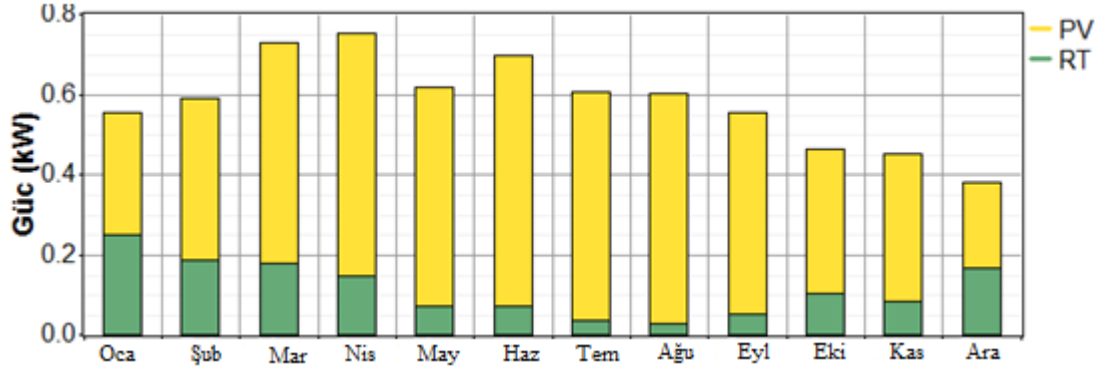


Şekil 5.4 : Şebekeden bağımsız sistem proje ömrü süresindeki nakit akışı detayları.

Söz konusu sistemde bileşenlerin üretim oranlarına bakıldığında, rüzgar türbinleri 1000 kWh/yıl üretimiyle yıllık üretimin %20’sini karşılarken, PV paneller üretimin %80’nini oluşturmakta ve bir yılda 4106 kWh enerji üretmektedir. Sistemin toplam yıllık üretimi 5106 kWh’tir. Konutun yıllık elektrik enerji kullanımı 2522 kWh’tir. Üretilen elektrik enerjisinin yıl içerisinde 871 kWh’i direkt olarak talebin anlık olarak karşılanmasın da kullanılırken, diğer kısmı ise akülerin şarj edilmesinde ve

geriye kalanı ise artık enerji olarak kullanılmaktadır. Akülerden sağlanan enerjinin miktarı 1651 kWh/yıl'dır.

Üretimin önemli oranda PV'lerden karşılandığı görülmektedir, sistem bileşenlerinin aylara göre enerji üretim oranlarını ifade eden bir yıllık grafik Şekil 5.5'da ifade edilmiştir.



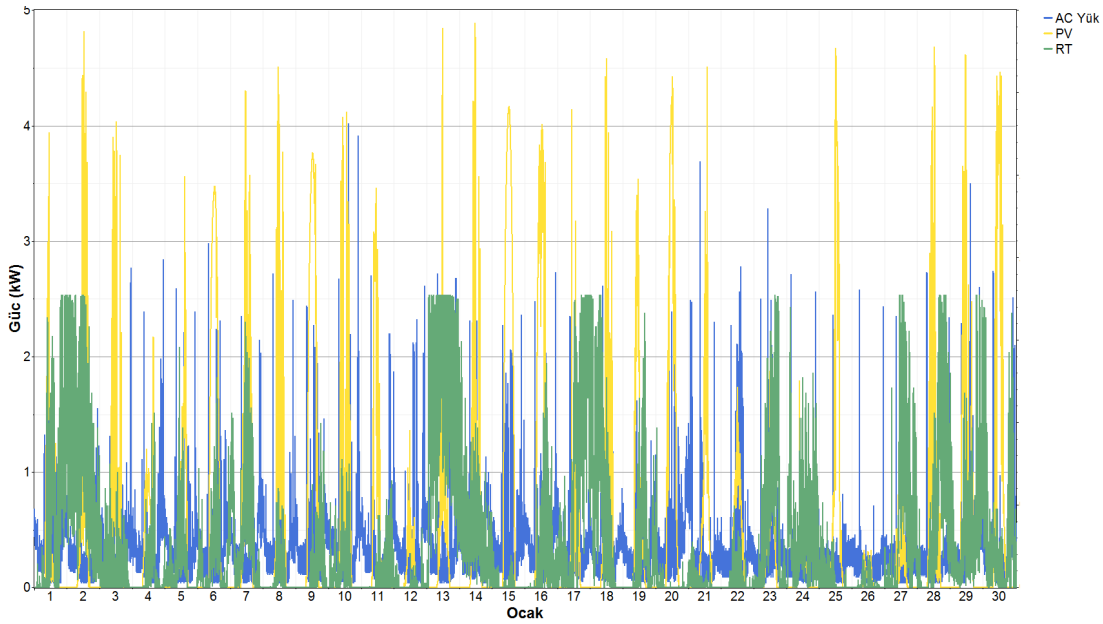
Şekil 5.5 : Şebekeden bağımsız sistem aylık enerji üretim oranları.

Analizi yapılan sistemde kullanılan bileşenlere ait bazı çalışma değerleri hesaplama neticesinde Çizelge 5.2'deki sonuçları vermiştir. Bu değerler, söz konusu ölçüm yapılan bölgede kullanılan teknolojiyle ilgili enerji maliyeti ve verim/performans açısından çok önemli bilgiler içermektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi elektrik enerjisinin maliyeti PV üretiminde 0,17 \$/kWh iken RT'de 0,63 \$/kWh'dir. Ayrıca Çizelge 5.2'deki rüzgar türbini ve PV'lerin kapasite faktörü tesisin kurulacağı alanın; yapılan ölçümlerde belirlenen yıllık ortalama rüzgâr hızında ve güneş ışınımında üretilen elektrik enerjisinin, rüzgar türbininin ve PV panelinin maksimum gücüne ulaştığı rüzgâr hızında ve güneş ışınımında üreteceği elektrik enerjisine bölünmesinden elde edilen “%” cinsinden değerdir.

Çizelge 5.2 : Şebeke bağlantısız sistemde PV ve RT çıkış değerleri.

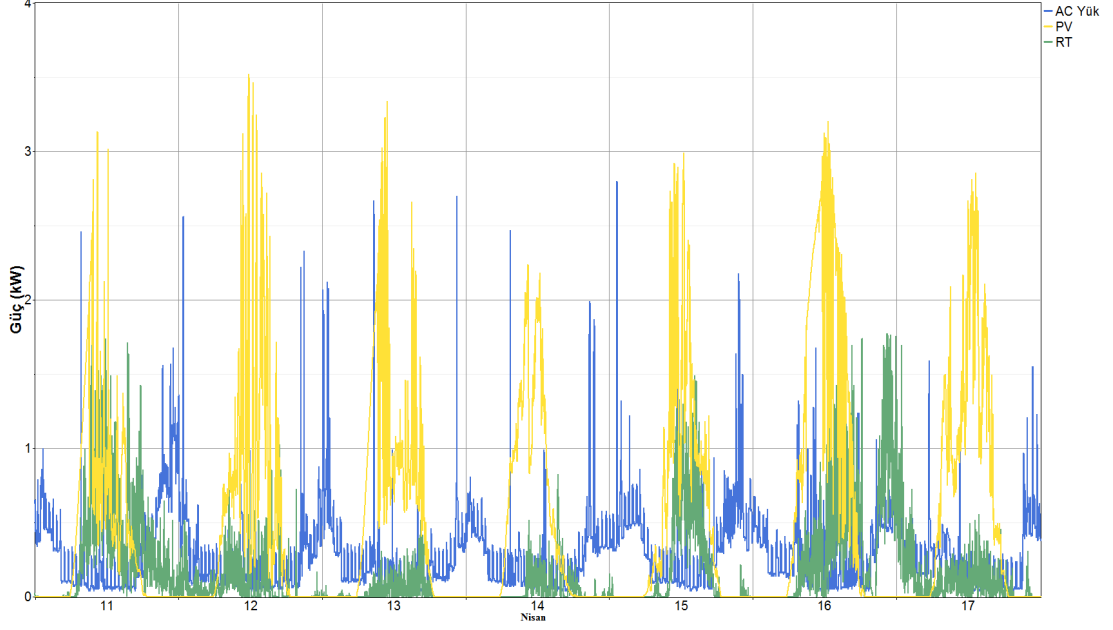
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	1000	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh

Şekil 5.6'da Ocak ayı için talep edilen güçler mavi ile gösterilmekte, PV üretimleri sarı renk ve rüzgar türbinlerinin ürettiği dakikalık güçler ise yeşil renk ile gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Ocak ayı için talebin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması.

Şekil 5.7’de Nisan ayı örnek alınıp, talep ve yenilenebilir enerji üretimleri incelenmiştir. Burada bazı günlerin güneşlenme sürelerinin ve ışınım etkisinin PV üretimine olan etkisi rahatlıkla görülmektedir. Rüzgar hızının çok etkili olmadığı fakat, 11. ve 16. günlerde tüketim talebini bir miktar karşılayacak rüzgar enerjisi üretimi olduğu gözlenmektedir.

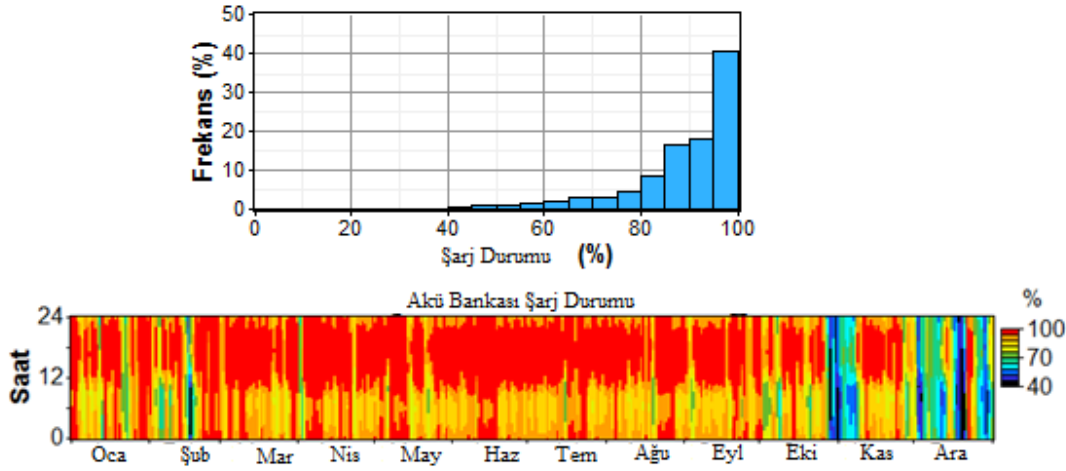


Şekil 5.7 : Nisan ayı için talebin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması.

Çizelge 5.3’den görülebileceği gibi modelleme sonucunda akülerin kullanım oranlarına göre 8,5 yılda bir yenilenmesi gerekiyor. Ayrıca depolanan enerji kullanıma dönüşürken yıllık bazda 400 kWh/yr enerji sisteme kayıp olarak yansımaktadır. Şekil 5.8’de akü enerji durumuna baktığımızda kış aylarında yenilenebilir enerji sistemlerinden üretilen enerjinin az olmasından dolayı akülerde derin deşarj durumları olmuştur. Bu tarz kullanımlar akülerin ömürlerini etkilemektedir fakat, HOMER modellemeyi yaparken fazla akü kullanımının sistem maliyetine etkisi, ileride değiştirilecek akülerden daha fazla olacağı için mevcut sonuca en ekonomik olduğu için varmıştır.

Çizelge 5.3 : Şebeke bağlantısız sistemde akülerin çıkış değerleri.

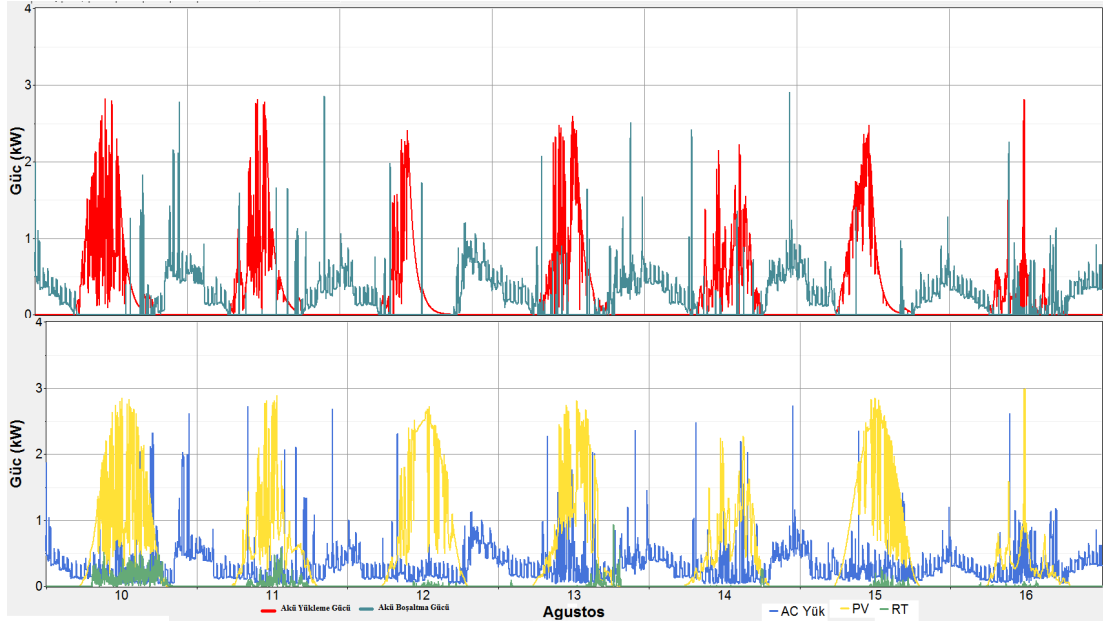
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,3	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,2	kWh
Otonomi	83,9	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15616	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2058	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1651	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	400	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1845	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,46	yıl



Şekil 5.8 : Akü sisteminin frekans histogramı ve aylara göre akü bankası şarj durumu.

Modelleme neticesinde pilot evde tüketilen enerjinin neredeyse iki katı kadar bir elektrik üretimi söz konusu olmuştur. Fazla elektirik kullanılmadan sistemden topraklamayla atılmıştır.

Üretim ve tüketim değişiminin haftalık olarak analizi amacıyla Ağustos ayının 2. haftası ele alınmıştır ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. 7 günlük bir aralıkta tüketilen gücün, üretilen rüzgar ve güneş enerjisiyle nasıl karışlandığını, fazlasının akülerde depolandığını ve üretimin talebi karşılayamadığında akülerin deşarj oluşları şekilden açıkça görülmektedir. Burada sistemin nasıl işlediğini ve anlık talebin nasıl karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.9 : Tüketim, üretim ve depolanan enerjinin bir arada gösterimi.

Yukarıda anlatılan çalışmanın sonrasında, güneş ve rüzgar kaynak veri kümeleri bir dakikalık ortalamalarda tutulup, talep veri kümeleri bir dakikalık ortalamalardan 5, 10, 15, 30, 60, 1440 dakikalık ortalamalara çevrilmiştir. Böylece talep tarafındaki veri çözünürlüğü azaltılarak yukarıdaki duruma ek 6 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu 6 senaryoya ait detaylı hesap sonuçları EK-A'da verilmiştir.

5.2 Talep Verisi Sabit iken Kaynak Veri Çözünürlüğü Senaryoları

Bu çalışmada talep verileri bir dakikalık ortalamalar halinde programa yüklenmiştir. Bir dakikalık güneş ve rüzgar kaynak verisi, 5, 10, 15, 30, 60 dakika ortalamalara dönüştürülmüştür. Böylece kaynak veri kümesinin çözünürlüğünün sisteme olan etkisi gözlemlenmek istenmiştir.

Bir dakikalık tüketim verisi ve 5 dakikalık kaynak veri kümesi modellemesinin sonucunda şebeke bağlantısız hibrit sistem için evin enerji ihtiyacını en düşük maliyetle karşılayacak sistem 3,4 kW PV, 1,8 kW RT, 66 adet akü ve 3,5 kW INV bileşenlerini içerdiği gözlemlenmiştir. Söz konusu konfigürasyonun başlangıç maliyeti 20.045\$ olurken, sistem maliyeti 32.808\$ olarak hesaplanmıştır. Elektrik enerjisi birim maliyeti 0,96 \$/kWh olarak elde edilmiştir.

Senaryolara ait detaylı sonuçlar EK-B'de verilmiştir.

5.3 Kaynak ve Talep Verisinin Eş Zaman Aralıklı Çözünürlük Senaryoları

Yukarıdaki yapılan çalışmalara ek olarak kaynak ve talep verilerinin çözünürlüklerini eşit oranda azaltıp sisteme olan etkisinin görülmesi hedeflenmiştir. Tüketim ve kaynak verileri sırasıyla 5, 10, 15, 30, 60 dakikalık ortalamaları alınmıştır ve eş zamanlı olarak aynı çözünürlükteki tüketim ve kaynak verileri programa yüklenmiş ve böyle devam edilmiştir. Günlük veri ortalamaları bu çalışmada kullanılamamıştır. Günlük güneş ortalamalarını bir dakikalık veri sayısında (525600 adet) programa yüklediğimizde, HOMER'in gece saatlerinde uzay radyasyonunun değerinden büyük bir değer tespit etmesi ve uyarması neticesinde maksimum olarak 1 saatlik (60 dakikalık) veri kümesi kullanılması zorunda kalınmıştır.

Senaryolara ait detaylı sonuçlar EK-C'de verilmiştir.

5.4 Değerlendirme

Toplam 17 senaryo için simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.1'de özetlenmiştir. **Kaynak verisi sabit (1 dakikalık)**; talep verisi değişken olduğu durumları içeren senaryo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 sonuçları incelendiğinde talep veri çözünürlüğü azaldıkça, sistemin NPC değeri azalmaktadır. Buna bağlı olarak COE'de düşmektedir. Senaryo 7'nin senaryo 1'e göre NPC ve COE değerlerindeki azalma oranı % 18'dir. Buna ek olarak senaryo 1'den senaryo 7'ye doğru giderken, sistem bileşenlerinden PV ve RT sayısı değişmemekte, akü sayısı azalmakta, çevirici gücü düşmektedir. Kaynak verilerini ortalamasını ve veri kümesi değiştirmedığımız için güneş ve rüzgar üretimin de herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Burada çevirici gücünün azalmasının nedeni; veri çözünürlüğünü azalttıkça tüketim ortalaması değişmemekle birlikte peak değerler (anlık talep artışları) önceki bölümlerde gördüğümüz gibi indirgenmiştir. Bu indirgemenin dolayısı HOMER anlık talep ihtiyacı olmadığını varsayarak büyük kapasitede çevirici kullanma ihtiyacı duymamıştır. Bunun yanında akünün azalmasının nedeni, veri çözünürlüğü azaldıkça talep stabil bir hale geliyor ve anlık ihtiyacın etkisi fazla olmuyor.

Kaynak verisi sabitken, tüketim verisinin çözünürlüğünün azaltıldığı senaryolarda kurulacak hibrit sistemin, enerji talebini karşılamada kullanıcıya sıkıntılar yaşatacaktır. Örneğin, senaryo 7'de anlık kullanımda 0,5 kW üzerindeki tüm güç taleplerinde sistem çevirici kapasitesinden dolayı arıza verecektir ve müşteri

memnuniyetsizliği yaşanacaktır. Puant talebin 4 kW civarında olduğunu düşünürsek, günlük ortalamalar alınıp dizayn yapıldığında, anlık 0,5 kW üzerinde çok sayıda talep olacak ve bu da kullanım esnasında problemlere sebep olacaktır.

Talep verisi sabit (1 dakikalık); rüzgar ve güneş verilerinin değişken olduğu durumları içeren senaryo 1, 8, 9, 10, 11, 12 sonuçları incelendiğinde kaynak veri çözünürlüğü azaldıkça, sistemin NPC değeri artmaktadır. Buna bağlı olarak COE’de artmaktadır. Senaryo 12’nin senaryo 1’e göre NPC ve COE değerlerindeki artış oranı sırasıyla % 7’dir. Buna ek olarak senaryo 1’den senaryo 12’ye doğru giderken, sistem bileşenlerinden PV, RT ve çeviricinin sayısı değişmemekte, akü sayısı artmaktadır. Bu senaryoların analizi yapılırken kaynak çözünürlüğünün sistem boyutlandırmasına etkisini görebilmek için PV ve RT değerleri sırasıyla 3,4 kW ve 1,8 kW’a sabitlenmiştir. Böylece kaynak verilerinin çözünürlüğünün üretilen enerjideki etkisi analiz edilmiştir. Kaynak veri çözünürlüğü azaldıkça PV ve RT üretimleri azaltılmaktadır. Senaryo 12’nin senaryo 1’e göre PV üretim ve RT üretim değerlerindeki azalma oranı sırasıyla % 0,3 ve % 9,6’dır. Üretilen enerjinin senaryo 1’den senaryo 12’ye doğru giderken azalmasının sonucunda akü kapasitesi % 32,8 oranında artmaktadır. Burada akü sayısının artmasının nedeni; üretilen enerji miktarının azalmasıdır. Bunun sonucunda depolama kapasitesinin artırılması, HOMER tarafından talebi karşılamak için optimize edilmiştir. Çevirici gücünün değişmemesinin nedeni de, talep veri çözünürlüğünün sabit olmasıdır.

Çizelge 5.4 : 17 senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları.

		PV (kW)	RT (kW)	AKÜ (adet)	INV (kW)	BM (\$)
Senaryo	Kaynak Verisi Çözünürlüğü sabit (1 dakikalık)					
1	Talep verisi 1 dakikalık ortalama	3,4	1,8	61	3,5	19695
2	Talep verisi 5 dakikalık ortalama	3,4	1,8	61	2,5	18945
3	Talep verisi 10 dakikalık ortalama	3,4	1,8	62	2	18640
4	Talep verisi 15 dakikalık ortalama	3,4	1,8	60	2	18500
5	Talep verisi 30 dakikalık ortalama	3,4	1,8	60	1,5	18125
6	Talep verisi 60 dakikalık ortalama	3,4	1,8	59	1,5	18055
7	Talep verisi 1440 dakikalık ortalama	3,3	1,8	56	0,5	16895
	Talep Verisi Çözünürlüğü sabit (1 dakikalık)					
1	Kaynak verisi 1 dakikalık ortalama	3,4	1,8	61	3,5	19695
8	Kaynak verisi 5 dakikalık ortalama	3,4	1,8	66	3,5	20045
9	Kaynak verisi 10 dakikalık ortalama	3,4	1,8	69	3,5	20255
10	Kaynak verisi 15 dakikalık ortalama	3,4	1,8	72	3,5	20465
11	Kaynak verisi 30 dakikalık ortalama	3,4	1,8	76	3,5	20745
12	Kaynak verisi 60 dakikalık ortalama	3,4	1,8	81	3,5	21095
1	Kaynak verisi 1 dakikalık ortalama/ Talep verisi 1 dakikalık ortalama	3,4	1,8	61	3,5	19695
13	Kaynak verisi 5 dakikalık ortalama/ Talep verisi 5 dakikalık ortalama	3,45	1,8	62	2,5	19115
14	Kaynak verisi 10 dakikalık ortalama/ Talep verisi 10 dakikalık ortalama	3,5	1,8	62	2	18840
15	Kaynak verisi 15 dakikalık ortalama/ Talep verisi 15 dakikalık ortalama	3,5	1,8	62	2	18840
16	Kaynak verisi 30 dakikalık ortalama/ Talep verisi 30 dakikalık ortalama	3,55	1,8	62	1,5	18565
17	Kaynak verisi 60 dakikalık ortalama/ Talep verisi 60 dakikalık ortalama	3,6	1,8	61	1,5	18595

Çizelge 5.4 : 17 senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları.(devam)

	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Artan Enerji	PV Üretim (kWh/yr)	RT Üretim (kWh/yr)	Akü Beklenen Ömür
Senaryo						
1	<i>32409</i>	<i>1,005</i>	<i>2017</i>	<i>4106</i>	<i>1000</i>	<i>8,46</i>
2	30962	0,96	2025	4106	1000	8,63
3	30317	0,941	2029	4106	1000	8,85
4	30120	0,935	2032	4106	1000	8,62
5	29393	0,912	2036	4106	1000	8,71
6	29261	0,908	2040	4106	1000	8,65
7	26545	0,825	1978	3986	1000	9,70
1	<i>32409</i>	<i>1,005</i>	<i>2017</i>	<i>4106</i>	<i>1000</i>	<i>8,46</i>
8	32808	1,018	1986	4111	963	9,15
9	33037	1,025	1973	4111	949	9,57
10	33259	1,032	1963	4110	940	9,98
11	33890	1,051	1943	4106	924	10
12	34695	1,076	1909	4093	904	10
1	<i>32409</i>	<i>1,005</i>	<i>2017</i>	<i>4106</i>	<i>1000</i>	<i>8,46</i>
13	31168	0,967	2054	4172	963	8,77
14	30570	0,949	2106	4232	949	8,87
15	30536	0,948	2098	4231	940	8,92
16	29935	0,929	2143	4287	924	9,02
17	29942	0,929	2172	4333	904	8,95

Kaynak ve talep verisi eş zamanlı aralıklarda olduğu durumları içeren senaryo 1, 13, 14, 15, 16, 17 sonuçları incelendiğinde kaynak ve talep verileri çözünürlüğü eş zamanlı azaldıkça, sistemin NPC değeri azalmaktadır. Buna bağlı olarak COE’de azalmaktadır. Senaryo 17’nin senaryo 1’e göre NPC ve COE değerlerindeki azalma oranı % 7,6’dır. Buna ek olarak senaryo 1’den senaryo 17’ye doğru giderken, sistem bileşenlerinden PV kapasitesi % 6 artarken, RT kapasitesi sabit kalmıştır. Akü kapasitesi değişmezken, çevirici gücünde azalma olmuştur. Çevirici gücünün azalmasının nedeni; talep verilerinin çözünürlüğü azalırken puant güçlerin indirgenmesidir. Kaynak verilerinin çözünürlüğü azalırken, PV ve RT enerji üretim değerlerinde azalma beklenmektedir. HOMER hibrit sistemin talep ihtiyaçlarını karşıyalabilmek için bileşen maliyetlerinden en uygun olan, PV kapasitesini arttırmıştır. Bunun sonucunda RT ve akü kapasiteleri sabit kalmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, talep ve kaynak veri çözünürlüğünün hibrit sistem boyutlandırmasına etkileri analiz edilmiştir. Talep verileri seçilen pilot evde yapılan dakikalık tüketim ölçümleri ile elde edilmiştir. Pilot ev müstakil bir ev olup evde 4 kişi yaşamaktadır. Sistem tasarımını gerçeğe mümkün olduğunca yakın programlamak amacıyla, 1 yıllık tüketim ve kaynak değerleri 1 dakikalık ortalamalar halinde HOMER programına yüklenmiştir. Simülasyon sonuçlarının gerçekçi olması ve anlık etkilere cevap verebilmek için simülasyon zaman aralığı 1 dakikalık olarak yapılmıştır. Daha sonra veriler 5, 10, 15, 30, 60 ve 1440 dakika ortalamalara dönüştürülüp, veri kümesi sayısını azaltmadan 17 farklı senaryo oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir sistem ve senaryo için simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda kaynak verisi sabit (1 dakikalık), talep verisi değişken olduğu durumlarda talep veri çözünürlüğü azaldıkça, sistemin NPC değeri azalmakta, buna bağlı olarak COE’de düşmektedir. Talep verisi sabit (1 dakikalık), rüzgar ve güneş verilerinin değişken olduğu durumları içeren senaryolarda kaynak veri çözünürlüğü azaldıkça, sistemin NPC değeri artmakta, buna bağlı olarak COE’de artmaktadır. Kaynak ve talep verisi eş zamanlı aralıklarda olduğu durumları içeren senaryolarda ise kaynak ve talep verileri çözünürlüğü eş zamanlı azaldıkça, sistemin NPC değeri azalmakta, buna bağlı olarak COE’de azalmaktadır.

Gerçekleştirilen bütün senaryolarda artık enerji oluşmuştur. Bunun nedeni: akü maliyetlerinin PV ve rüzgar türbinlerine kıyasla daha pahalı olduğundan, akü kapasitesinin mevcut adetlerini arttırmak yerine PV ve RT’nün fazla boyutlandırılması daha ekonomik olmaktadır. Önümüzdeki yıllarda akü teknolojilerindeki gelişme ve maliyetlerindeki azalmayla birlikte bu artık enerjide kullanılabilir hale gelecektir veya PV ve RT’de daha az kapasiteli boyutlandırmalar gerçekleşecektir.

Tezde gerçekleştirilen çalışmayla, hibrit sistemlerin boyutlandırılmasında kullanılan talep ve kaynak verilerinin çözünürlüğünün önemi ortaya çıkmıştır. Maliyet avantajı

sağlanacağı düşüncesinde gerçekleştirilecek her boyutlandırmanın veri çözünürlüğündeki yetersizlikten ötürü sistemin işletilmesinde son kullanıcının kullanım kalitesinin seviyesini düşürmekle kalmayıp, hesaplanmayan ekstra maliyetlere de sebep olacaktır. Veri çözünürlüğünde olabildiğince detaylı ölçüm yapıp, bu tarz sistem tasarımlara baştan para harcamak ileride yaşanacak olumsuzlukları azaltacaktır.

Yakın gelecekte, depolama teknolojisindeki verim artışlarıyla birlikte hibrit sistemlerin kullanımı artacaktır. Fosil yakıtların kullanımı gün geçtikçe azalacak, çevreye zararlı ve tehlikeli hiç bir teknoloji kalmayacaktır. Bundan dolayıdır ki, dünyadaki her bireyin, tüzel kişiliğin, derneğin, toplulukların, örgütlerin ve hatta devletlerin stratejik olarak önem vermeleri gereken en önemli gündem olmalıdır. Bugün birçok ülke enerji politikalarına yenilenebilir enerji kaynaklarını ekleyerek enerji sistemlerinin verimliliklerini artırma girişiminde bulunmaktadır. Geleneksel elektrik üretim maliyetlerinin artışı beklenmeden, yenilenebilir enerji ve enerji depolaması alanında yapılacak bir yeniliğin etkisinin insanoğluna sağlayacağı faydanın farkındalığında olmak geleceğimize yapabileceğimiz en iyi yatırımdır

Ülkemizde hızla artan enerji talebimizin karşılanmasında yerli enerji kaynaklarımız yeterli olmamaktadır. Önümüzdeki yıllarda yeni bir enerji dar boğazına girmemek için kaynak çeşitliği politikalarına önem vermek ve bu doğrultuda ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından optimum oranda yararlanılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Türkiye’de dışa bağımlılığın azaltılması ve enerji arzının güvenli bir şekilde sağlanması için kaynak çeşitliliğine gidilmelidir. Ülkenin bu anlamda yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük potansiyeli mevcuttur. Bugün Türkiye coğrafi konumu açısından 36-42°N enlemleri arasında yer almakta ve güneş kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2609 saat olup, yılın % 29,8’ini oluşturmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının yerel olarak pilot projelerle kullanılmaya başlanması ve daha sonra merkezileştirilerek ya da bölgesel olarak kullanılıp genel enerji üretimine katkıda bulunmasıyla, enerji çeşitliliği yaratılacaktır. Böylece hem sahip olunan potansiyelden faydalanmış hem de ülkelerin gelişmesinin en önemli unsurlarından biri olan enerji alanında önemli gelişmeler kaydedilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **“World Energy Outlook 2011”**, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA).
- [2] **“International Energy Outlook 2011”**, ABD Enerji Bilgi Idaresi, Eylül 2011.
- [3] **“European Energy and Transport, Trends to 2030, 2009 Update”**, Avrupa Komisyonu, Agustos 2010.
- [4] **“EU Energy and Transport Figures, Statistical Pocket Book 2010”**, Avrupa Birliği.
- [5] **Url-1** <<http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/>> alındığı tarih: 23.03.2013, Avrupa Birliği DG-Ener-A1, “Energy Statistics for EU-27-Countries Factsheets”.
- [6] **Url-2** <www.teias.gov.tr> alındığı tarih:01.10.2012, TEIAS, “Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2010-2019).
- [7] **Elhadidy, M. A. ve Shaahid, S.M.**, 2000. Parametric study of hybrid (wind+solardiesel) power generating systems. *Renewable Energy*. Vol. **21**, no. 2, pp. 129-139.
- [8] **Lilienthal, P.**, 2004. The HOMER micropower optimization model, *DOE Solar Energy Technologies Program Review Meeting*, Denver, Colorado, USA, October 25-28.
- [9] **Elhadidy, M. A., Shaahid, S.M.**, 2000. Parametric study of hybrid (wind+solardiesel) power generating systems. *Renewable Energy*. Vol. **21**, no. 2, pp. 129-139.
- [10] **Shaahid, S. M., Elhadidy, M. A.**, 2007. Technical and economic assessment of grid independent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. **11**, no. 8, pp. 1794-1810.
- [11] **Url-3** <<http://www.enerji.gov.tr/>>, alındığı tarih 20.12.2012.
- [12] **Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A., Kalaitzakis, K.**, 2006. Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms. *Solar Energy*. Vol. **80**, no.9, pp.1072-1088.

- [13] **Kélouwani, S., Agbossou, K., Chahine, R.,** 2005. Model for energy conversion in renewable energy system with hydrogen storage. *Journal of Power Sources*. Vol **140**, no. 2, pp. 392-399.
- [14] **Khan, M. J., Iqbal, M. T.,** 2005. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renewable Energy*. Vol. **30**, no. 6, pp.835-854.
- [15] **Dalton, G. J., Lockington, D. A., Baldock, T. E.,** 2008. Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel. *Renewable Energy*, Vol. **33**, no. 7, pp. 1475-1490.
- [16] **Dagdougui H., Minciardi R., Ouammi A., Robba M., Sacile R.,** 2010. Modelling and control of a hybrid renewable energy system to supply demand of a green-building, International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, *Fifth Biennial Meeting*, Ottawa, Canada.
- [17] **Tomson T., Tamm G.,** 2005. Short-term variability of solar radiation, *Solar Energy*, Science Direct, Elsevier. Vol. **80**, pp. 600-606.
- [18] **Richardson I., Thomson M., Infield D., Clifford C.,** 2010. Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model, *Energy and Buildings*, Elsevier. Vol. **42**, pp. 1878-1887.
- [19] **Richardson I., Thomson M., Infield D.,** 2008. A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, Elsevier. Vol. **40**, pp. 1560-1566.
- [20] **McKenna E., Richardson I., Thomson M.,** 2011. Smart meter data: Balancing consumer privacy concerns with legitimate applications. *Energy Policy*, Elsevier. Vol. **41**, pp. 807-814.
- [21] **Richardson I., Thomson M., Infield D., Delahunty A.,** 2009. Domestic lighting: A high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings*, Elsevier. Vol. **41**, pp. 781-789.
- [22] **Elma O., Selamogullari S.,** 2012. A comparative sizing analysis of a renewable energy supplied stand-alone house considering both demand side and source side dynamics. *Applied Energy*, Elsevier. Vol. **96**, pp. 400-408.
- [23] **Url-4** <<http://www.mauisolarsoftware.com>>, Maui Solar Energy Software Corporation, PV-DesignPro, alındığı tarih: 25.02.2013.
- [24] **Url-5** <<http://www.valentin.de>>, PV*SOL, alındığı tarih: 25.02.2013.
- [25] **Url-6** <<http://www.retscreen.net>>, RETScreen International, alındığı tarih: 25.02.2013.

- [26] **J. A. Duffie and W. A. Beckman**, 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes* 2nd ed., Wiley, New York.
- [27] **F. M. White**, 1986. *Fluid Mechanics*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
- [28] **V. A. Graham and K. G. T. Hollands**, 1990. A method to generate synthetic hourly solar radiation globally, *Solar Energy*, Vol. **44**, No. 6, pp. 333–341.
- [29] **J. F. Manwell and J. G. McGowan**, 1993. Lead acid battery storage model for hybrid energy systems, *Solar Energy*, Vol. **50**, pp. 399–405.
- [30] **C. D. Barley and C. B. Winn**, 1996. Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems, *Solar Energy*, Vol. **58**, pp. 165–179.
- [31] “**Worldwide Look at Reserves and Production**”, *Oil & Gas Journal*, 01.01.2012.
- [32] “**Statistical Review of World Energy**”, BP, Haziran 2011.
- [33] **Url-7** <www.eie.gov.tr>, alındığı tarih 23.11.2012.
- [34] **Url-8** <<http://gunesenerjisi.uzerine.com/>>, alındığı tarih 23.11.2012.
- [35] **Felix A. Farret and M. Godoy Simoes**, 2006. *Integration of Alternative Sources of Energy*, John Wiley & Sons, Inc.
- [36] **Ertürk, K.** 2012. Kişisel görüşme.
- [37] **Url-9** <www.epia.org> EPIA (Avrupa PV Endüstrisi Birliği), alındığı tarih 15.12.2012.
- [38] **Özdemir, M.** 2012. Kişisel görüşme.
- [39] **Girgin, H.** 2013. Kişisel görüşme.
- [40] **Url-10** <<http://www.enerji.gov.tr/>>, alındığı tarih 20.12.2012.
- [41] **Baker, J.** 2008. New technology and possible advances in energy storage. *Energy Policy*, Vol. **36**, pp. 4368–4373.
- [42] **Bathurst, G.N., Strbac, G.** 2003. Value of combining energy storage and wind in short-term energy and balancing markets. *Electric Power Systems Research*, Vol. **67**, pp.1–8.
- [43] **Beurskens, L.W.M., De Noord, M.** 2003. Economic issues of storage technologies in different applications. In: *STORE 2003: Storage for Renewable Energies*, Aix-en-Provence, France, October 19–21

- [44] **Bolund, B., Bernhoff, H., Leijon, M.** 2007. Flywheel energy and power storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. **11**, pp. 235–258.
- [45] **Butler, P., Miller, J.L., Taylor, P.A.** 2002. Energy Storage Opportunities Analysis, *Phase II Final Report*. (SAND2002-1314). Energy Storage Systems Department, Sandia National Laboratories, California, USA.
- [46] **Cavallo, A.J.** 2001. Energy storage technologies for utility scale intermittent renewable energy systems. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. **123**, pp. 387–389.
- [47] **Luque A.** 2002. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* Instituto de Energí'a Solar, Universidad Polit'écnica de Madrid, Spain and Steven Hegedus Institute of Energy Conversion, University of Delaware, USA, WILEY.
- [48] **Messenger R. A., Ventre J.,** 2004. *Photovoltaic Systems Engineering* SECOND EDITION by CRC Press LLC.
- [49] **Markvart T., Castafier L.,** 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* ELSEVIER.
- [50] **Kaldellis, J.K.,** 2002. Minimum stand-alone wind power system cost solution for typical Aegean Sea islands. *Wind Engineering Journal*, Vol. **26**, pp. 241–255.
- [51] **Kaldellis, J.K.,** 2008. Integrated electrifi cation solution for autonomous electrical networks on the basis of RES and energy storage confi gurations. *Energy Conversion and Management Journal*, Vol. **49**, pp. 3708–3720.
- [52] **Kaldellis, J.K., Vlachou, D., Kavadias, K.,** 2001. An integrated renewable energy solution for very small Aegean Sea islands. In: *Renewable Energies for Islands – Towards 100% RES Supply International Conference*, Chania, Greece, June 14–16.
- [53] **Kaldellis, J.K., Kondili, E., Filios, A.,** 2006. Sizing a hybrid wind–diesel stand-alone system on the basis of minimum long-term electricity production cost. *Applied Energy Journal*, Vol. **83**, pp. 1384–1403.
- [54] **Kaldellis, J.K., Kostas, P., Filios, A.,** 2006. Minimization of the energy storage requirements of a stand-alone wind power installation by means of photovoltaic panels. *Wind Energy International Journal*, Vol. **9**, pp. 383–397.
- [55] **Muselli, M., Notton, G., Louche, A.,** 1999. Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management. *Solar Energy Journal*, Vol. **65**, pp. 143–157.

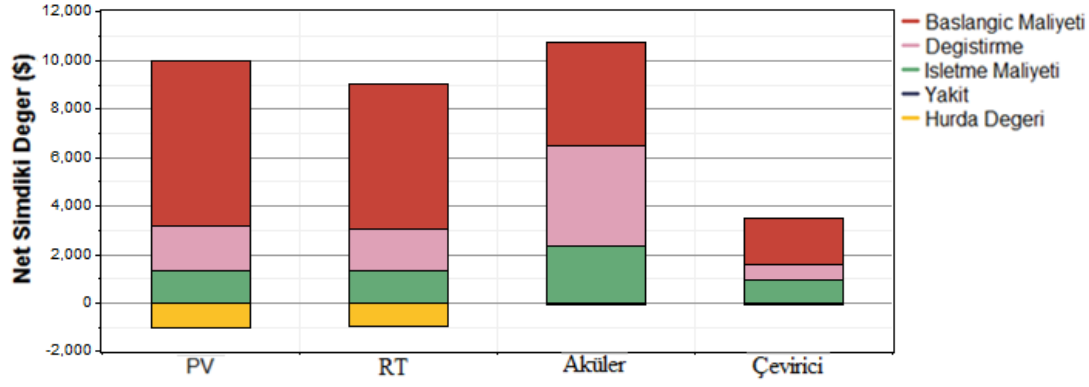
- [56] **Kaldellis J. K.**, 2010. *Stand-alone and hybrid wind energy systems* Woodhead Publishing Limited
- [57] **Şahin Ş.A.**, 2012. *Modelling and optimization of renewable energy systems*, InTech.
- [58] **AWEA** 2008. American Wind Energy Association Small Wind Turbine Global Market Study 2008.
- [59] **Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E.** 2001. *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons.
- [60] **Celik, A.** 2003. Energy output estimation for small scale wind power generators using Weibull representative wind data, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. **91**, pp 693–707.
- [61] **DoE** 2005. Small Wind Electric Systems, US Department of Energy. http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_wind_guide.pdf. alındığı tarih: 21.01.2013.
- [62] **Url-11** <<http://www.nrel.gov/homer>> HOMER version 2.19, National Renewable Energy Laboratory (NREL) alındığı tarih 15.12.2012.
- [63] **Url-12** <https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMER_Publications.pdf>(HOMER Publications, NREL [National Renewable Energy Laboratory]), alındığı tarih 01.12.2012.
- [64] **Lambert, T., Gilman, P., Lilienthal, P.**, Micropower system Modelling with HOMER.. Retrieved November 13, 2012, from <http://www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf>
- [65] **Manwell J. F., McGowan J. G., Rogers A. L.**, 2002: *Wind Energy Explained*, John Wiley and Sons, New York, NY.

EKLER

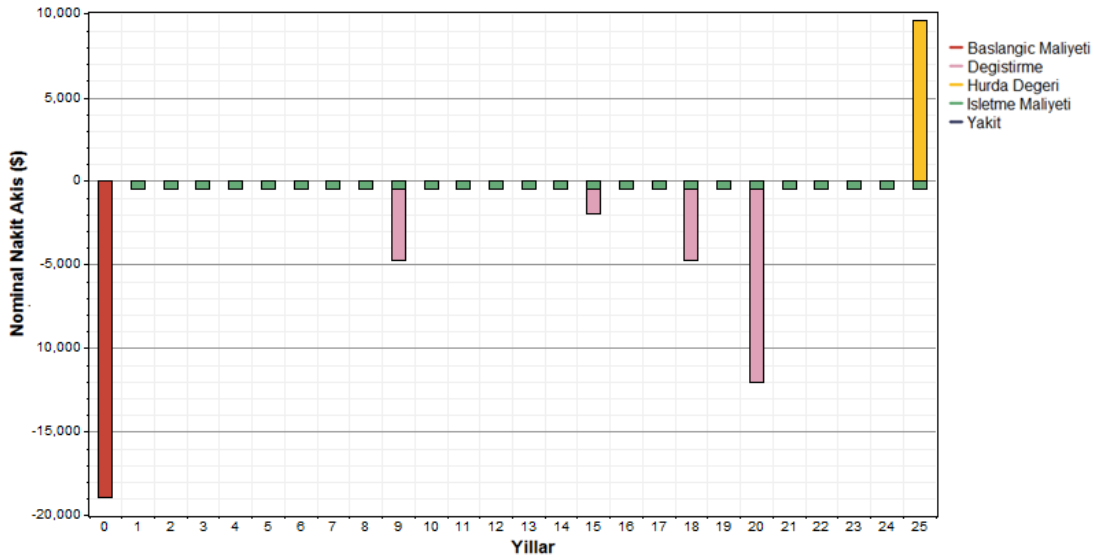
EK A:

Çizelge A.1 : Senaryo-2 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

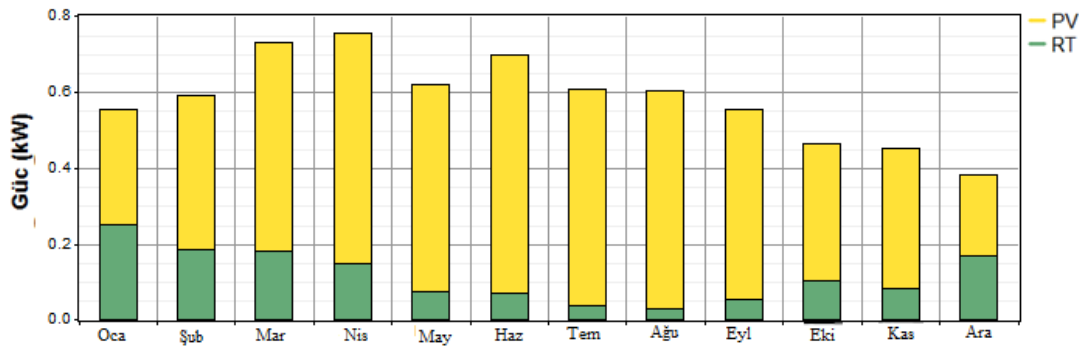
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,3	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,2	kWh
Otonomi	83,9	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15616	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2019	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1619	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	6	kWh/yıl
Kayıplar	393	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1810	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,63	yıl



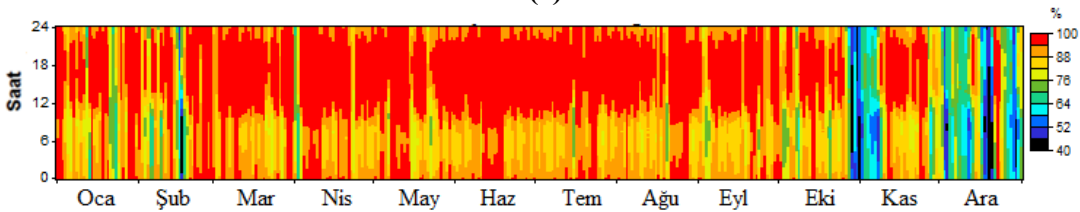
(a)



(b)



(c)

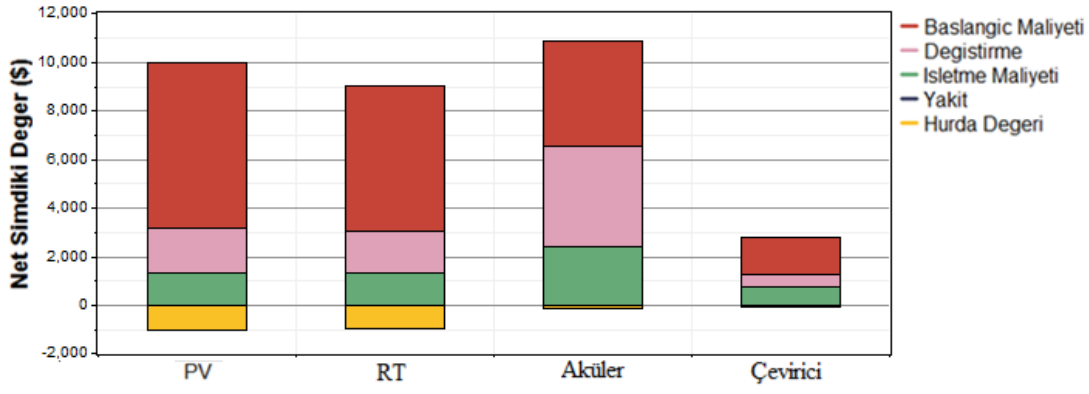


(d)

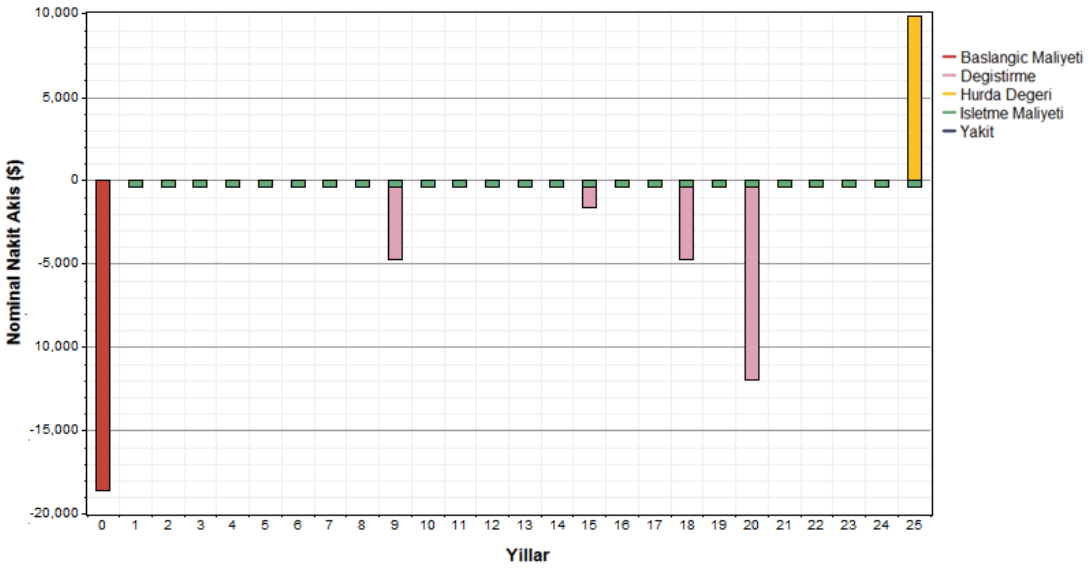
Şekil A.1 : Senaryo-2 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge A.2 : Senaryo-3 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

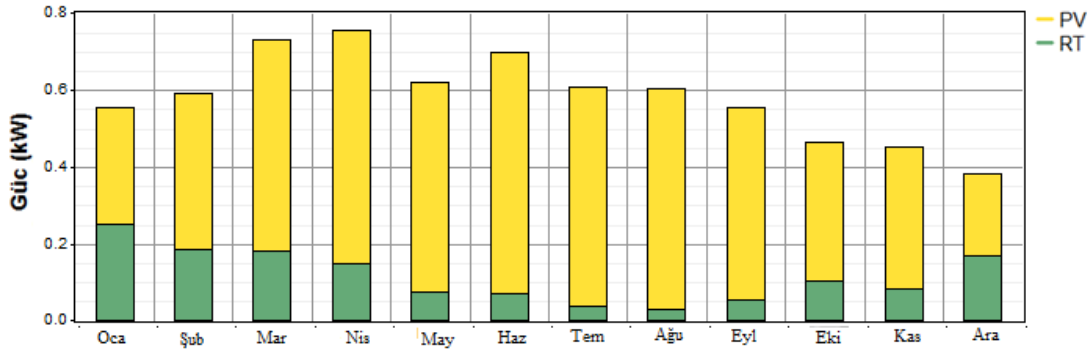
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,6	kWh
Otonomi	85,3	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15872	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1999	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1603	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	6	kWh/yıl
Kayıplar	389	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1793	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,85	yıl



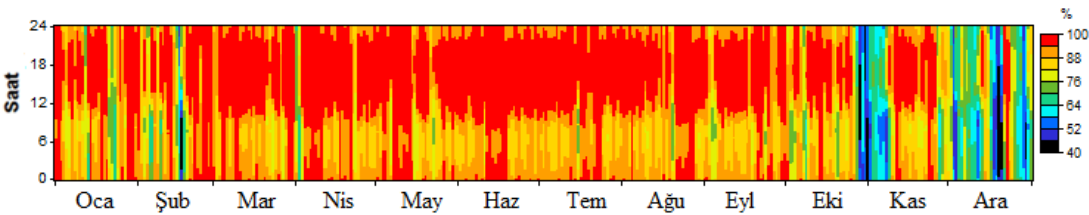
(a)



(b)



(c)

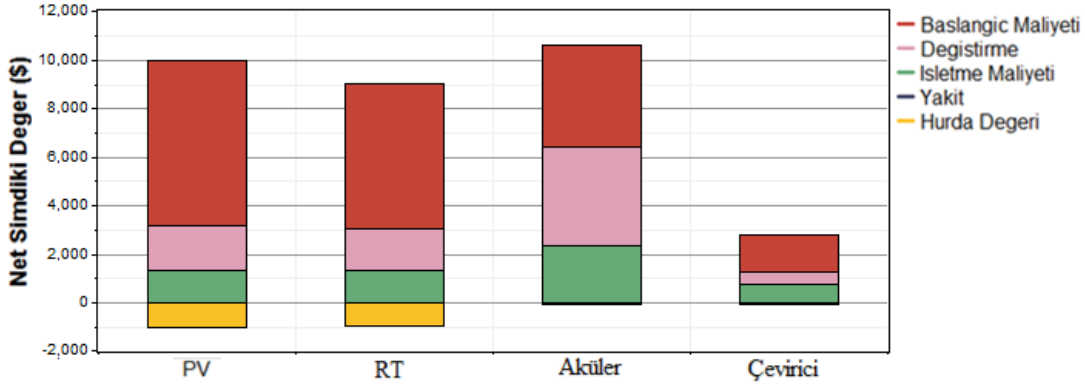


(d)

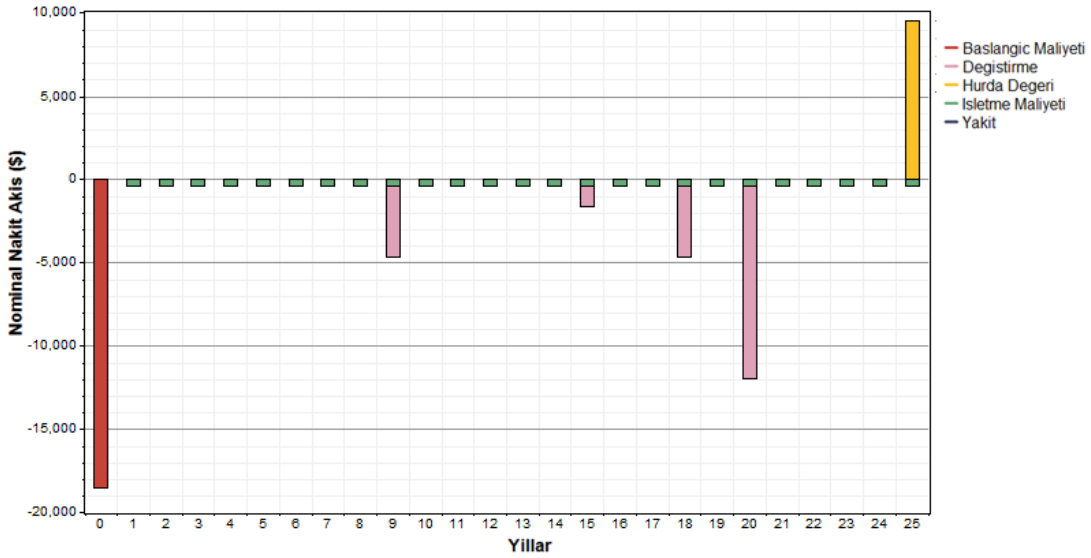
Şekil A.2 : Senaryo-3 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge A.3 : Senaryo-4 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

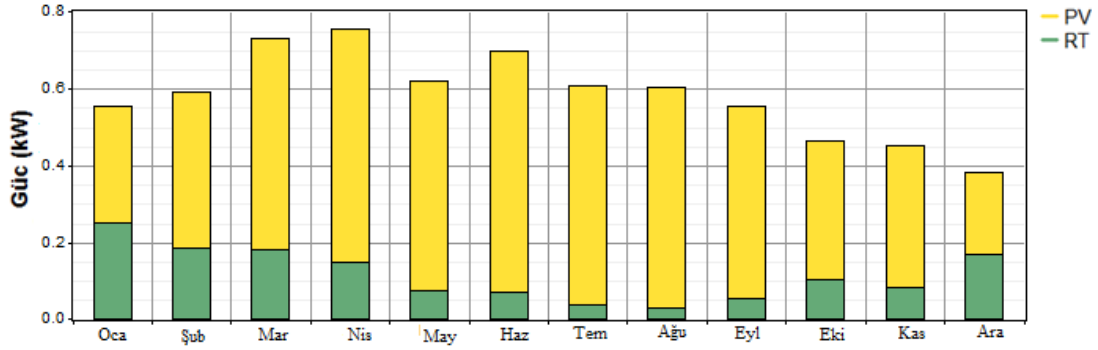
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	39,6	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	23,8	kWh
Otonomi	82,5	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15360	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1986	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1593	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	6	kWh/yıl
Kayıplar	387	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1781	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,62	yıl



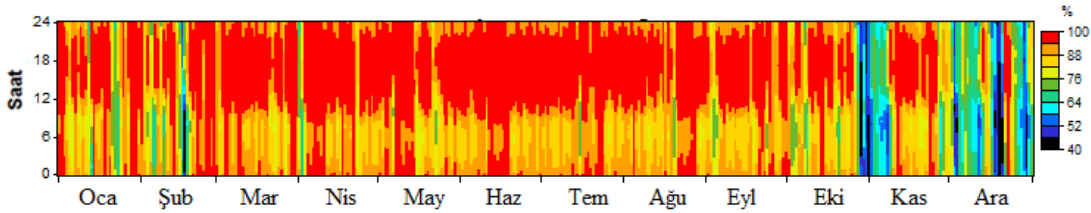
(a)



(b)



(c)

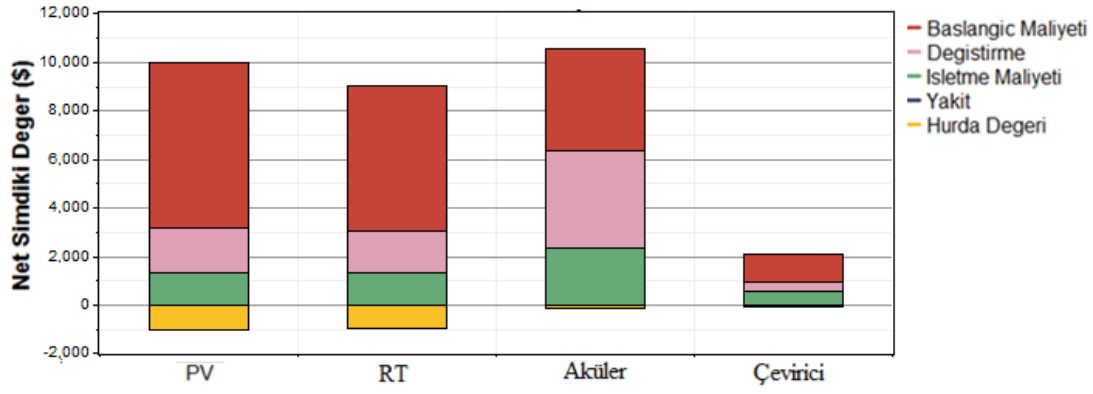


(d)

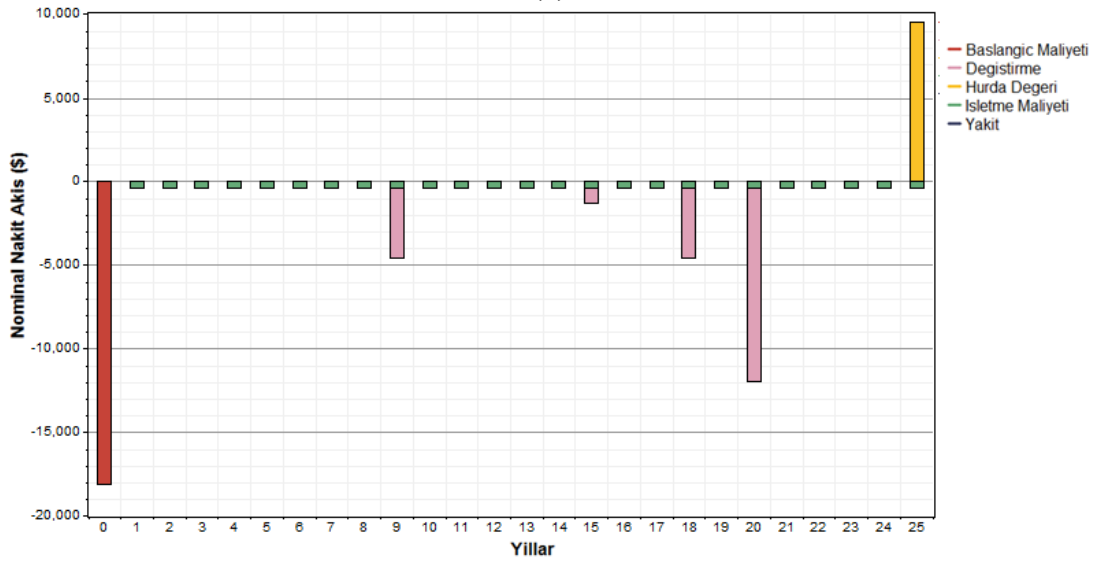
Şekil A.3 : Senaryo-4 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge A.4 : Senaryo-5 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

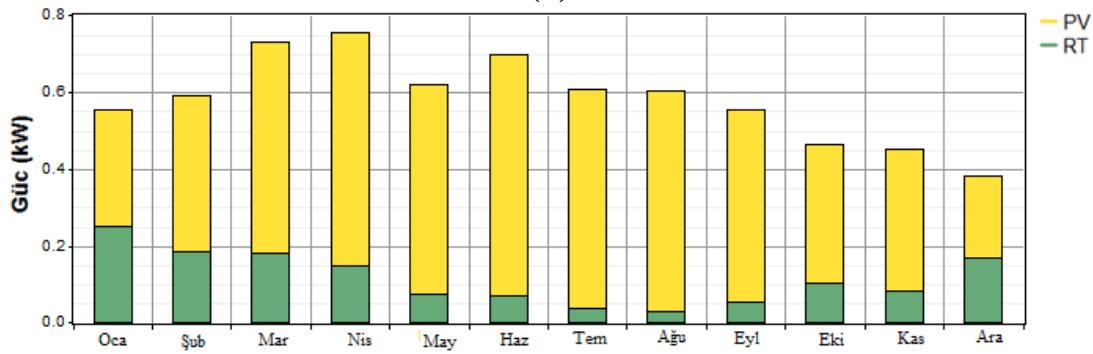
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	39,6	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	23,8	kWh
Otonomi	82,5	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15360	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1966	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1577	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	6	kWh/yıl
Kayıplar	383	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1763	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,71	yıl



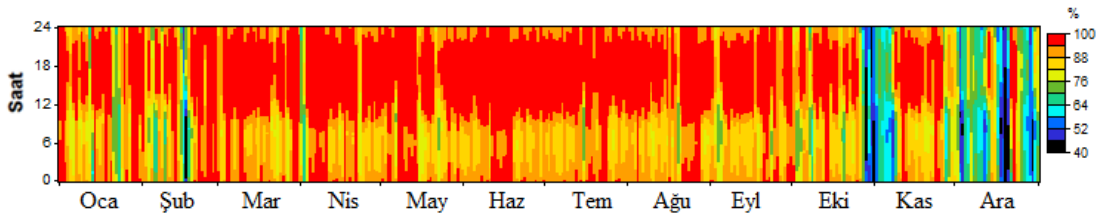
(a)



(b)



(c)

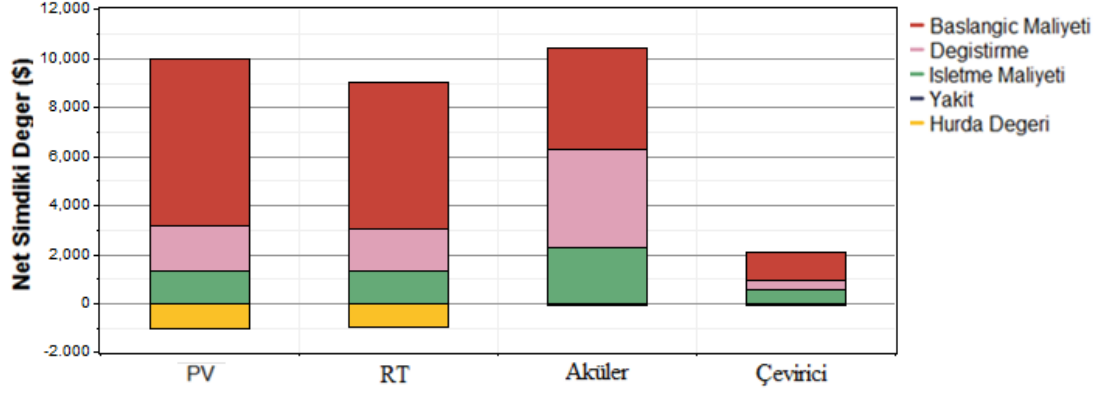


(d)

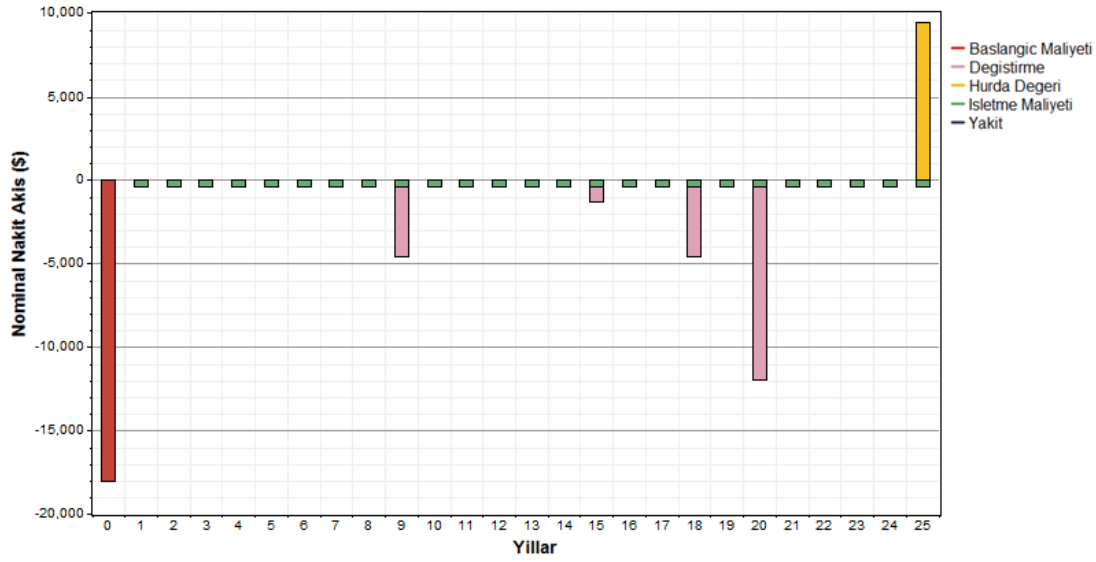
Şekil A.4 : Senaryo-5 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge A.5 : Senaryo-6 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

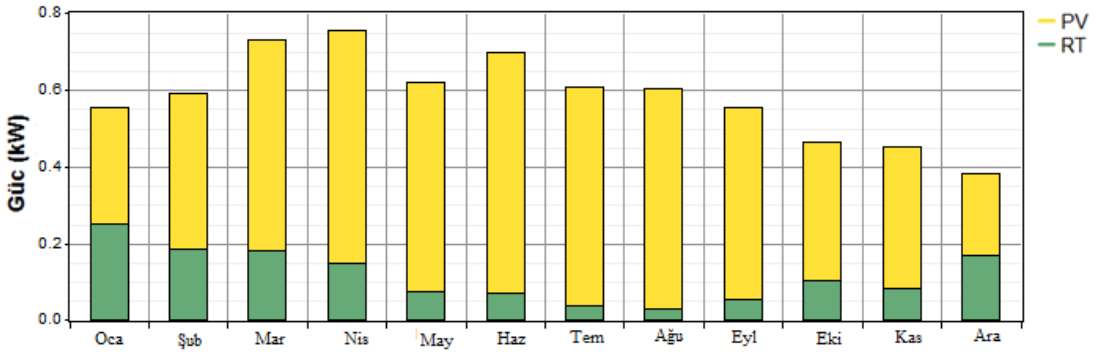
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,63	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	38,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	23,4	kWh
Otonomi	81,2	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15104	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1948	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1562	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	6	kWh/yıl
Kayıplar	380	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1746	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,65	yıl



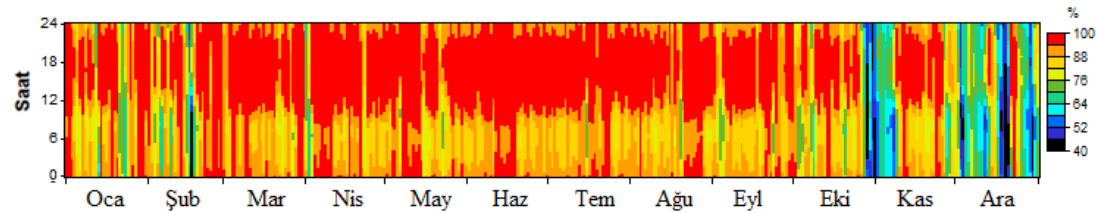
(a)



(b)



(c)

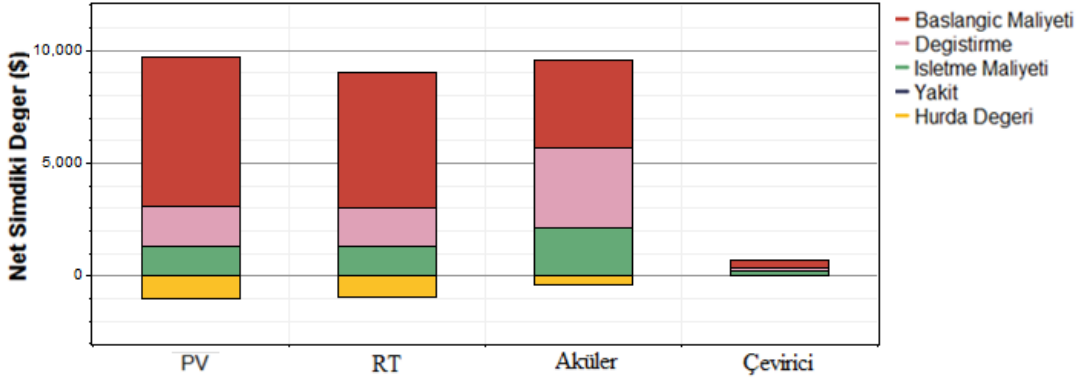


(d)

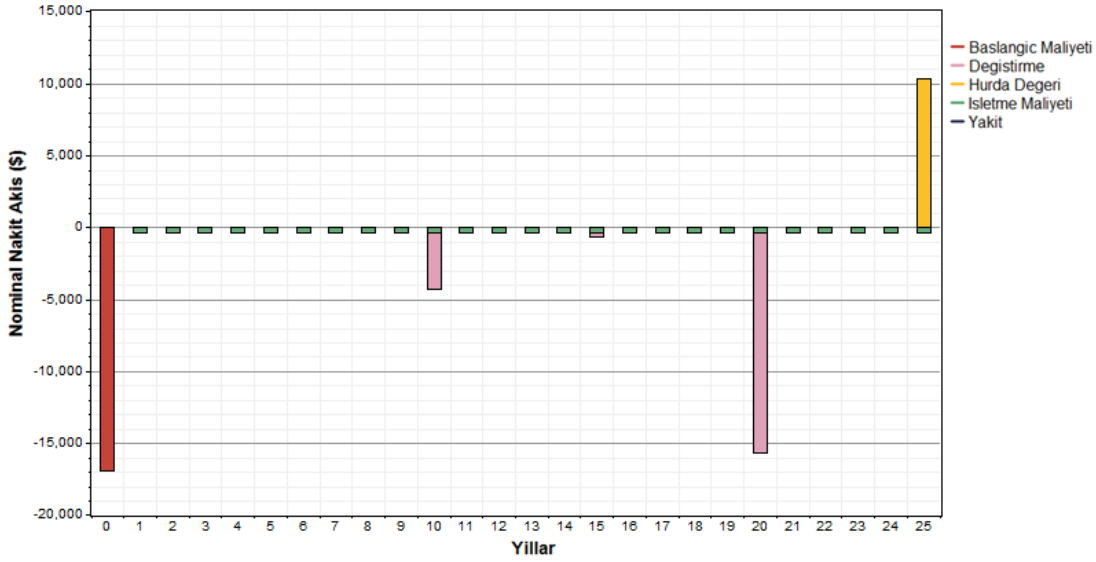
Şekil A.5 : Senaryo-6 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge A.6 : Senaryo-7 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

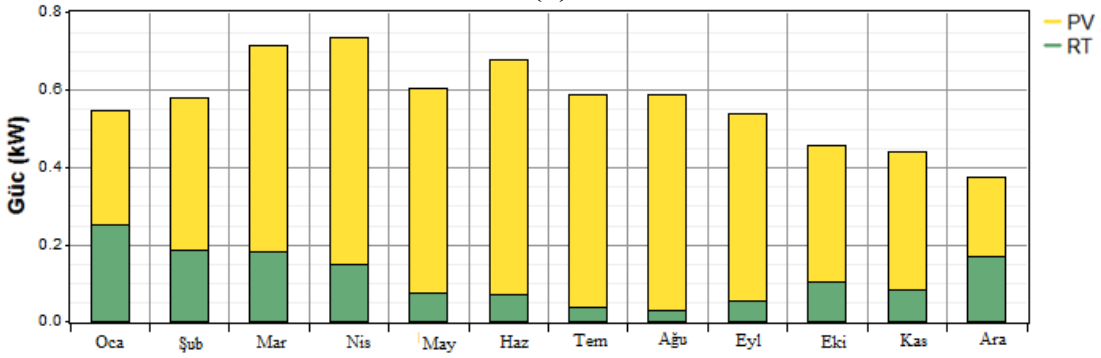
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,3	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,45	kW
Günlük Üretilen Enerji	10,9	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	3986	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,53	kW
Çalışma Süresi	4379	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,34	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	3963	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,63	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	37	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	22,2	kWh
Otonomi	77	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	14336	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1649	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1322	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	4	kWh/yıl
Kayıplar	323	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1478	kWh/yıl
Beklenen Ömür	9,7	yıl



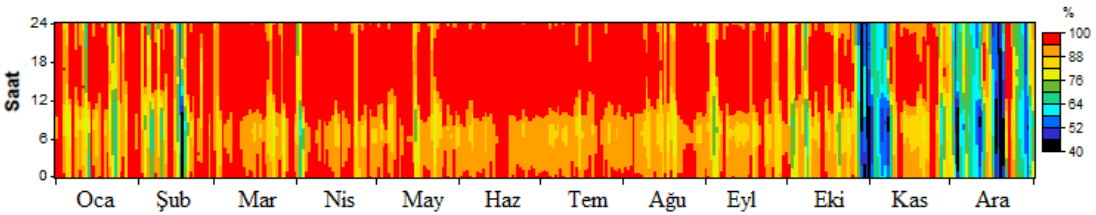
(a)



(b)



(c)

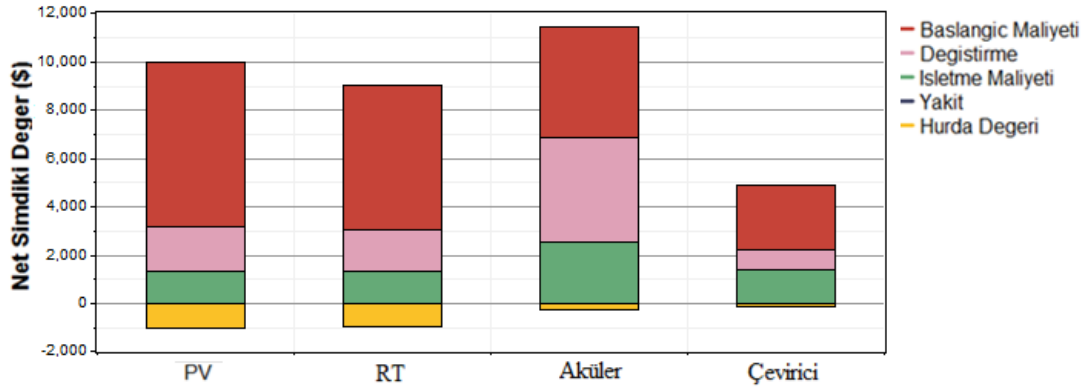


(d)

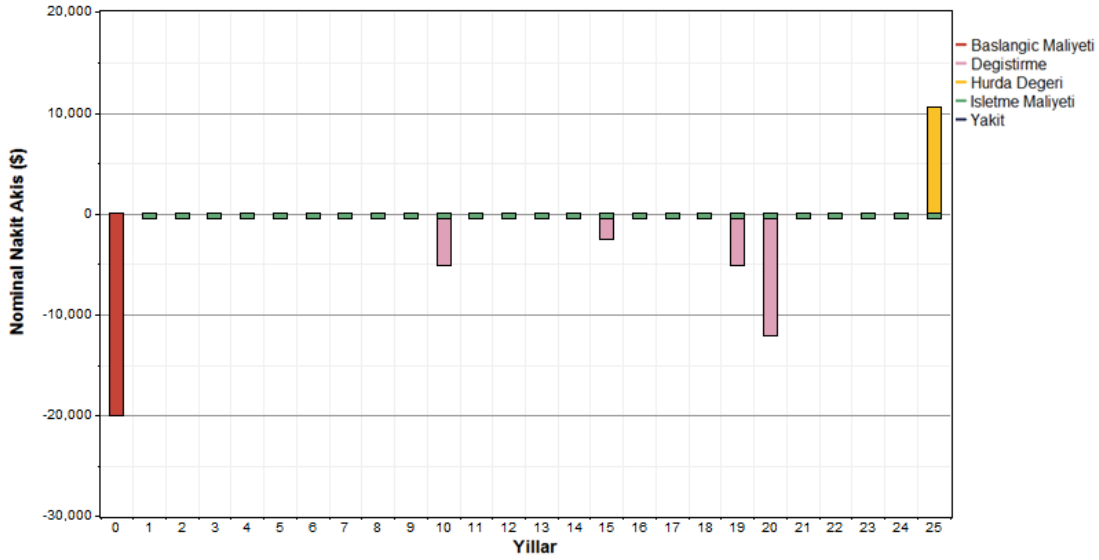
Şekil A.6 : Senaryo-7 için şebeke bağımsız sistemde a)biçen bazında maliyetler b)nakit akış detayları c)aylık enerji üretim oranları d)aylara göre akü şarj durumu

EK B:**Çizelge B.1 : Senaryo-8 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.**

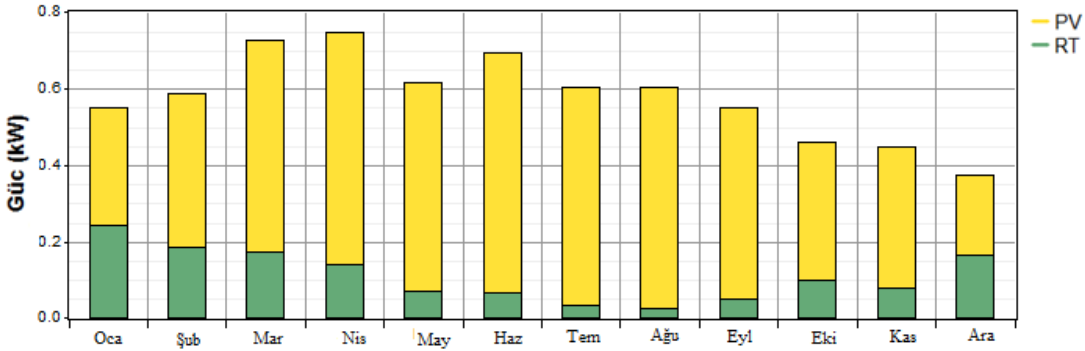
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,51	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	999	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,11	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4034	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,654	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	43,6	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	26,1	kWh
Otonomi	90,8	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	16896	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2057	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1652	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	8	kWh/yıl
Kayıplar	397	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1846	kWh/yıl
Beklenen Ömür	9,15	yıl



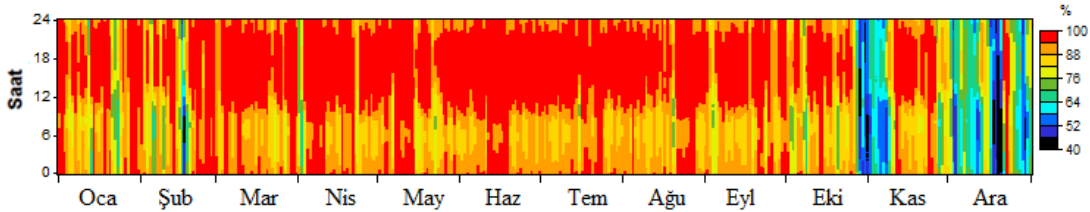
(a)



(b)



(c)

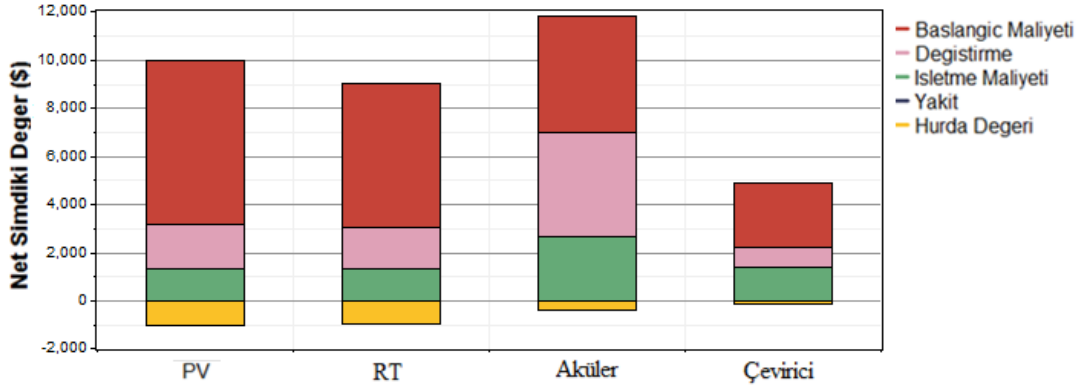


(d)

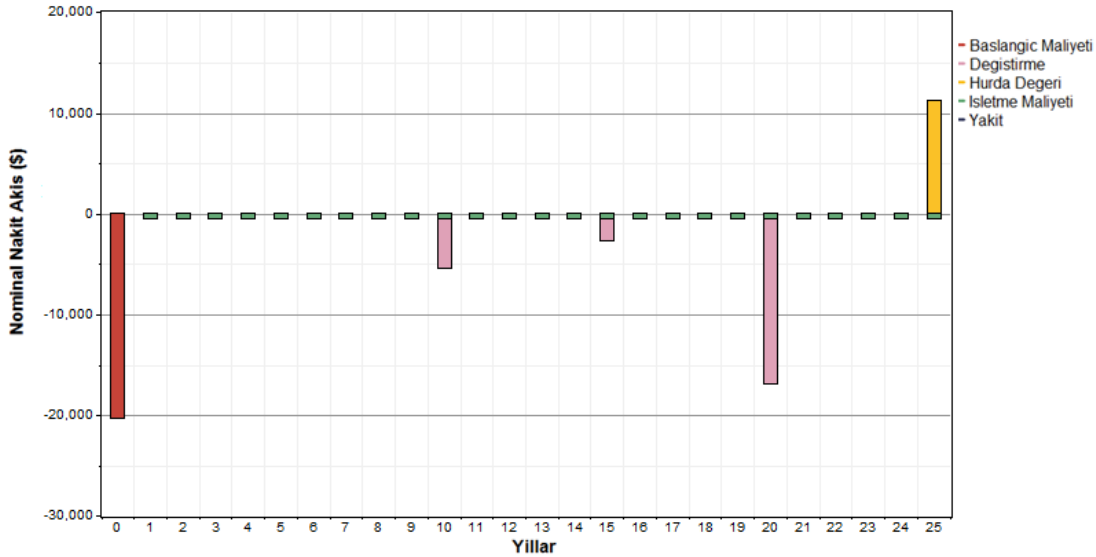
Şekil B.1 : Senaryo-8 için şebeke bağımsız sistemde a)biçen bazında maliyetler b)nakit akış detayları c)aylık enerji üretim oranları d)aylara göre akü şarj durumu

Çizelge B.2 : Senaryo-9 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

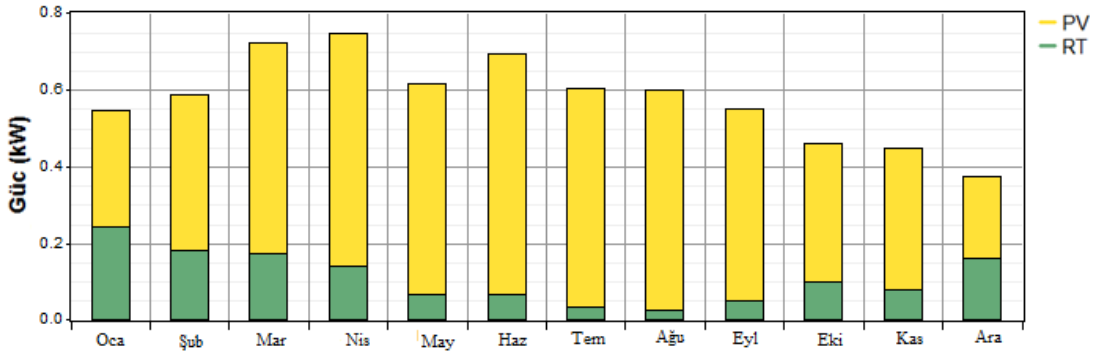
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4111	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,48	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	949	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,02	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4035	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,663	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	45,5	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	27,3	kWh
Otonomi	94,9	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	17664	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2057	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1652	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	9	kWh/yıl
Kayıplar	396	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1846	kWh/yıl
Beklenen Ömür	9,57	yıl



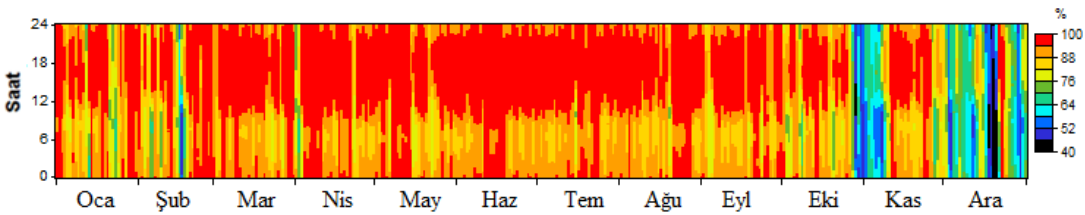
(a)



(b)



(c)

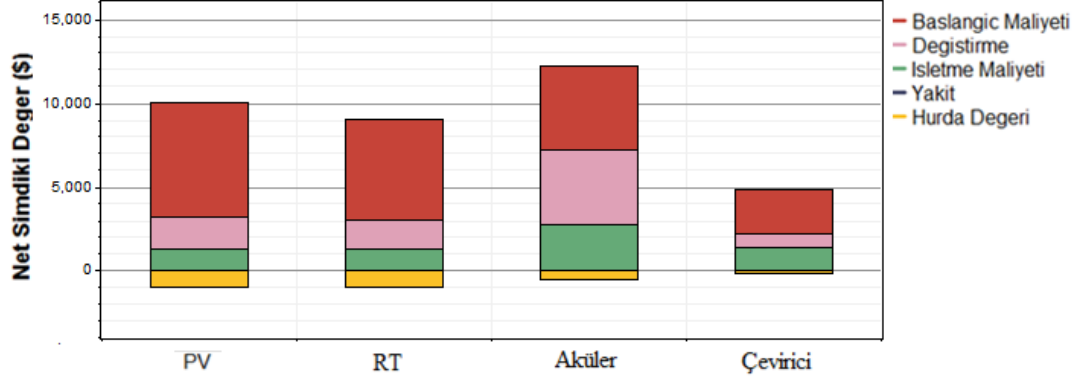


(d)

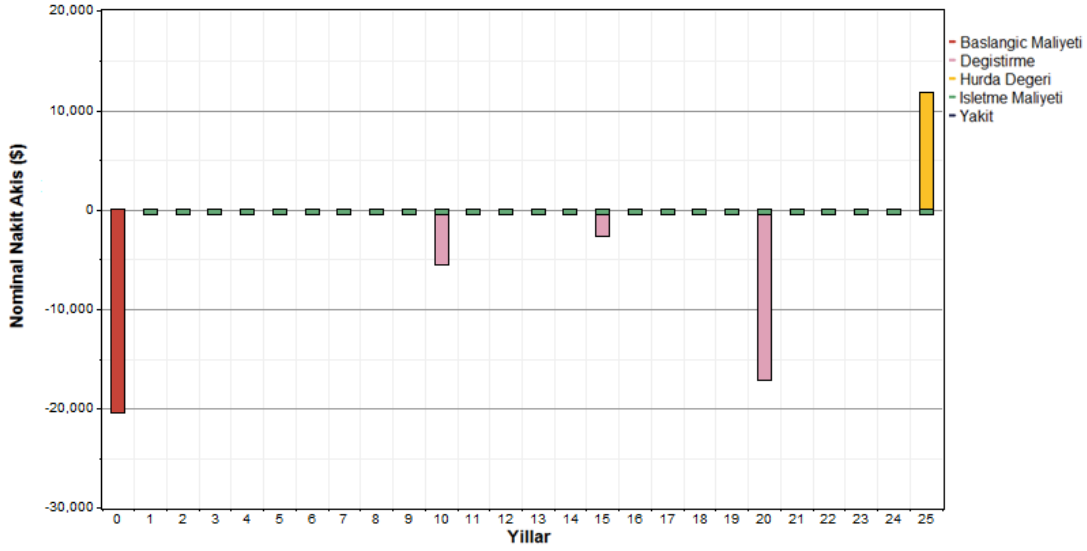
Şekil B.2 : Senaryo-9 için şebeke bağımsız sistemde **a)** bileşen bazında maliyetler **b)** nakit akış detayları **c)** aylık enerji üretim oranları **d)** aylara göre akü şarj durumu

Çizelge B.3 : Senaryo-10 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

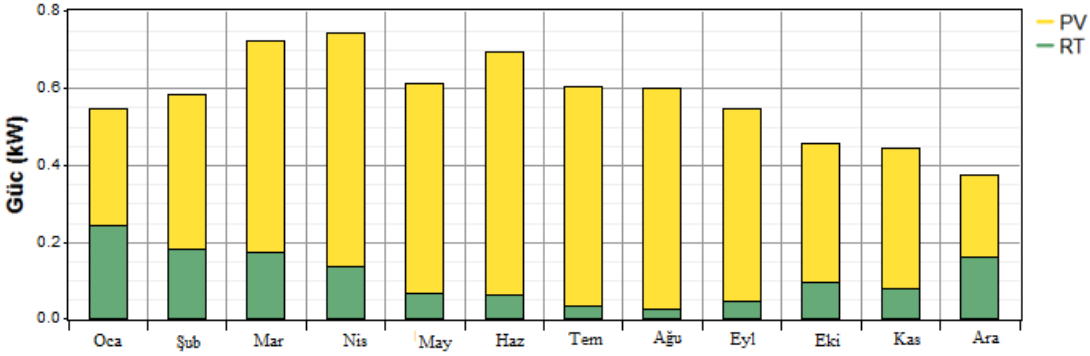
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,3	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4110	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,44	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	940	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,96	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4044	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0.669	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	47,5	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	28,5	kWh
Otonomi	99	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	18432	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2058	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1653	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	9	kWh/yıl
Kayıplar	396	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1847	kWh/yıl
Beklenen Ömür	9,98	yıl



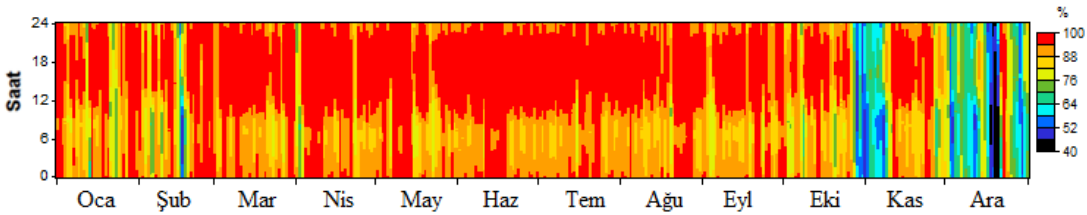
(a)



(b)



(c)

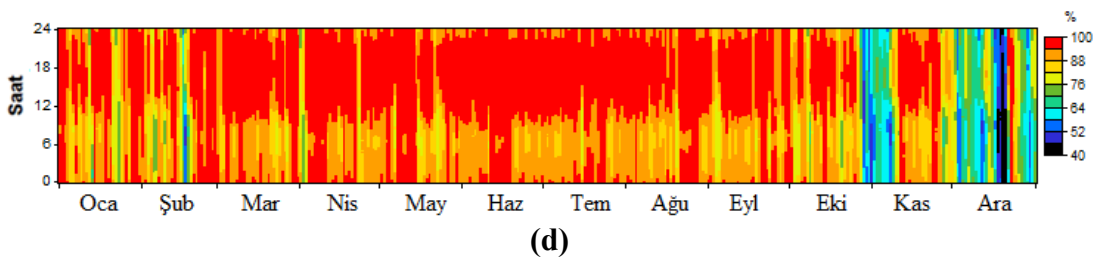
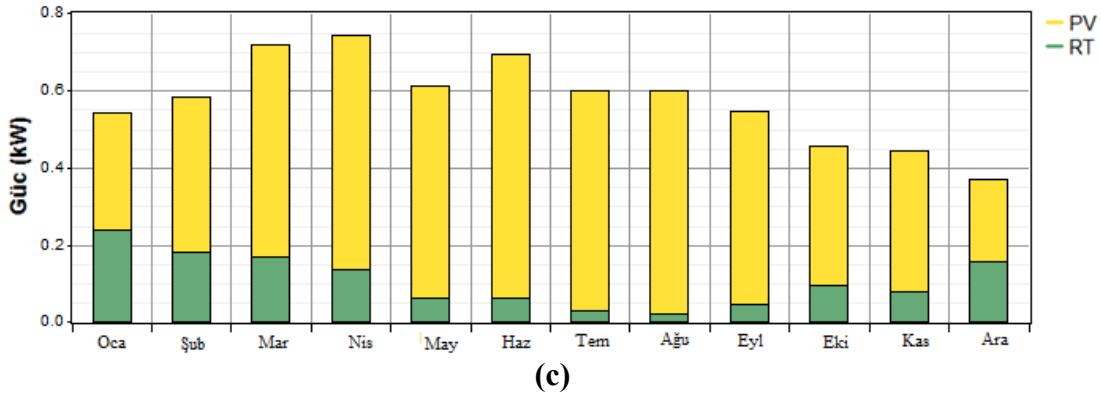
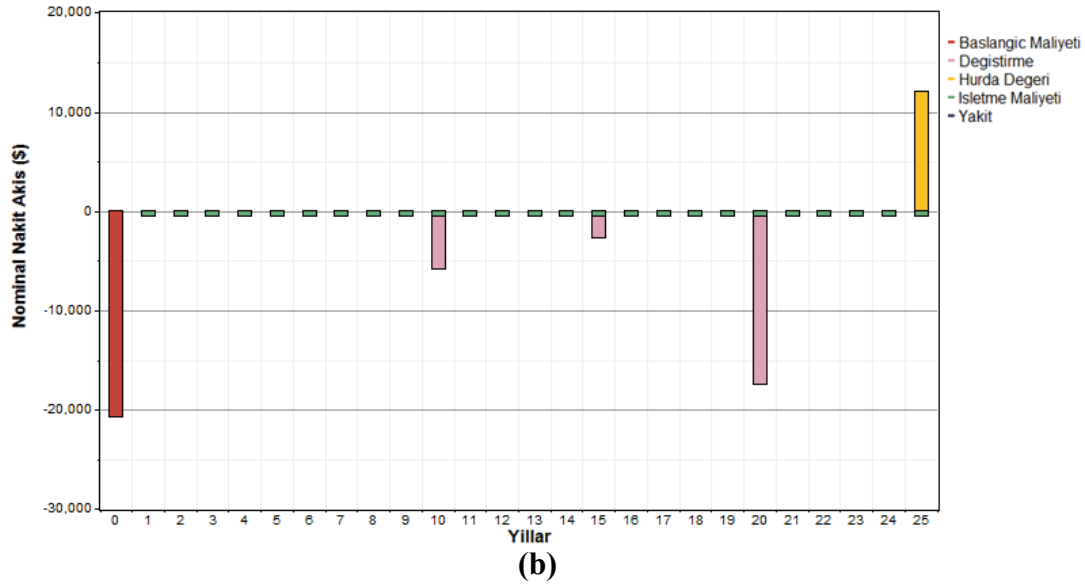
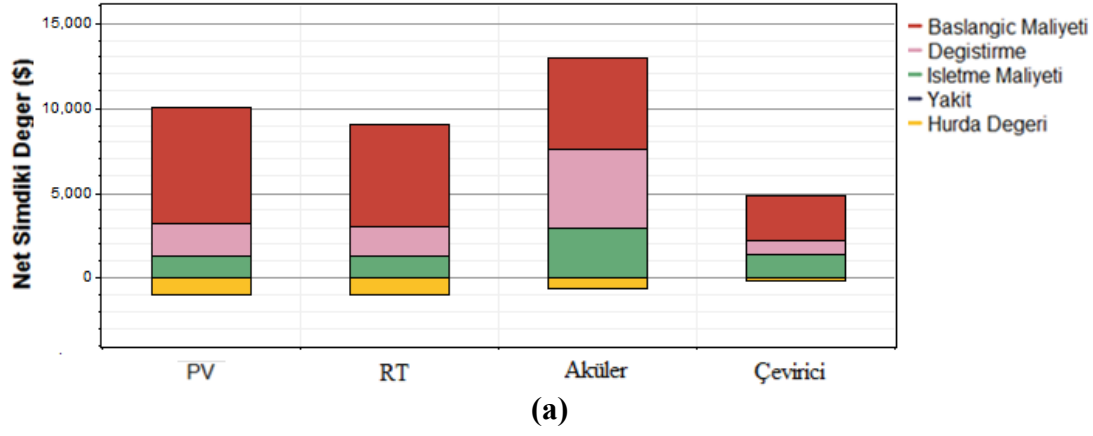


(d)

Şekil B.3 : Senaryo-10 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge B.4 : Senaryo-11 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

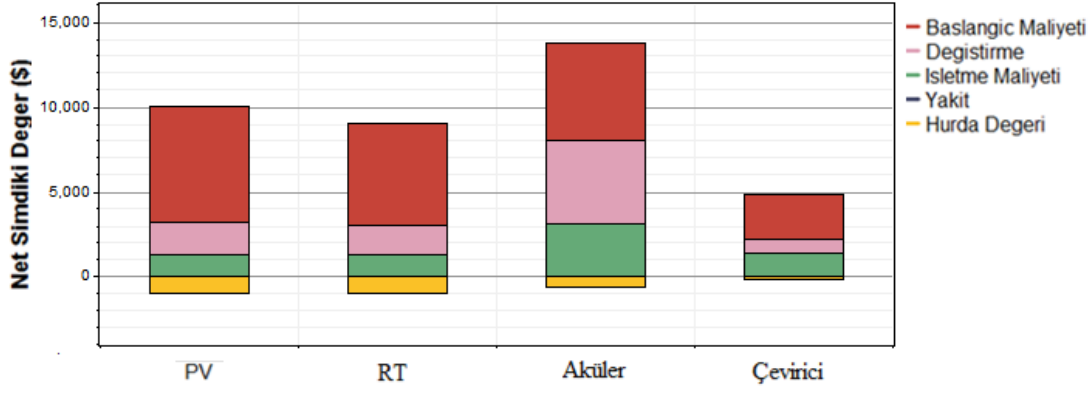
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,2	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4106	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,39	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	925	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,86	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4050	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,681	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	50,2	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	30,1	kWh
Otonomi	105	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	19456	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2057	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1653	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	10	kWh/yıl
Kayıplar	394	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1848	kWh/yıl
Beklenen Ömür	10	yıl



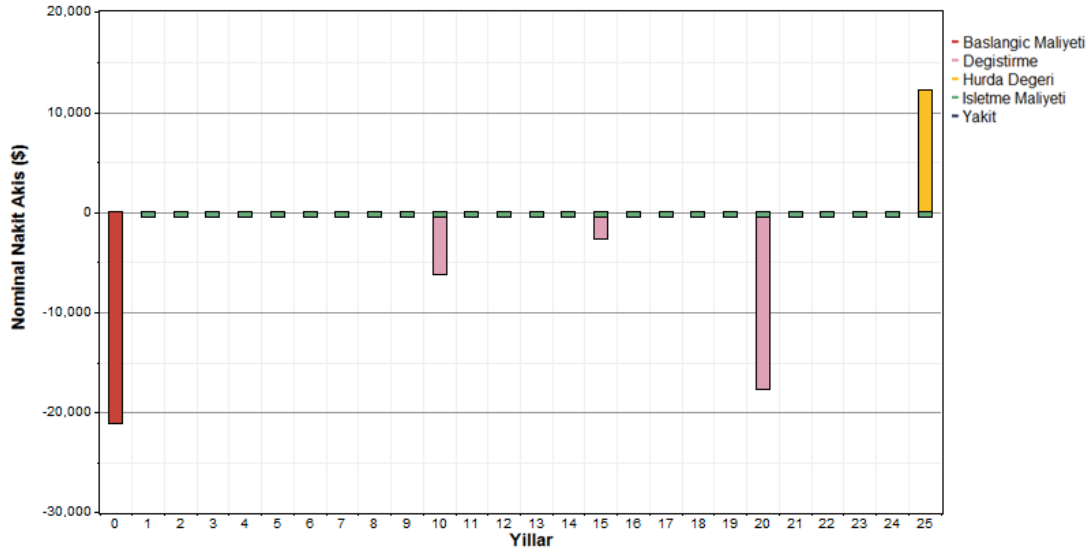
Şekil B.4 : Senaryo-11 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge B.5 : Senaryo-12 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

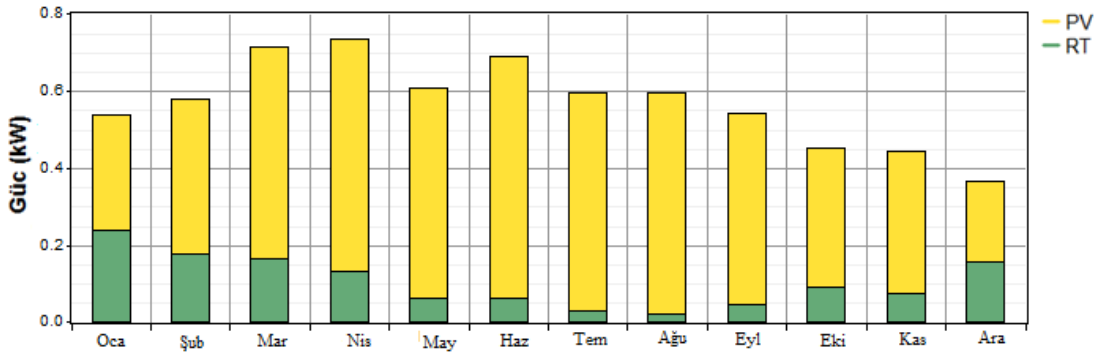
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,4	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,47	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,2	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4093	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,7	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,26	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,10	kW
Yıllık Üretilen Enerji	904	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,73	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4021	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,697	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	53,5	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	32,1	kWh
Otonomi	111	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	20736	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2060	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1656	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	11	kWh/yıl
Kayıplar	394	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1850	kWh/yıl
Beklenen Ömür	10	yıl



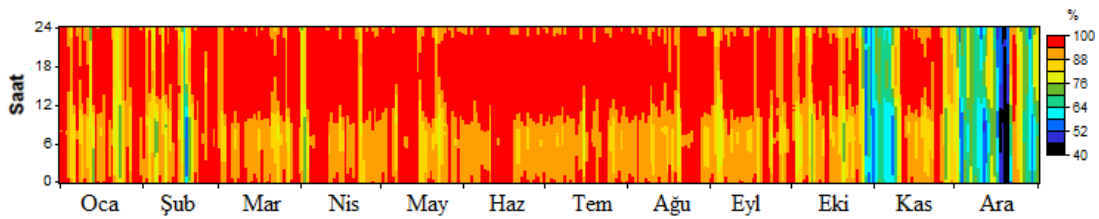
(a)



(b)



(c)

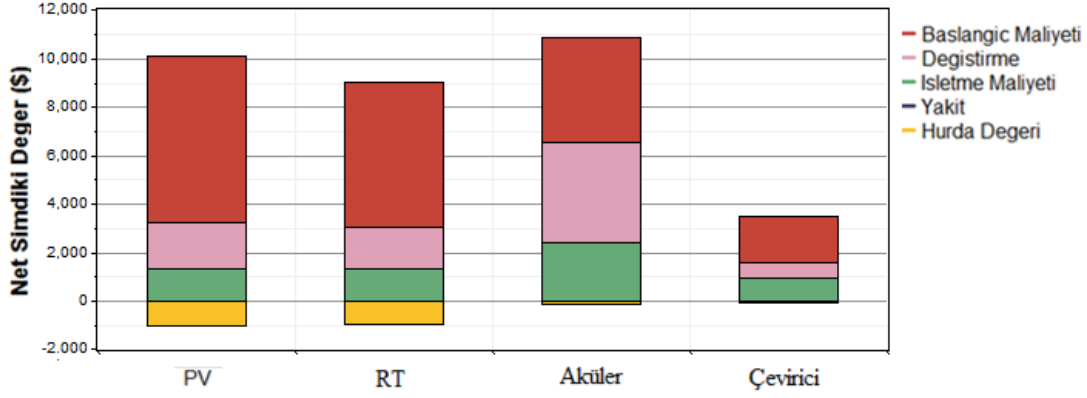


(d)

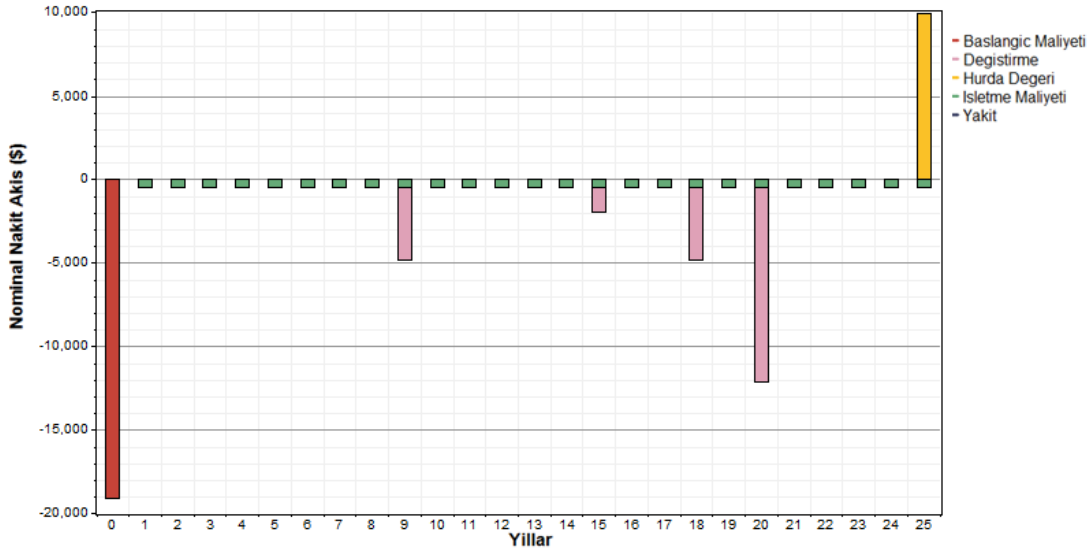
Şekil B.5 : Senaryo-12 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

EK C:**Çizelge C.1 : Senaryo-13 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.**

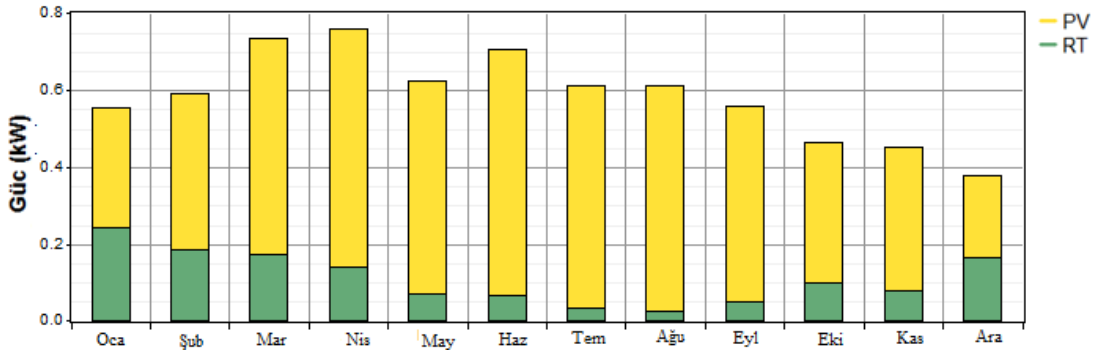
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,45	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,48	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,4	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4172	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,57	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	963	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,11	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4034	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,654	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,6	kWh
Otonomi	85,3	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15872	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	2016	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1618	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	390	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1809	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,77	yıl



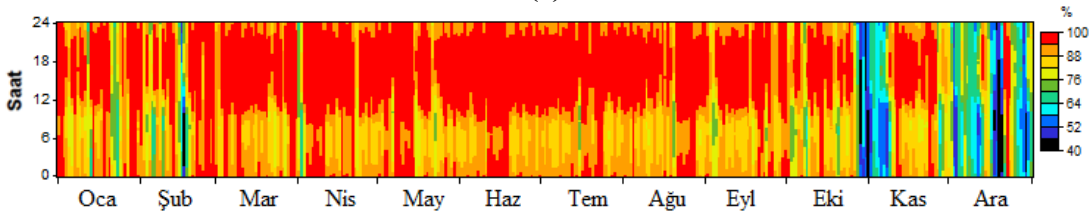
(a)



(b)



(c)

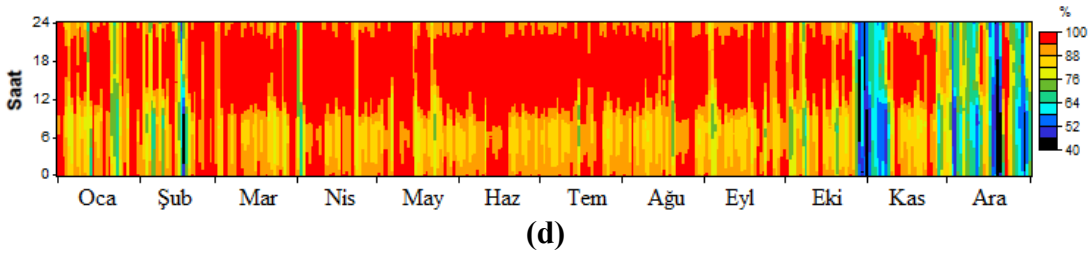
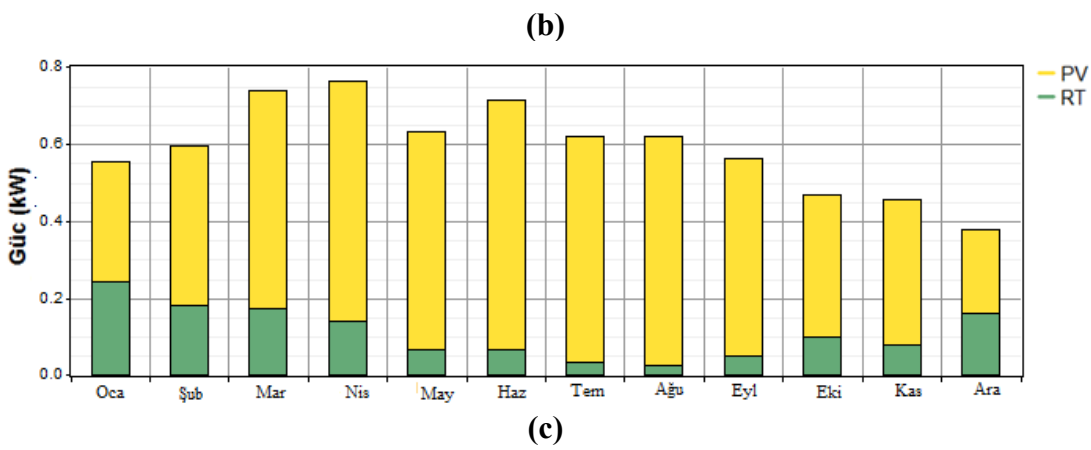
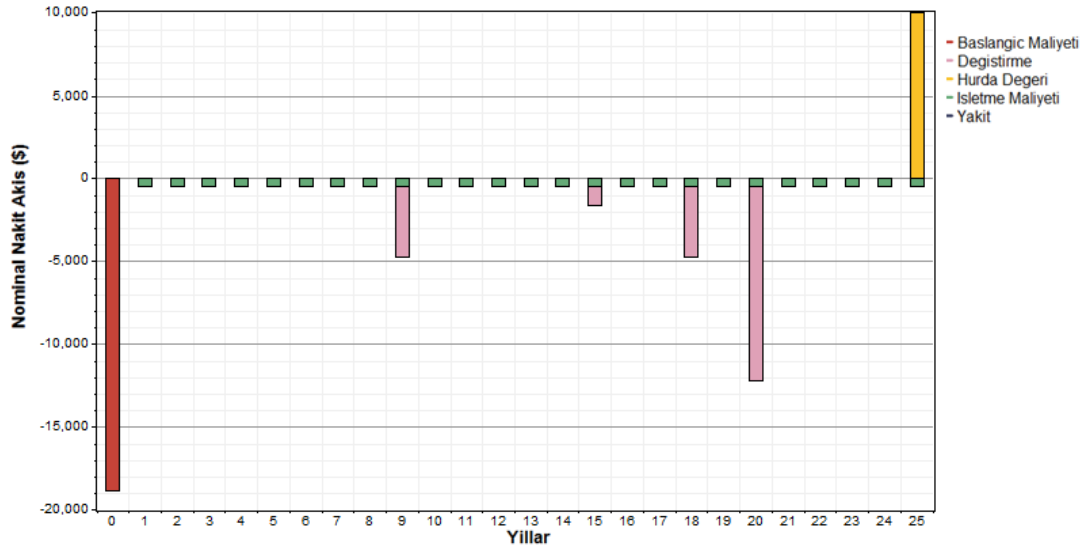
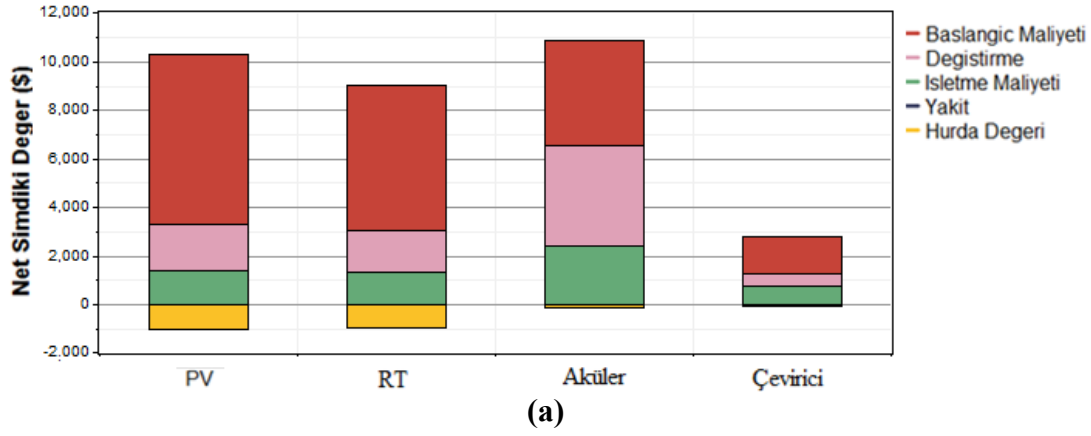


(d)

Şekil C.1 : Senaryo-13 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge C.2 : Senaryo-14 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

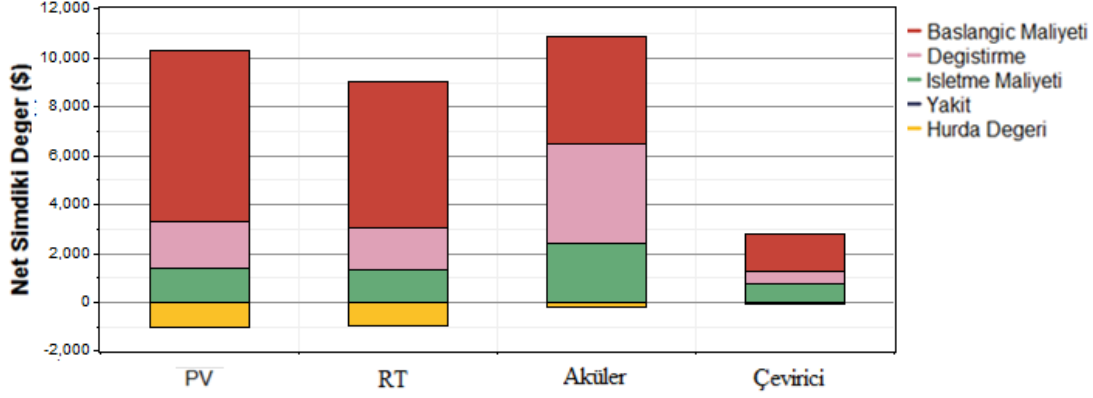
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,5	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,48	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,6	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4232	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,58	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	949	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	6,02	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4035	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,663	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,6	kWh
Otonomi	85,3	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15872	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1995	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1601	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	386	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1790	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,87	yıl



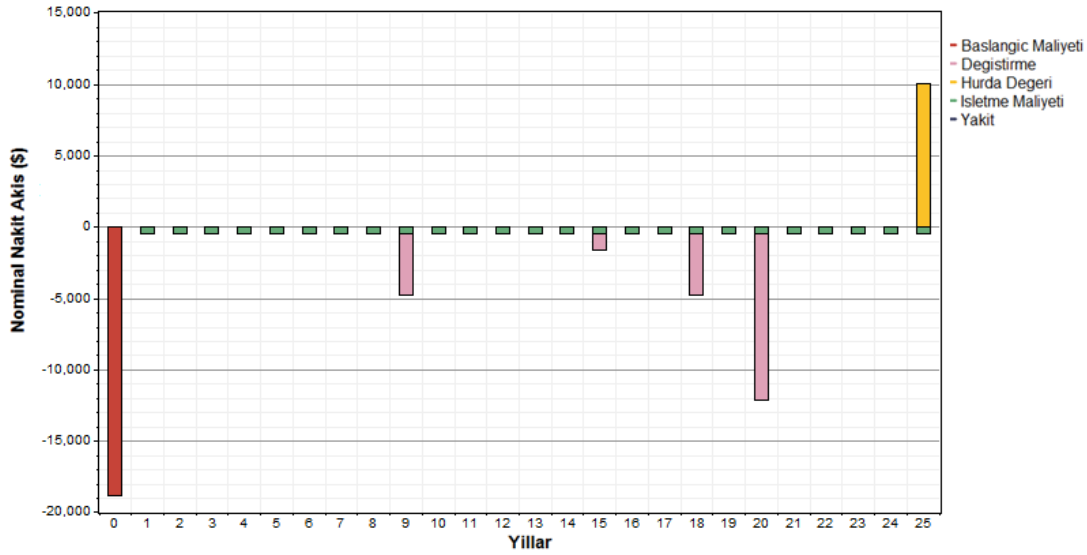
Şekil C.2 : Senaryo-14 için şebeke bağımsız sistemde **a)** bileşen bazında maliyetler **b)** nakit akış detayları **c)** aylık enerji üretim oranları **d)** aylara göre akü şarj durumu

Çizelge C.3 : Senaryo-15 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

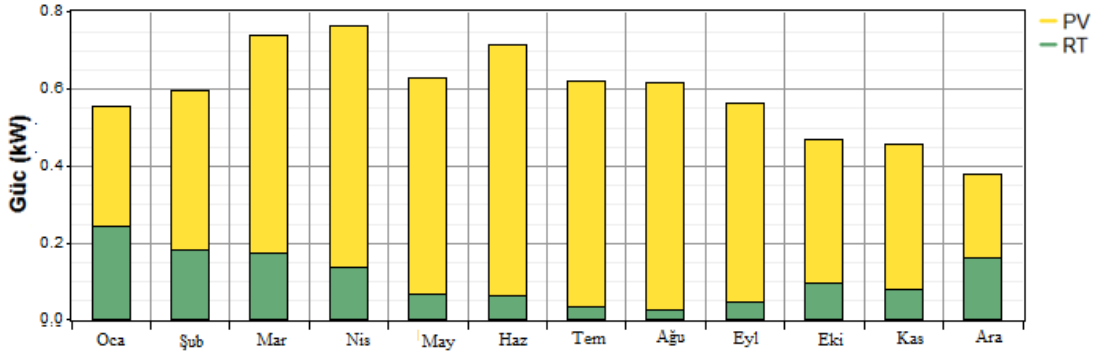
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,5	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,48	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,6	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4231	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,54	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	940	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,96	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4044	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,669	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,6	kWh
Otonomi	85,3	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15872	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1983	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1592	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	384	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1779	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,92	yıl



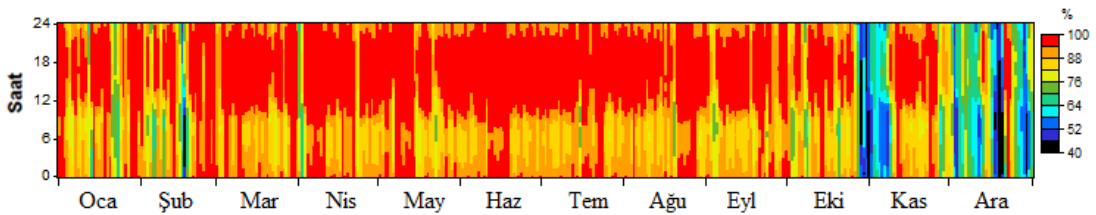
(a)



(b)



(c)

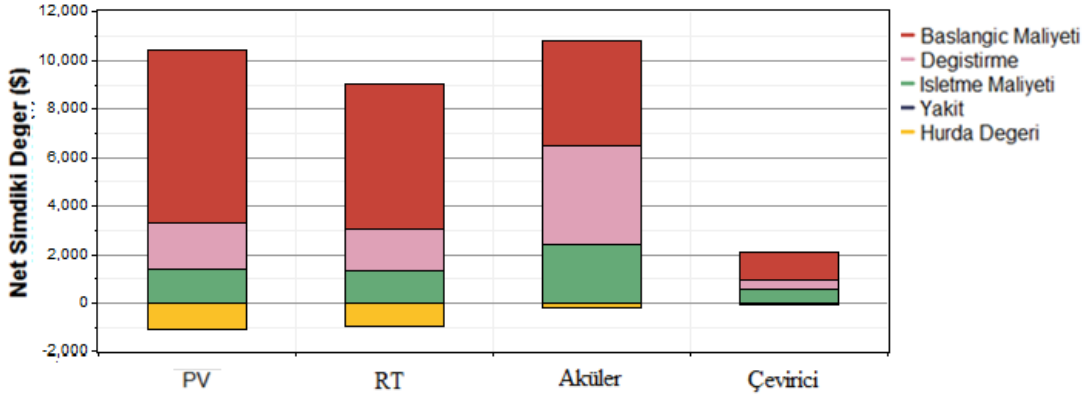


(d)

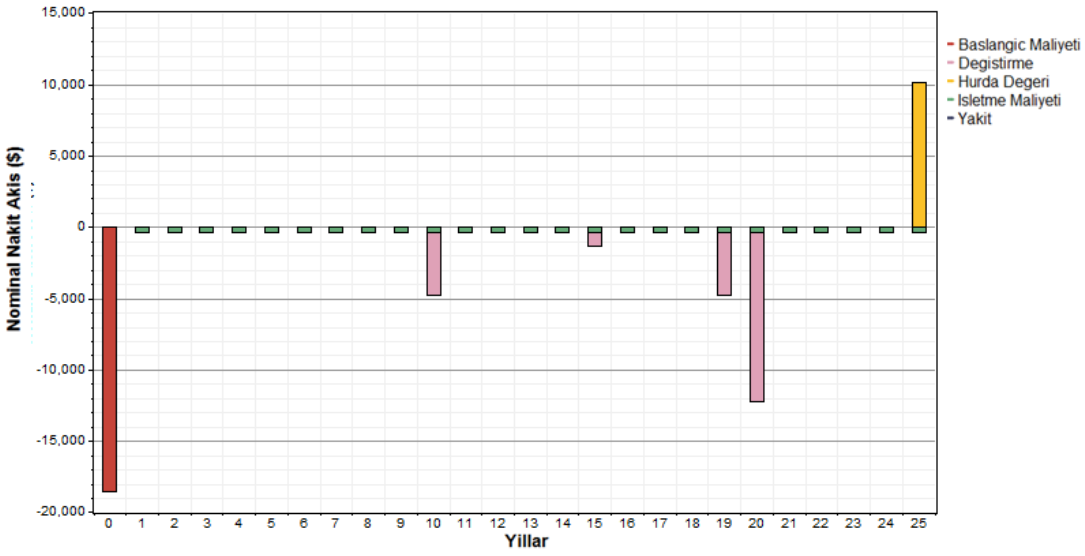
Şekil C.3 : Senaryo-15 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

Çizelge C.4 : Senaryo-16 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

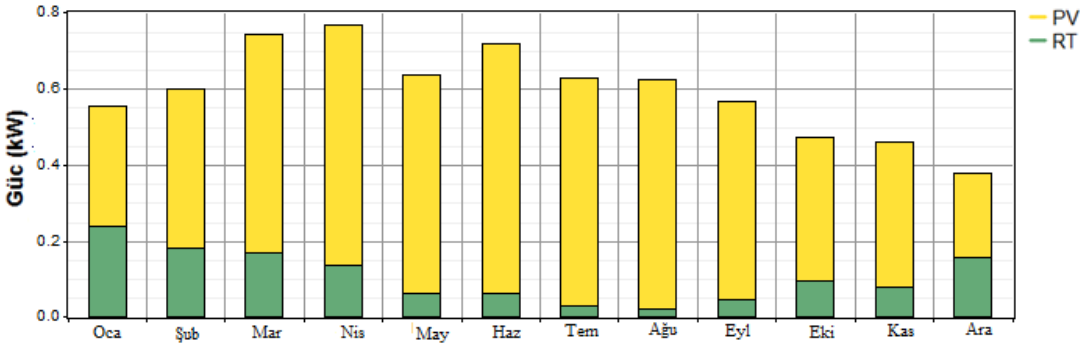
PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,55	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,49	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,7	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4287	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,8	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,54	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,11	kW
Yıllık Üretilen Enerji	925	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,86	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4050	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,681	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,9	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,6	kWh
Otonomi	85,3	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15872	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1961	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1574	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	380	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1760	kWh/yıl
Beklenen Ömür	9,02	yıl



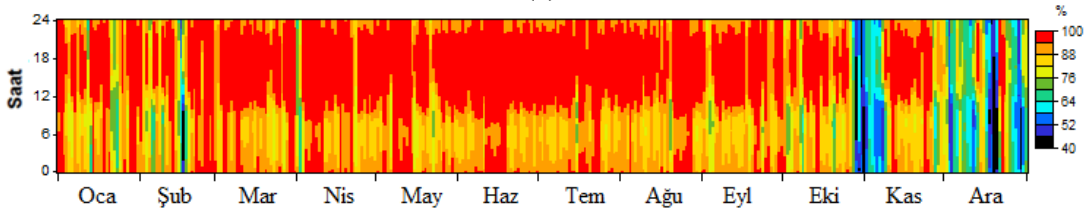
(a)



(b)



(c)

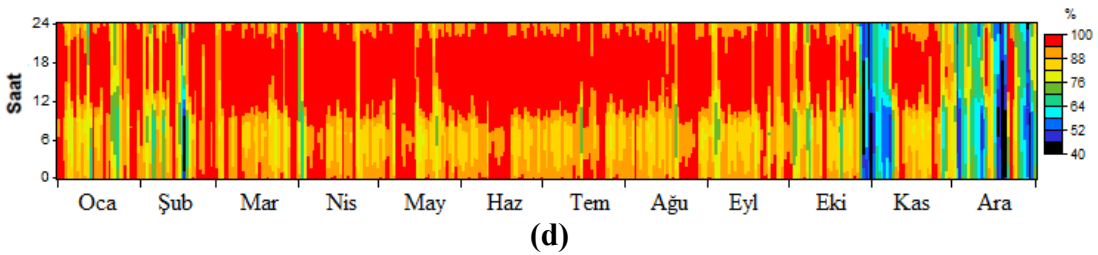
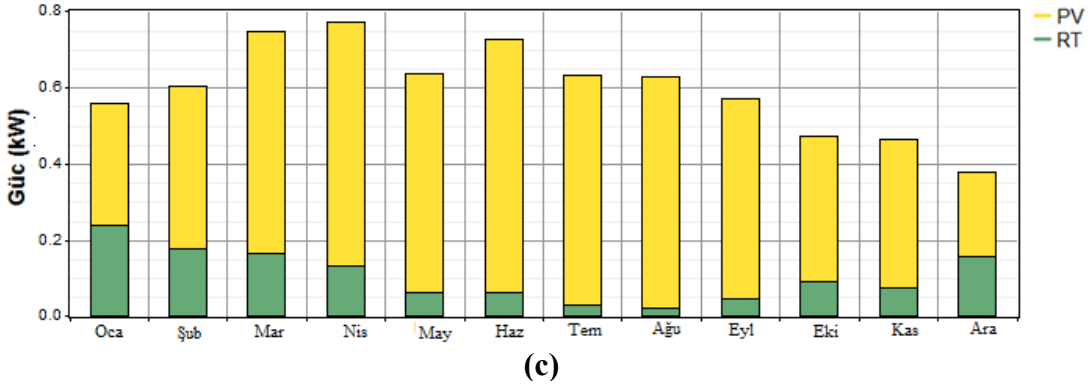
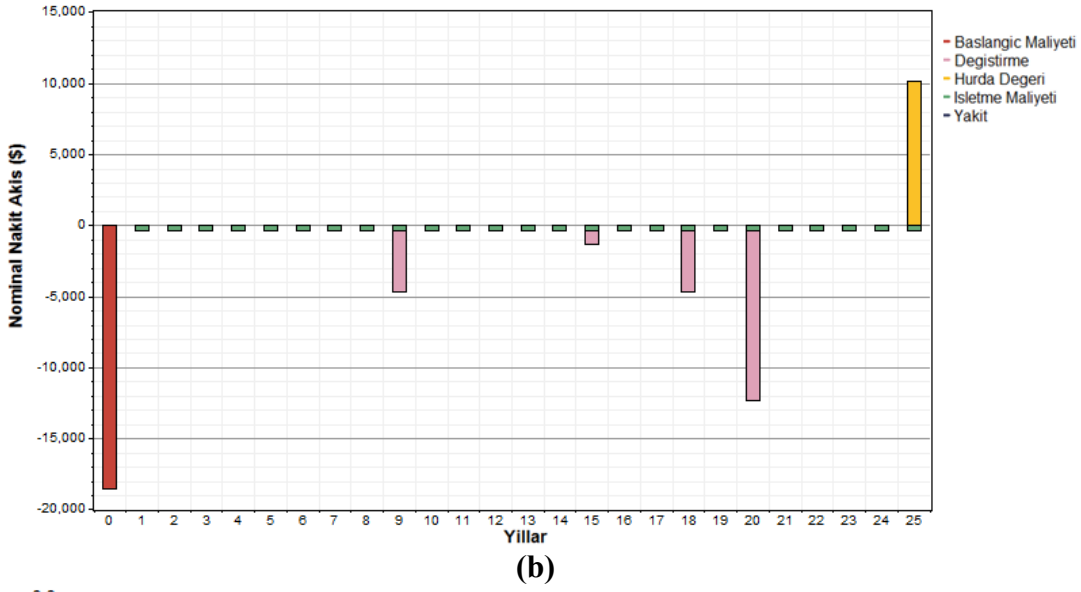
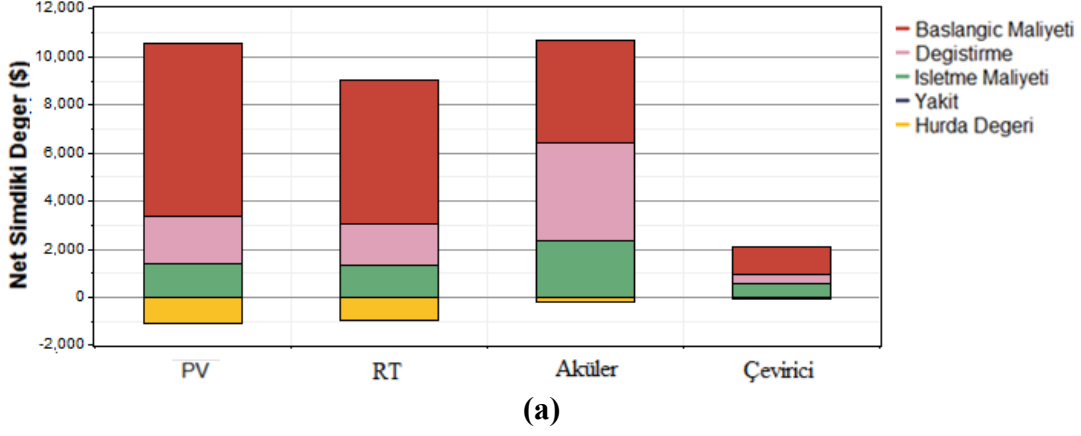


(d)

Şekil C.4 : Senaryo-16 için şebeke bağımsız sistemde **a)** bileşen bazında maliyetler **b)** nakit akış detayları **c)** aylık enerji üretim oranları **d)** aylara göre akü şarj durumu

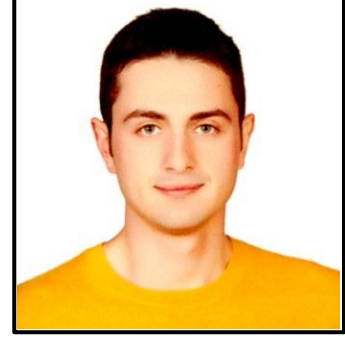
Çizelge C.5 : Senaryo-17 için şebeke bağlantısız sistemde PV, RT ve akü çıkış değerleri.

PV		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	3,6	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,49	kW
Günlük Üretilen Enerji	11,9	kWh/gün
Yıllık Üretilen Enerji	4333	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	13,7	%
Maksimum Çıkış Gücü	3,45	kW
Çalışma Süresi	4380	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,17	\$/kWh
RT		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Güç	1,8	kW
Ortalama Çıkış Gücü	0,10	kW
Yıllık Üretilen Enerji	904	kWh/yıl
Kapasite Faktörü	5,73	%
Maksimum Çıkış Gücü	1,77	kW
Çalışma Süresi	4021	saat/yıl
Enerji Maliyeti	0,697	\$/kWh
AKÜ		
Nicelik	Değer	Birim
Nominal Kapasite	40,3	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	24,2	kWh
Otonomi	83,9	saat
Ömrü Boyunca Üretilen Enerji	15616	kWh
Üretilen Enerjiye Birim Maliyet Etkisi	0,306	\$/kWh
Giren Enerji	1945	kWh/yıl
Çıkan Enerji	1562	kWh/yıl
Biriktirme Azalması	7	kWh/yıl
Kayıplar	376	kWh/yıl
Yıllık Üretilen Enerji	1746	kWh/yıl
Beklenen Ömür	8,95	yıl



Şekil C.5 : Senaryo-17 için şebeke bağımsız sistemde a) bileşen bazında maliyetler b) nakit akış detayları c) aylık enerji üretim oranları d) aylara göre akü şarj durumu

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Yusuf Serdar Çakır

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 07.08.1985

Adres: Beylerbeyi Mh. Şemsiefendi Sk. Şad Konak No.6 Üsküdar-İstanbul 34676

E-Posta: yscakir@gmail.com

Lisans: Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Ağaoğlu Enerji Grubu, Rüzgar Enerji Santralleri, Proje Yöneticisi, Mart 2008-Ekim 2010
- Akşan Enerji Taahhüt, Yönetim Kurulu Üyesi, Kasım 2010-Aralık 2012
- Goras Invest, Yönetim Kurulu Üyesi, Mart 2012-Şu anda
- Özmen Holding, Yatırım Yönetimi, Nisan 2013-Şu anda