



**ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ELEKTRİK ENERJİSİ TALEBİNİN
HİBRİD GÜÇ SİSTEMİYLE KARŞILANMASININ
TEKNİK VE EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ÖZ

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

İkinci Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Şubat 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ELEKTRİK ENERJİSİ TALEBİNİN
HİBRİD GÜÇ SİSTEMİYLE KARŞILANMASININ TEKNİK VE
EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

Osman ÖZ

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

İkinci Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Osman ÖZ tarafından hazırlanan “Endüstriyel Bir Tesisin Elektrik Enerjisi Talebinin Hibrid Güç Sistemiyle Karşılanmasının Teknik Ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/02/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

İkinci Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR

Başkan : Prof. Dr. Yüksel OĞUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi .. **İmza** ..

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi,
Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu .. **İmza** ..

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY
Sağlık Bilimleri Üniversitesi,
Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu .. **İmza** ..

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16 / 02 / 2023

Osman ÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ELEKTRİK ENERJİSİ TALEBİNİN HİBRİD GÜÇ SİSTEMİYLE KARŞILANMASININ TEKNİK VE EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Osman ÖZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

İkinci Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR

Günümüzde artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan bu talebi karşılamak amacıyla yeni enerji kaynaklarına yönelmek bir zorunluluk haline gelmiştir. Fosil yakıtların hızla tükeniyor olması ve insan oğlunun çevreye duyduğu hassasiyetten dolayı Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) bu gereksinime cevap verir hale gelmiştir. Bu kaynaklar ise atmosferik koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik ise enerji üretiminde "güvenirlilik" ve "süreklilik" gibi bir takım problemleri beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla hibrit güç sistemlerinin kullanımı önerilmektedir. Bu amaçla çalışmada kullanılmak üzere örnek bir büyükbaş hayvan çiftliği belirlenmiş. Bölgedeki sığır biyokütle rezervleri hibrit güç sistemlerine dâhil edilerek sistem güvenirliliği ve sürekliliği artırılması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada Afyonkarahisar'ın Salar köyünde bulunan sığır çiftliği işletmesinin elektrik enerji ihtiyacını karşılayacak güneş, rüzgâr ve biyogaz kaynaklı hibrit güç sistemleri modellenmesi üzerinde çalışılmıştır. Güneş enerjisi modellemeleri PVsyst ve PV*SOL programları ile, hibrit güç sistemi modellemesinin ise HOMER yazılımı programı kullanılarak modellemeler yapılmıştır. 20 yıllık hayvan nüfusu ve yük değer değişimleri Genetik Algoritma (GA) tarafından tahmin edilerek, sürdürülebilir enerji ve çevre

hedefleri dikkate alınarak hibrit güç sistemleri modeli farklı senaryolar altında incelenmiş ve ekonomik parametrelerdeki değişimler dikkate alınarak analizler yapılmıştır.

2023, xv + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hibrit güç sistemi, Yenilenebilir enerji sistemleri, HOMER, PVsyst, PV*SOL, Genetik algoritma.



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH OF THE ELECTRIC ENERGY DEMAND OF AN INDUSTRIAL FACILITY WITH HYBRID POWER SYSTEM

Osman ÖZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mustafa ŞAHİN

Co-Supervisor: Asst. Prof. Onur AKAR

Today, the demand for energy is increasing day by day due to the increasing population and developing technology. In order to meet this increasing demand, it has become a necessity to turn to new energy sources. Due to the rapid depletion of fossil fuels and the sensitivity of human beings to the environment, Renewable Energy Resources (RES) have come to respond to this need. These sources vary depending on atmospheric conditions. This change brings along some problems such as "reliability" and "continuity" in energy production. In order to eliminate these disadvantages, the use of hybrid power systems is recommended. For this purpose, a sample cattle farm was determined to be used in the study. It is aimed to increase system reliability and continuity by including cattle biomass reserves in the region into hybrid power systems.

In this study, the modeling of solar, wind and biogas based hybrid power systems to meet the electrical energy needs of the cattle farm in Salar village of Afyonkarahisar has been studied. Models of solar energy models were made with PVSyst and PV*SOL programs, and hybrid power system modeling using HOMER software. analyzed under different scenarios and analyzes were made taking into account the changes in economic parameters.

2023, xv + 87 pages

Keywords: Hybrid power system, Renewable energy systems, HOMER, Pvsyst,

PV*SOL, Genetic algorithm.



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN, ve eş danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Onur AKAR'a, yine tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Elek. Müh. Ramazan GÖK'e ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve sevgili eşim Ayşegül ÖZ'e ve oğlum Ediz Kaan ÖZ'e teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Osman ÖZ
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Yenilenebilir Enerji	3
2.1.1 Güneş Enerjisi	5
2.1.1.1 Dünyada Güneş Enerjisi.....	6
2.1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	8
2.1.1.3 Afyonkarahisar’da Güneş Enerjisi	10
2.1.2 Rüzgâr Enerjisi.....	11
2.1.2.1 Dünyada Rüzgâr Enerjisi.....	11
2.1.2.2 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi	13
2.1.2.3 Afyonkarahisar’da Rüzgar Enerjisi	14
2.1.3 Biyokütle Enerjisi	15
2.1.3.1 Dünyada Biyokütle Enerjisi	17
2.1.3.2 Türkiye’de Biyokütle Enerjisi	18
2.1.3.3 Afyonkarahisar’da Biyokütle Enerjisi.....	22
2.1.4 Hidroelektrik Enerjisi.....	25
2.1.5 Jeotermal Enerjisi.....	26
2.1.6 Gelgit ve Dalga Enerjisi	28
2.2 Genetik Algoritma	29
2.2.1 Genetik Algoritma Temel Kavramlar	29
2.2.2 Genetik Algoritmanın Çalışma Adımları.....	30
2.2.3 Genetik Algoritma Operatörleri.....	32
2.2.3.1 Kodlama	32
2.2.3.2 Seçim Operatörü.....	32
2.2.3.3 Çaprazlama operatörü	33

2.2.3.4 Mutasyon Operatörü.....	33
2.3 HOMER.....	34
2.3.1 Simülasyon.....	35
2.3.2 Optimizasyon	35
2.3.3 Hassaslık Analizi	35
2.4 PVSYST	36
2.5 PV*SOL	37
3. MATERYAL ve METOT	39
3.1 Yük Profili	39
3.2 Güneş Enerjisi.....	41
3.3 Rüzgar enerjisi	44
3.4 Bölgenin Biyoenerji Verileri ve Biyoenerji Generatörü.....	47
3.5 Batarya Kapasitesi	49
3.6 Konvertör	49
3.7 Genetik Algoritma İle Hayvan Tahmini	50
3.8 Pvsyst.....	53
3.9 PV*SOL.....	54
3.10 HOMER.....	55
4. BULGULAR	59
4.1 PV*SOL Modeli	59
4.2 Pvsyst Modeli	61
4.3 Hibrit Güç Sistemleri Modeli	68
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	77
6. KAYNAKLAR.....	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_{PV}	Modülün yüzey alanı (m^2),
B	Net değer faktörleri,
B_A	Biyogaz miktarı (m^3/a),
B_E	Biyogaz elektrik enerji değeri (kWh),
B_T	Kalorik biyogaz değeri (MJ),
B_o	hayvanın buzağılama oranı,
B_T	Kalorik biyogaz değeri (MJ),
B_{yo}	yeni doğan buzağuların yaşama oranı,
$C_{ann,t}$	Toplam yıllık maliyet (\$/yıl),
C_b	Biyogaz verimi (m^3/t),
C_{bat}	Bataryanın kapasite değeri (kWh),
C_{bg}	Biyo generatör maliyeti (\$),
C_c	Kalorik biyogaz katsayısı (MJ/m^3),
C_{cap}	Bileşen sermaye maliyeti (\$),
C_E	Elektrik enerji katsayısı (kWh/m^3),
C_i	Bileşen maliyeti (\$),
C_{inv}	Dönüştürücü maliyeti (\$),
$C_{O\&M}$	Bileşen bakım onarım maliyeti (\$),
C_{PV}	PV panel maliyeti (\$),
C_{rep}	Bileşen yenileme maliyeti (\$),
C_T	Toplam sistem maliyeti (\$),
C_{WT}	Rüzgâr türbin maliyeti (\$),
C_{Wh}	Batarya grubunun kapasite değeri (kWh),
COE	Enerji başına düşen birim maliyet (\$),
$CRF(i, N)$	Sermaye geri kazanım faktörü (%),
E_{AC}	Beslenen AC yük miktarı (kWh/yıl),
CV	Cash Value,
E_{DC}	Beslenen DC yük miktarı (kWh/yıl),
E_{grid}	Şebekeye satılan yıllık enerji miktarı (kWh/yıl),
E_t	Yıllık elektrik üretimi,
f	aktivasyon fonksiyonu,
f_{PV}	PV değer kaybı (indirgeme faktörü) (%),
G_o	gebelik oranı,
G_T	PV güneş enerjisi (kW/m^2),
G_T, stc	PV güneş enerjisi (standart test koşullarındaki) (kW/m^2),
H_{co}	doğan hayvanların cinsiyet oranları ve katsayısıdır.
i	Gerçek faiz oranı (%)
I_{isk}	Alternatif yatırımlarda kazanılabilecek iskonto oranı,
I_y	yıl,
K_i	Yenileme sayısı (adet),
M_{DW}	Günlük toplanabilir gübre miktarı (kg.gün/adet),

Simgeler (Devam)

M_W	Günlük ıslak gübre içeriği (kg.gün/adet),
N	Proje ömrü (yıl),
N_{bat}	Kullanılacak batarya sayısı (adet),
N_i	Bileşen sayısı (adet),
NPC	Net şimdiki maliyet (\$),
P_L	Hayvan popülasyon miktarı (adet),
P_{PV}	PV dizisinin çıkış gücü (kW),
P_{WT}	Rüzgâr türbini çıkış gücü (kW),
$P_{WT,stc}$	Rüzgâr türbini çıkış gücü (standart sıcaklık ve basınçta) (kW),
q	Basit faiz faktörü,
r	Fiyat değişim faktörü
RF	Yenilenebilir fraksiyon (%),
R_t	Yıl için (t) net bakiye (gelir - gider),
t	doğum süresince geçen yıl,
T	Sistemin Ömrü,
T_C	PV hücre sıcaklığı (mevcut zamanda) ($^{\circ}C$),
$T_{C,stc}$	PV standart test koşullarındaki hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$),
T_s	Hayvanların sığınaklarda kalma süresi (%),
α	Güç sıcaklık katsayısı ($\%/^{\circ}C$),
U_{anem}	Anemometre yüksekliğinde rüzgâr hızı (m/sn),
U_{hub}	Rüzgâr türbini yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/sn),
x	Girdi değerleri,
Y	Sonuç,
Y_{PV}	PV dizisinin nominal kapasitesi (standart test koşullarındaki) (kW),
Z	Ödeme serisi,
Z_{anem}	Anemometre yüksekliği (m),
Z_{hub}	Rüzgâr türbini göbek yüksekliği (m),
δ	Günlük değişim faktörü
η_{stc}	PV modülünün verimliliği (standart test koşullarında) (%),
ρ	Gerçek hava yoğunluğu (kg/m^3),
ρ_0	Standart sıcaklık ve basınçta hava yoğunluğu ($1,225 kg/m^3$),
λ	Kuvvet çarpanı.

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
BEPA	Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
COE	Enerji Başına Düşen Birim Maliyet
DC	Doğru Akım
EN	İşletmenin İhtiyaç Duyduğu Enerji
ERG	İşletmenin Şebekeden Aldığı Enerji
ESG	Şebekeye Satılan Enerji
ERS	İşletmenin Pv System Aldığı Enerji
FS	Finansal Durum Analizi
GA	Genetik Algoritma
GE	Üretilen Enerji
GEPA	Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GHI	Küresel Güneş Yatay Işınımı
HOMER	Birden Fazla Enerji Kaynakları İçin Hibrit Optimizasyon Programı
HGS	Hibrit Güç Sistemi,
LCOE	Satın Alınan Elektrik Enerjisinin Birim Maliyeti
NO	Azotmonoksit
NPC	Net Bugünkü Maliyet
PSCAD	Bilgisayar Destekli Güç Sistemleri Tasarımı
PV	Fotovoltaik,
REPA	Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerji Santralleri
SO₂	Kükürtdioksit
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
WT	Rüzgâr Türbini
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YES	Yenilenebilir Enerji Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 1990-2020 yılları arasında dünyadaki kaynaklara göre elektrik üretimi	1
Şekil 2.1 Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklara göre elektrik üretimi	3
Şekil 2.2 Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir, düşük karbonlu kaynaklar ve fosil yakıtların payı.....	4
Şekil 2.3 Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi	5
Şekil 2.4 Dünya güneşlenme potansiyeli	6
Şekil 2.5 2011-2021 yılları arasında PV santrallerinin yıllara göre kurulum miktarları ve küresel kapasitesi	7
Şekil 2.6 Ülkelere göre küresel güneş enerji kapasitesi	8
Şekil 2.7 Türkiye’nin GEPA	8
Şekil 2.8 Türkiye’nin aylık ortalama radyasyon değeri	9
Şekil 2.9 Türkiye’nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü.....	9
Şekil 2.10 Afyonkarahisar’ın global radyasyon değerleri.....	10
Şekil 2.11 Afyonkarahisar’ın toplam güneş radyasyonu haritası.....	11
Şekil 2.12 2011-2021 yılları arasında yıllara göre küresel kapasitesi ve yıllık ilaveler.	12
Şekil 2.13 2021 yılında yeni kara rüzgâr tesisleri	12
Şekil 2.14 Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı.....	13
Şekil 2.15 Rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç.....	14
Şekil 2.16 Afyonkarahisar yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı.....	14
Şekil 2.17 Afyonkarahisar yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu dağılımı	15
Şekil 2.18 Biyokütle çevrim yöntemleri ve teknolojileri	16

Şekil 2.19 2011-2021 yılları arasında küresel biyoelektrik üretimi	17
Şekil 2.20 Dünyadaki biyogaz üretimi	18
Şekil 2.21 biyokütlenin toplam kurulu güç içindeki oranı	19
Şekil 2.22 Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri	19
Şekil 2.23 Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretim santralleri	20
Şekil 2.24 Ülkemizdeki hayvan sayıları.....	21
Şekil 2.25 Ülkemizdeki hayvansal atık miktarı (ton/yıl)	22
Şekil 2.26 Afyonkarahisar ili Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri	23
Şekil 2.27 Afyonkarahisar ilindeki hayvan sayıları	24
Şekil 2.28 Afyonkarahisar ilindeki hayvansal atık miktarı (ton/yıl).....	25
Şekil 2.29 Türkiye’deki hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç.....	26
Şekil 2.30 Jeotermal enerji oluşum gösterimi	27
Şekil 2.31 Türkiye’nin jeotermal kaynakları ve uygulama haritası	27
Şekil 2.32 Türkiye’deki jeotermal kaynaklı kurulu güç.....	28
Şekil 2.33 GA akış şeması.....	31
Şekil 2.34 Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki	34
Şekil 2.35 PVsyst 7.1 programının kullanıcı arayüzü	37
Şekil 2.36 PV*SOL premium 2020 programının kullanıcı arayüzü	38
Şekil 3.1 İşletmenin uzaktan uydu görüntüsü	39
Şekil 3.2 İşletmenin yakından uydu görüntüsü	40
Şekil 3.3 İşletmenin günlük enerji tüketimi	40
Şekil 3.4 İşletmenin yıllık enerji tüketimi	41

Şekil 3.5 İşletmenin için ortalama güneş ışınlamı (GHI).....	42
Şekil 3.6 İşletmenin aylık ortalama sıcaklık verileri.....	43
Şekil 3.7 Modellemede kullanılan panelin akım-gerilim eğrisi	44
Şekil 3.8 İşletmenin ortalama rüzgar hızları	45
Şekil 3.9 Modellemede kullanılan türbinin güç eğrisi	46
Şekil 3.10 Biyogaz üretim aşamaları şeması.....	48
Şekil 3.11 Yıllık gübre verileri.....	48
Şekil 3.12 Modellemede kullanılan konvertör kullanım oranı ve verimlilik değerleri .	50
Şekil 3.13 Hayvan sayısı değişiminin Genetik algoritma akış şeması	51
Şekil 3.14 20 yıllık hayvan sayısı.....	53
Şekil 4.1 Çatıya PV modül yerleşim planı	59
Şekil 4.2 İşletmenin ufuk çizgisi açıları	61
Şekil 4.3 Ufuk çizgisi	62
Şekil 4.4 Eğim açısı ve azimut açısı.....	62
Şekil 4.5 Düzlem eğimi ve düzlem yönlendirmesi transpozisyon faktörü.....	63
Şekil 4.6 1.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması	65
Şekil 4.7 5.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması	66
Şekil 4.8 10.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması	66
Şekil 4.9 15.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması	67
Şekil 4.10 20.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması	67
Şekil 4.11 On-grid HGS modellemesi.....	68
Şekil 4.12 Sistem konfigürasyonlarını gösteren optimizasyon sonuçları.....	69

Şekil 4.13 1. Yıldaki elektrik üretim değerleri.....	70
Şekil 4.14 5.Yıldaki elektrik üretim değerleri.....	71
Şekil 4.15 10. Yıldaki elektrik üretimi	71
Şekil 4.16 15. Yıldaki elektrik üretimi	72
Şekil 4.17 20. Yıldaki elektrik üretimi	73
Şekil 4.18 Emisyon değerleri	75
Şekil 4.19 HGS'nin yıllara göre ekonomik analizi	76



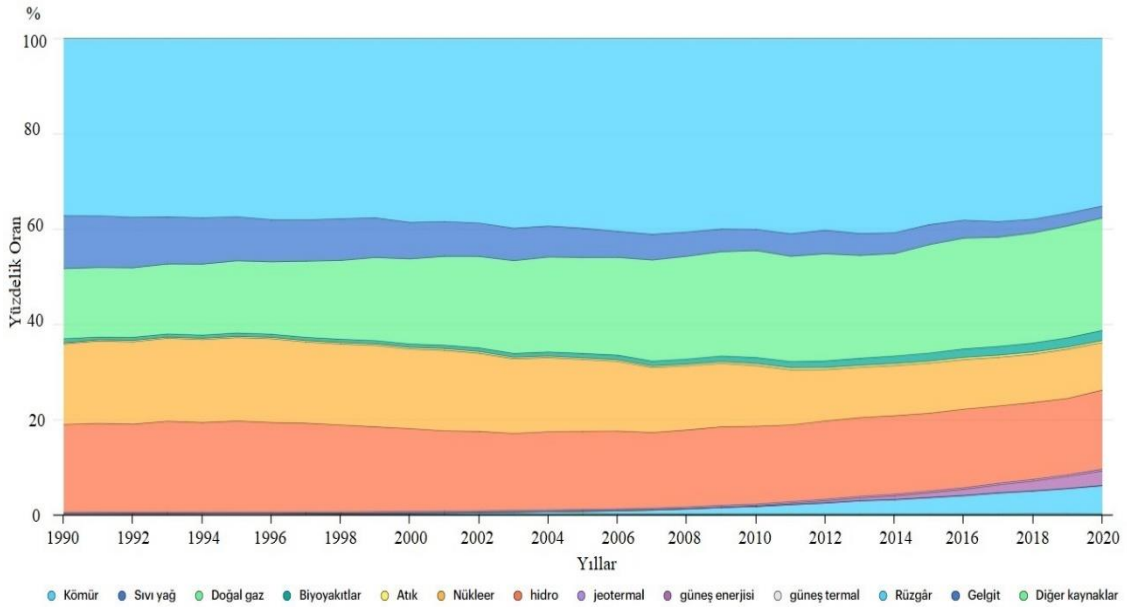
ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı	5
Çizelge 4.1 Panel ve invertör özellikleri	60
Çizelge 4.2 PV*SOL de sonuçların yıllara göre karşılaştırması	60
Çizelge 4.3 PVsyst'de sonuçların yıllara göre karşılaştırması	63
Çizelge 4.4 HOMER' de PV Sistem sonuçların yıllara göre karşılaştırması	64
Çizelge 4.5 HOMER, PVSyst, PV*SOL güneş enerjisinden elektrik üretim	64
Çizelge 4.6 Birim maliyetleri	69
Çizelge 4.7 HOMER da yıllara göre genel sonuçlar	74
Çizelge 4.8 HGS de yıllara göre şebekeye elektrik satışı.....	74

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus ve sanayileşme arttığı için enerji ihtiyacı da hızlı bir şekilde artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerji özellikle elektrik enerjisidir. Enerji sayesinde temel yaşam gereksinimleri de hızlı bir şekilde karşılanmaktadır. Temel yaşam gereksinimlerini daha kaliteli ve daha verimli kullanmak için sürekli enerji gerekmektedir. Neredeyse Elektrik enerjisinin lazım olmadığı hiçbir alan kalmamıştır. Bu sebeple hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

Şehirlerden uzak, köylerde ve kırsal kesimlerde bulunan yerleşkelerin elektrikleştirilmesi, gelişmekte olan uluslarda kaliteli bir yaşamın artırılmasında atılan en önemli ve büyük adımlardandır (İbrahim 2020). Şekil 1.1’de 1990-2020 yılları arasında dünyada kaynaklara göre elektrik üretim oranları % olarak verilmiştir (İnt. Kyn.1). Buna göre yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik oldukça azdır. Fosil yakıtlarla üretilen elektrik oranı oldukça yüksektir. Fosil yakıtların kaynakları gün geçtikçe azalması, çıkarılması maliyetli olması ve çevreye zarar vermesinden dolayı başka kaynaklara yönelim artmaktadır. Bu kaynaklarda yenilenebilir enerjiyi olan talebi arttırmaktadır.



Şekil 1.1 1990-2020 yılları arasında dünyadaki kaynaklara göre elektrik üretimi.

Araştırmalara göre bir yerleşim alanında kaliteli ve aynı zamanda kesintisiz elektrik enerjisinin sağlanması yenilenebilir hibrit g c sistemleri ile mümkündür. Bu hibrit sistemlerde ise maliyetin en aza indirilmesi temel amaçtır (Kotb 2020). Hibrit g c sistemi (HGS) birden fazla enerji kaynağı, depolama cihazları ve çeviriciler gibi sistem araçları içerebilir. Sistem alışma bakımından ise şebekeye bağlı veya şebekeden ayrı olarak tasarlanabilir ( zt rk vd. 2021).

Yukarıda bahsi geçen çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda büyük bir çoğunluğunun büyükbaş, küçükbaş hayvanların ve kümes hayvanlarının atıklarından biyogaz elde edilmesi ve diğer fotovoltatik, Rüzgâr vb. YEK ile HGS modellemeleri üzerine olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda ise büyükbaş hayvan atıklarının sadece gazlaştırması üzerine ekonomik ve teknik araştırmalar yapıldığı görülmektedir.

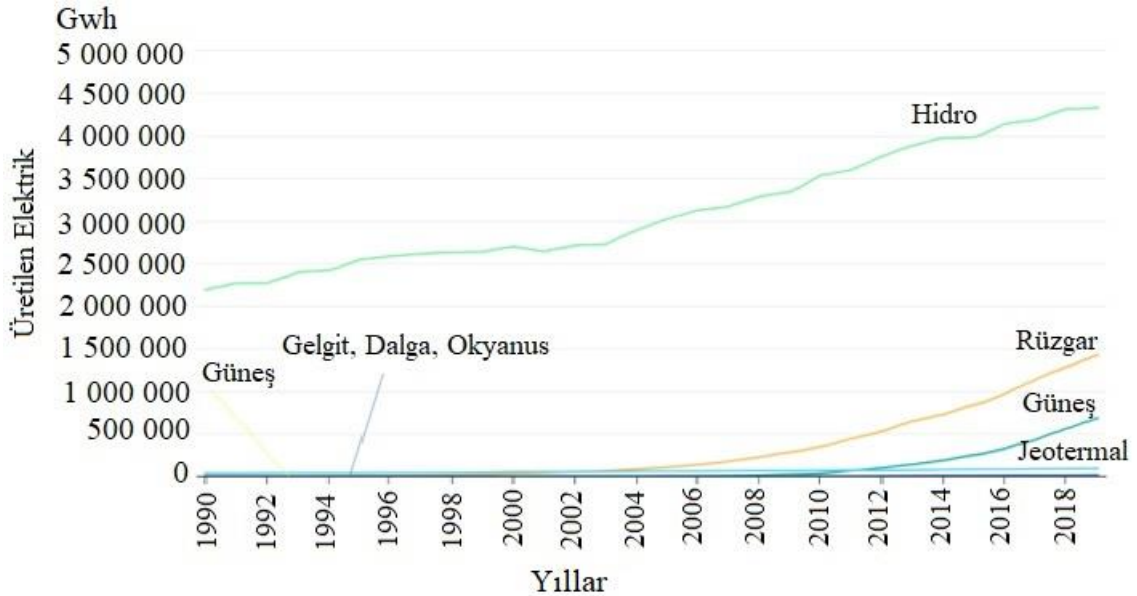
Bu tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin amacı, literatürdeki benzer örnekler verilmiştir. İkinci bölümde yenilenebilir enerji, hidroelektrik, jeotermal, gelgit ve dalga enerjileri hakkında ve güneş, rüzgar, biyokütle enerjileri ile ilgili dünyadaki, Türkiye'deki ve Afyonkarahisar'daki durumları hakkında bilgi verilmiştir. Genetik algoritma ile ilgili kavramlar, çalışma prensibi ve operatörleri ile ilgili bilgi verilmiştir. HOMER, PVsyst ve PV*SOL programlarını da değinilmiştir.   nc  bölümde yük profili, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz enerjisi, batarya, konvertör hakkında bilgi verilmiştir. Genetik algoritma ile hayvan sayısı tahmini yapılmıştır. PVsyst, PV*SOL ve HOMER programı ile simülasyon yapılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan simülasyon ve sonuçları analiz edilmiştir. Beşinci bölümde ise programlardan elde edilen sonuçlar değerlendirmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Çalışmanın bu bölümde yenilenebilir enerji, hidroelektrik, jeotermal, gelgit ve dalga enerjileri hakkında ve güneş, rüzgar, biyokütle enerjileri ile ilgili dünyadaki, Türkiye’deki ve Afyonkarahisar’daki durumları hakkında bilgi verilmiştir. Genetik algoritma ile ilgili kavramlar, çalışma prensibi ve operatörleri ile ilgili bilgi verilmiştir. HOMER, PVsyst ve PV*SOL programlarını da değinilmiştir.

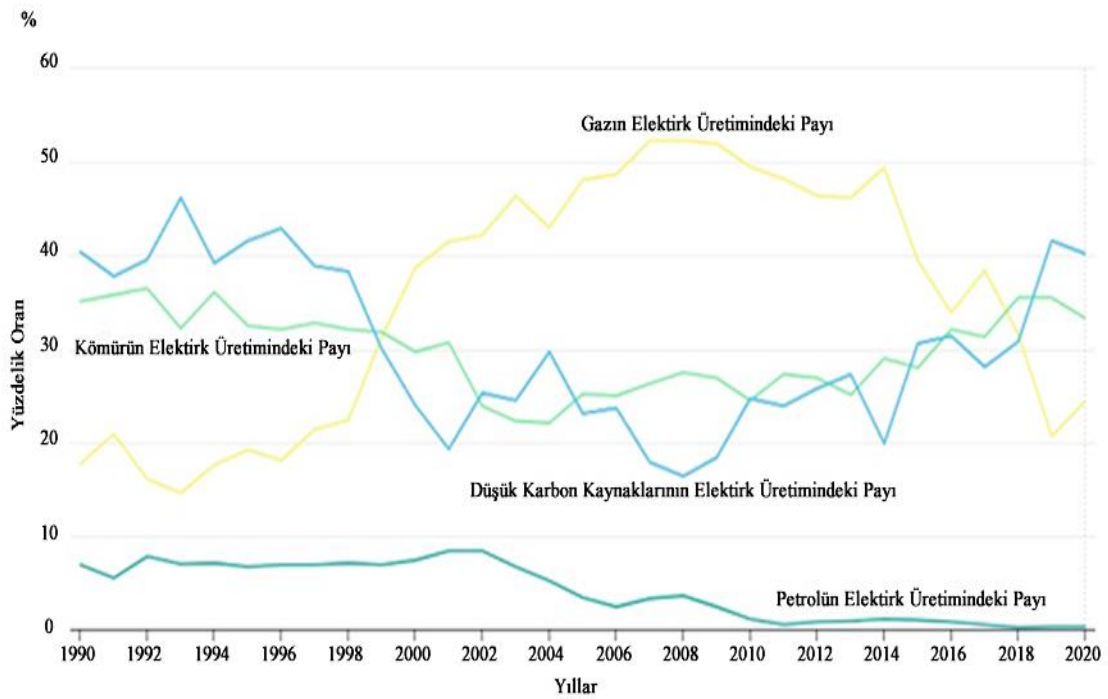
2.1 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, doğada sınırsız olan doğaya zarar vermeden ve kendini devamlı bir şekilde yenileyebilen enerjidir. Türkiye’de diğer birçok ülkede olduğu gibi yenilenebilir enerji üretim ve tüketimine verilen değer katlanarak artmıştır. Bu nedenle dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerjilerin değeri zaman içinde katlanarak artması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları enerjide dışa bağımlılığı azaltmada etkin rol oynar. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak biyokütle, güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, gelgit dalga okyanus ve hidrojen enerjisi olarak gösterilebilir (Demirgil ve Orun 2021).



Şekil 2. 1 Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklara göre elektrik üretimi (İnt. Kyn. 1).

Dünyada elektrik üretiminde yenilenebilir enerjide söz sahibidir. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı verilmiştir. Buna göre 2019 yılında en fazla hidroelektrik enerjisinde elektrik üretilmiştir. Hidroelektrik enerjiden 4 328 966 GWh elektrik üretilmiştir. Hidroelektrik enerjisini sırasıyla rüzgar enerjisi, güneş PV enerji, jeotermal enerji, gelgit, dalga ve okyanus enerjileri son olarak da güneş termal enerji takip etmektedir. 2002 yılından önce jeotermal enerjiden elde edilen elektrik rüzgar enerjisinden fazladır. Ama 2002 yılından sonra rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik hızla artmaktadır.



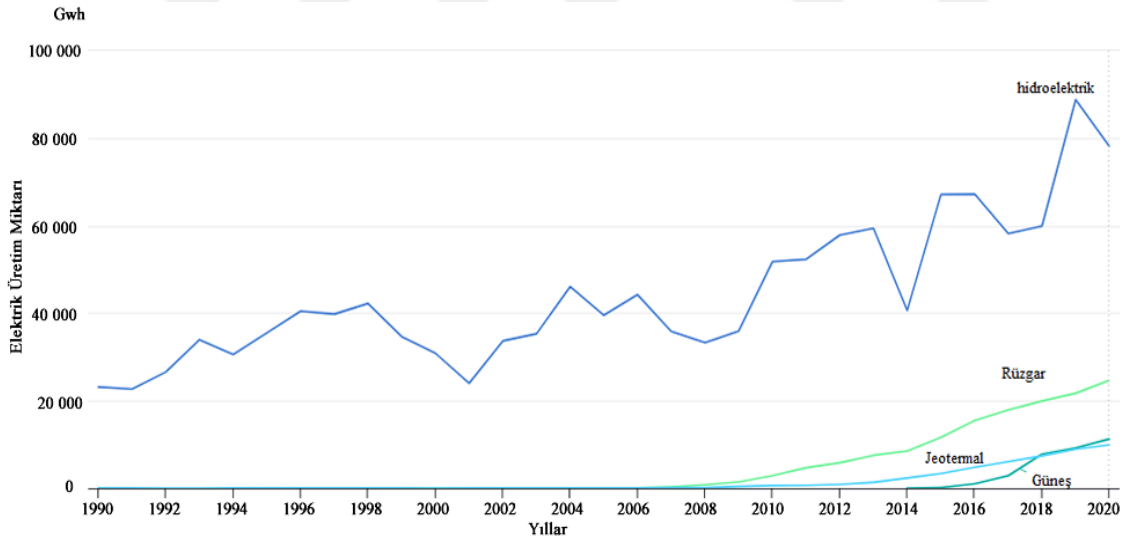
Şekil 2. 2 Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir, düşük karbonlu kaynaklar ve fosil yakıtların payı (İnt. Kyn. 1).

Türkiye’deki elektrik üretiminde enerji kaynaklarının payı Şekil 2.2’de verilmiştir. 1990-1999 yılları arasında en fazla paya hidroelektrik yani yenilenebilir enerji kaynağı vardır. 1999 yılından sonra elektrik üretiminde doğal gazın payı yıllar geçtikçe artmıştır. 2018 yılından sonra ise tekrardan hidroelektrik enerji ile elektrik üretiminin payı %35’lerin üzerine çıkarak diğer enerji kaynaklarından fazla kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de 2022 Eylül ayı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verileri Çizelge2.1’de verilmiştir. (İnt. Kyn.2)

Çizelge 2. 1 Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (İnt. Kyn.2).

Enerji Kaynakları	Yüzdelik Oranları(%)
Hidrolik	30,9
Doğal gaz	24,7
Kömür	20,6
Rüzgar	10,9
Güneş	8,8
Jeotermal	1,6
Diğer	2,4

Ülkemizin kurulu gücü 2022 yılının Eylül ayına göre 102 281 MW'a ulaşmıştır. Çizelge 2.1'e göre ülkemizde üretilen enerjinin çoğu yenilenebilir enerjiden elde edilmiştir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi Elde edilen yenilenebilir enerjiyi en fazla hidroelektrik kaynaklardan elde edilmiştir.



Şekil 2. 3 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi (İnt. Kyn.1).

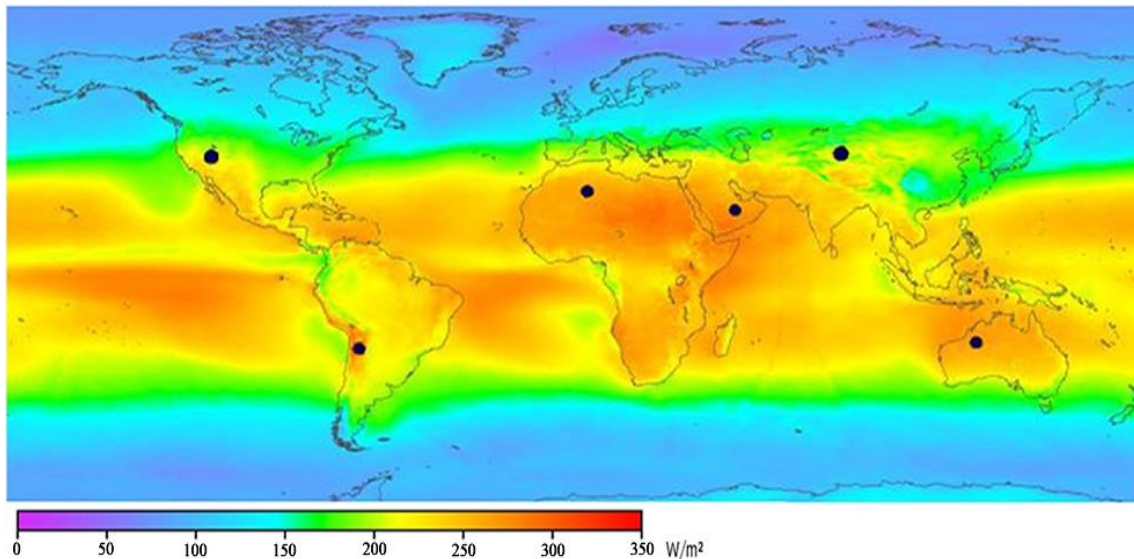
2.1.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi; sürekli, ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi çevre dostudur. Çevreyi kirletmeyen ve zarar vermeyen özelliğiyle öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi diğer

enerji türlerine dönüştürülebilen bir enerjidir (İkiz 2020). Ülkemizin konumu gereği güneşten yeteri kadar yararlanılmaktadır. Ancak ülkemizin her yerinde aynı oranda güneş enerjisinden yararlanılmamaktadır. Bunun sebebi ise iklim koşulları, güneş ışınlarının geliş açısı gibi faktörlerdir.

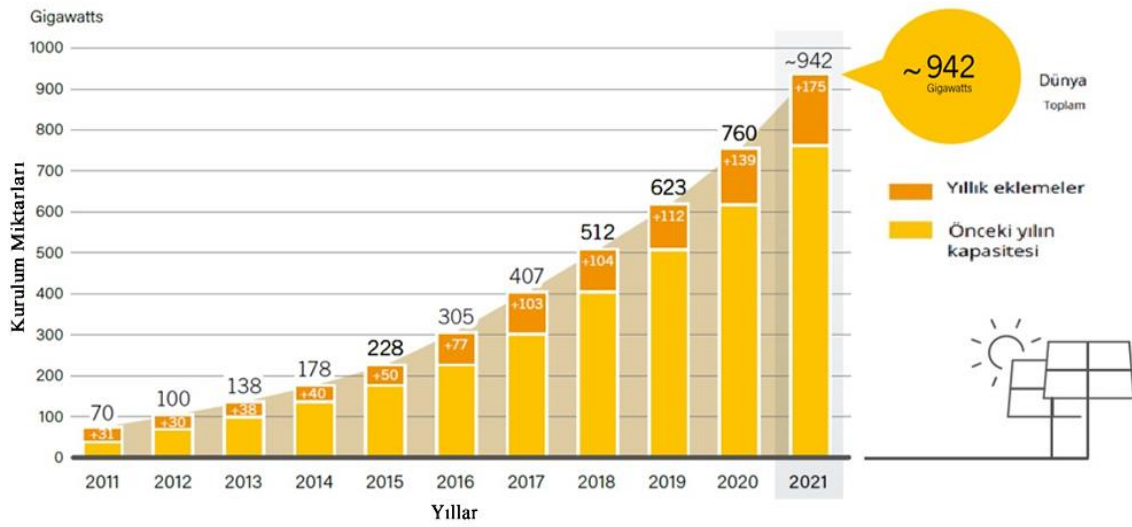
2.1.1.1 Dünyada Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, dünya enerji ihtiyacı için çok önemli bir yerdedir. Dünyanın en fazla güneş enerjisinden faydalanan bölgesi güneş kuşağıdır. Güneş kuşağı ekvatorun 3885 km kuzey ve güneyindeki alanlardır. Güneş radyasyonunun yıllık ortalaması kurak bölgeler için 2 000-2 500 kWh/m² iken diğer enlemler için 1000-1500 kWh/m² olarak değişmektedir. Güneş radyasyonu Ekvator bölgeleri için 2 200 kWh/m², Akdeniz bölgesi için 1700 kWh/m², Orta Avrupa için 1 000 kWh/m² ve Kuzey Avrupa için ise 800 kWh/m² olarak gösterilebilir (Dursun 2016). Dünyada güneş enerji tesisleri için en fazla yatırım Amerika ve Avrupa’da yapılmıştır. Afrika ve Avustralya ülkelerinde güneşlenme potansiyeli fazla olmasına rağmen güneş enerjisi yatırımlarına gereği kadar önem verilmemiştir (Özdemir 2012). Şekil 2.4’de görüldüğü üzere sarı ve kırmızı tonlarla belirtilmiş yerler güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğu yerlerdir.



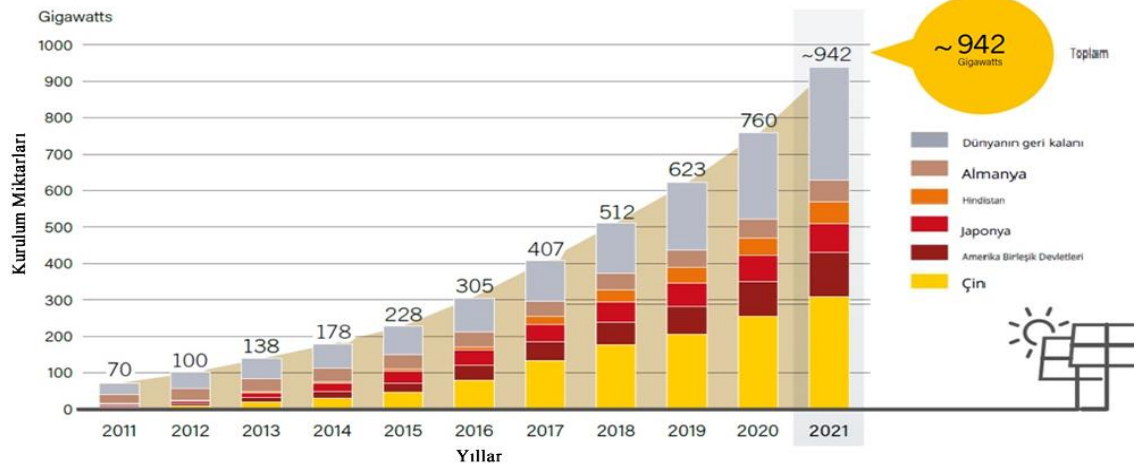
Şekil 2. 4 Dünya güneşlenme potansiyeli (Özdemir 2012).

Dünyadaki PV santrallerinin kapasitesi 942 GW'a ulaşmıştır. 2021 yılında tahmini 175 GW daha kurulu kapasitenin üzerine eklenmiştir. PV modül üretiminde kullanılan hammaddelerin maliyetleri artmasına rağmen güneş enerji sektöründe istikrarlı büyüme devam etmiştir. Geçtiğimiz 10 yıllık PV santrallerinin yıllara göre kurulum miktarları ve küresel kapasitesi Şekil 2.5'de verilmiştir. Dünyada güneş Enerjisi kurulumunun yaklaşık %52'si Asya ülkelerinde bulunmaktadır. En fazla kurulu PV santralleri ise Çin'dedir. Çin'i sırasıyla Amerika, Japonya Hindistan ve Almanya izlemektedir (İnt. Kyn.3).



Şekil 2.5 2011-2021 yılları arasında PV santrallerinin yıllara göre kurulum miktarları ve küresel kapasitesi(İnt. Kyn.3).

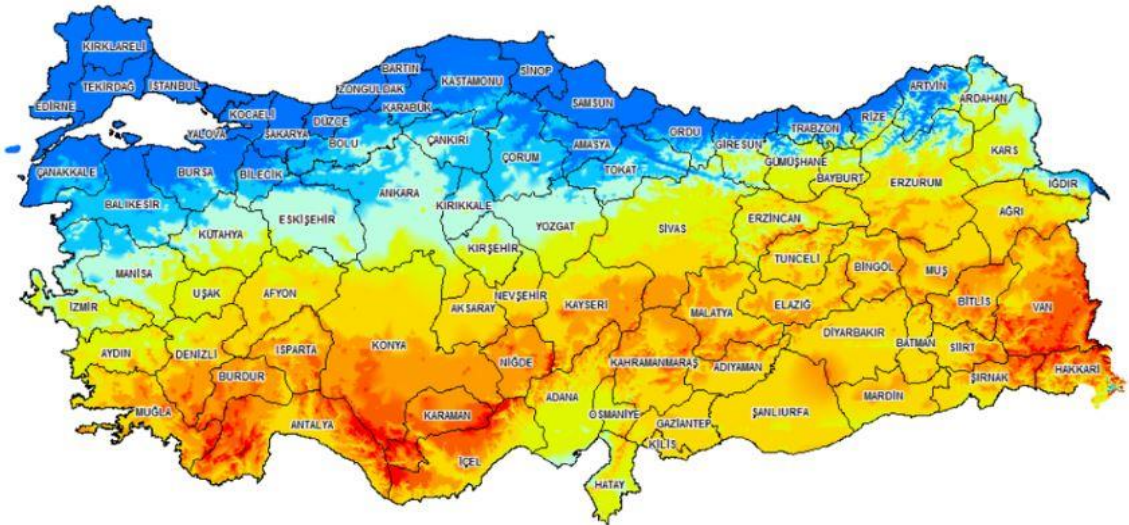
2011-2021 yılları arasındaki ülkelere göre küresel güneş enerji kapasitesi Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6 Ükelere göre küresel güneş enerji kapasitesi (İnt. Kyn.3).

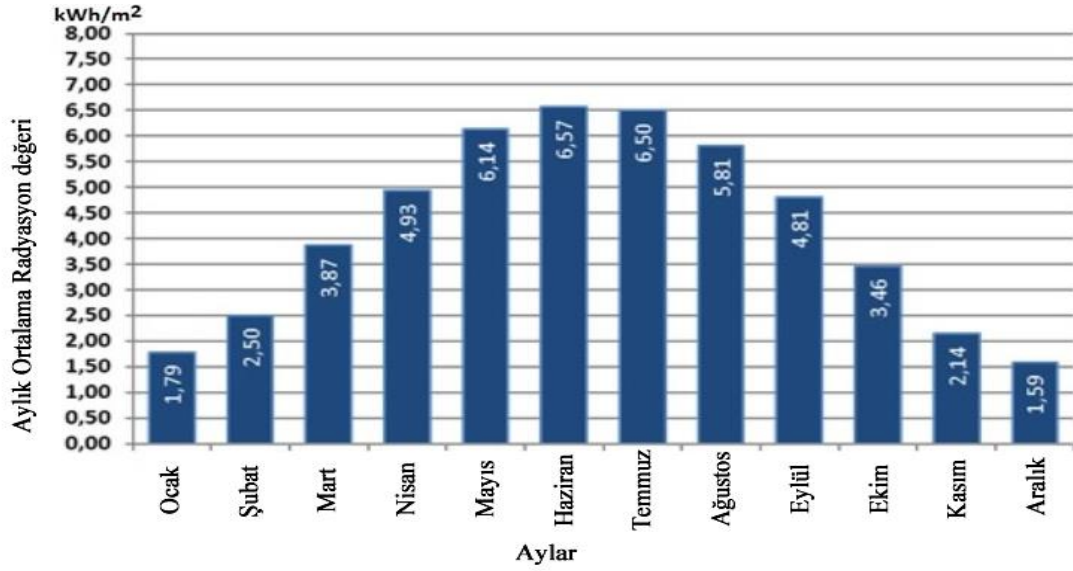
2.1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye, dünyada bulunduğu konumdan dolayı güneş enerji potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. Güneş Enerji Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresi ortalama 2741 saattir. Ortalama yıllık ışınlım değeri ise 1527,49 kWh/m²’dir. Şekil 2.7’ye göre koyu mavi olan bölgeler yani Türkiye’nin kuzeyinde kalan yerler 1400- 1450 kWh/m²-yıl en az güneş radyasyonuna sahip, koyu kırmızı olan yerler ise 1800- 2000 kWh/m²-yıl en fazla güneş radyasyonuna sahip yerlerdir. Türkiye’nin güneş enerjisine dayalı kurulu gücü 2022 yılının ilk yarısına göre 8479 MW’dır (İnt. Kyn.2).



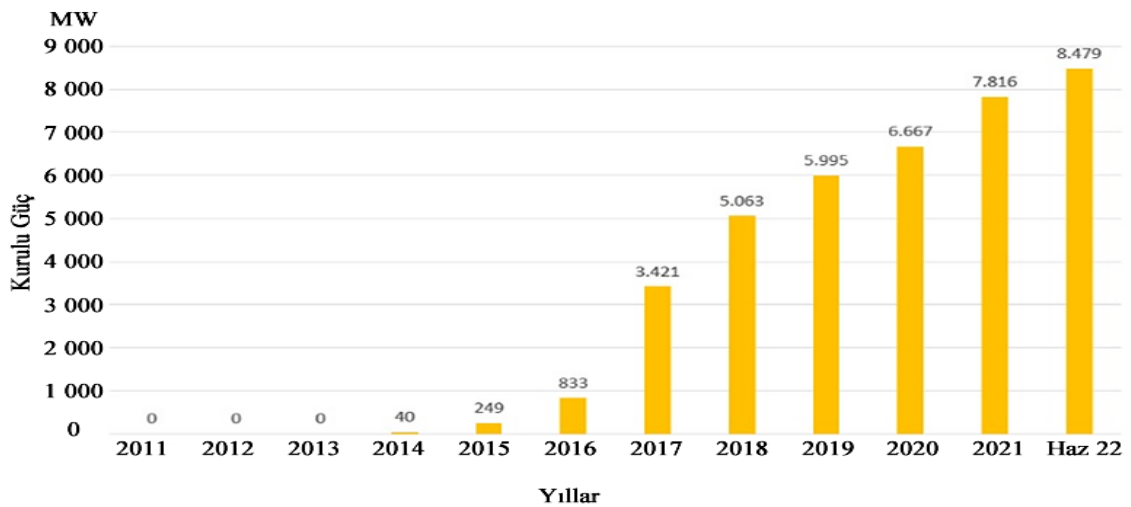
Şekil 2. 7 Türkiye’nin GEPA (İnt. Kyn.2).

Türkiye'nin güneş radyasyon değeri en az 1400 kWh/m²-yıl, en fazla ise 2000 kWh/m²-yıl'dır. Türkiye'nin radyasyonunun en yüksek değeri, haziran ayında 6,57 kWh/m², en düşük değeri ise aralık ayında 1,59 kWh/m² olarak ölçülmüştür. Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değeri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2. 8 Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değeri (İnt. Kyn.2).

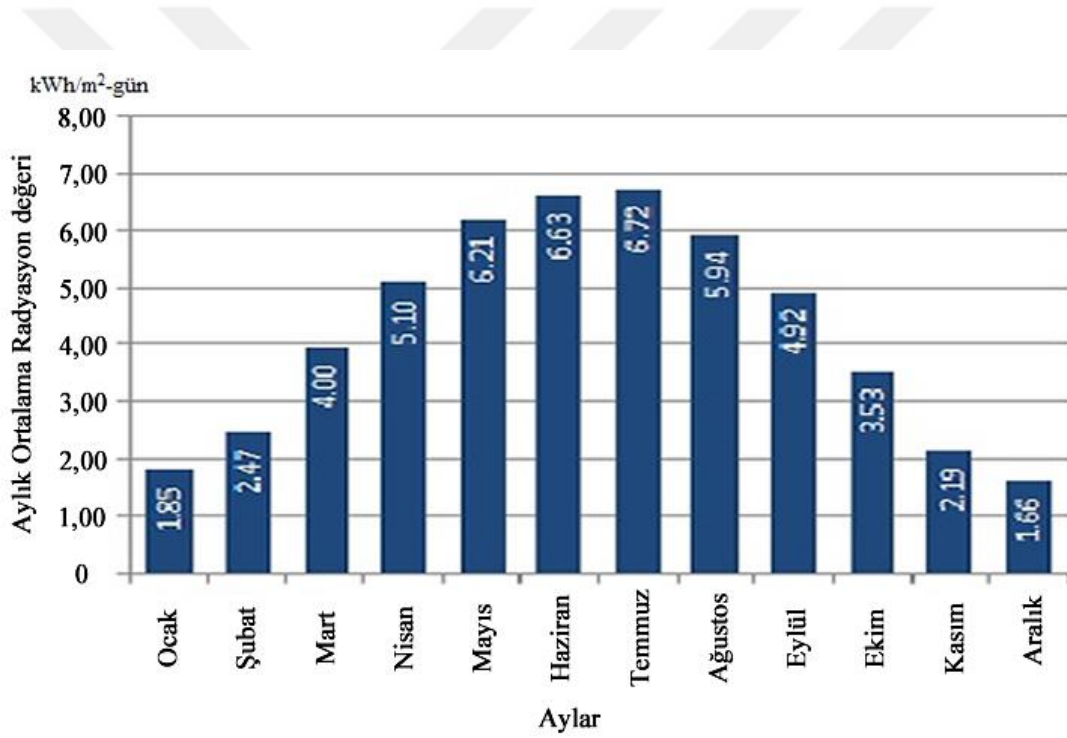
Şekil 2.9'da Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü verilmiştir. Güneş enerjisi kurulu güç içerisinde %8.35'lik bir paya sahiptir.



Şekil 2. 9 Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (İnt. Kyn.2).

2.1.1.3 Afyonkarahisar’da Güneş Enerjisi

Afyonkarahisar ilinin global radyasyon değeri en fazla temmuz ayında 6,72 kWh/m²-gün, en az ise aralık ayında 1,66 kWh/m²-gün olarak ölçülmüştür. Şekil 2.10’de Afyonkarahisar’ın Global Radyasyon değerleri verilmiştir. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi açık mavi olan yerler Emirdağ ilçesinin kuzeyi ve İhsaniye ilçesinin küçük bir bölümünde güneş radyasyonu 1500 kWh/m²-yıl civarlarında ölçülmüştür. Afyonkarahisar’ın geri kalan kısımlarında 1550 kWh/m²-yıl ile 1700 kWh/m²-yıl arasında değere sahiptir (İnt. Kyn. 4).



Şekil 2. 10 Afyonkarahisar’ın global radyasyon değerleri (İnt. Kyn. 4).

Afyonkarahisar ilinin güneşlenme süresi ortalama 6,65 saattir. En fazla güneşlenme süresi temmuz ayında olup 11,36 gündür. En az güneşlenme süresi ise aralık ayında olup 3,74 gündür. Yaz aylarında ortalama güneşlenme süresi günlük 10 saatin üzerindedir.



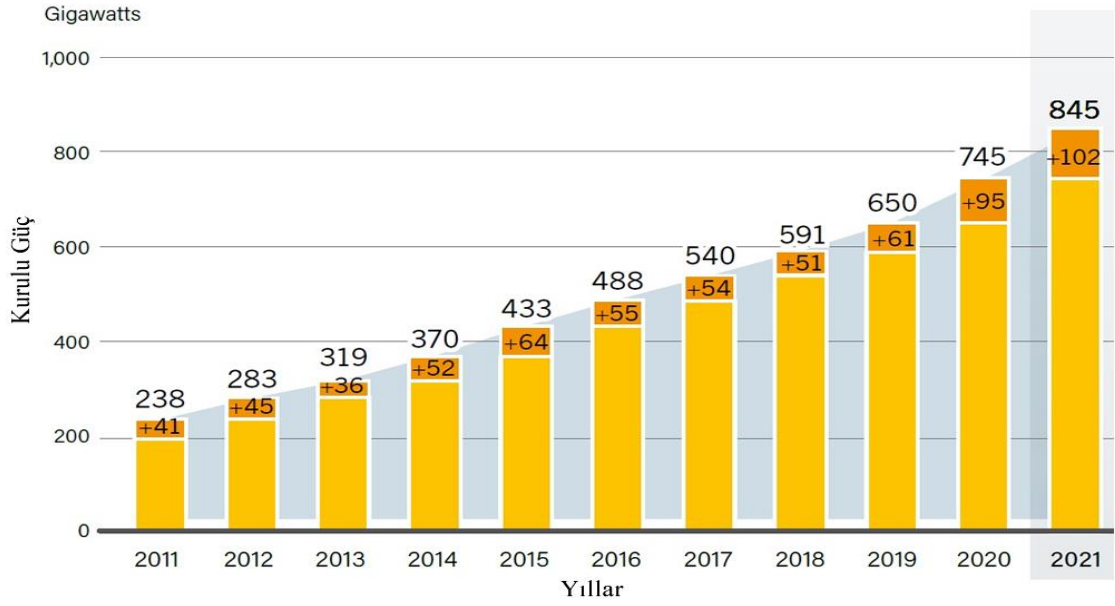
Şekil 2. 11 Afyonkarahisar'ın toplam güneş radyasyonu haritası (İnt. Kyn. 4).

2.1.2 Rüzgâr Enerjisi

Güneşin yerküreyi ısıtmasından dolayı rüzgâr oluşur. Yerküredeki ısınma ve havanın sıcaklık, basınç ve nem değerlerinin farklı olması havanın hareket etmesine neden olur. Havanın hareket etmesiyle de rüzgâr oluşur. Eski çağlarda; tahıl üretiminde tahıl ve samanı ayırmak, tahılın öğütülmesi ya da denizlerde yelkenli gemilerin hareket ettirilmesinde için rüzgârdan yararlanılmıştır. Günümüzde ise rüzgâr, belli bir işlemlerden sonra elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu işlemlerde rüzgâr türbinleri ile yapılabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi hızlı gelişen enerji kaynaklarından biridir (Aydın 2013).

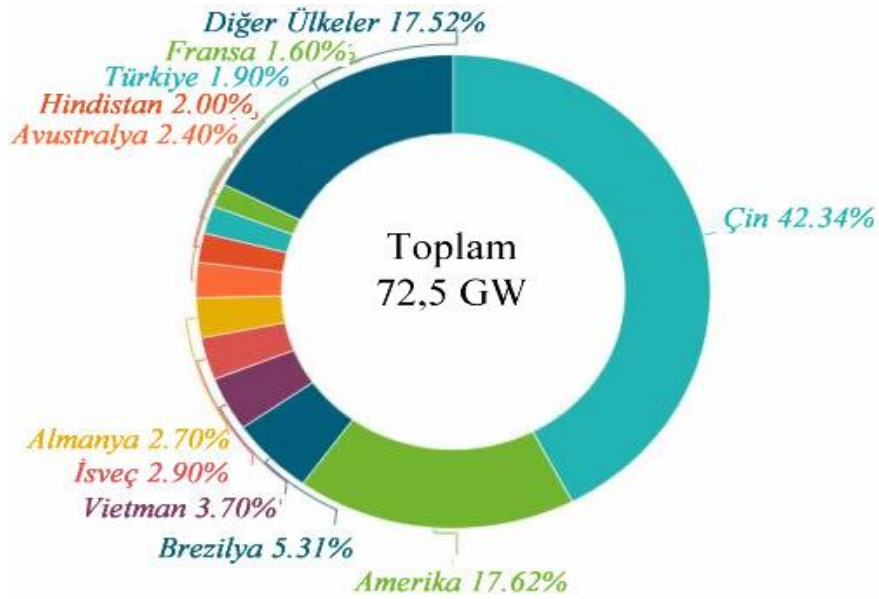
2.1.2.1 Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Dünya çapında rüzgâr enerjisinin kurulu gücü 2021 yılında 845 GW olmuştur. 2011-2021 yılları arasında yıllara göre küresel kapasitesi ve yıllık ilaveler Şekil 2.12'de verilmiştir. 2020 yılına göre %13,5 (102 GW) artış göstermiştir. Bu kurulu güç artışı yaklaşık 83 GW'ı karadaki türbinlerden 19 GW'ı ise açık denizlerden sağlanmıştır. Dünyada rüzgar enerjisi kurulu güç lideri Çin'dir. Bunu Amerika izlemektedir (İnt. Kyn. 3).



Şekil 2. 12 2011-2021 yılları arasında yıllara göre küresel kapasitesi ve yıllık ilaveler (İnt.Kyn. 3).

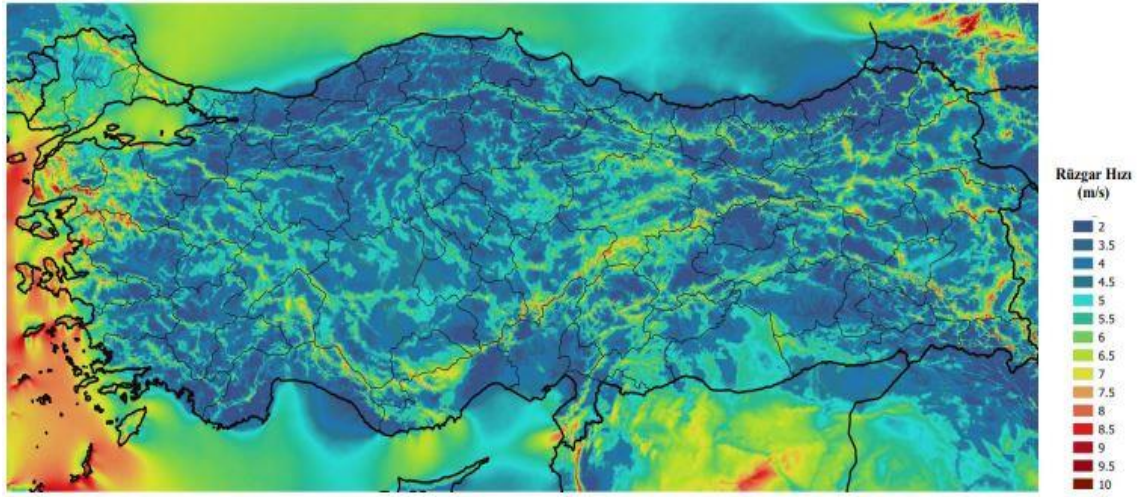
2021 yılındaki yeni rüzgar tesis kurulumları için dünyanın ilk beş pazarı sırasıyla; Çin, Amerika, Brezilya, Vietnam ve Birleşik Krallık'tır. Beş pazarın toplamı küresel rüzgar tesis kurulumlarının yaklaşık %75'ini oluşturur. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi dünyada Türkiye dokuzuncu sırada yer almıştır (İnt. Kyn. 5).



Şekil 2. 13 2021 yılında yeni kara rüzgâr tesisleri (İnt. Kyn. 5).

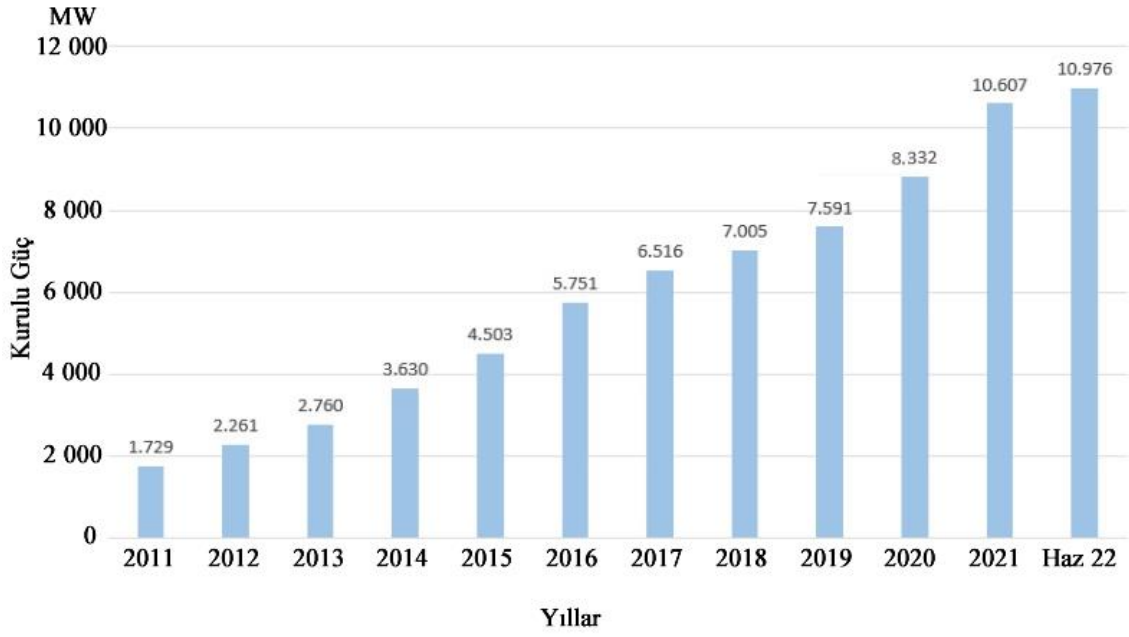
2.1.2.2 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye’nin yıllık rüzgar enerji potansiyeli çok yüksektir. Bunun sebebi ise Türkiye’nin coğrafi konumundan kaynaklıdır. Ülkemizde rüzgar kaynağının verimi; kıyı şeritler, yüksek bayırlar, dağların tepeleri gibi alanlarda yüksektir. Şiddetli rüzgar hızları; ülkenin batı kıyıları, Marmara denizi kıyıları ve Hatay’ın küçük bir kısmında görülür (Elibüyük vd. 2016). Şekil 2.14’te görüldüğü üzere sarı, kırmızı ve bordo gibi renkli yerlerde rüzgar hızı yüksektir (İnt. Kyn. 6).



Şekil 2. 14 Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı (İnt. Kyn 6).

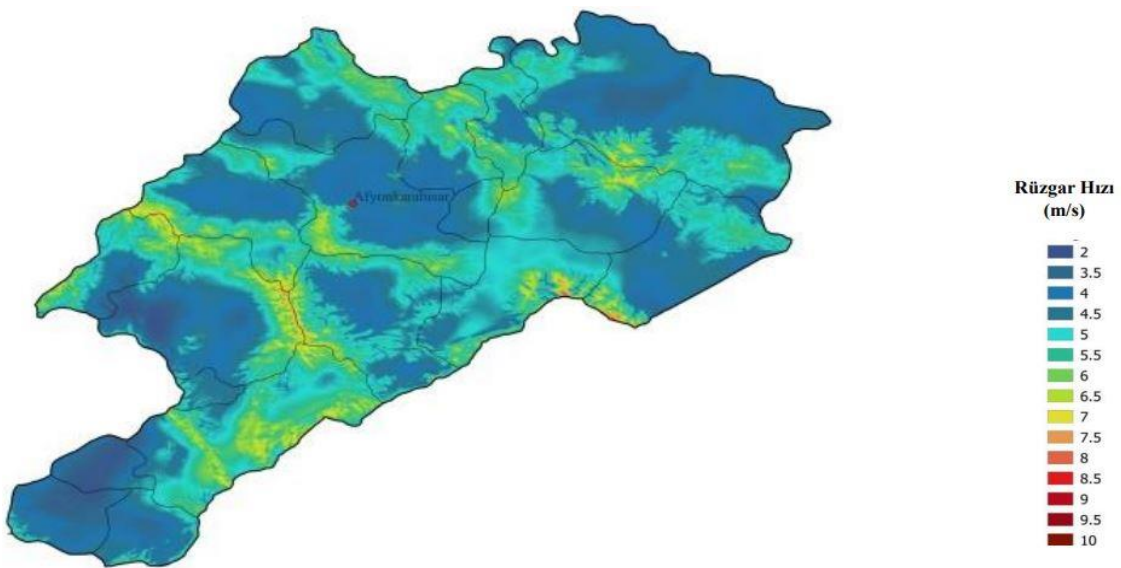
Türkiye’nin 2022 haziran ayı sonu itibarıyla rüzgar enerjisine dayalı kurulu gücü 10 976 MW’tır. Rüzgar enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki payı %10,81’dir.(İnt. Kyn. 7)



Şekil 2. 15 Rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç (İnt. Kyn. 7).

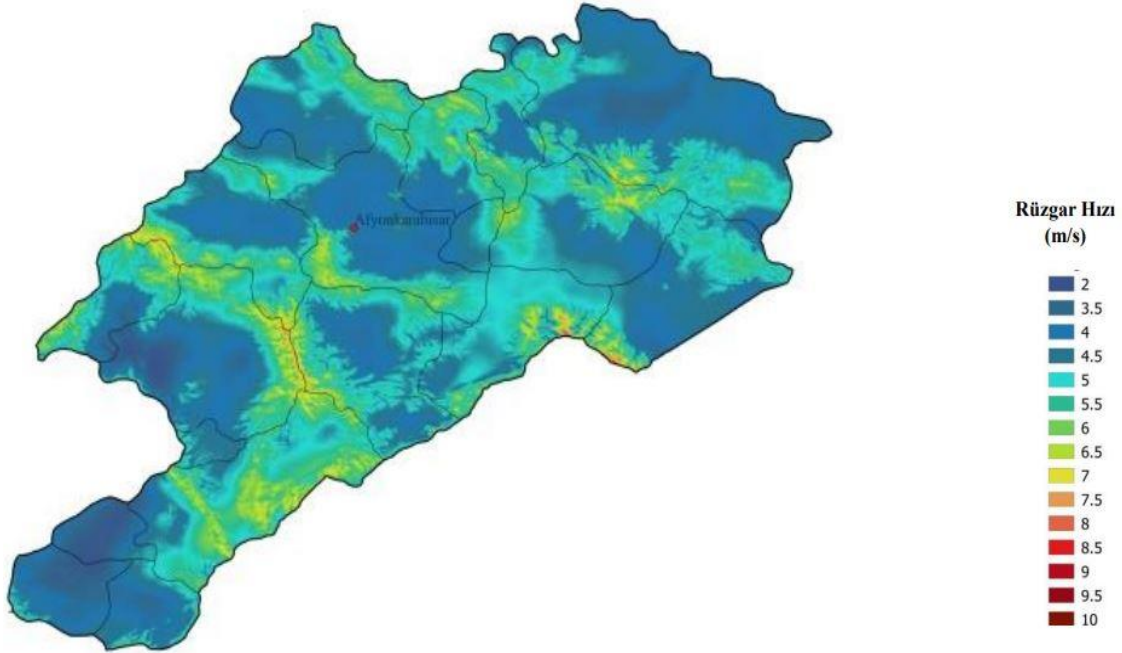
2.1.2.3 Afyonkarahisar’da Rüzgar Enerjisi

Afyonkarahisar’ın, rüzgar enerji potansiyel atlasına (REPA) göre değerlerine bakıldığında ortalama rüzgar hızı 4,76 m/s’dir. Şekil 2.16’da Afyonkarahisar’ın yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımını gösterilmektedir. Buna göre en fazla rüzgar hızı 8,61 m/s, en düşük rüzgar hızı ise 2,87 m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. 16 Afyonkarahisar yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı (İnt. Kyn. 6).

REPA'ya göre yıllık ortalama güç yoğunluğu $153,07 \text{ W/m}^2$ 'dir. Şekil 2.17'de belirtildiği gibi en fazla güç yoğunluğu $849,69 \text{ W/m}^2$ iken en düşük güç yoğunluğu ise $45,33 \text{ W/m}^2$ olarak ölçülmüştür.

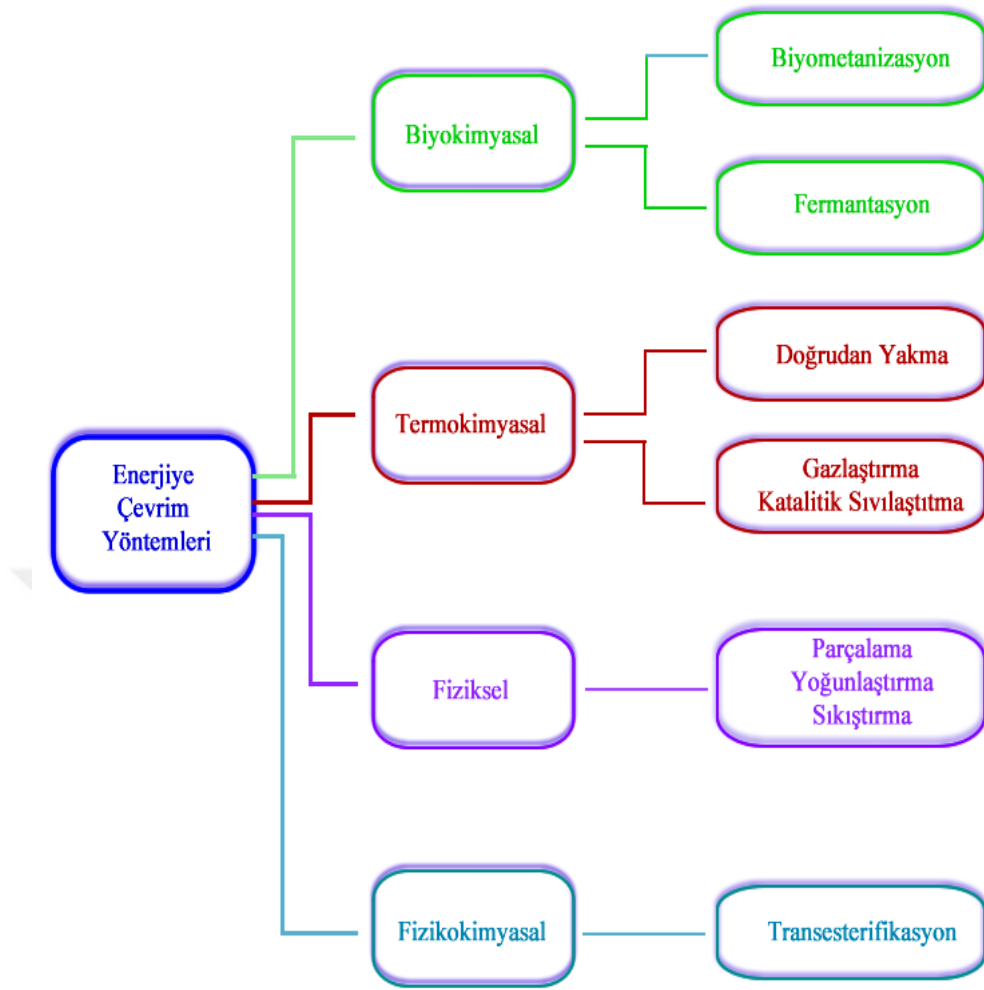


Şekil 2. 17 Afyonkarahisar yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu dağılımı (İnt. Kyn. 6).

Afyonkarahisar ilinde 4 tane rüzgar santrali vardır. Bunlardan Dinar Rüzgar Santrali ve İncesu Rüzgar Santrali Dinar ilçesinde, Kocatepe RES Sandıklı ilçesinde ve Eber RES Sultandağı ilçelerinde bulunmaktadır. Afyonkarahisar'da bulunan santrallerin toplam gücü 351 MWe'dir (İnt. Kyn. 8).

2.1.3 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi ısınma ve elektrik üretim amaçlı kullanılmaktadır. Dünyadaki bir çok ülke, biyokütle enerji potansiyeli oluşturmada ve bu enerjiyi kullanmada büyük çaba göstermektedir (Ayan 2022). Başlıca biyokütle kaynakları; tarımsal, orman ve orman ürünleri, hayvansal, kentsel ve endüstriyel atıklardır. Biyokütle kaynakları biyokütle çevrim teknikleri kullanılarak farklı biyoyakıt türlerine dönüştürülebilmektedir. Şekil 2.18'de biyokütle çevrim tekniklerini bazıları verilmiştir.



Şekil 2. 18 Biyokütle çevrim yöntemleri ve teknolojileri.

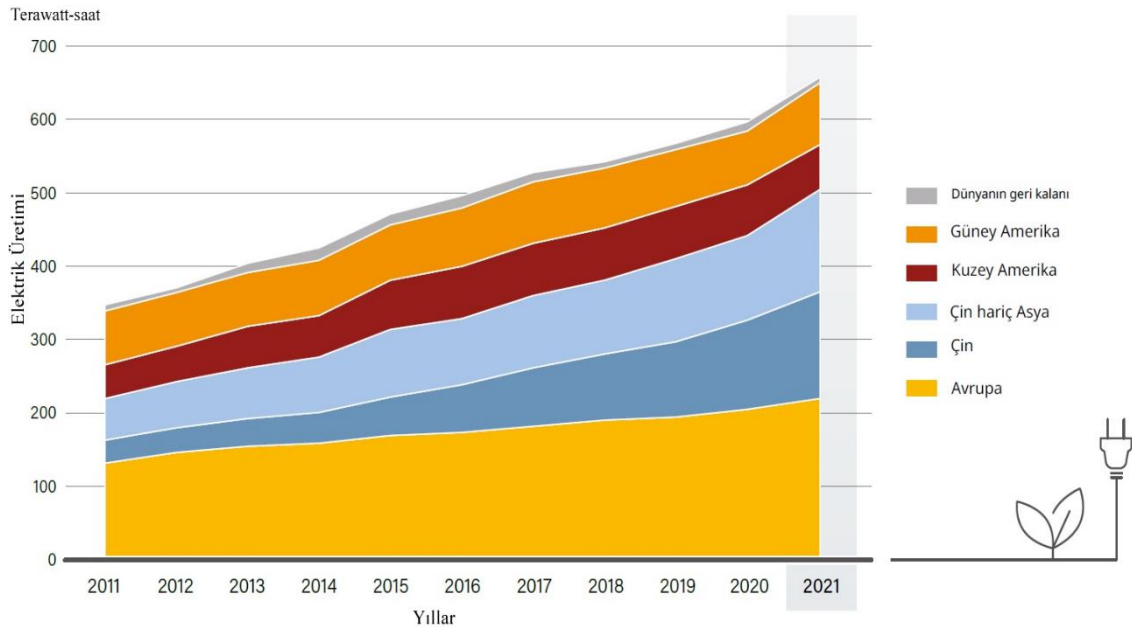
Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz halinde üretilebilir. Gaz biyoküteller, biyogaz ve biyohidrojen gibi maddelerdir. Katı biyoküteller; biyopelet, biyokömür ve biyobrikettir. Son olarak sıvı biyoküteller ise biyodize, biyoetanol, biyometanol ve bitkisel yağlardır (Güllü ve Bayraç 2017).

Ülkemiz bir tarım ülkesidir. Ülkemizdeki tarımsal atıkların değerlendirilmesi noktasında eksiklikler bulunmaktadır. Tarımsal atıklar, biyokütle çevrim teknolojileri ile biyoyakıtı dönüştürülmektedir. (Aslan vd. 2016)

2.1.3.1 Dünyada Biyokütle Enerjisi

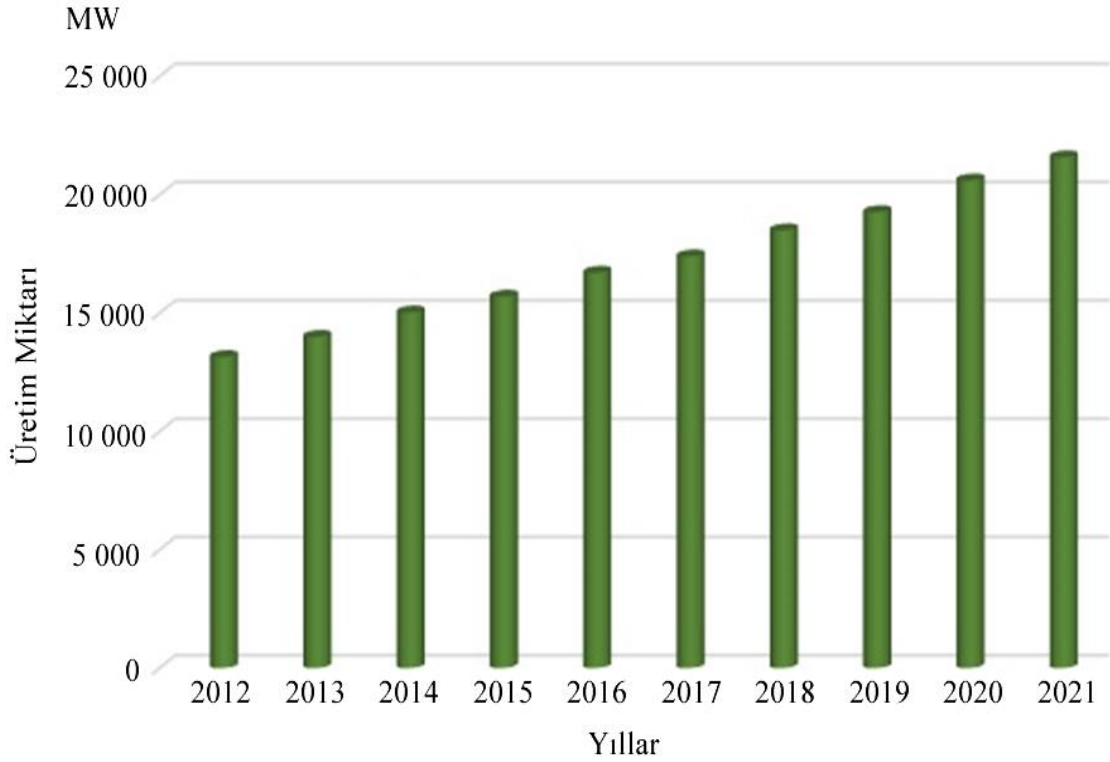
Biyokütle enerjisi yüksek olan bitkiler, sektörel ölçekte dönüştürme teknolojilerine rahat ulaşılabilir olmalarından dolayı her yerde yetiştirebilir. Bundan dolayı ise biyokütle enerjisi yüksek olan bitkiler tercih edilmektedir.

2021 yılında biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji 656 TW'tır. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi 2017 yılından itibaren en fazla üretim yapan ülke Çin'dir. Çin'i sırasıyla ABD ve Brezilya izlemektedir (İnt. Kyn. 3).



Şekil 2. 19 2011-2021 yılları arasında küresel biyoelektrik üretimi (İnt. Kyn. 3).

Dünyada 2021 yılında 21 574 MW'lık elektrik biyogazdan üretilmiştir. Şekil 2.20'de 2012 yılından itibaren 10 yıllık dünyada üretilen biyogaz miktarı verilmiştir. Her geçen yıl üretim miktarı artmıştır (İnt. Kyn. 9).

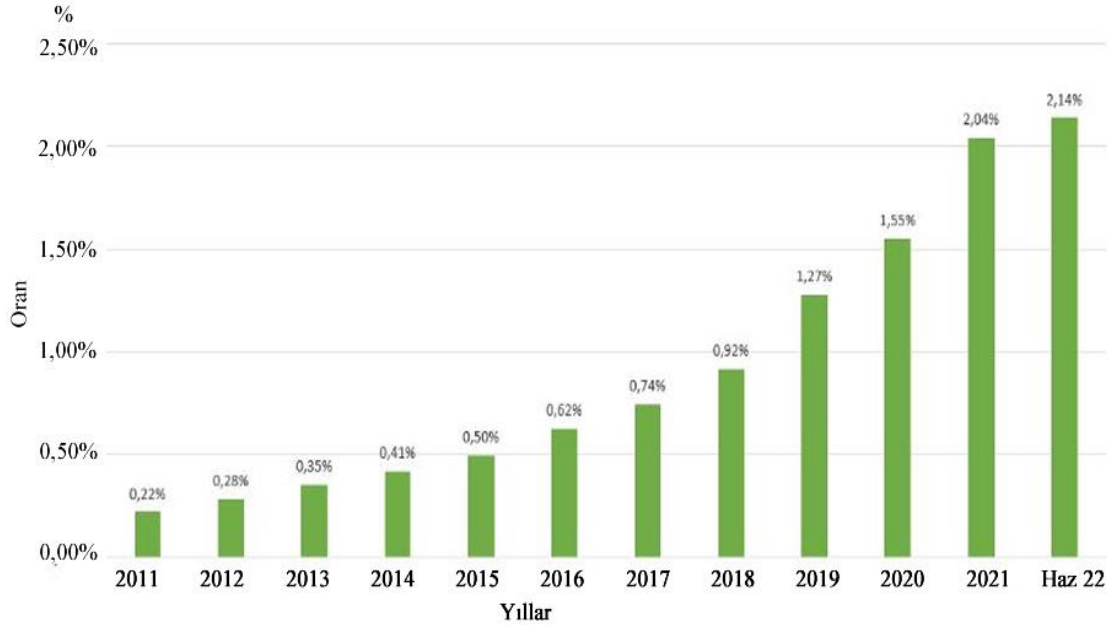


Şekil 2. 20 Dünyadaki biyogaz üretimi (İnt. Kyn. 9).

2.1.3.2 Türkiye’de Biyokütle Enerjisi

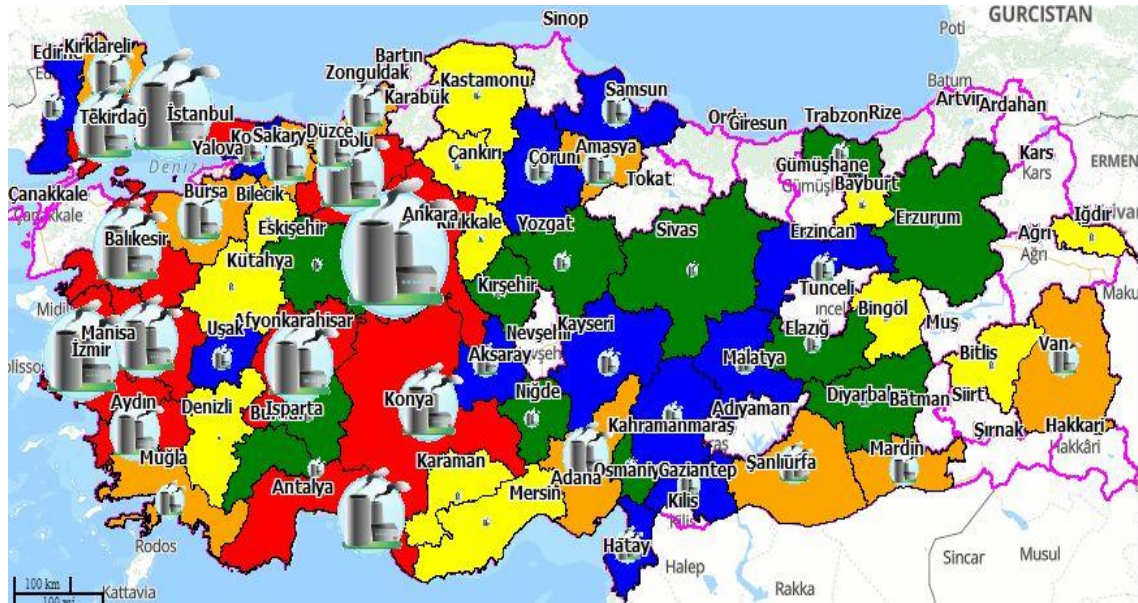
Ülkemiz iklim çeşitliliğinden dolayı biyoçeşitlilik ve biyokütle yönünden zengindir. Ülkemizin nüfusu 82 milyonu geçmiştir. Doğal olarak çöplerin ve atıkların miktarı da nüfusla orantı olarak artmaktadır.

Ülkemizde biyokütle enerjisine dayalı kurulu güç 2022 yılı haziran ayı itibariyle 2 172 MW olmuştur. Ülkemizdeki toplam kurulu gücün %2,14’ü biyokütle enerjisine aittir. Şekil 2.21’de 2011 yılından itibaren biyokütlenin toplam güç içerisindeki oranları verilmiştir. Biyokütle enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı, her geçen yıl artmaktadır.



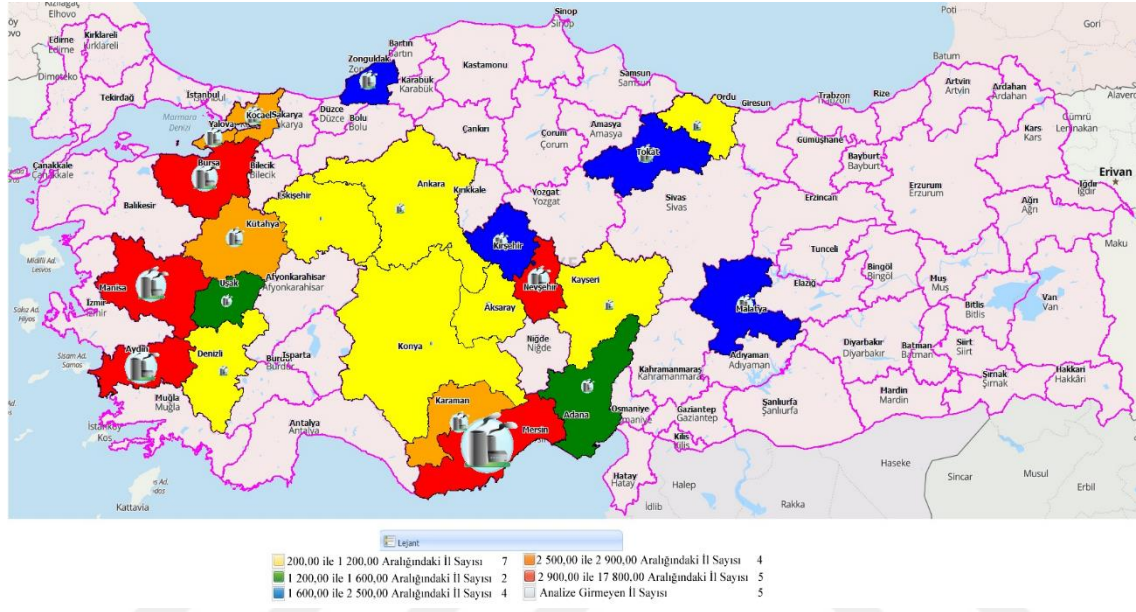
Şekil 2. 21 Biyokütlenin toplam kurulu güç içindeki oranı.

Ülkemizde Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlasına (BEPA) verilerine göre 199 tane biyokütle kaynaklı enerji üretim santrali mevcuttur. Şekil 2.22'deki sarı renkli illerde 0,64 – 2,04 MWe, yeşil renkli illerde 2,04 – 6 MWe, mavi renkli illerde 6 – 12 MWe, turuncu illerde ise 12 – 28,8 MWe ve kırmızı renkli illerde 28,8 – 106,7 MWe aralıklarında elektrik üretimi vardır. (İnt. Kyn. 10)



Şekil 2. 22 Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri (İnt. Kyn. 10).

BEPA'ya göre ülkemizde lisanssız elektrik üretimi için 22 ilde santraller mevcuttur. Bunlardan Aydın, Bursa, Manisa, Mersin ve Nevşehir'deki santraller 2900 kWe'den aşkın elektrik enerjisi üretmektedir. Lisanssız elektrik üretim santralleri Şekil 2.23'de verilmiştir. BEPA'ya göre 59 il analiz edilmemiştir.

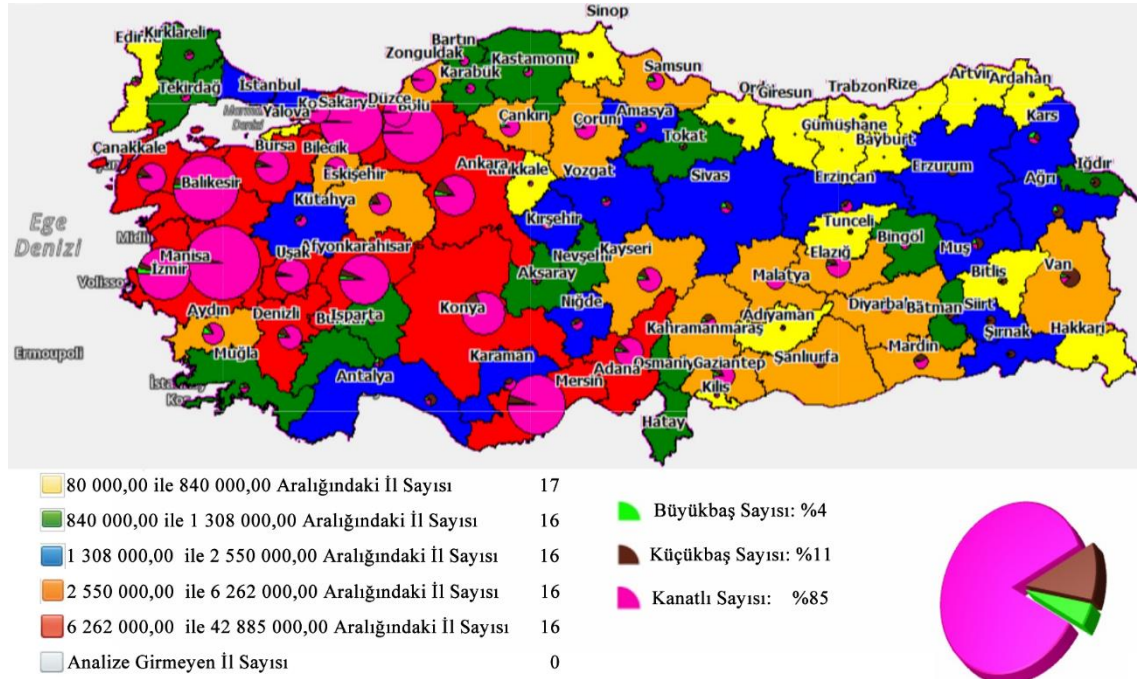


Şekil 2. 23 Biyokütle kaynaklı lisanssız elektrik üretim santralleri (İnt. Kyn. 10).

Ülkemizde BEPA'ya göre hayvan sayısı yaklaşık 423 milyondur. Bunların 17,5 milyonu büyükbaş, 46 milyonu küçükbaş, geri kalanı ise kanatlı hayvanlardır. Hayvan sayılarında çoğunluğu kanatlı hayvanlar oluşturmaktadır. Şekil 2.24'te ülkemizdeki hayvan sayılarının dağılımı verilmiştir. Kanatlı hayvan sayısı toplamın %85'ini oluşturmaktadır. Geri kalan %11'ini küçükbaş ve %4'ünü büyükbaş hayvanlar oluşturur (İnt. Kyn. 10).

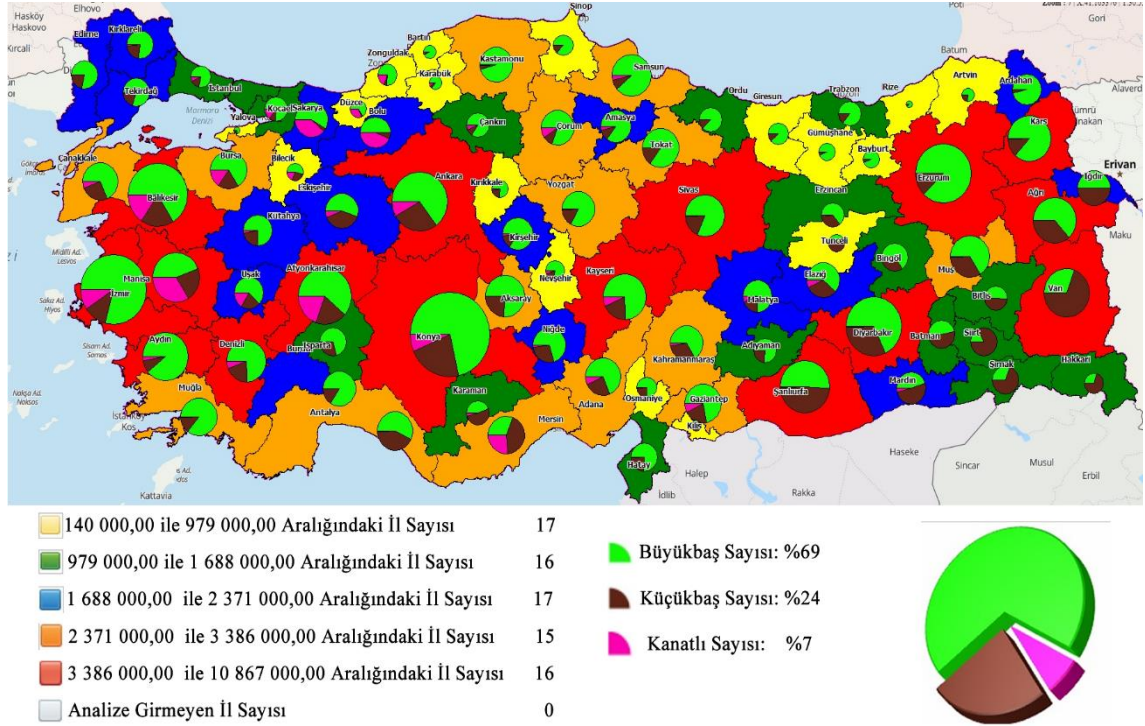
Büyükbaş hayvanların 310 binden fazlası 15 ilde toplanmıştır. Bu iller Aydın, İzmir, Balıkesir, Afyonkarahisar, Konya, Ankara, Kayseri, Sivas, Tokat, Samsun, Şanlıurfa, Diyarbakır, Erzurum, Kars ve Ağrı'dır. Büyükbaş hayvanlardan %49 kültür sığırı, %41 Melez sığır, %9 yerli sığır ve %1 mandadan oluşmaktadır (İnt. Kyn. 10).

Hayvansal atıkların teorik enerji eşdeğeri yaklaşık 4,3 milyon TEP/yıl olarak ölçülmüştür. Bu değerin %75'i kanatlı hayvanların atıklarından elde edilen enerjidir. Büyükbaş hayvanların atıkları ise toplam enerji eşdeğerinin %22'si oluşturur (İnt. Kyn. 10).



Şekil 2. 24 Ülkemizdeki hayvan sayıları (İnt. Kyn. 10).

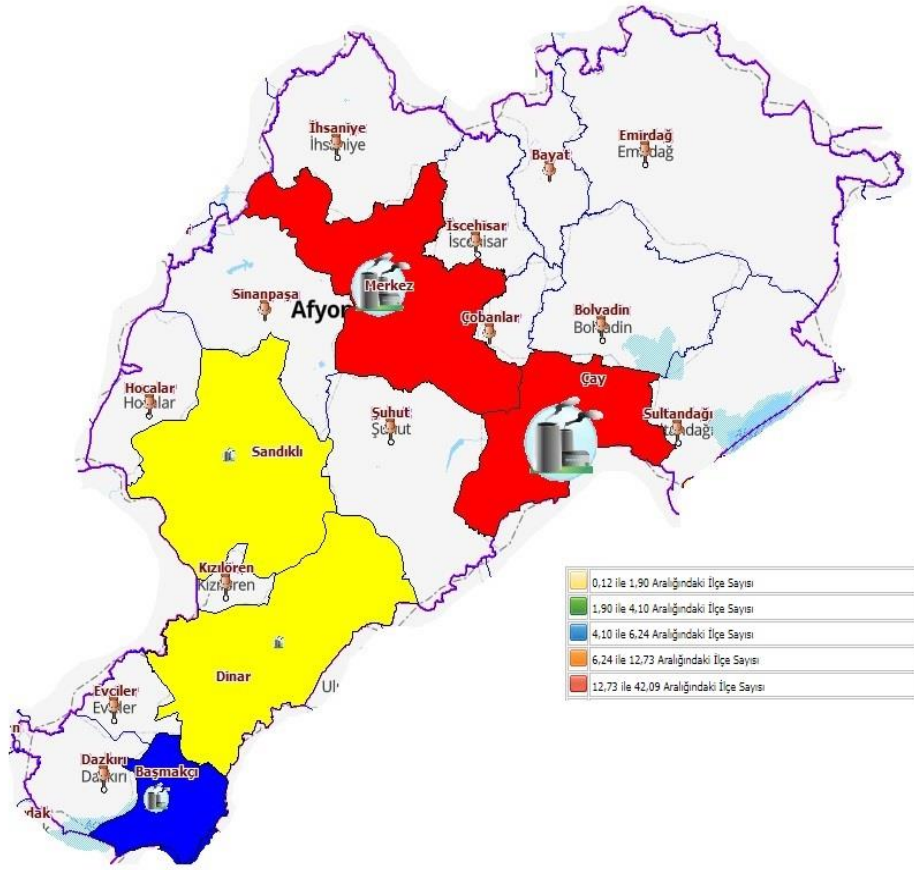
Hayvansal atıklar yıllık yaklaşık 193,9 milyon ton/yıl'dır. Bu atıkların %69'unu büyükbaş hayvanlardan elde edilmektedir. Geri kalanın %24'ünü küçükbaş hayvanlar ve %7'sini ise kanatlı hayvanların atıkları oluşturmaktadır. Şekil 2.25'te verilen haritaya bakıldığında 3,386 milyon ton/yıl atıktan fazlasını 16 ilden elde edilmektedir (İnt. Kyn. 10).



Şekil 2. 25 Ülkemizdeki hayvansal atık miktarı (ton/yıl) (İnt. Kyn. 10).

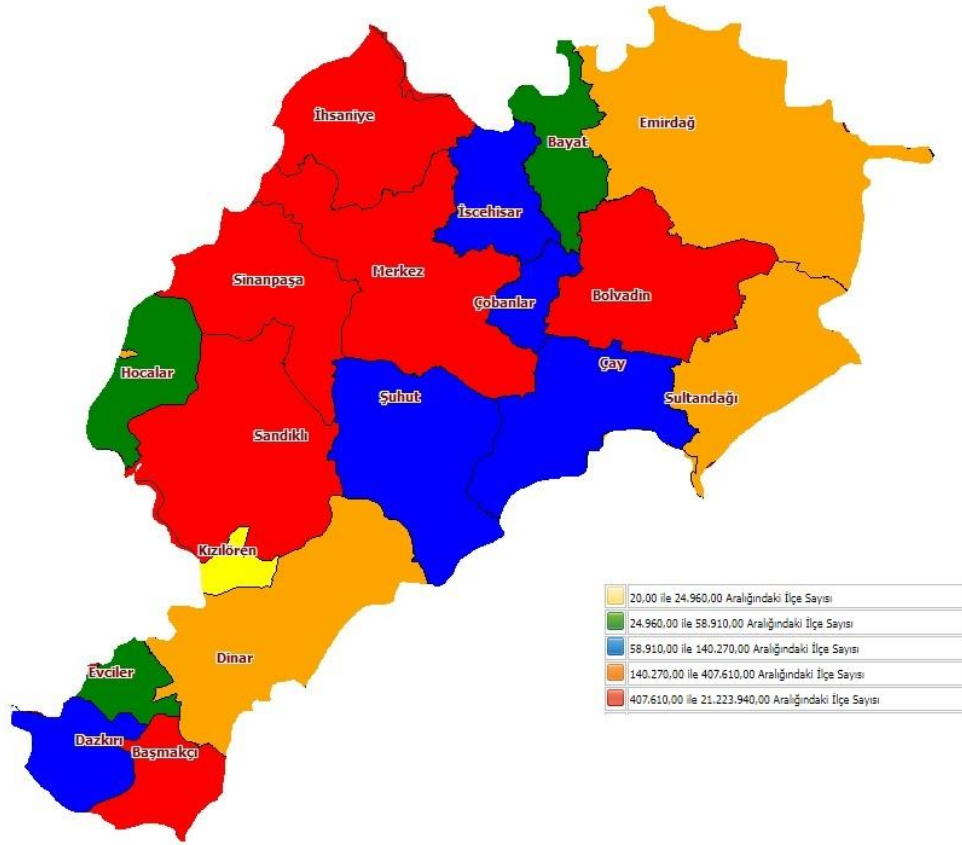
2.1.3.3 Afyonkarahisar'da Biyokütle Enerjisi

Afyonkarahisar'da 7 tane biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santrali vardır. Bu santraller Afyonkarahisar Merkez, Çay, Başmakçı, Sandıklı ve Dinar ilçelerinde kurulmuştur. BEPA'ya göre Merkez ve Çay ilçesindeki santraller 12,7 MWe'den fazla üretim yapmaktadır. Şekil 2.26'daki kırmızı ile gösterilen ilçeler 12,7MWe'den fazla üretim yapılan ilçelerdir. Mavi ile gösterin ilçe ise 4,1MWe ile 6,24 MWe arasında üretim yapmaktadır. Sarı ile gösterilen ilçeler ise 1,9 MWe değeri altında üretim yapan ilçelerdir (İnt. Kyn. 10).



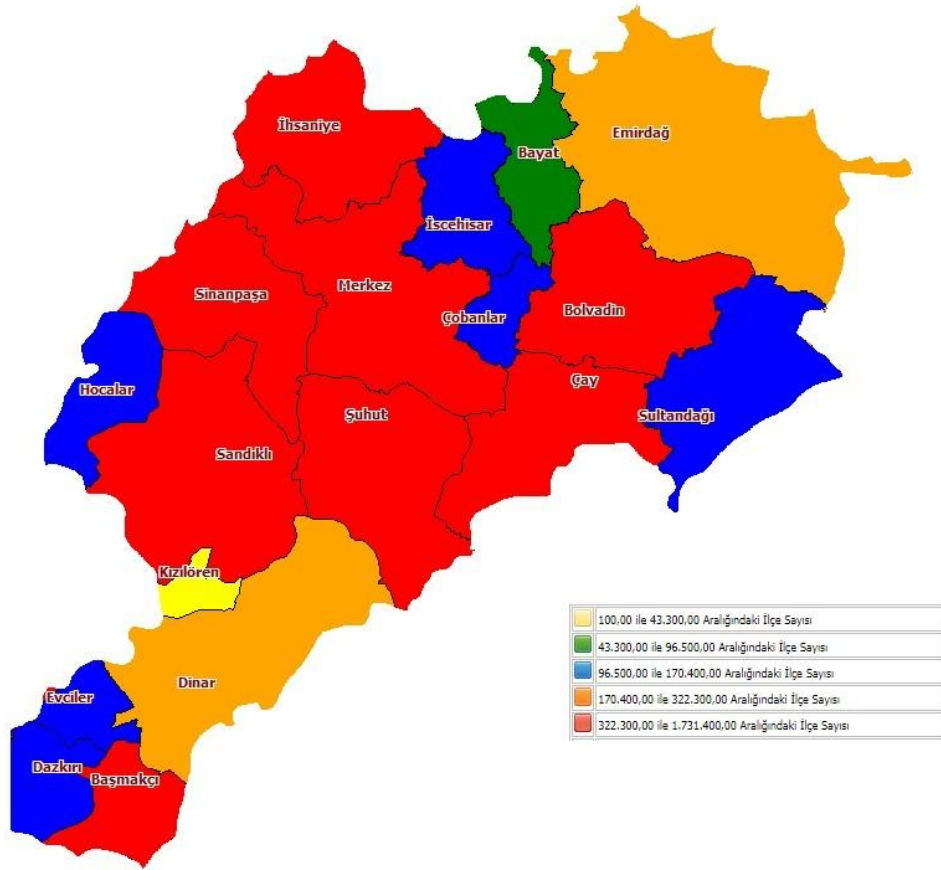
Şekil 2. 26 Afyonkarahisar ili Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri (İnt.Kyn.10).

BEPA'ya göre Afyonkarahisar ilinde yaklaşık 21 milyon hayvan vardır. Bu hayvanların %93,6'sını kanatlı hayvanlar oluşturmaktadır. Büyükbaş hayvanlar ise sadece %1,89'unu oluşturur. Afyonkarahisar ilinde 19,5 milyondan fazla kanatlı hayvan vardır. Yaklaşık 397 bin tane büyükbaş hayvan vardır. Büyükbaş hayvanlardan yaklaşık %72'si kültür sığırdır. Bu da demek oluyor ki Afyonkarahisar ilinde 283 binden fazla kültür sığırdı mevcuttur. Şekil 2.27'de de görüldüğü üzere en az hayvan sayısı Kızılören ilçesindedir (İnt. Kyn. 10).



Şekil 2. 27 Afyonkarahisar ilindeki hayvan sayıları (İnt. Kyn. 10).

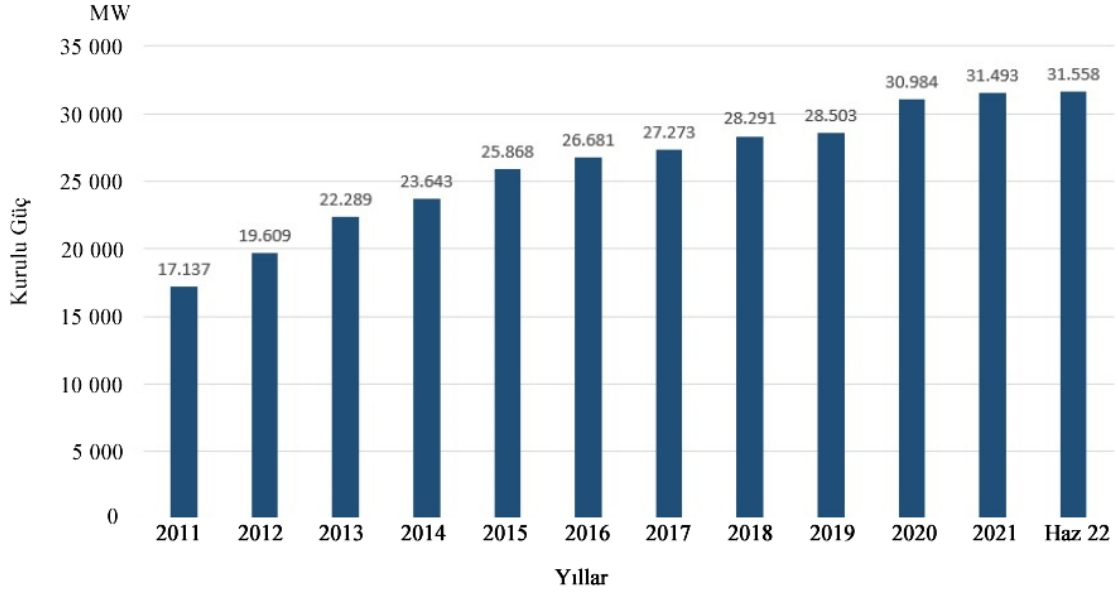
BEPA'ya göre Afyonkarahisar'da yıllık hayvansal atık miktarı yaklaşık 5,365 milyon tondur. Bu atıkların %61,45'ini büyükbaş hayvanlardan, %19,81'i kanatlı hayvanlardan ve geri kalanı da küçükbaş hayvanlardan elde edilmektedir. Büyükbaş hayvanlardan yaklaşık 3,3 milyon ton atık elde edilmektedir. Şekil 2.28'de Afyonkarahisar ilinde yıllık elde edilen atık miktarı gösterilmiştir. Buna göre yıllık yaklaşık 100 bin tonun altında hayvansal atık üreten Bayat ve Kızılören ilçelerinde en az atık elde edilmiştir (İnt. Kyn. 10).



Şekil 2. 28 Afyonkarahisar ilindeki hayvansal atık miktarı (ton/yıl) (İnt. Kyn. 10).

2.1.4 Hidroelektrik Enerjisi

Yerli bir kaynak olan hidroelektrik enerji santralleri çevreyi kirletmeyen, yakıt gereksinimi duymayan, ömrü uzun, düşük maliyetli bir kaynaktır. Genel anlamda hidroelektrik enerjisi suyun kinetik enerjisini kullanarak elde ettiği gücü elektrik enerjisine dönüştürebilen bir çeşit enerjidir. Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığının verilerine göre 2021 yılında 55,5 milyar kWh hidroelektrik kaynaklarından elektrik elde edilmiştir. Haziran 2022 sonunda alınan verilere göre Türkiye'nin hidroelektrik enerjisinden elde edilen elektrik kurulu gücü Şekil 2.20'de verilmiştir. Buna göre 2022 yılının haziran ayına sonu itibarıyla 31.558 MW ulaşmıştır. Türkiye'deki toplam kurulu güç içerisindeki hidroelektrik enerjisine dayalı elektrik kurulu güç oranı %31,09'dur (İnt. Kyn.2).

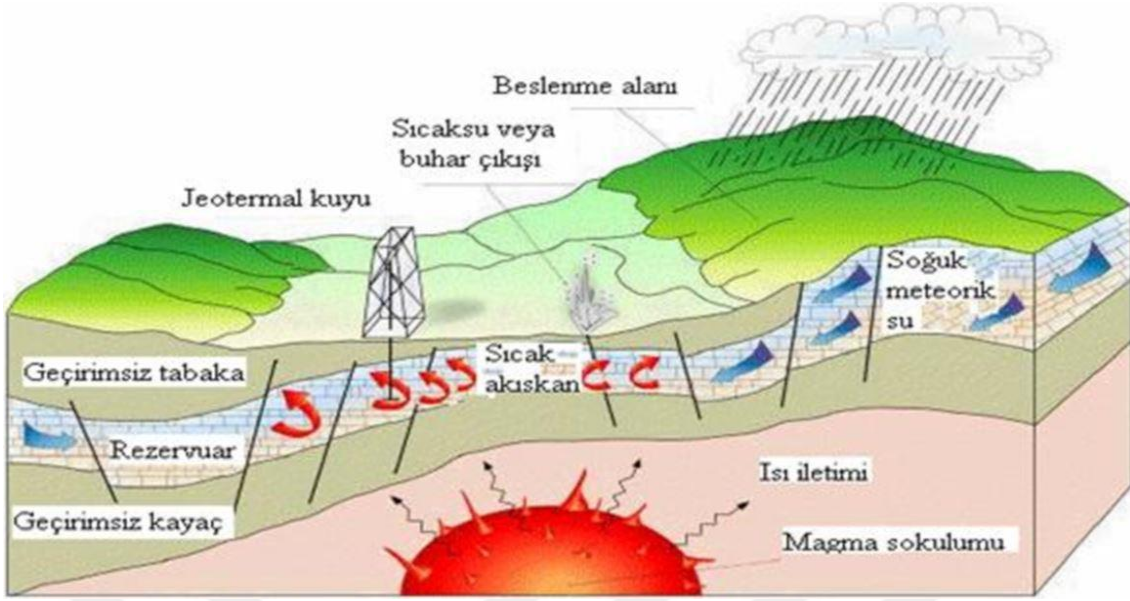


Şekil 2. 29 Türkiye’deki hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç (İnt. Kyn.2).

Türkiye’de en fazla elektrik ürettiği hidroelektrik santrali ise Şanlıurfa ilinde bulunan Atatürk barajındaki hidroelektrik santraldir. İkinci sırada ise Diyarbakır il sınırları içerisinde bulunan Karakaya barajı üzerindeki hidroelektrik santraldir.

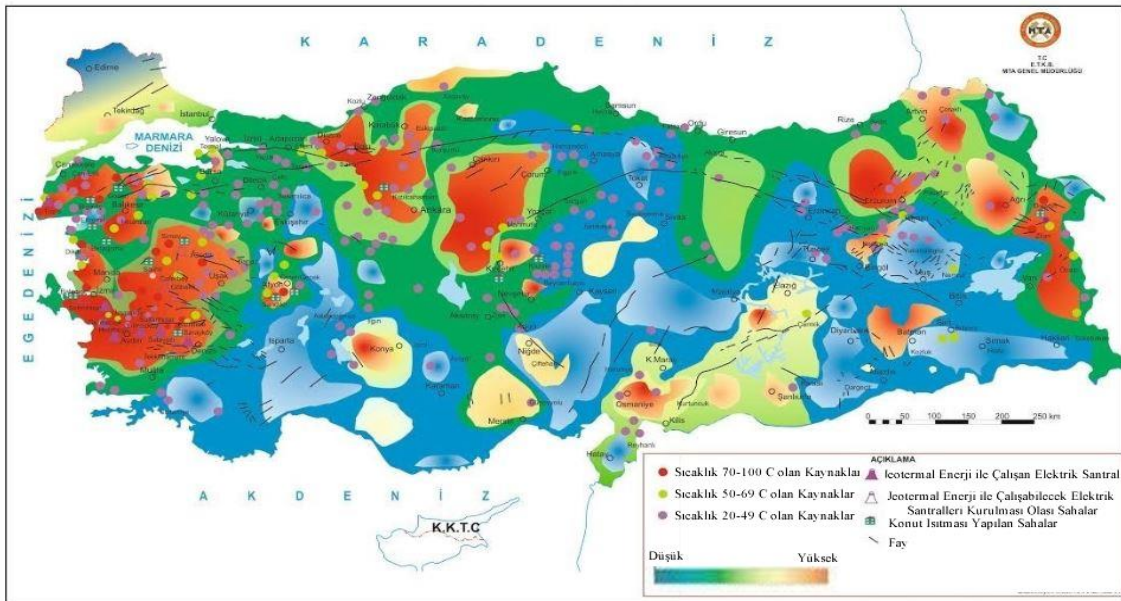
2.1.5 Jeotermal Enerjisi

Yeryüzünün çeşitli derinliklerinde basınç ve ısıнын biriktirmiş olduğu sıcaklıkların çeşitli maddelerle yer yüzüne çıkması ile elde edilen enerjidir. Sıcaklığın yeryüzüne çıkmasında yardımcı olan maddeler ise çözülmüş mineraller, sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji sadece elektrik üretiminde kullanılmamaktadır. Sağlık sektöründe, termal turizmde, ısı üretiminde de kullanılmaktadır. Jeotermal enerji ülkemizde diğer enerji kaynaklarına göre daha avantajlıdır. Bu avantajlar ise şunlardır: İklim koşullarından etkilenmez, kurulum süresi kısadır ve elektrik tüketiminin yakınlarındadır. Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarının çoğu ege bölgesinde bulunmaktadır. Şekil 2.30’da Jeotermal enerji oluşumunu gösteren görsel verilmiştir.



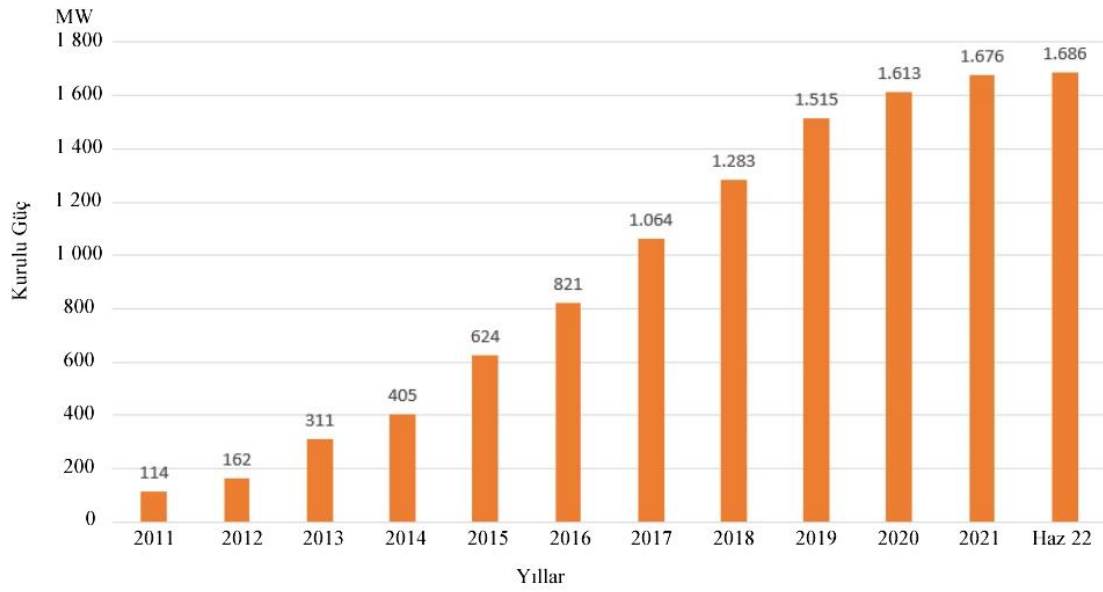
Şekil 2. 30 Jeotermal enerji oluşum gösterimi (İnt. Kyn.2).

Ülkemiz jeotermal kurulu güç açısından bakıldığında Avrupa’da birinci dünyada ise dördüncü sırada yer almaktadır. Jeotermal potansiyeli %78 ile en fazla Batı Anadolu’dadır. Jeotermal kaynakların %90’nı direkt kullanım için uygunken geri kalan %10’u ise elektrik üretimi için uygundur. Ülkemizde yaklaşık 65 tane santral vardır (İnt. Kyn.2). Şekil 2.31’de Türkiye’nin jeotermal kaynakları ve uygulama haritası gösterilmektedir.



Şekil 2. 31 Türkiye’nin jeotermal kaynakları ve uygulama haritası (İnt. Kyn.2).

Ülkemizde jeotermal enerjinin kurulu gücü 2022 yılının haziran ayı sonunda 1686 MW'tır. Jeotermal enerji toplam kurulu gücün %1,66'sını oluşturmaktadır. Jeotermal enerjinin ülkemizdeki kurulu güç değişimi Şekil 2.32'de verilmiştir. Buna göre 2011 yılında 114 MW olan üretim 2021 yılında 1676 MW'ye yükselmiştir (İnt. Kyn.2).



Şekil 2. 32 Türkiye'deki jeotermal kaynaklı kurulu güç (İnt. Kyn.2).

2.1.6 Gelgit ve Dalga Enerjisi

Gel-git enerjisi güneşin ve ayın dünya üzerine uyguladığı kütle çekim kuvvetine bağlı olarak dünyada bulunan sular üzerindeki oluşturduğu gel-git akıntılarının hareketiyle oluşmaktadır. Ay'ın çekim etkisi yüzünden sular yükselir ya da alçalır (Kabaklı 2017). Gel-git enerjisi genellikle iki şekilde elde edilir. Bunlar depoların doldurulup boşaltılmasıyla ve gel-git akım türbinlerin suyun kinetik enerjisi yardımıyla döndürülmesi sonucu oluşur. Dalga enerjisi, dalga yüzeyinden veya deniz seviyesinin altındaki basınçlardan üretilen enerji türüdür. Üretilen enerji; dalganın hızı, yüksekliği ve boyundan etkilenir. Bu enerji santralleri genellikle İskandinav ülkelerinde yoğun olarak bulunmaktadır.

2.2 Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA) kavramı 1970’li yılların ortalarında bilgisayar bilimleri uzmanı olan John Holland tarafından yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. J. Holland genetik algoritmayı evrim sürecini benzeterek oluşturmuştur (Holland 1975). Popülasyon tabanlı algoritmanın çaprazlama (crossover), değişim (mutasyon) ve seçim (inversiyon) gibi genetik operatörler temelini oluşturur. Bu operatörleri kendi algoritmasına katabilmesi için bir sonraki nesilleri oluşturmak ve bu oluşturulan nesiller içerisinde en mükemmel üyeleri seçerek daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (Goldberg 1953).

GA’nın ön planda olmasının en temel sebepleri kesin çözümü olmayan problemleri kesine yakın çözüme kavuşturma, karmaşık problemlerin üstesinden gelebilmesidir. Bunları yaparken ürettiği çözümü tek bir yerde tarama yapmayıp çözüm kümesinin birçok yerinde taramasıdır. Bunların sağlıklı yapılabilmesi için amaç fonksiyonunun daha net belirlenmesi gerekir.

2.2.1 Genetik Algoritma Temel Kavramlar

GA’nın yapısında kullanılan kavramların iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu belirlenen kavramlar Gen, Kromozom (birey, çözüm) ve popülasyon(yığın)dur (Emel ve Taşkın, 2002).

Gen: kromozomların yapısında en küçük anlamlı genetik bilgi taşıyan birimdir. Bitlerden veya çeşitli karakterlerden oluşan bilgi olabilirler. Genleri programcı tanımlar. Gen, içerisinde ikilik, onluk veya onaltılık tabanda sayılardan oluşabilir (Elmas 2011).

Kromozom: bir ya da daha fazla gen yapısının bir araya gelerek oluşturduğu dizilere denir. Kromozomlar, üzerinde çalışma yapılan problemin olası çözüm yollarını kapsamaktadır (Elmas 2011). GA yaklaşımında en önemli kısım bu birimdir. Bu yüzden kromozomlar en iyi ve anlamlı şekilde ifade edilmelidir.

Popülasyon: çözüm yollarını ve bilgilerini içeren kromozomlardan oluşan topluluğu ifade

etmektedir. Popülasyonun büyüklüğünü kromozom sayıları belirlemektedir. Popülasyonu oluşturan kromozom sayıları az olduğunda belirli optimumlara takılma problemleri yaşanabilmektedir. Popülasyonu oluşturan kromozom sayıları çok fazla olduğu zaman ise çözüme ulaşma süresi uzayacağı için zorluklar yaşanmaktadır (Dil 2015).

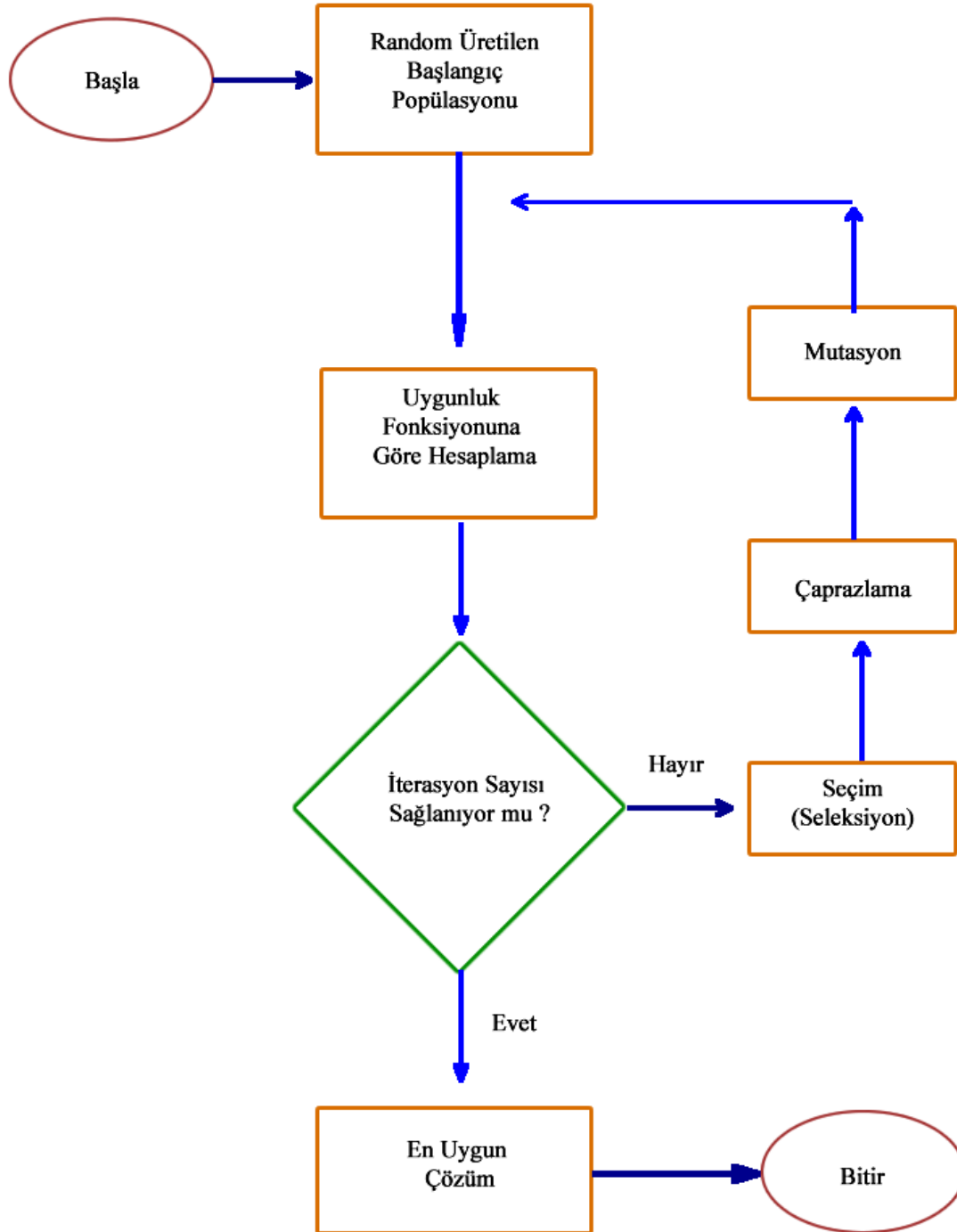
2.2.2 Genetik Algoritmanın Çalışma Adımları

GA akış şeması Şekil 2.33’de gösterilmiştir. GA ile problemi çözebilmek için ilk adım olarak rastgele üretilen başlangıç popülasyonu üretilmelidir. Probleme bağlı olarak başlangıç popülasyonunun büyüklüğünü birey sayısı ve gen sayıları belirlenmektedir. Popülasyon içerisinde yer elen kromozom sayıları o popülasyonun ne kadar büyük olduğunu göstermektedir. Popülasyondaki kromozomların her biri olası çözümlerdir. Başlangıç popülasyonu belirlendikten sonra her bireyin uygunluk değeri hesaplanmaktadır.

Uygunluk fonksiyonu ile hesaplamadaki her bir kromozomun çözüm için ne kadar uygun olduğu tespit edilir. Uygunluk fonksiyonu probleme özgüdür. GA en önemli adımlarından bir tanesidir. Çözümek istenen her sorun için ayrı bir uygunluk değeri vardır. İterasyon sayısının sağlanması için eşik değeri sağlanana kadar GA hesaplama işlemine devam eder. Eşik değeri sağlandığında probleme en uygun çözüm yolu bulunur. Eşik değeri sağlanmadığında ise bir sonraki nesilde devam edecek bireylerin seçimi yapılmaktadır.

Seçim işlemi bir sonraki nesilde devam edecek bireylerin seçilme olasılığına göre gelişigüzel yapılmaktadır. Bir sonraki nesilde devamını sağlamak isteyen kromozom yeni popülasyona bilgilerini aktarma ihtimali yüksektir. Yeni nesillere aktarılan ebeveyn seçiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Çaprazlama işlemi ile uygunluk değeri yüksek yeni bireyler elde edilmektedir. Çaprazlama işleminde öncelikle ebeveyn seçilir. İkinci adımda, belirlenen bireyler içerisinde gelişigüzel çaprazlama noktaları belirlenir. Son olarak ise çaprazlama noktaları belirlenen yerlerden genler yer değiştirerek yeni bireyler elde edilir. Çaprazlama işlemi sonrasında oluşan yeni bireylerin genleri ebeveynlerine benzeyebilmektedir. Bu durumda çeşitlilik azalmaktadır. Bu çeşitliliğin azalmaması için mutasyon işlemi yapılmaktadır. Mutasyon işleminde kromozomların içerisinde bulunana genlerde gelişigüzel değişimler yapılarak çeşitliliğin artması

sağlanmaktadır.



Şekil 2. 33 GA akış şeması.

2.2.3 Genetik Algoritma Operatörleri

Kromozomlar üzerinde işlem yapmak için çeşitli genetik algoritma operatörleri tasarlanmıştır. Bunlardan bazıları kodlama, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleridir (Sara 2019).

2.2.3.1 Kodlama

Problemlerin çözümüne ulaşmak için kromozomların kodlanması önemlidir. Kromozomların kodlanmasına popülasyon oluşturulmadan karar verilmelidir. Kodlama yöntemleri olarak ikili, permütasyon, gerçel, ağaç, ve değer kodlama yöntemleri bulunmaktadır (Nabiyev 2016).

GA'da çoğu zaman ikili (Binary) kodlama operatörü kullanılmaktadır. Bu operatörde genler bitlerle ifade edilmektedir. Bitler genel olarak 0 ve 1'lerden meydana gelen dizilerden oluşur (Kırıcı 2007).

2.2.3.2 Seçim Operatörü

GA'da çaprazlama işlemine katılacak kromozomlar seçimle belirlenmektedir. Her kromozomun seçilme olasılığı vardır. GA'da yaygın kullanılan seçim yöntemleri aşağıdaki gibidir (Cengiz 2004)

- Rulet Tekerleği
- Turnuva
- Sıralı
- Karalı Durum
- Elitizm
- Stokastik evrensel örnekleme
- Normalize geometrik seçim

2.2.3.3 Çaprazlama operatörü

Çaprazlama (crossover) operatörü, seçilebilecek düzeyde olan ebeveyn bireylerin genlerini oluşacak olan iyi bebek bireylere aktarmak için çalışmaktadır. Çaprazlama operatöründe amaç seçilebilecek düzeyde çocuk birey yaratmaktır. Çaprazlama işlemine girecek olan bireylerde ortak bir nokta seçildikten sonra bu ortak noktanın öncesi ve sonrasındaki genler yer değiştirilir. Böylelikle yeni birey, ebeveynlerden gelen genleri taşıyarak sağlıklı yeni nesiller üretebilecektir. GA'da yaygın kullanılan çaprazlama yöntemleri aşağıdaki gibidir (İşçi ve Korukoğlu 2003).

- Tek noktalı çaprazlama yöntemi
- Çift noktalı çaprazlama yöntemi
- Çok noktalı çaprazlama yöntemi
- Tekdüze çaprazlama yöntemi
- Karıştırılmış çaprazlama yöntemi
- Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi

2.2.3.4 Mutasyon Operatörü

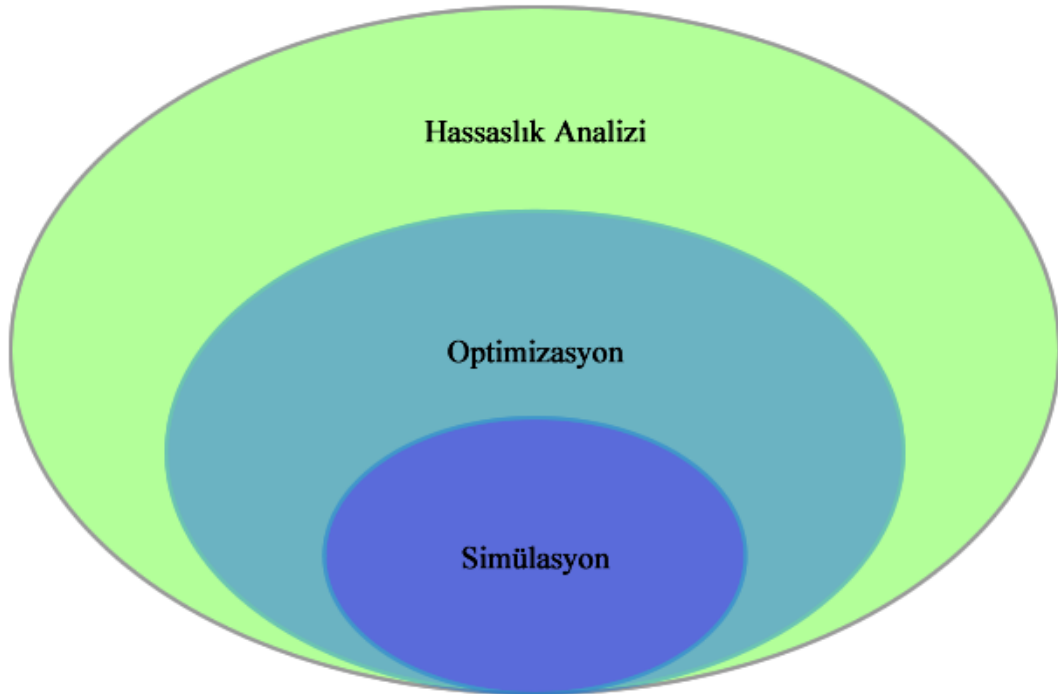
Mutasyon operatörü tek birey üzerinde işlem yaptığı için çaprazlama yönteminden avantajlıdır. Popülasyon içerisindeki bireylerin aynışlaşmasını önlemek için seçilen birey ya da bireylerden birkaçının genlerini gelişigüzel değiştirilmektedir. Bu değişiklikle popülasyonda istenilen çeşitlilik elde edilmiş olunacaktır. GA'da yaygın kullanılan mutasyon yöntemleri aşağıdaki gibidir (Bolat vd 2004).

- Tek gen değişim
- Gen dizi değişimi
- Uniform değişim
- Karşılıklı değişim

2.3 HOMER

Mikro optimizasyon modeli olan HOMER Yenilenebilir Enerji Kaynakları için Hibrit Optimizasyon Modeli İngilizcedeki anlamının baş harflerinden oluşmaktadır. ABD'nin Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) eliyle yapılmış bir yazılımdır. Kullanıcının birden fazla tasarım seçeneklerini ekonomik ve teknik verilere göre karşılaştırma yapmasına izin verir. Kullanılan verilerin belirsizliği veya değişiklikleri ölçmede kolaylık sağlar. HOMER, çeşitli yüklere karşılayan ve herhangi bir ögeden oluşan şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı güç sistemi modelleyebilir (Lambert vd. 2006).

Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki ilişki durumu Şekil 2.33'de gösterilmektedir. Hassaslık analiz çemberi optimizasyon çemberini kapsaması bir tane hassasiyet analizi birden fazla optimizasyon çemberinden oluştuğunu gösterir. Aynı şekilde optimizasyon çemberinin simülasyon çemberini kapsaması birden fazla simülasyon çemberinden oluştuğunu belirtmektedir (Farret ve Simões 2006).



Şekil 2. 34 Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki (Farret ve Simões 2006).

2.3.1 Simülasyon

Optimizasyon işlemlerinde sistem yapılandırmaları arasından en iyi olan yapılandırma belirlenmektedir. HOMER programı maliyetin en az değerini sağlayacak olan ve hassaslık değişkenlerini karşılayan en iyi ve en uygun sistem yapılandırmasını bulmaktadır. Bu aşamadaki ana amaç programı kullanan kişi tarafından sisteme tanımlanan karar değişkenlerinin değerini belirlemektedir (Ulutürk 2020).

2.3.2 Optimizasyon

Optimizasyon işlemlerinde sistem yapılandırmaları arasından en iyi olan yapılandırma belirlenmektedir. HOMER programı maliyetin en az değerini sağlayacak olan ve hassaslık değişkenlerini karşılayan en iyi ve en uygun sistem yapılandırmasını bulmaktadır. Bu aşamadaki ana amaç programı kullanan kişi tarafından sisteme tanımlanan karar değişkenlerinin değerini belirlemektedir (Ulutürk 2020).

Optimizasyon sürecinin amacı programı kullanan kişiye karar değişkenlerinin elverişli değerini bulmaktır. Bulunabilecek olası karar değişkenlerine fotovoltaik dizisinin kapasitesi, bataryaların adedi, rüzgar türbin sayısı gibi değişkenler örnek verilebilir (Yücel 2018).

2.3.3 Hassaslık Analizi

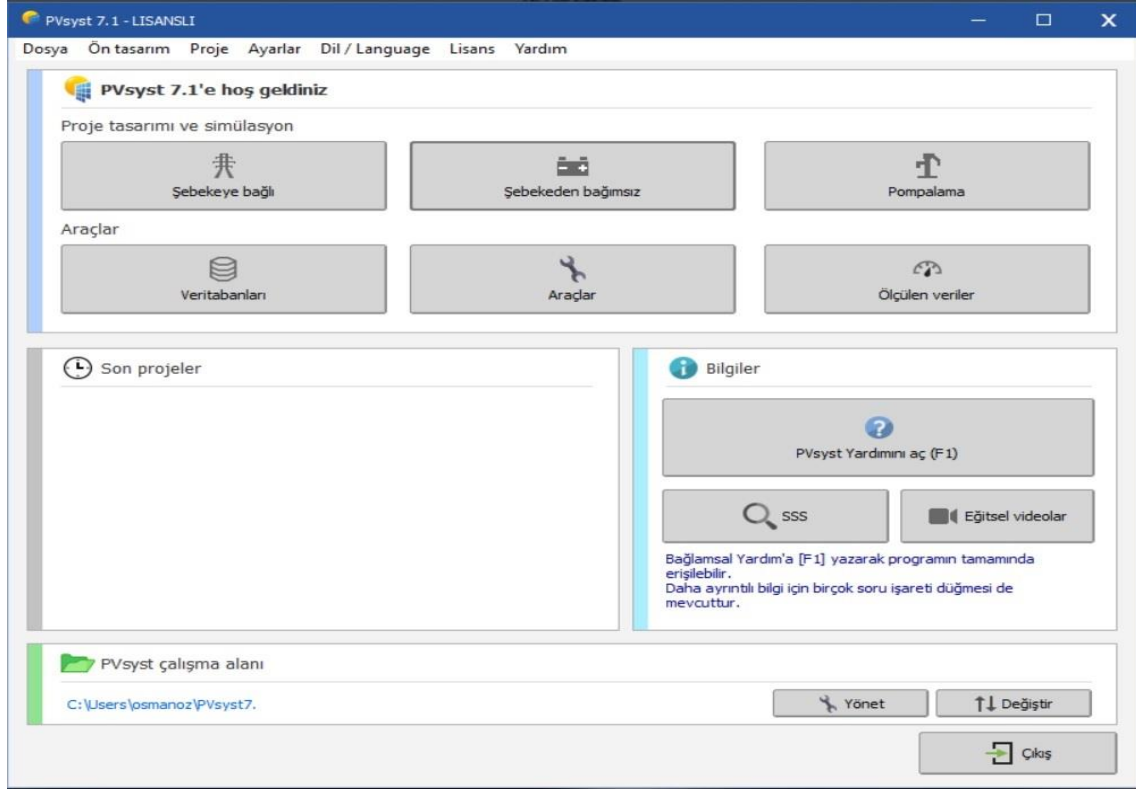
HOMER programı hassaslık analizi basamağında farklı giriş veri hipotezleri kullanılarak çok sayıda optimizasyon işlemi yapmaktadır. HOMER programının hassaslık analizi basamağında programı kullanan kişi tasarladığı sisteme bir tane girdi bileşeni için birden fazla parametre seçebilmekte ve bu seçilen değerleri hassas değer olarak isimlendirilmektedir (Özkan 2019). Hassas değişkenlere örnek olarak PV panellerin ölçüleri, panel ömürleri, elektrik yükleri, kaynak verileri, şebekedeki gücün birim maliyeti ya da kaynak verileri gibi değişkenler örnek gösterilebilir. Programı kullanan kişi sistemde kullandığı her bileşen için pek çok kez hassaslık analizi yapabilmektedir.

2.4 PVSYST

PVsyst (Photo Voltaic systems) tamamen PV sistemlerin incelenmesinde, boyutlandırılmasında ve veri analizlerinin yapılmasında kullanılan simülasyon yazılım programıdır. Bu program şebekeye bağımlı (on-grid), şebekeden bağımsız(off-grid), pompa ve Doğru Akım (DC) üretim sistemleriyle ilgili simülasyon programıdır. Programı Andre Mermoud İsviçreli fizikçi ve Michel Villoz elektrik mühendisi geliştirmişlerdir. PVsyst Programı uluslararası düzeyde PV sistem simülasyonu ve tasarımı için standart olarak gösterilmektedir. Program ücretlidir ama DEMO sürümü mevcuttur ve 30 günlük kullanıma sahiptir (Umar vd. 2018).

PVsyst yazılımın arayüzünden bir örnek Şekil 2.34’de gösterilmiştir. Bu arayüz görüntüsüne göre proje tasarımı ve simülasyonu grubundan “şebekeye bağlı”, “şebekeden bağımsız” ve “pompalama” bölümlerine kullanıcı erişim sağlayabilmektedir. Ayrıca araçlar grubundan “veritabanları”, “araçlar” ve “ölçülen veriler” gibi bölümlere de erişim sağlanabilmektedir.

PVsyst programı ile güneş panellerinin açısı belirlenebildiği için maksimum oranda güneş ışıınımdan faydalanılır. Güneş panellerinin açısını mevsimlik ya da aylara göre farklı farklı gösterilebildiği için ışıımadan maksimum yararlanılır. Bu programla karbondioksit salınım miktarı tespit edilmektedir (Bolat vd. 2020).

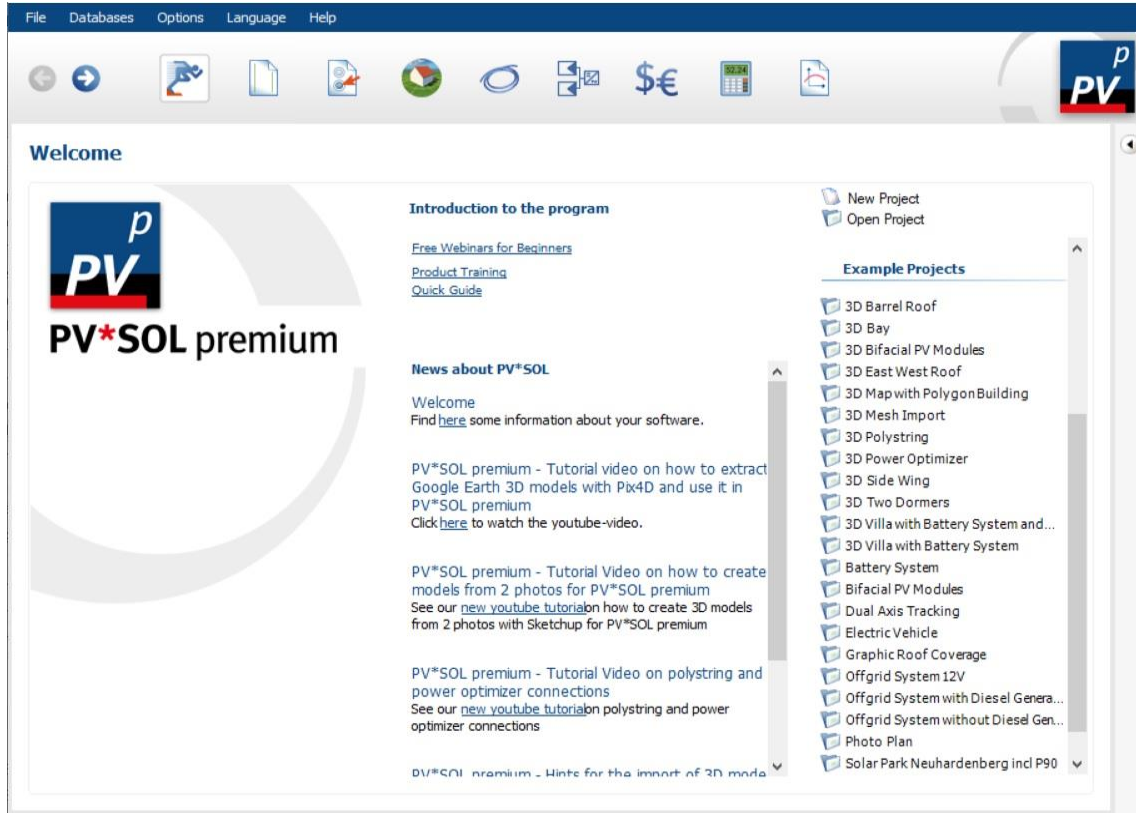


Şekil 2. 35 PVsyst 7.1 programının kullanıcı arayüzü.

Güneş panelleri üzerine gün doğumu ya da gün batımı sırasında düşen gölgelenmeleri gerçek zamanlı gözlenebilmektedir. PVsyst programı hava durumu verilerini Meteonorm, NASA, PVGIS ve NREL/NSRDB gibi dünya genelinde büyük olan veri tabanına sahip olan kuruluşlardan almaktadır.

2.5 PV*SOL

PV*SOL programı 3 boyutlu gölgeleme analizi ve simülasyonu tasarlayan, tasarlanacak olan santralin saatlik aralıklarla gücünü ve kapasitesini hesaplayabilen tasarım programıdır. 3D gölgeleme analizi, batarya depolama sistemi, tasarlanacak alanın haritasından içe aktarma, elektrikli araçların şarjı gibi özellikleri vardır. 3D gölgeleme analizinde gerçek dünyada olduğu gibi tasarlama yapıp elde edilecek verimin tutarlı olması olasılığını artırmaktadır. Uydudan alınan haritalardan veya çizimleri mevcut olan kat planlarından yararlanılarak kolay ve hızlı tasarım yapma olanağı sunmaktadır. PV*SOL programın 17 000'den fazla PV modülü, 4 000'den fazla İnvertör ve 900'den fazla akü gibi birçok ürün veri tabanında bulunmaktadır.



Şekil 2. 36 PV*SOL premium 2020 programının kullanıcı arayüzü.

PV*SOL programının arayüzü Şekil 2.35’de verilmiştir. İlk açılan arayüzde; sistem tipi iklim ve şebeke, 3D tasarım, kablolar, planlar ve parça listesi, finansal analiz, sonuçlar ve sunum gibi seçenekler bulunmaktadır.

PV*SOL programı 3 boyutlu görüntüleme işleminde günlük ya da yıllık gölge seyrindeki bilgilerden yararlanmamızı sağlar. PV modüllerin herhangi biri için 10 dakikalık periyotlarla gölgeleme ve verim simülasyonu yapabilmemize olanak sağlar (İşler 2020). PV*SOL programının veri tabanında bulunan PV modüller için matematiksel karakteristik çizginin tekrardan hesaplanabilir. Bu hesaplama da PV modül veriminin eksiksiz olacak şekilde hesaplanacağı anlamına gelmektedir (Ceylan 2017).

3. MATERYAL ve METOT

Çalışmanın bu bölümde yük profili, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz enerjisi, batarya ve konvertörler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Sonrasında genetik algoritma ile hayvan sayısı tahmini yapılmıştır. Son olarak ise PVsyst, PV*SOL ve HOMER programı ile simülasyon yapılmıştır.

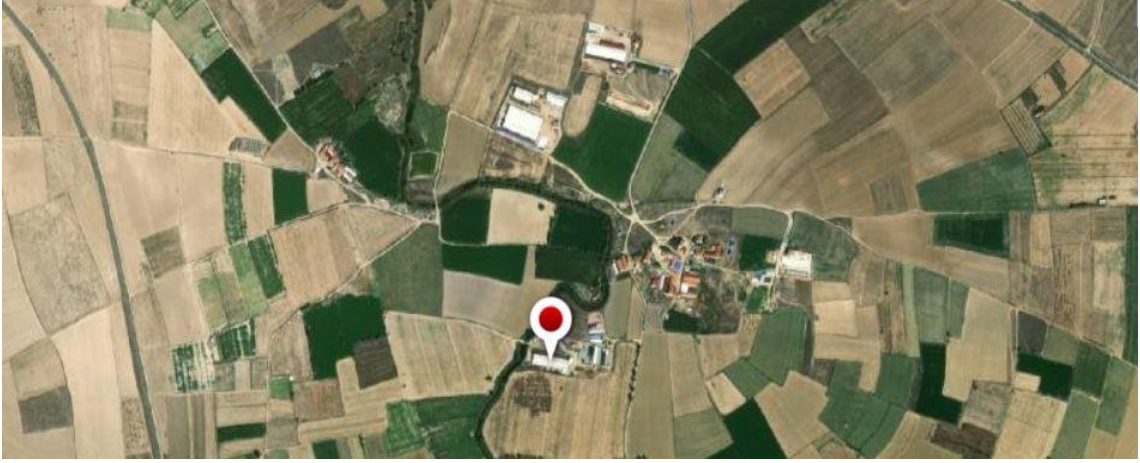
3.1 Yük Profili

Dünya’da biyogaz potansiyeli yüksektir; fakat biyogazdan faydalanma yeterli oranda değildir. Bu çalışma Ege bölgesinde bulunan Afyonkarahisar ilinde sığır çiftliklerinin yoğunlukla bulunduğu bir bölge olan Salar Köyü, 38° 43' 33.36"N, 30° 38' 5.60"E koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 3.1’de bölgenin uydu görüntüsü verilmiştir.



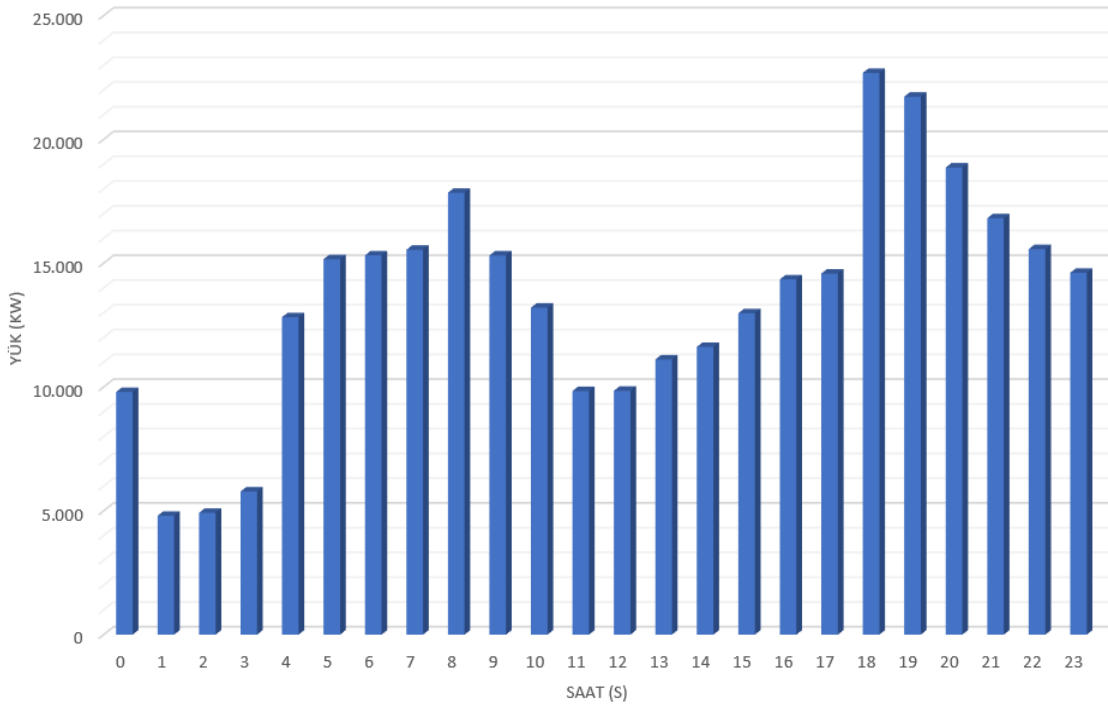
Şekil 3. 1 İşletmenin uzaktan uydu görüntüsü.

Şekil 3.2’de ise bölgenin lokasyon görünümü verilmiştir. Bölgede kurulu olan işletmenin günlük yük ihtiyacı 328 kWh’dir. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak işletmenin kurulu gücü ve 1 yıllık elektrik faturasına göre yük dağılım tabloları oluşturulmuştur.



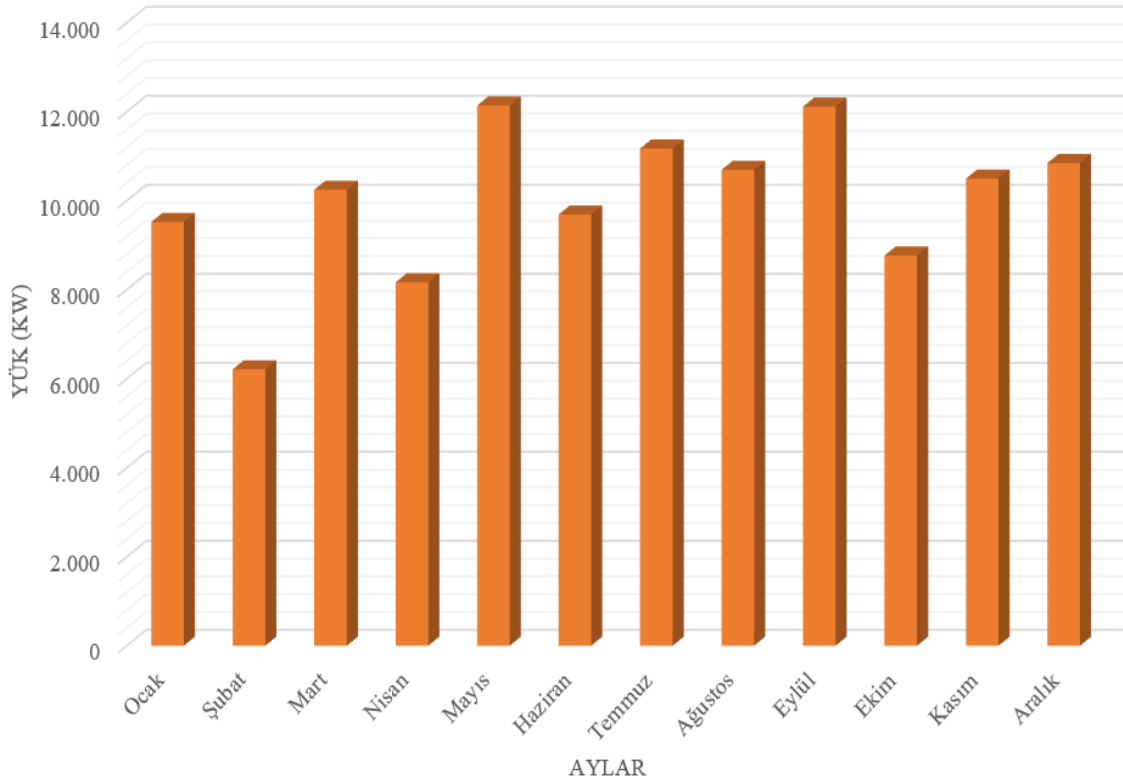
Şekil 3. 2 İşletmenin yakından uydu görüntüsü.

İşletme bünyesinde 250 tane sığır mevcuttur. İşletme içinde 10 tane 0,18 kW'lık kaşıyıcı, 4 tane 11 kW'lık gübre karıştırıcı, 4 tane 0,25 kW'lık sıyırıcı, 2 tane 150 kW'lık su ısıtıcısı, 2 tane 3,7 kW'lık hava kompresörü, 2 tane 2,2 kW'lık tank aktarım motoru, 2 tane 15 kW'lık dalgıç pompa, 1 tane 12 kW'lık seperatör, 1 tane 18 kW'lık soğutucu süt tankı, ve 50 tane 0,05 kW'lık aydınlatma elemanı bulunmaktadır.



Şekil 3. 3 İşletmenin günlük enerji tüketimi.

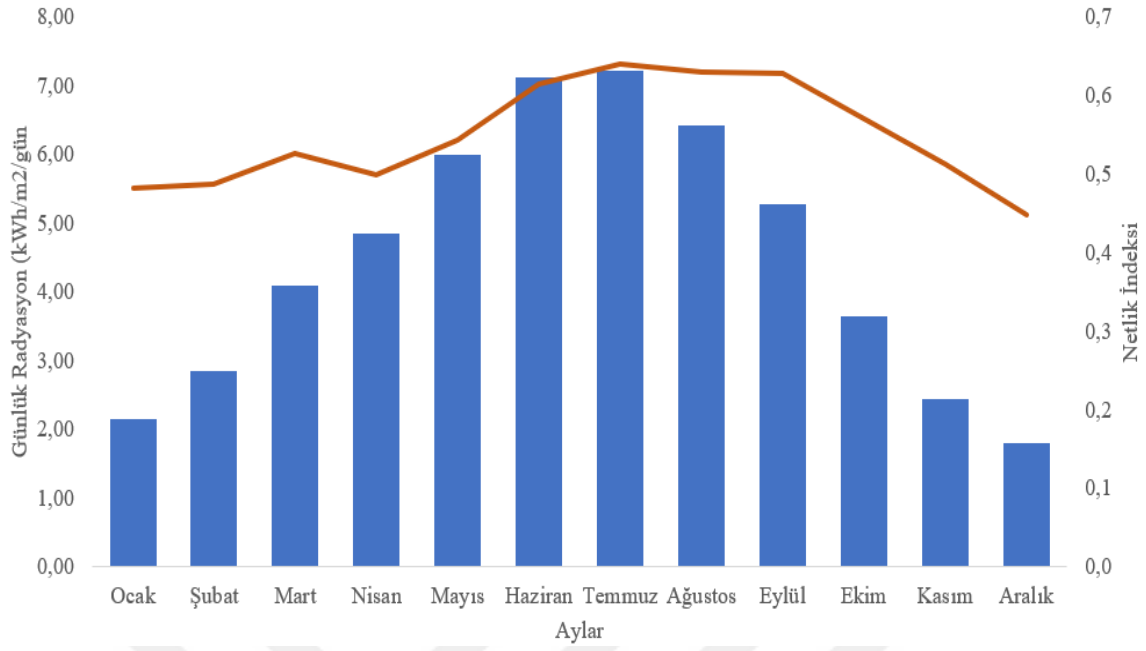
Bu işletmede bulunan cihaz yüklerinin ve işletmede bulunan 250 hayvanın günlük enerji tüketim grafiği Şekil 3.3'te ve yıllık tüketim grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 4 İşletmenin yıllık enerji tüketimi.

3.2 Güneş Enerjisi

Bölgenin ortalama güneş radyasyon değeri 4,49 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.5'te bölgenin güneş (GHI) ışıınım verileri görülmektedir. Güneş radyasyon değeri en yüksek temmuz ayında ortalama 7,23 kWh/m²/gün, en düşük aralık ayında 1,81 kWh/m²/gün olarak ölçülmüştür. Bölgenin netlik indeksi ise ortalama 0,54'tür. Sentezde, bütünsel ortalamaları yansıtan belirli istatistiksel özellikler kullanılarak veri yaratılır.



Şekil 3. 5 İşletmenin için ortalama güneş ışıınımı (GHI).

Bölgenin yıllık ortalama güneş radyasyon değeri 4,49 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Veriler ele alındığında bölgenin PV kurulumuna uygun olduğu görülür.

Bir PV dizisinin güç çıkışı, Eşitlik (3.1)'deki gibi hesaplanır (Adaramola vd. 2014).

$$P_{PV} = Y_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \frac{G_T}{G_{T, \text{stc}}} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_C - T_{C, \text{stc}})) \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

P_{PV} = PV dizisinin çıkış gücü (kW),

Y_{PV} = PV dizisinin nominal kapasitesi (standart test koşullarındaki) (kW),

f_{PV} = PV değer kaybı (indirgeme faktörü) (%),

G_T = PV güneş enerjisi (kW/m²),

$G_{T, \text{stc}}$ = PV dizisinin çıkış gücü (kW),

α = Güç sıcaklık katsayısı (%/°C),

T_C = PV hücre sıcaklığı (mevcut zamanda) (°C),

$T_{C, \text{stc}}$ = PV standart test koşullarındaki hücre sıcaklığı (°C),

Şeklinde ifade edilmektedir.

PV dizisinin güç çıkışı; PV dizisinin nominal kapasitesi güç çıkışı, azaltma faktörü güneş radyasyon olayının standart test koşulundaki radyasyona bölümünün ve hücre sıcaklık değerlerinin çarpımıyla elde edilmektedir.

Bir PV dizisinin verimliliği, Eşitlik (3.2)'deki gibi hesaplanır (Rezk vd. 2020).

$$\eta_{\text{stc}} = \frac{Y_{\text{PV}}}{A_{\text{PV}} \cdot G_{\text{T,stc}}} \quad (3.2)$$

Bu denklemde;

η_{stc} = PV modül verimliliği (%),

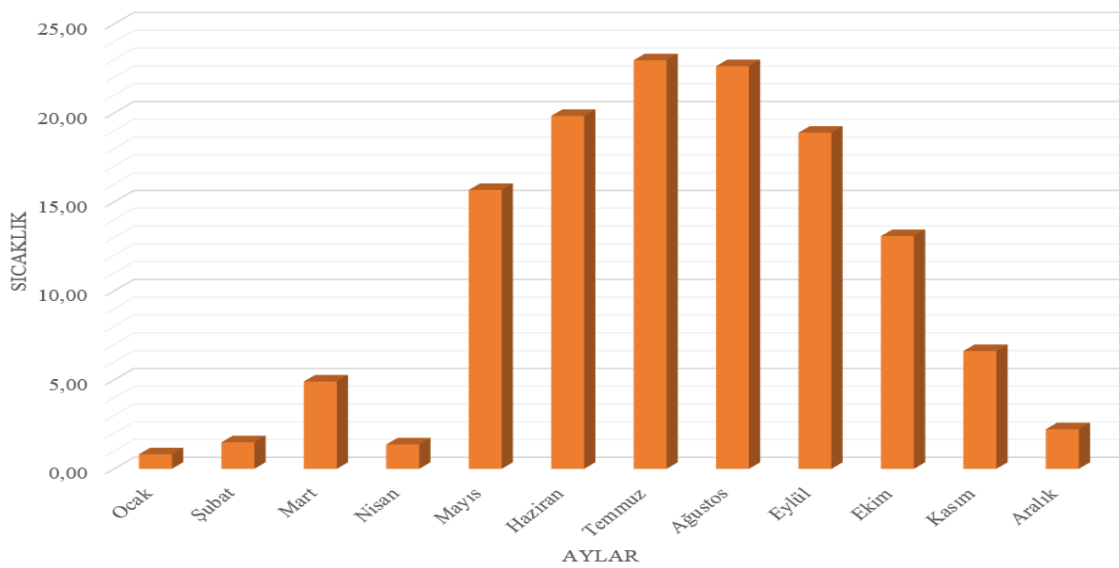
Y_{PV} = PV dizisinin nominal kapasitesi (standart test koşullarındaki) (kW),

A_{PV} = Modülün yüzey alanı (m²),

$G_{\text{T,stc}}$ = PV dizisinin çıkış gücü (kW),

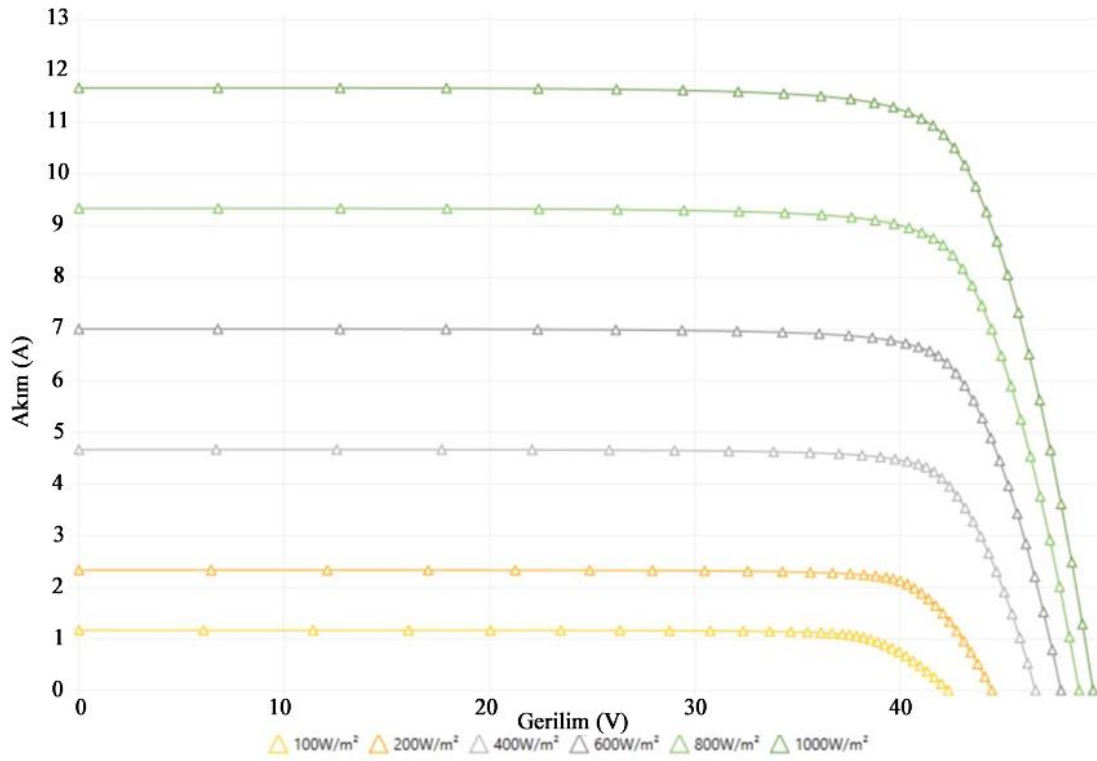
Şeklinde ifade edilmektedir.

Şekil 3.6'da bölgenin sıcaklık verileri görülmektedir. Bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı 11,63 °C'dir. Bölgede en yüksek sıcaklık temmuz ayında ortalama 22,96 °C, en düşük sıcaklık ise ocak ayında ortalama 0,82 °C ölçülmüştür.



Şekil 3. 6 İşletmenin aylık ortalama sıcaklık verileri.

Bu Modellemede kullanılan CWT 400-72PM-BC pv modülü kullanılmıştır. Panelin boyutları 1754x1096x35 mm'dir. paneldeki hücre sayısı 120 adettir. Ağırlığı 21 kg'dır. panel çıkışı DC'dir. Bundan dolayı sisteme bağlanabilmesi için konvertöre ihtiyaç vardır. DC-AC dönüştürücü (konvertör) ile yükün ihtiyaç duyduğu enerji karşılanır (İnt. Kyn. 11). Çizelge 4.1'de panele ve konvertöre ait teknik bilgiler verilmiştir. Panelin akım-gerilim eğrisi Şekil 3.7de verilmiştir.



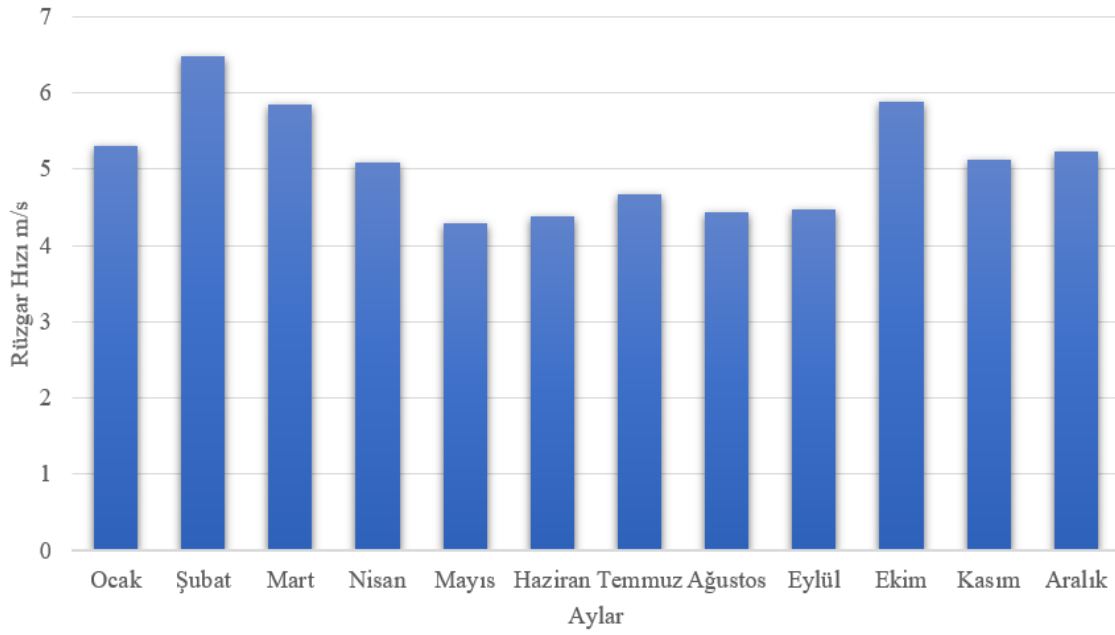
Şekil 3. 7 Modellemede kullanılan panelin akım-gerilim eğrisi (İnt. Kyn. 11).

3.3 Rüzgar enerjisi

Bir sene içerisinde rüzgâr hızları dağılımı ölçümüne Weibull k değeri denir. Bağımlılık faktörü (r_1), rüzgârın rastgelelik ölçüsü olarak ifade edilir. Daha yüksek r_1 değerleri bir saatteki rüzgâr hızı değişiminin doğrudan doğruya önceki saatteki rüzgâr hızına bağlı olduğunu, daha düşük değerler ise rüzgâr hızının saatten saate rastgele değişme eğiliminde olduğunu gösterir.

Şekil 3.8'de bölgenin ortalama rüzgâr hızları görülmektedir. Bu çalışmada $k=2$ ve $r_1=0,85$

alınmıştır. Günlük değişim faktörü (δ), rüzgâr hızının gün içinde saatlere ne kadar bağlı olduğunun ölçüsüdür. Bu çalışmada 0,25 alınmıştır. Puant (peak) rüzgâr hızının saati, yıllık ortalamaya göre günün en rüzgârlı saatidir. Bu çalışmada 15,00 puant olarak alınmıştır. HOMER benzetimlerinde anemometre yüksekliği 10 m olarak alınmıştır. Bölgenin yıllık ortalama rüzgâr hızı değeri 5,10 m/s olarak hesaplanmıştır. Buna göre bölgenin küçük güçlü rüzgâr türbini kurulmasına elverişlidir.



Şekil 3. 8 İşletmenin ortalama rüzgar hızları.

Bir rüzgâr türbinin güç çıkışı, eşitlik (3.3)'teki gibi ve Bir rüzgâr türbine etki eden rüzgâr hız denklemleri, eşitlik (3.4)'teki gibi hesaplanır (Das ve Canizares 2019).

$$P_{WT} = P_{WT, stc} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \quad (3.3)$$

$$\frac{u_{hub}}{u_{anem}} = \left(\frac{z_{hub}}{z_{anem}} \right)^\lambda \quad (3.4)$$

Bu denklemde;

P_{WT} = Rüzgar türbini çıkış gücü (kW),

$P_{WT, stc}$ = Rüzgar türbini çıkış gücü (standart test koşullarındaki) (kW),

ρ = Gerçek hava yoğunluğu (kg/m^3),

ρ_0 = Standart sıcaklık ve basınçta hava yoğunluğu ($1,225 \text{ kg/m}^3$),

u_{hub} = Rüzgâr türbini yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s),

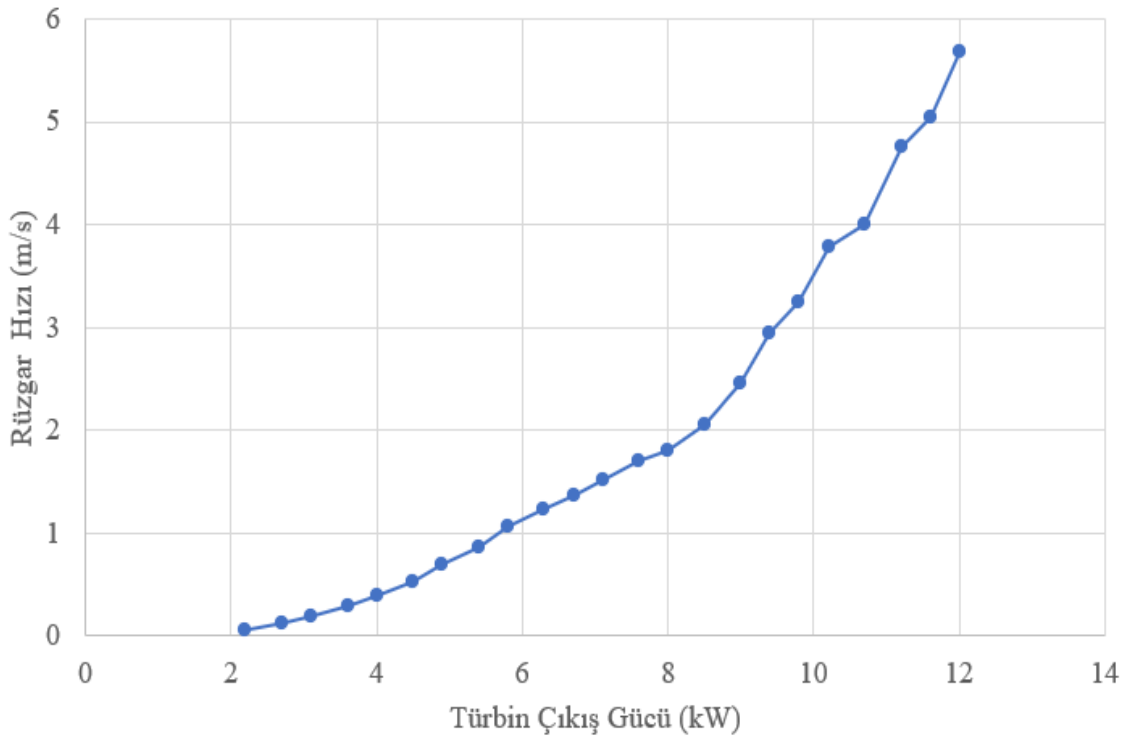
u_{anem} = Anemometre yüksekliğinde rüzgâr hızı (m/s),

Z_{hub} = Günlük değişim faktörü

Z_{anem} = Anemometre yüksekliği (m),

Şeklinde ifade edilmektedir.

Bu Modellemede kullanılan Australian Wind and Solar (AWS) rüzgar türbini modeli 4.2kW anma gücündedir. Türbinin rotor çapı 4,90 metredir. Hub yüksekliği 12 metredir. Peak çıkışı 4,6kW'dır. Birim ağırlığı 89kg'dır. Türbin çıkış gerilimi AC'dir. Şekil 3.9'da türbinin güç eğrisi verilmiştir (İnt. Kyn 12).



Şekil 3. 9 Modellemede kullanılan türbinin güç eğrisi (İnt. Kyn. 12).

3.4 Bölgenin Biyoenerji Verileri ve Biyoenerji Generatörü

Biyoenerji temel olarak organik atıklardan kullanılabilir gaz üretilmesini ifade eder. Bazı ülkede sığır gübresi birçok şekilde değerlendirilmektedir. Dünyada biyogaz üretiminde en yaygın büyükbaş hayvanların gübresi kullanılmaktadır. 1 ton yaş sığır gübresinden ortalama 33 m³ biyogaz üretilmektedir. 1 m³ biyogazdan elde edilen ısı miktarı 4700-5700 kCal'dir. Bu değer; 0,66 litre motorin 0,75 litre benzin 0,25 m³ propan tarafından sağlanan enerjiye eş değerdir. Sığır gübresinden üretilen biyogazın içeriğindeki metan oranı ortalama %53'tür. Bir sığır bir günde ortalama 10 kg kadar yaş gübre üretmektedir (Şenol vd. 2017).

Günlük toplanabilir gübre miktarı, eşitlik (3.5)'te, biyogaz miktarı eşitlik (3.6)'da kalorik biyogaz değeri eşitlik (3.7)'de ve biyogaz elektrik enerji değeri eşitlik (3.8)'de verilmiştir (Mudasser vd. 2015).

$$M_{DW} = M_W \cdot T_S \quad (3.5)$$

$$B_A = 0,365 \cdot P_L \cdot M_{DW} \cdot C_b \quad (3.6)$$

$$B_T = B_A \cdot C_C \quad (3.7)$$

$$B_E = B_A \cdot C_E \quad (3.8)$$

Bu denklemde;

B_A = Biyogaz miktarı (m³/a),

B_E = Biyogaz elektrik enerji değeri (kWh),

B_T = Kalorik biyogaz değeri (MJ),

C_b = Biyogaz verimi (m³/t),

C_C = Kalorik biyogaz katsayısı (MJ/m³),

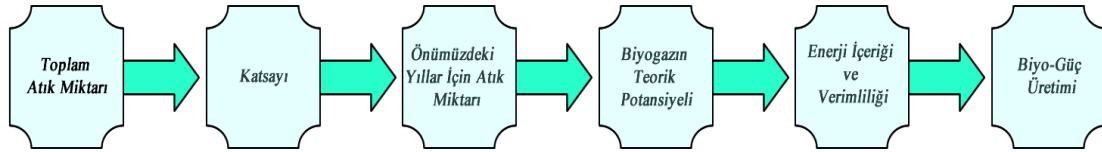
C_E = Elektrik enerji katsayısı (kWh/m³),

M_{DW} = Günlük toplanabilir gübre miktarı (kg.gün/adet),

P_L = Hayvan popülasyon miktarı (adet),

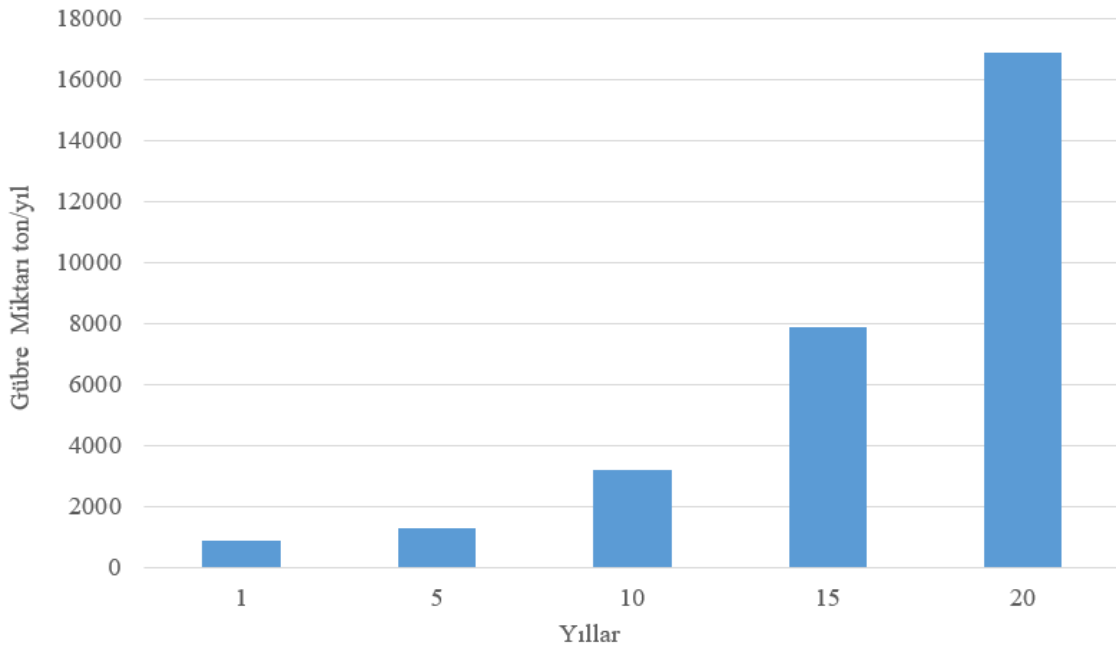
Şeklinde ifade edilmektedir.

Şekil 3.10’da biyogaz üretim aşamaları görülmektedir. Büyükbaş hayvan atıkları belirli aşamalarla işlenir ve sonunda biyogaz elde edilir. Elde edilen biyogaz da enerji üretiminde yakıt olarak kullanılır ve dizel yakıtta olduğu gibi generatör enerji üretir



Şekil 3. 10 Biyogaz üretim aşamaları şeması.

Şekil 3.11’de ise yıllara göre biyogaz tesisinin yakıt olarak kullandığı gübre miktarını gösteren grafik verilmiştir. 1. yıl 911 ton/yıl, 5. yıl 1303 ton/yıl, 10.yıl 3219 ton/yıl, 15.yıl 7888 ton/yıl ve 20.yıl 16 864 ton/yıl olarak ölçülmüştür. Hayvan sayısı ile gübre miktarı doğru orantılıdır. Hayvan sayısı arttıkça atık gübre miktarı da o oranda artmaktadır.



Şekil 3. 11 Yıllık gübre verileri.

3.5 Batarya Kapasitesi

Elektrik enerjisinin depolanması konusunda bilinen en eski ve olgunlaşmış teknoloji kurşun asit bataryalar tarafından sağlanmıştır. En düşük self-deşarja sahip olan bataryaların düşük yatırım maliyetine sahip olması için nispeten daha kolay bakım sağlayan avantajları bulunmaktadır (Al-Turjman vd. 2020). Batarya kapasite değeri, eşitlik (3.9)'da verilmiştir (Olatomiwa vd. 2015).

$$N_{BAT} = \frac{C_{Wh}}{C_{BAT}} \quad (3.9)$$

Bu denklemde;

C_{BAT} = Bataryanın kapasite değeri (kWh),

C_{Wh} = Batarya grubunun kapasite değeri (kWh),

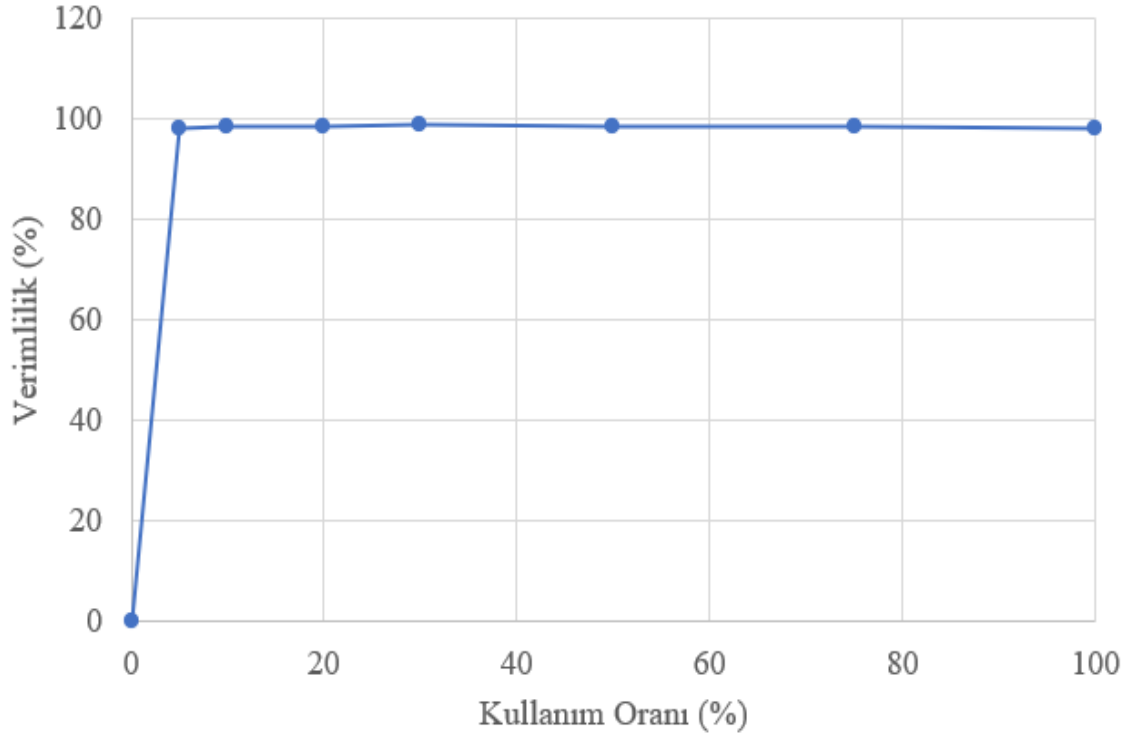
N_{BAT} = Kullanılacak batarya sayısı (adet),

Şeklinde ifade edilmektedir.

3.6 Konvertör

Yenilenebilir enerji sistemlerinde dönüştürücüler, konvertör modda çalışıp AC gücü kullanılan DC gücüne dönüştürüp bataryaları şarj etmek veya inverter modda çalışarak AC yük barasına entegre edilmiş DC güçleri AC güce çevirmek için kullanılırlar (Jahangiri vd. 2019).

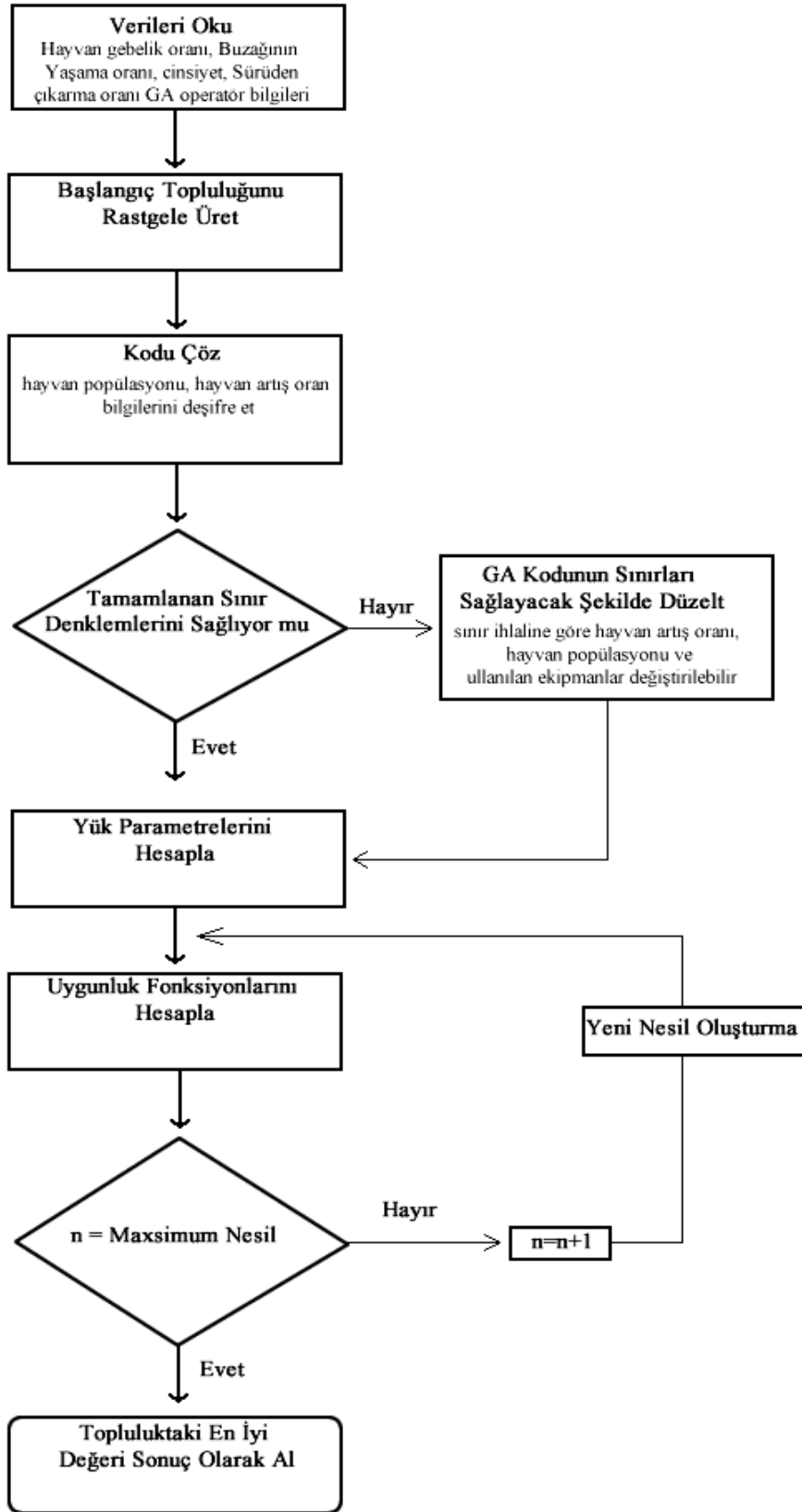
Bu Modellemede Huawei SUN2000-100KTL-M1 400(Vac) kullanılmıştır. Boyutları 1,035x700x365 mm'dir. Devreye girme voltajı 200V'dir. Her bir MPPT için maksimum giriş akımı 26A'dır. Kullanım oranı ve verimlilik grafiği Şekil 3.12'de verilmiştir (İnt. Kyn. 13). Kullanılan konventöre ait teknik özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 12 Modellemede kullanılan konvertörün kullanım oranı ve verimlilik değerleri (İnt. Kyn. 13).

3.7 Genetik Algoritma ile Hayvan Tahmini

Bu bölümde tahmin yöntemlerden GA ile sığır İşletmeninin hayvan sayısı tahmini yapılmıştır. Doğru hayvan artış oranı ve sayısı tahmini ile işletme maliyetleri ve kayıplar azalacak dolayısıyla üretici için tekno-ekonomik iyileşmeler söz konusu olacaktır. İşletmedeki yıllara göre hayvan sayısı değişimi Şekil 3.13'teki GA ile Akış şeması verilmiştir.



Şekil 3. 13 Hayvan sayısı değişiminin Genetik algoritma akış şeması.

GA için gerekli veriler işletmedeki birinci yıl hayvan sayısı, hayvanın gebe kalma oranı, doğan buzağların yaşama oranı, buzağların cinsiyeti, sürüden çıkarılacak hayvan sayısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Eşitlik (3.10)'da ve (3.11)'de fonksiyon olarak verilmiştir.

$$y = \sum_{i=3}^t 0,75.f(i_y-1)+f(i_y-2). G_o .B_o.B_{yo} .H_{co} \quad (3.10)$$

$$f(x)=\{ 3 \leq t \leq 20 \} \quad (3.11)$$

Eşitlik (10)'da verilen denklemde ;

Y= sonuç,

f = aktivasyon fonksiyonu,

i_y = yıl,

t = doğum süresince geçen yıl,

x = girdi değerleri,

G_o = gebelik oranı,

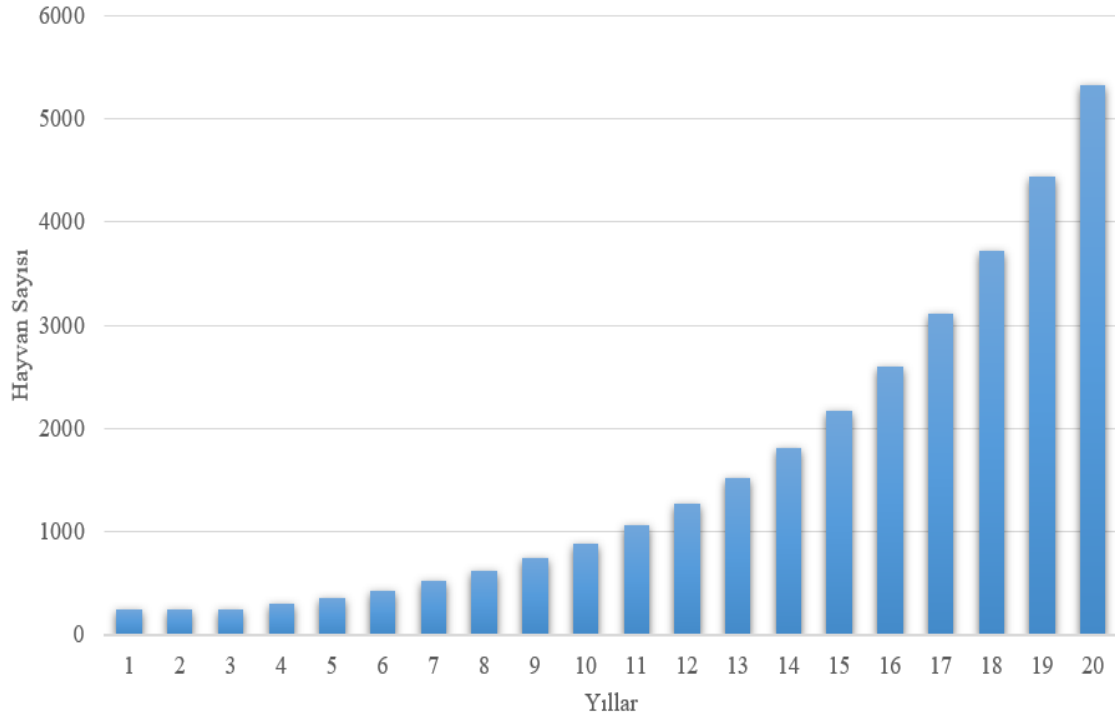
B_o = hayvanın buzağılama oranı,

B_{yo} = yeni doğan buzağların yaşama oranı,

H_{co} = doğan hayvanların cinsiyet oranları ve katsayısı

Şeklinde ifade edilmektedir.

Bu çalışmada hayvan sayısının artışının tahmininde rulet tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.14'te GA eğitimi sonunda 20 yıllık hayvan sayısı için elde edilen değerlerin tahmin eğrisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen tahmin modelinin güvenilir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. 14 20 yıllık hayvan sayısı.

3.8 PVsyst

Bu program yapılarda güneş enerjisi modellemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Programda güneş açıları, fotovoltaik sistem girdileri, kayıplar, gölge ve dizi modellemesi gibi girdiler ile performans analizi yapılabilir. PVsyst programı NASA PVGIS ve Meteonorm gibi kuruluşların veri tabanını kullanmaktadır. Bu kuruluşlar küresel alanda en büyük meteoroloji veri tabanına sahiplerdir. Bu program; geniş seçim yelpazesine sahip olması, PV sistem elemanlarını altyapısında barındırması, kurulan sistemdeki kayıpların ayrıntılı olarak gözlemlenmesi, varsayılan seçim şartlarının literatüre uygun olması, 3D çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının tespit edilebilmesi, ekonomik analiz yapılabilmesi ve gerçek sonuçlar ile simülasyon sonuçları arasında çok az bir fark olması gibi nedenlerden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir.

Net bugünkü değer; belirli bir dönemdeki nakit girişlerinin bugünkü değeri ile nakit çıkışlarının bugünkü değeri arasındaki farka verilen isimdir. Net bugünkü değer aşağıdaki eşitlik (3.12) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i_{isk})^t} \quad (3.12)$$

Bu denklemde;

R_t = Yıl için (t) net bakiye (gelir - gider),

i_{isk} = Alternatif yatırımlarda kazanılabilecek iskonto oranı,

E_t = Yıllık elektrik üretimi,

n = Kurulan sistemin ömrü

Şeklinde ifade edilmektedir.

3.9 PV*SOL

Arazi üstü ve çatı tipi güneş enerji santralleri gerçeğe uygun olarak tasarımını ve simülasyonunu yapan güneş enerji santrali analiz programıdır. Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız sistemlerin kurulumunu yapmaya yarayan çok yönlü bir programdır. Bu program sayesinde bir fotovoltaik sistemin etrafında oluşacak gölgelenme yaratan bileşenlerin sisteme etkisini net ve kesin bir şekilde verilen raporda inceleyebilir ve sistem verimliliğini daha doğru hesaplayabilirsiniz.

PV*SOL programı ile ekonomik verimlilik eşitlik (3.13) ve (3.14) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$CV = Z.b(T,q,r) \quad (3.13)$$

Bu denklemde;

CV = Cash Value,

Z = Ödeme serisi,

T = Sistemin Ömrü,

b = Net değer faktörleri.

Şeklinde ifade edilmektedir.

Net değer faktörü aşağıdaki eşitlik (3.14) kullanılarak bulunur.

$$b(T,q,r)=\begin{cases} \frac{1-\left(\frac{r}{q}\right)^T}{q-r}, & \&r\neq q \\ \frac{T}{q}, & \&r=q \end{cases} \quad (3.14)$$

Bu denklemde;

q =Basit faiz faktörü,

r =Fiyat değişim faktörü

Şeklinde ifade edilmektedir.

3.10 HOMER

Bu program yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımın yanı sıra hibrit güç sistemlerinin de fiziksel özelliklerini, sistem kullanım ömürlerini, toplam kurulum ve işletme maliyetlerini modeller. Bu program teknik ve ekonomik verileri kullanarak farklı güç sistem tasarımlarına imkan sağlar. Ayrıca, sistem modellenirken kullanılan verilerde yapılan değişikliklerin ve belirsizliklerin anlaşılmasına da yardımcı olur. Farklı sistem konfigürasyonlarını veya bileşenlerini simüle etmek için imkan sağlar. HOMER ayrıca simülasyon sonuçlarını, yapılandırmaları karşılaştırabilecek, ekonomik ve teknik avantajlarıyla değerlendirebilmektedir.

Net bugünkü maliyet (NPC), sistemin ömrü boyunca harcanan kurulum ve işletme maliyetlerini içerir. Sistemin ekonomik çıktıları, net şimdiki maliyeti bulmak amacıyla hesaplanmaktadır. Net bugünkü maliyet, eşitlik (3.15) kullanılarak hesaplanır (Jaszczur vd. 2020).

$$NPC = \frac{C_{ann,total}}{CRF(i,N)} \quad (3.15)$$

Bu denklemde;

NPC = Net şimdiki maliyet (\$),

$C_{ann,total}$ = Toplam yıllık maliyet (\$/yıl),

$CRF(i,N)$ = Sermaye geri kazanım faktörü (%),

Şeklinde ifade edilmektedir.

Sermaye geri kazanım faktörü (CRF), yıllık gelir gider akışının şimdiki değerini hesaplamak için kullanılır ve eşitlik (3.16) ile hesaplanır (Demirci vd. 2022).

$$CRF(i,N)= \frac{i \cdot (i+1)^N}{(i+1)^N-1} \quad (3.16)$$

Bu denklemde;

CRF(i,N) = Sermaye geri kazanım faktörü (%),

i = Gerçek faiz oranı (%)

N= Proje ömrü (yıl)

Şeklinde ifade edilmektedir.

HOMER, birim enerji maliyetini sistemin ürettiği faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak tanımlar ve eşitlik (3.17)'deki bağıntı ile açıklar.

$$COE= \frac{C_{ann,total}}{E_{AC}+ E_{DC}+ E_{grid}} \quad (3.17)$$

Bu denklemde;

COE= Enerji başına düşen birim maliyet (\$),

$C_{ann,total}$ = Toplam yıllık maliyet (\$/yıl),

E_{AC} = Beslenen AC yük miktarı (kWh/yıl),

E_{DC} = Beslenen DC yük miktarı (kWh/yıl),

E_{grid} = Şebekeye satılan yıllık enerji miktarı (kWh/yıl),

Şeklinde ifade edilmektedir.

Toplam yıllık maliyet (CT), sistemde bulunan elemanların her birinin yıllık maliyeti ile diğer yıllık maliyetlerin toplamıdır. Toplam sistem maliyeti, sistemde kullanılan bileşenlerin maliyetlerinin toplamına eşittir ve eşitlik (3.18)'te verilmiştir. Her bir bileşen için ayrı maliyet ise eşitlik (3.19)'teki bağıntı kullanılarak hesaplanır (Demirci vd. 2022).

$$C_T = C_{PV} + C_{WT} + C_{BAT} + C_{BG} + C_{inv} \quad (3.18)$$

$$C_i = N_i \cdot (C_{cap,i} + C_{rep} \cdot K_i + C_{O\&M}) \quad (3.19)$$

Bu denklemde;

C_{BAT} = Bataryanın kapasite değeri (kWh),

C_{BG} = Biyo generatör maliyeti (\$),

C_i = Bileşen maliyeti (\$),

C_{inv} = Dönüştürücü maliyeti (\$),

$C_{cap,i}$ = Bileşen sermaye maliyeti (\$),

$C_{O\&M}$ = Bileşen bakım onarım maliyeti (\$),

C_{rep} = Bileşen yenileme maliyeti (\$),

C_T = Toplam sistem maliyeti (\$),

C_{PV} = PV panel maliyeti (\$),

C_{WT} = Rüzgâr türbin maliyeti (\$),

K_i = Yenileme sayısı (adet),

N_i = Bileşen sayısı (adet),

Şeklinde ifade edilmektedir.

Öz tüketim oranı (SCR), öz besleme oranı (SSR), tepe güç azaltma (PPR), kesinti gibi son çalışmalarda ortak performans göstergeleri olmuştur. SCR, Eşitlik (3.20)'de doğrudan yüke aktarılan BG tarafından üretilen enerji ile yıllık toplam BG üretimi arasındaki oran olarak tanımlanır. SSR, doğrudan yüke aktarılan toplam BG üretim miktarı ile yıllık toplam yük talebi arasındaki oran olarak tanımlanır. Eşitlik (3.21)'de görüldüğü gibi, yük talebindeki BG payı artarsa SSR değeri artar.

$$SCR = \frac{\sum E_{BG}^{cons}}{\sum E_{BG}^{gen}} (\%) \quad (3.20)$$

$$SSR = \frac{\sum E_{BG}^{cons}}{\sum E_{Load}} (\%) \quad (3.21)$$

Bu denklemde;

SCR = Öz tüketim oranı,

SSR = Öz besleme oranı,

BG= Beygir gücü,

Şeklinde ifade edilmektedir.

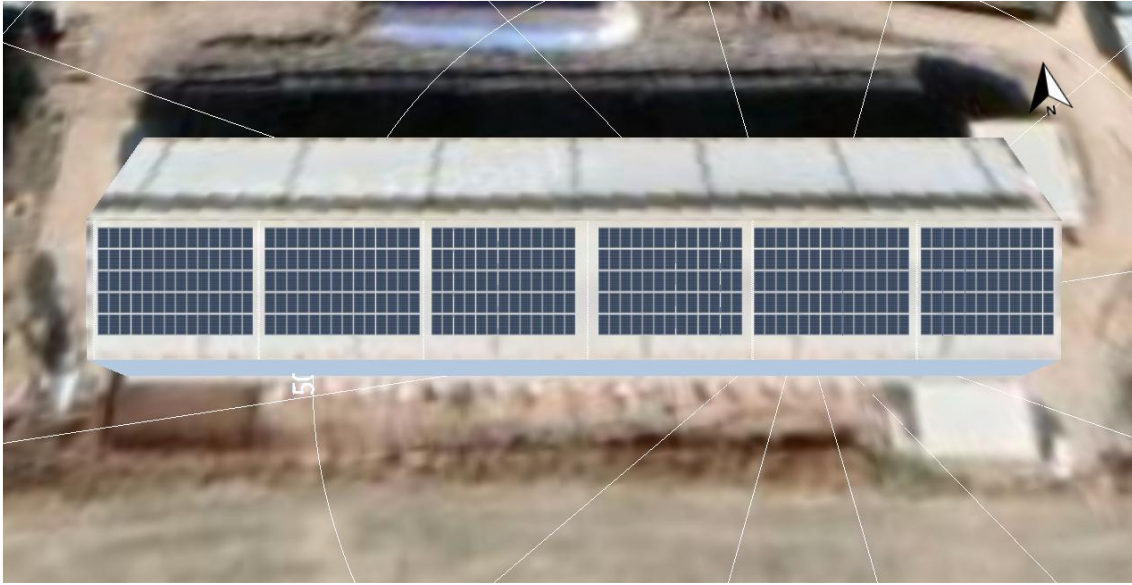


4. BULGULAR

Tezin bu bölümünde uygulama için yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

4.1 PV*SOL Modeli

Tasarım için kullanılacak çatının üzerine panel yerleşimi PV*SOL simülasyon programı ile yapılmıştır. Çatının bakım yolları ve gölgelemenin fazla olduğu kuzey cephesine PV yerleşimi yapılmamıştır. Gölgeleme nedeniyle %20 veya daha yüksek ışıınım azalmasına sahip modüller, hem dizinin çıktısını önemli ölçüde azaltabilecekleri hem de ekonomik hususlar nedeniyle hariç tutulmuştur. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 2160 m²’lik alan üzerine 400 adet panel yerleştirilmiştir.



Şekil 4. 1 Çatıya PV modül yerleşim planı.

Ayrıca sistem tasarımında kullanılan panel ve invertöre ait özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Panel ve invertör özellikleri.

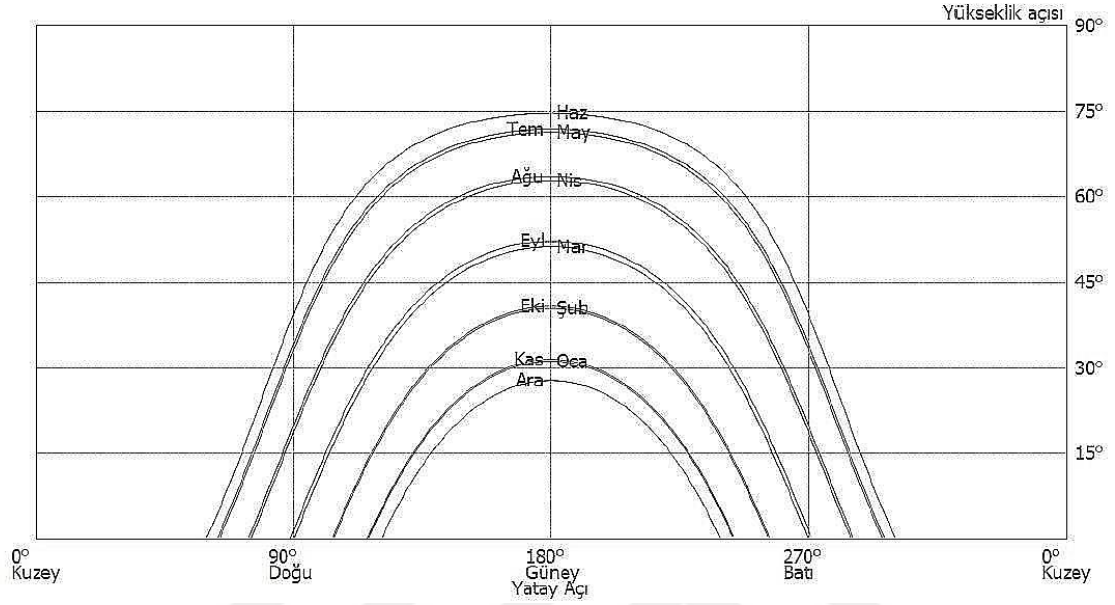
Fotovoltaik panel	Panel gücü	400 W
	Verim	%20,06
	Max. güç gerilimi	41,40 V
	Max. güç akımı	9,75 A
	Açık devre gerilimi	49,8 V
	Kısa devre akımı	10,38 A
	Panel güç toleransı	+5 W
	Max. Giriş akımı (her mppt için)	26 A
	Toplam harmonik bozulma	<%3
İnvertör	Verim	%98,6
	Çalışma gerilimi	200-1000 V
	MPPT Sayısı	10
	Nominal şebeke frekansı	50/60 Hz

Çizelge 4.2’de PV*SOL’de kurulan PV sisteme ait sonuçlar verilmiştir. Sistem her yıl 226,417 MW elektrik enerjisi üretmektedir. Yıl geçtikçe işletmenin enerji ihtiyacının arttığı görülmektedir. Ayrıca işletmenin yıllara göre hayvan sayısı artışına bağlı olarak PV sistemden ve şebekeden aldığı elektrik enerjisi miktarının da artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 2 PV*SOL de sonuçların yıllara göre karşılaştırması.

Yıllar	1.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl	20.Yıl
PV Üretilen Enerji (MW/yıl)	226,417	226,417	226,417	226,417	226,41
İhtiyaç Duyulan Enerji (MW)	120,06	120,226	121,010	122,938	127,66
İşletmenin PV’den aldığı Enerji (MW)	31,44	31,47	31,59	31,90	32,63
İşletmenin Şebekeden Aldığı Enerji (MW)	88,62	88,76	89,42	91,04	95,043
Şebekeye Satılan Enerji (MW)	194,95	194,92	194,8	194,496	193,77
Kullanılan Güneş Enerjisi Oranı (%)	26,2	26,2	26,1	26	25,6
Şebekeden Alınan Enerjisi Oranı (%)	73.8	73.8	73.9	74	74,4

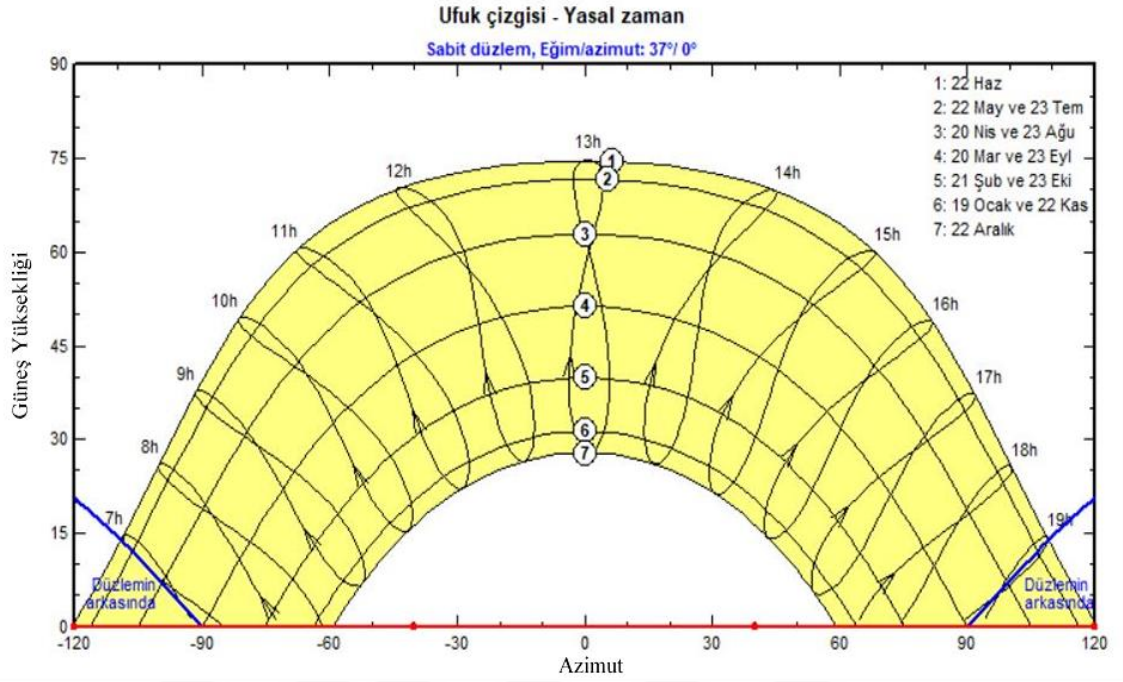
İşletmenin kurulum yerindeki güneşin ufuk çizgisine göre açıları ve yönleri Şekil 4.2’de verilmiştir. En iyi açı haziran ayında güney yönünde elde edilmiştir. En düşük açı ise aralık ayında elde edilmiştir.



Şekil 4. 2 İşletmenin ufuk çizgisi açıları.

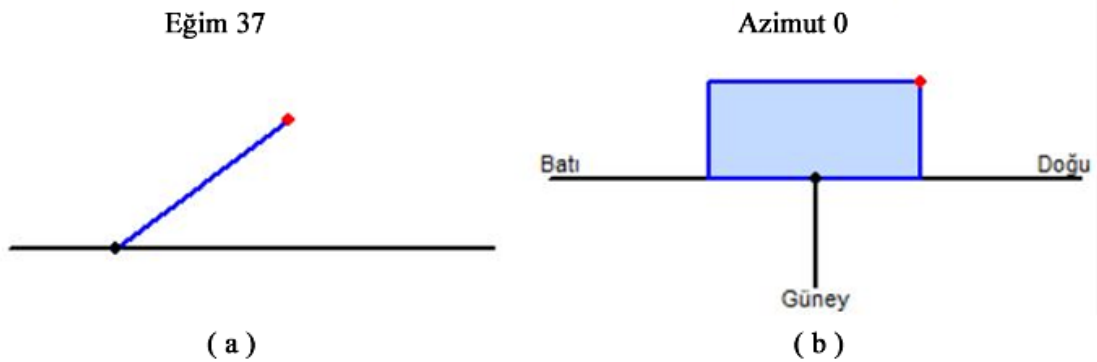
4.2 Pvsyst Modeli

PV*SOL’den aldığımız veriler doğrultusunda PVsyst’te optimum panel açısı, sabit açılı sistemlerde yıllık olarak belirlenmiştir. Panel açısını doğru belirlemek sistem verimliliği için önemlidir. Panel açısı Afyonkarahisar bölgesi için 37° olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3’de güneş yüksekliği verilmiştir.



Şekil 4. 3 Ufuk çizgisi.

Eğimli bir çatıya paneller montajlanacaksa çatının eğiminin de dikkate alınması gerekmektedir. Azimut açısı güneşin yönünü belirlemek için kullanılır. Paneller, Şekil 4.4'te (a) azimut ve (b) eğim açısı gösterildiği gibi güneye bakacak şekilde monte edilir. Şekil 4.5'te ise düzlem eğimi ve düzlem yönlendirmesi transpozisyon faktörü değerleri verilmiştir. Tasarlanan sistemin simülasyon sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.3'de verilmiştir.



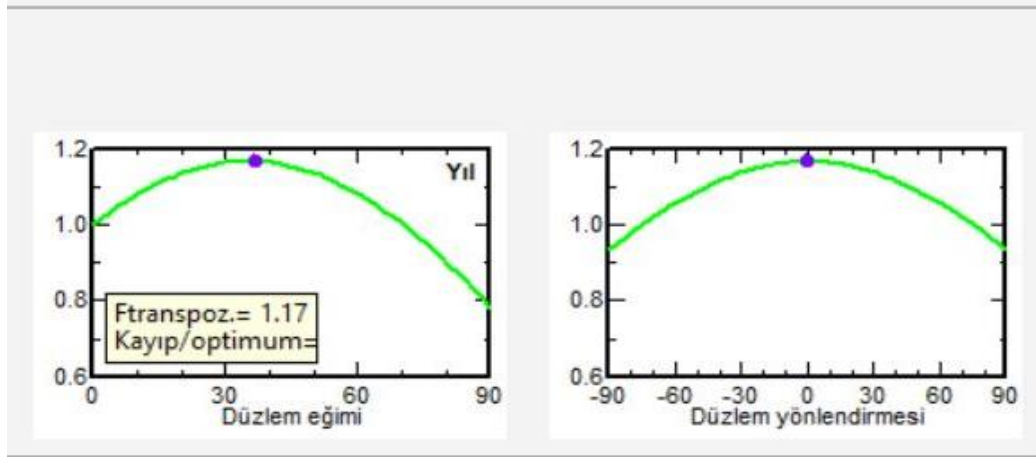
Şekil 4. 4 Eğim açısı ve azimut açısı.

Çizelge 4.3'ten de görüldüğü üzere şebekeden çekilen enerji yıl geçtikçe artarken sistemin şebekeye verdiği enerji de azalmaktadır.

Çizelge 4. 3 PVsyst'de sonuçların yıllara göre karşılaştırması.

Yıllar	1.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl	20.Yıl
PV Üretilen Enerji (MW/yıl)	195,6	195,6	195,6	195,6	189
İhtiyaç Duyulan Enerji (MW)	120,06	120,22	121,01	12,93	127,66
İşletmenin PV'den aldığı Enerji (MW)	49,57	50,28	53,57	61,41	78,43
İşletmenin Şebekeden Aldığı Enerji (MW)	70,49	71,79	77,92	93,21	128,58
Şebekeye Satılan Enerji (MW)	145,99	145,27	141,99	134,2	117,13
Kullanılan Güneş Enerjisi Oranı (%)	41,29	41,19	40,74	39,72	37,89
Şebekeden Alınan Enerjisi Oranı (%)	58,71	58,81	59,26	60,28	62,11

Dolayısıyla sadece PV ile kurulan sistem ilerleyen yıllarda işletmenin enerjisini karşılamayacaktır.



Şekil 4. 5 Düzlem eğimi ve düzlem yönlendirmesi transpozisyon faktörü.

4.3 Homer PV Modeli

PV panellerin tüm yıllarda ürettiği elektrik enerjisi aynı olup 237,42MW'dir. İşletmenin kurulan PV sistemden aldığı elektrik enerjisi 1. yılda 31,17 MW iken 20. yılda 26,89 MW

olmuştur. Yani işletmenin elektrik enerjisi ihtiyacını kurulan PV sistemden karşılama oranı giderek azalmaktadır. Kurulan sistemden şebekeye elektrik satışı 1. yıl 206,25 MW iken 20. yılda 210,527 MW'ye çıkmıştır. Çizelge 4.4' de HOMER programında kurulan PV sisteme ait sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4. 4 HOMER' de PV Sistem sonuçların yıllara göre karşılaştırması.

Yıllar	1.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl	20.Yıl
PV Üretilen Enerji (MW/yıl)	237,42	237,42	237,42	237,42	237,42
İhtiyaç Duyulan Enerji (MW)	120,06	120,22	121,01	122,93	127,66
İşletmenin PV'den aldığı Enerji (MW)	31,17	29,96	29,195	28,68	26,89
İşletmenin Şebekeden Aldığı Enerji (MW)	88,89	90,27	91,81	94,26	100,78
Şebekeye Satılan Enerji (MW)	206,25	207,46	208,23	208,74	210,52

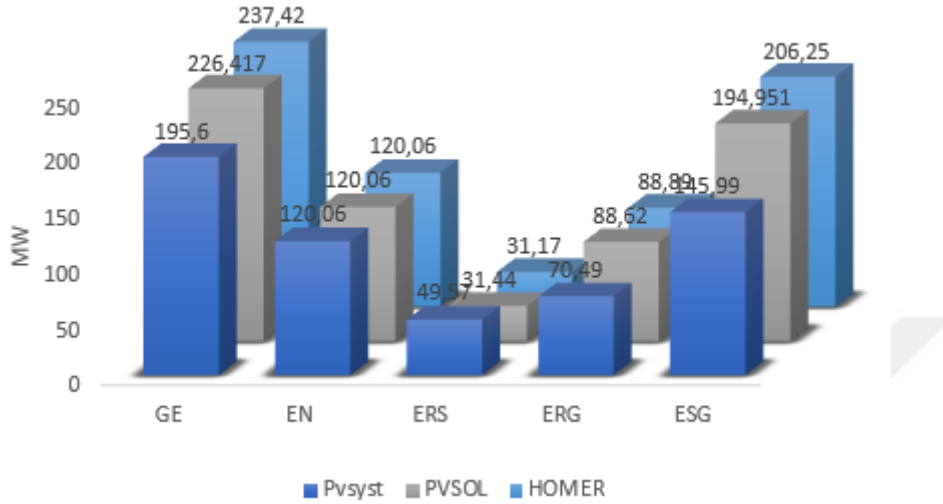
Çizelge 4.5'de HOMER, PVsyst, PV*SOL programlarında işletme için kurulan PV sistemin ürettiği elektrik enerjisinin yıllara göre karşılaştırılmasına ait veriler verilmiştir. Kurulan PV sistemi 1., 5., 10., 15. ve 20. yıllarda HOMER'de; 237,43 MW, PV*SOL'de; 226,417 MW, PVSyst'te; 195,6 MW'dir. Yani programlarda üretilen enerjiler birbirlerinden farklıdır.

Çizelge 4. 5 HOMER, PVSyst, PV*SOL güneş enerjisinden elektrik üretim verilerinin karşılaştırılması.

Yıllar	1.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl	20.Yıl
PV*SOL (MW/yıl)	226,417	226,417	226,417	226,417	226,417
PVSyst (MW/yıl)	195,6	195,6	195,6	195,6	195,6
HOMER Pro (MW/yıl)	237,42	237,42	237,42	237,42	237,42

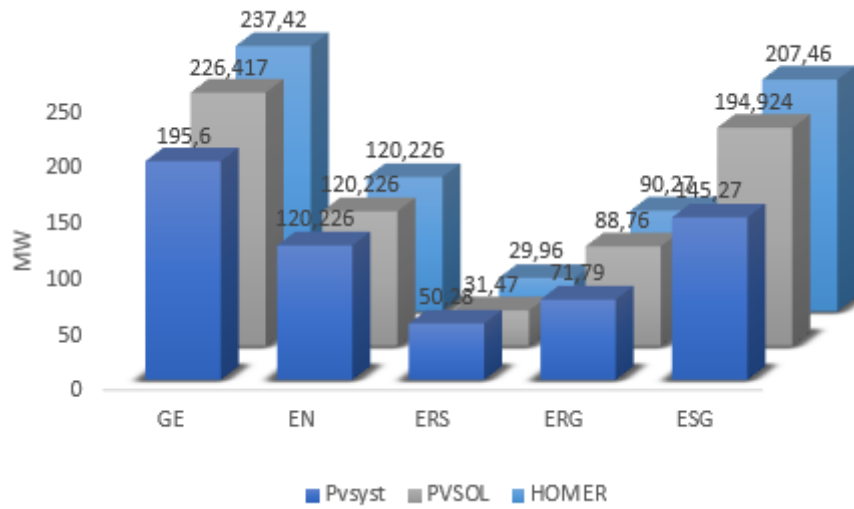
Şekil 4.6-Şekil 4.10'daki HOMER, PVsyst ve PV*SOL programlarında kurulan PV sistem sonuçlarının yıllara göre karşılaştırılması gösterilmiştir. Grafiklerde üretilen enerji

(GE), işletmenin ihtiyaç duyduğu enerji (EN), işletmenin PV sistemden aldığı enerji (ERS), işletmenin şebekeden aldığı enerji (ERG) ve şebekeye satılan enerji (ESG) yıllara göre dağılımı görülmektedir.



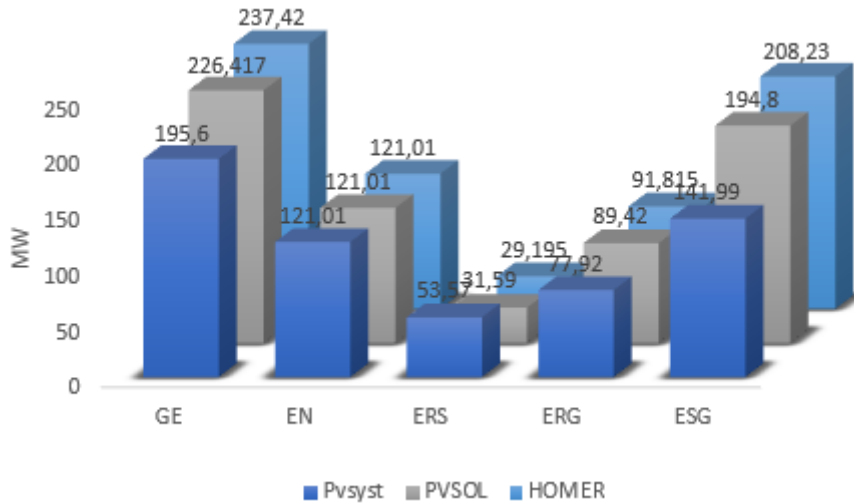
Şekil 4. 6 1.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.6 1. yıla ait üretilen enerji (GE), işletmenin ihtiyaç duyduğu enerji (EN), işletmenin PV sistemden aldığı enerji (ERS), işletmenin şebekeden aldığı enerji (ERG) ve şebekeye satılan enerji (ESG)nin PVsyst, PV*SOL ve HOMER programda da dağılımını gösteren grafikler verilmiştir. 3 programda da üretilen elektrik enerjisi miktarı farklıdır. İşletmenin ihtiyaç duyduğu enerji 120,06 MW olarak gösterilmektedir. İşletmenin panellerden aldığı enerji 49,57 MW ile en yüksek PVSyst programındadır. Ürettiği enerjinin 206,25 MW'sini HOMER programı satarken bu değer PVSyst ve PV*SOL programlarında daha düşüktür.



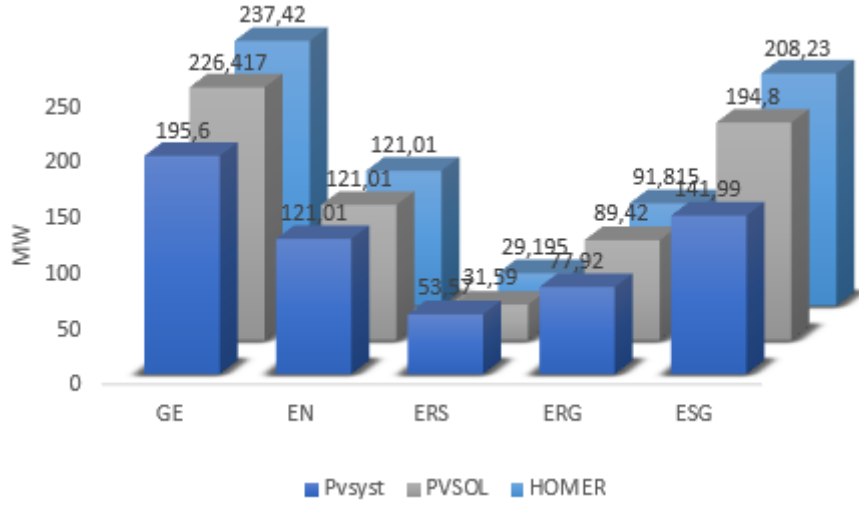
Şekil 4. 7 5.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.7’de 5. yıldaki GE, EN, ERS, ERG ve ESG verilmiştir. Üretilen enerji miktarları 3 programda da 1. yıldaki gibi aynıdır. İşletmenin enerji ihtiyacı artmış ve 120,226 MW’ye çıkmıştır. İşletmenin PV panellerden aldığı enerji miktarı HOMER’de; 29,96 MW, Pvsyst’te; 50,28 iken PV*SOL’de bu değer 31,47 MW dir.



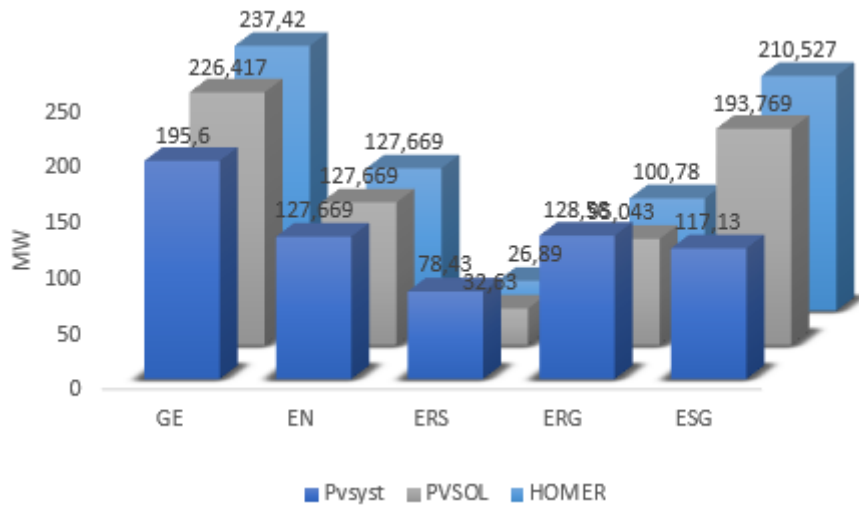
Şekil 4. 8 10.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.8’de 10. yıldaki GE, EN, ERS, ERG ve ESG verilmiştir. 1. ve 5. yıldaki gibi programlarda üretilen elektrik enerjisi miktarı değişmemektedir.



Şekil 4. 9 15.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.9’da 15. yıldaki GE, EN, ERS, ERG ve ESG verilmiştir. 1., 5. ve 10. yıldaki gibi programlarda üretilen elektrik enerjisi miktarı değişmemektedir. İşletmenin enerji ihtiyacı ise 122,938 MW’ye çıkmıştır. İşletmenin PV sistemden aldığı enerji ve İşletmenin şebekeden aldığı enerji her bir programda bir önceki yıllara göre artış göstermektedir. Şebekeye satılan enerji ise HOMER programında artarken diğer programlarda azalmaktadır.

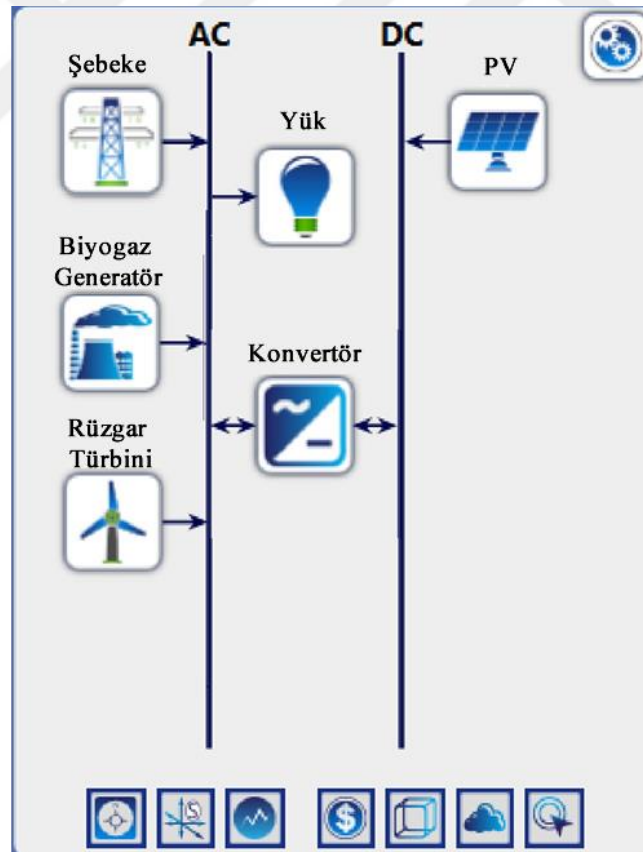


Şekil 4. 10 20.Yılda kurulan PV sistem sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.10’da 20. yıldaki GE, EN, ERS, ERG ve ESG verilmiştir. 1., 5., 10. ve 15. yıldaki gibi programlarda üretilen elektrik enerjisi miktarı değişmemektedir. İşletmenin enerji ihtiyacı 127,669 MW seviyelerine çıkmıştır.

4.4 Hibrit Güç Sistemleri Modeli

Şekil 4.11’de tasarlanan hibrit güç sisteminin (HGS) tek hat şeması görülmektedir. Tasarlanan hibrit sistem biyogaz generatörü, PV paneller ve rüzgâr türbinlerinden oluşmaktadır. Burada PV sistem DC baraya; rüzgâr türbinleri, işletme yükü ve biyogaz generatörü AC baraya bağlanmıştır. Konvertör AC ve DC bara arasındaki çift yönlü dönüşümü gerçekleştirmek amacıyla her iki baraya bağlı gösterilmiştir. Sistemde aynı zamanda şebeke bağlantısı da mevcuttur.



Şekil 4. 11 On-grid HGS modellemesi.

Sistem tasarımı yapılırken her bir komponentin gerekli maliyetlerinin oluşturulması gerekmektedir. Günümüz şartlarında maliyetler arasında ciddi değişkenlikler görülmektedir. Bu nedenle en uygun maliyet belirlenmiş ve ilgili kısımlara değerleri girilmiştir. Çizelge 4.6’da maliyetlere ait bilgiler verilmiştir.

Architecture						Cost				System	
PV (kW)	AWS4.2kW	Bio (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)		Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	COE (€/kWh)	NPC (€)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
160	2	1.600	999.999	100		3,50 tM	54,0 tM	1,19 t	227 tM	17,3	1.340
160	2	1.600	999.999	100		3,50 tM	54,0 tM	1,19 t	227 tM	17,3	1.340
160	2		999.999	100		6,84 tM	3,76 tM	1,78 t	341 tM	5,82	0
160	2		999.999	100		6,84 tM	3,76 tM	1,78 t	341 tM	5,82	0

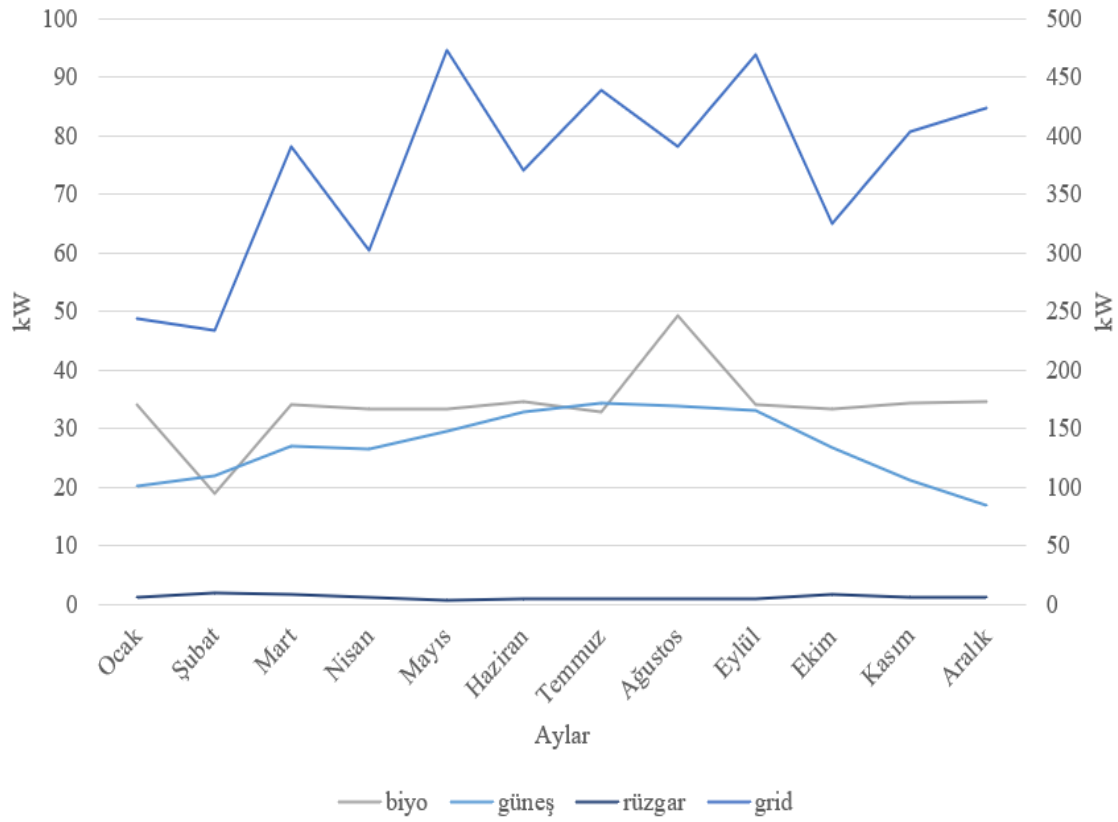
Şekil 4. 12 Sistem konfigürasyonlarını gösteren optimizasyon sonuçları.

Şekil 4.12’de sistem konfigürasyonlarını verilmiştir. Biyogazlı ve biyogazsız sistemin yenilenebilirlik oranı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda rüzgar ve pv’den oluşan hibrit güç sistemine eklenen biyogaz generatörü sistemin yenilenebilirlik oranını arttırmıştır.

Çizelge 4. 6 Birim maliyetleri.

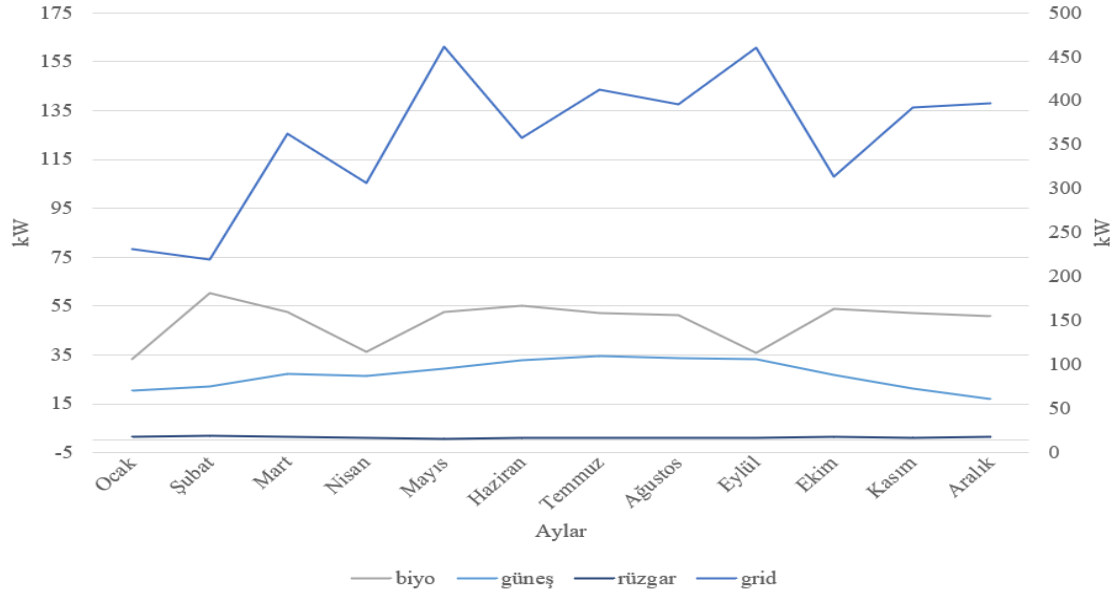
	Kapasite [\$/kW]	Değiştirme [\$/kW]	O&M	Ömür (yıl)
Biyogaz Jeneratör	1690	1300	0.0054 \$/saat/kW	20
Rüzgar türbini	306,9	2600	20 \$/yıl/kW	20
PV	1000	900	20 \$/yıl/kW	20
Converter	400	400	0.01 \$/yıl/kW	20

Sistemin yıllara göre aylık olarak elektrik üretim değerleri Şekil 4.13-4.17’de verilmiştir. Şekil 4.13’te kurulan sistemin 1. yılına ait değerleri gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; İşletmenin enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu şebekeden karşılandığı görülmektedir. Sistemdeki yıllık toplam, rüzgâr türbinlerinden karşılanan enerji 13,52 kW, PV sistemden karşılanan enerji 324,99 kW ve biyogazdan karşılanan enerji ise 407,08 kW’dır.



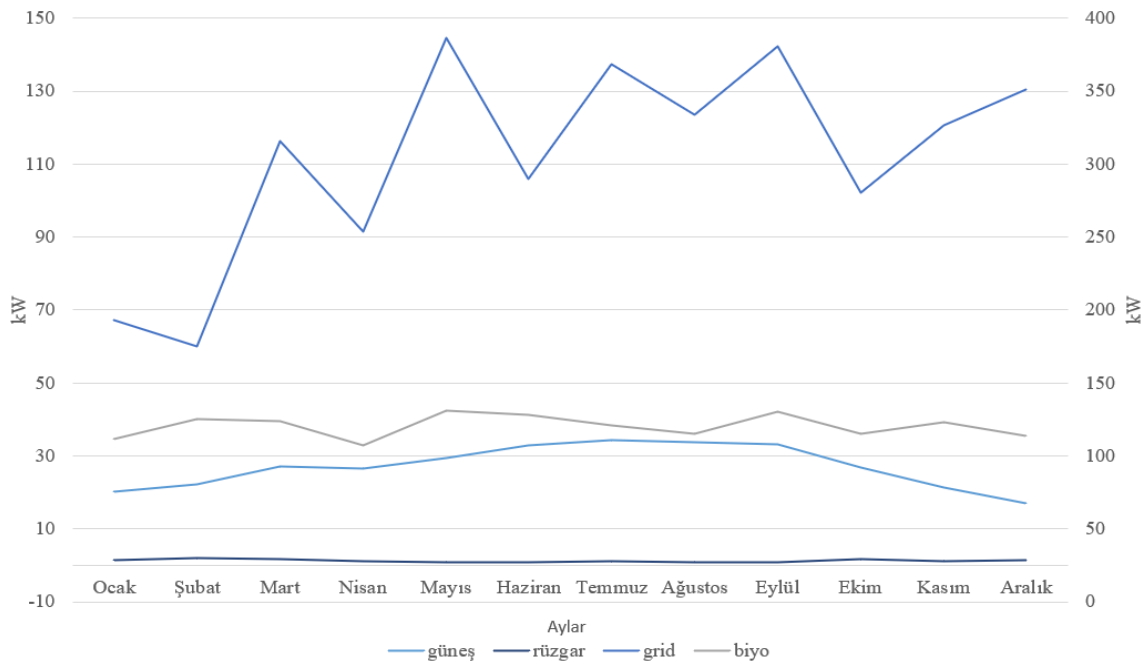
Şekil 4.13 1. Yıldaki elektrik üretim değerleri.

Şekil 4.14'te kurulan sistemin 5. yılına ait değerleri gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde yine 1. yıldaki gibi İşletmenin enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu şebekeden sağlanmaktadır. 5. yılda rüzgâr türbinlerinden ve PV sistemden karşılanan enerji miktarı değişmezken biyogazdan karşılanan enerji miktarı ise 1.yıla göre 178,66 kW artarak 585,74 kW'ye çıkmıştır.



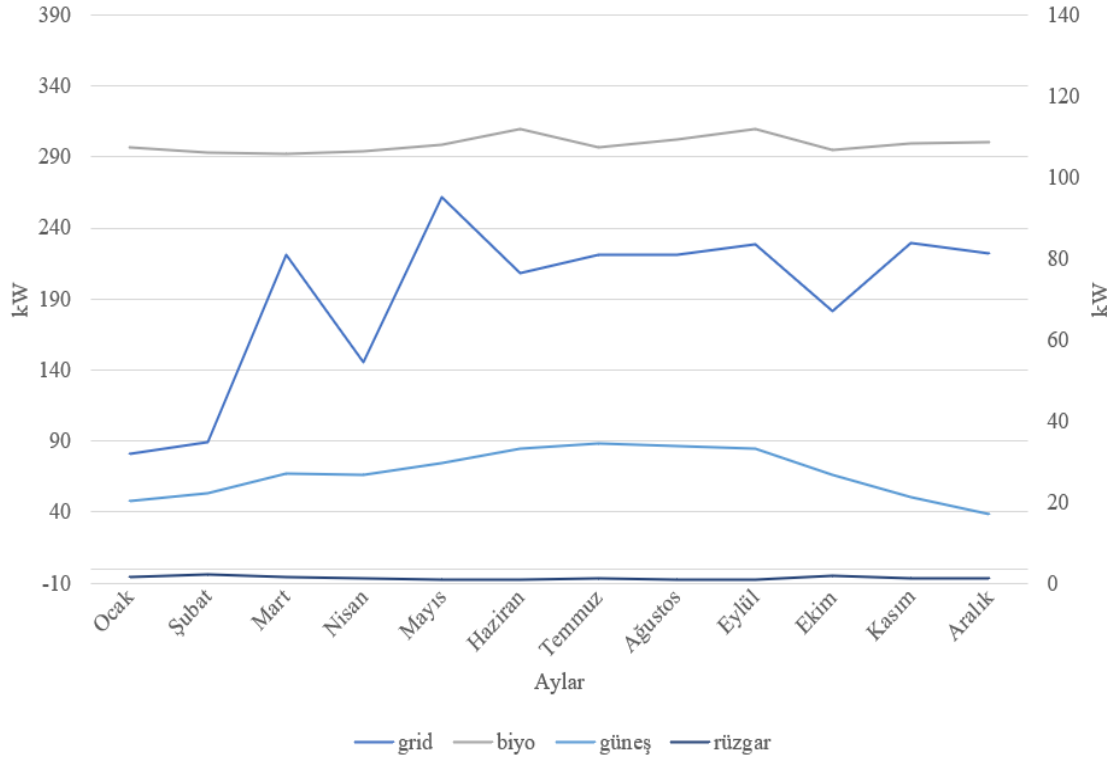
Şekil 4. 14 5.Yıldaki elektrik üretim değerleri.

Şekil 4.15’de kurulan sistemin 10. yılına ait değerleri gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde yine 1. ve 5. yıldaki gibi işletmenin enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu şebekeden sağlanmaktadır. Rüzgâr türbinlerinden ve PV sistemden karşılanan enerji miktarı değişmezken biyogazdan karşılanan enerji miktarı ise 5. yıla göre 794,05 kW artarak 1329,79 kW’ye çıkmıştır.



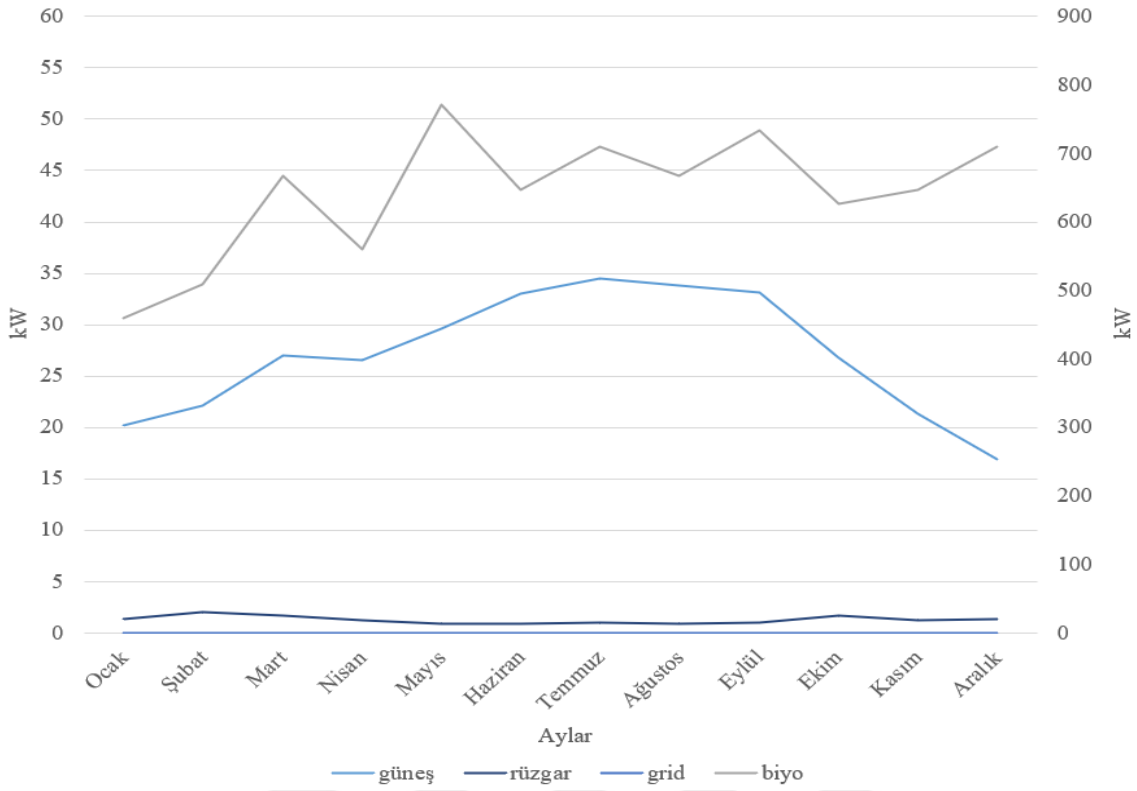
Şekil 4. 15 10. Yıldaki elektrik üretimi.

Şekil 4.16’da kurulan sistemin 15. yılına ait değerleri gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde işletmenin enerji ihtiyacının şebekeden ve biyogazdan karşılandığı görülmektedir. Biyogazdan karşılanan enerji artık şebekeden karşılanan enerji miktarını geçmiştir.



Şekil 4. 16 15. Yıldaki elektrik üretimi.

Şekil 4.17’de kurulan sistemin 20. yılına ait değerleri gösteren grafikler verilmiştir. 20. yılda ise işletmenin elektrik ihtiyacı çoğunlukla biyogaz generatöründen karşılanmaktadır. Şebekeden elektrik satın alınmadığı görülmektedir.



Şekil 4. 17 20. Yılda elektrik üretimi.

Çizelge 4.7’de ise simülasyona ait genel sonuçlar verilmiştir. 1. yılda İşletmenin enerji ihtiyacının %6,22’si PV panellerden, %7,81’i biyogaz generatöründen, %0,29’u rüzgar türbinlerinden ve %85,7’si ise şebekeden karşılanmaktadır. 5., 10. ve 15. Yıllarda enerji ihtiyacının PV panellerden, rüzgar türbinlerinden ve şebekeden karşılanma oranları düşerken biyogaz generatöründen karşılanma oranı giderek artmıştır. 20. yılda ise işletmenin enerji ihtiyacı, PV panellerden %4,1 oranında, rüzgar türbinlerinden %0,19 oranında ve biyogaz generatöründen %95,8 oranında karşılanmakta olup şebekeden ise hiç elektrik satın alınmamıştır.

Çizelge 4. 7 HOMER da yıllara göre genel sonuçlar.

	1.Yıl		5.Yıl		10.Yıl		15.Yıl		20.Yıl	
Üretim	kW/yıl	%	kW/yıl	%	kW/yıl	%	kW/yıl	%	kW/yıl	%
PV	237,42	6,22		6,2	237,42	5,96	237,42	5,2	237,42	4,1
Biyogaz	298,22	7,81	427,13	11,1	1054,37	26,5	2620,16	57,4	5620,86	95,8
Rüzgar Türbini	11,052	0,29	11,052	0,29	11,052	0,28	11,052	0,24	11,052	0,19
Şebekeden Alınan	3269,36	85,7	3156,19	82,4	2678,02	67,3	1693,58	37,1	0	0
Toplam	3816,06	100	3831,80	100	3980,87	100	4562,21	100	5869,34	100

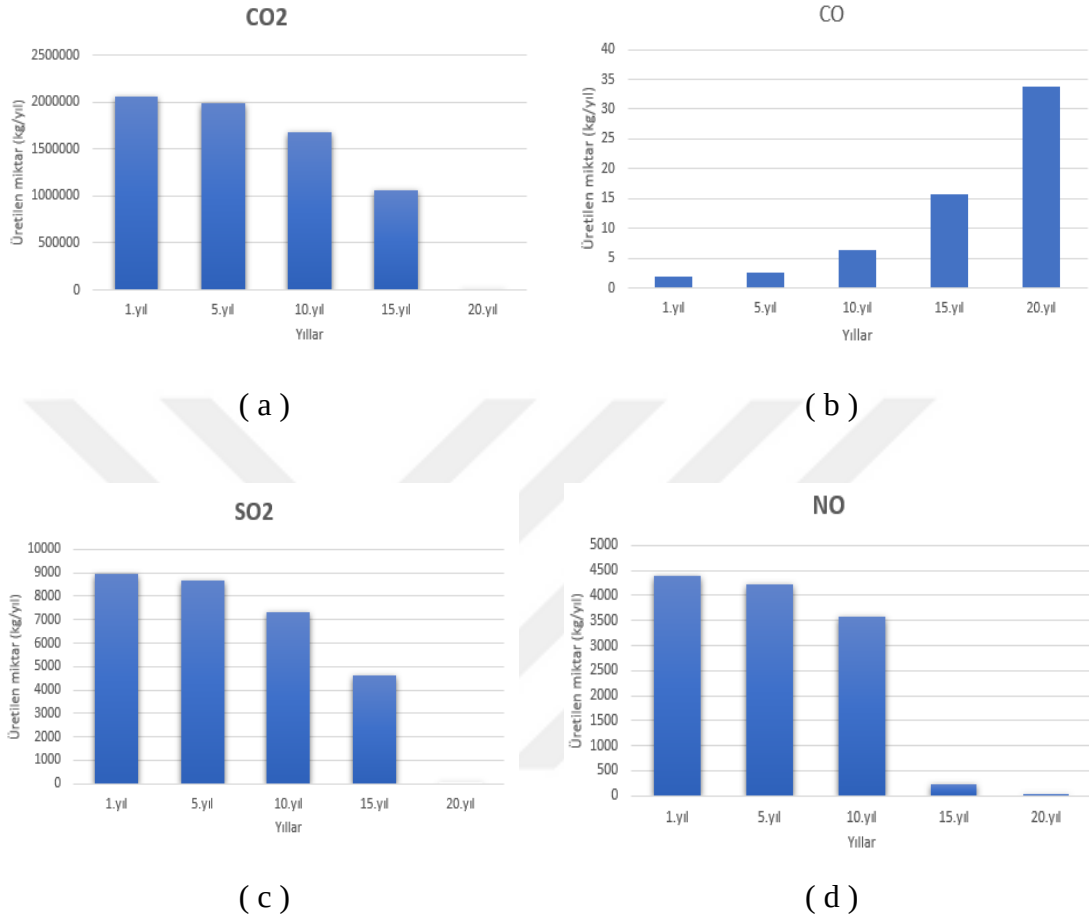
Çizelge 4.8’de ise şebekeye ne kadar elektrik satıldığı detaylıca gösterilmiştir. 1. yılda üretilen elektriğin %5,93’ ü şebekeye satılırken 20. yılda bu oran %38,9’a çıkmıştır. Bu elektrik satışından da sistem kazanç sağlamıştır.

Çizelge 4. 8 HGS de yıllara göre şebekeye elektrik satışı.

	1.Yıl		5.Yıl		10.Yıl		15.Yıl		20.Yıl	
Şebekeye Satılan	kW/y	%	kW/y	%	kWh/y	%	kWh/y	%	kWh/y	%
	224 885	5,93	240 458	6,31	384 553	9,22	965 308	21,3	2 272 140	38,9

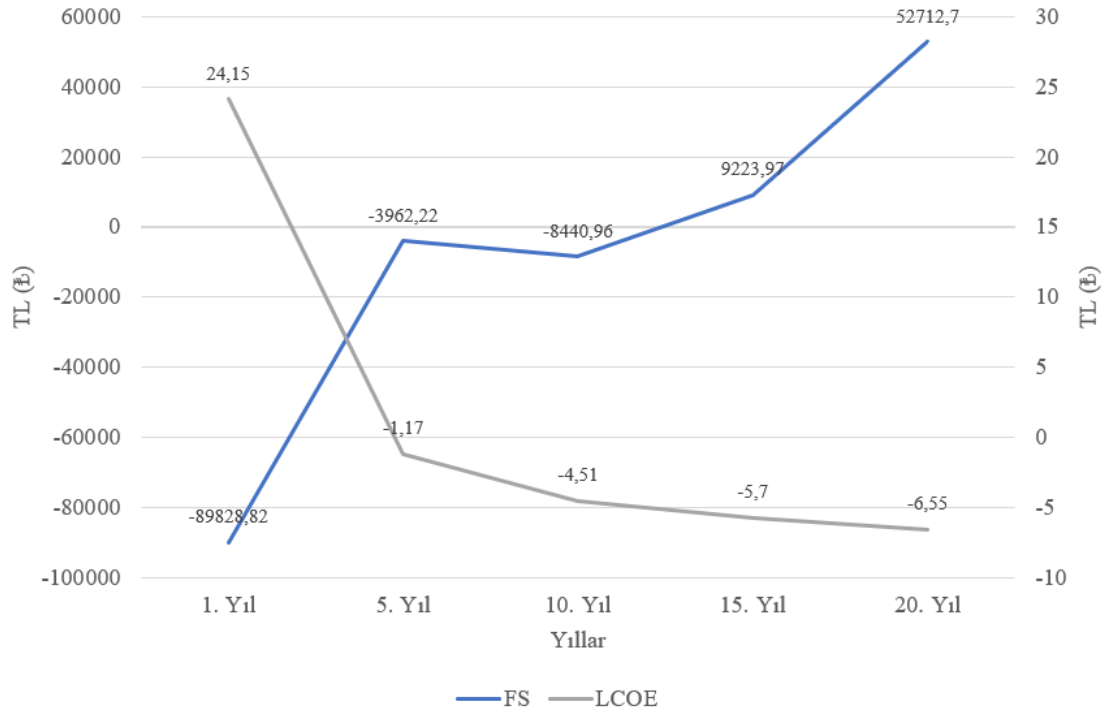
Şekil 4.18’de Tasarlanan HGS için yıl bazında emisyonlar karşılaştırılmıştır. Yıl geçtikçe (a) karbondioksit (CO₂), (c) Kükürtdioksit (SO₂) ve (d) Azotmonoksit (NO) değerlerinin azaldığı görülmektedir. Biyogazın yakılarak enerji elde edilmesi sonucu (b)

karbonmonoksit (CO) miktarında artış olmaktadır. Bu artış kabul edilebilir sınırlar içerisinde.



Şekil 4. 18 Emisyon değerleri.

Şekil 4.19’da HGS’nin yıllara göre ekonomik analizini veren grafik görülmektedir. Satın alınan elektrik enerjisinin birim maliyeti (LCOE), 1. yılda 24,15 tl iken yıl geçtikçe azalmakta 5. yılda bu değer eksi değere düşerek kazanç sağlamaya başlamıştır. 20 yılda elektrik enerjisi birim olarak 6,55 tl kazandırmıştır.



Şekil 4. 19 HGS'nin yıllara göre ekonomik analizi.

Şekil 4.19'da görülen diğer bir grafik ise finansal durum analizini (FS) gösteren grafikdir. Finansal durum analizine 1. yılda 89 828,82 tl zarardayken sistem kurulumunun 12. yılının 6. ayından itibaren kara geçmiş ve 20. Yılda 52 712,70 tl'lik kazanç sağlanmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

YEK, gelişmekte olan ülkelerde özellikle kırsal bölge enerji açığını azaltma potansiyeline sahiptir. Biyogaz, yerel enerji talebini karşılarken, diğer taraftan büyükbaş hayvan atıklarının çevresel etkilerini azaltmaktadır. Yapılan analizler sonucunda sadece PV ile kurulan sistemin ilerleyen yıllarda işletmenin yük talebini karşılayamadığı görülmüştür. Literatür çalışmalarına bakıldığında hibrit enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji alanlarında son zamanlarda oldukça çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bir çoğu fotovoltaik paneller ve rüzgar türbinleri ile alakalıdır. Literatür çalışmaları incelendiğinde belli başlı çalışmalara aşağıda değinilmiştir:

Miao vd (2020) tarafından Newcastle’da seçilen bir ev üyelerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan hibrit güç sistemi araştırması yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar türbini, güneş ve biyogaz kaynaklarından faydalanmışlardır. Model tasarımı için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Rüzgar türbininin katkısı çok büyük olmuştur. Ama güneş enerjisinden oldukça az katkı alınmıştır. Bunun sebebi ise bölgenin çoğunlukla yağmurlu ve bulutlu olmasıdır.

Sarkar vd (2019) çalışmasında solar pv, rüzgar, biyokütle ve vanadyum redoks akış bataryası depolama ile hibrit bir sistem modellemişlerdir. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları seçimi için, bunun yanında ise tekno-ticari açıdan en iyi hale getirmek ve sistemin simülasyonunu tasarlamak için HOMER yazılımını kullanmışlardır. Vanadyum redoks akış bataryası depolama ve yük profilini gerçekleştirmek için PSCAD simülasyon programından yararlanmışlardır. 10 kWp solar PV, 1 kW rüzgar türbini, 15 kVA biyogaz jeneratörü ve 1 kW/6 kWh Vanadyum redoks akış bataryası kullanmışlardır. Modelin 4-5 yılda ve %23 oranında geri ödemesi olacağını göstermektedir.

Satish vd (2020) çalışmalarında Dubai international academic city için 200 kWp’lik on-grid güneş santrali kurmanın uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Sistemi 704 modülden oluşacak şekilde tasarlamışlardır. Toplam enerji üretimi 352,6 MWh/yıl olacak şekilde oluşturmuşlardır. Tasarladıkları sistemin performansı yıllık olarak %81,7 hesaplamışlardır.

Baruah vd (2021) çalışmalarında Hindistan'ın Sikkim doğu bölgesinde bulunan bir kasabaya elektrik enerjisi sağlamak için hibrit bir sistemin tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Hibrit sistemde kullanılan kaynaklar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz, sentez gazı ve hidrokinetik enerjidir. Sistemin en iyi haline getirmek için analitik hiyerarşi süreci ile konfigürasyon belirlemişlerdir. Oluşturulacak hibrit sistem için HOMER simülasyon yazılımını kullanmışlardır. Farklı farklı kaynaklardan toplam 31 olası kombinasyonu analiz etmişlerdir. Bu kombinasyonlardan 0,095 \$/kWh olan kombinasyonu en iyisi olarak belirlemişlerdir.

Güven ve Mete (2022), Balıkesir ilinin Erdek ilçesinin 2020 yılındaki elektrik enerjisi tüketimi karşılayabilecek hibrit sistem tasarımının simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyon programı olarak HOMER yazılımından faydalanmışlardır. Farklı farklı senaryolar tasarlamışlar ve bu senaryoları karşılaştırmışlardır. Senaryoları oluşturan öğeler, güneş panelleri, rüzgar türbini, biyogaz jeneratörler, hidrojen tankları, batarya ve dönüştürücülerden oluşmaktadır. Biyogaz yakıtı için bölgedeki 5 000 büyükbaş ve 8 300 küçükbaş hayvanlardan elde etmiştir. Tasarımı yaptıkları zamandaki net maliyet 176 milyon\$ olarak hesaplamışlardır. Birim enerji maliyeti olarak da 0,109\$ belirlemişlerdir. Karşılaştırmalar sonucunda şebekeye bağlı ve güneş, rüzgar, biyogaz ve batarya hibrit sisteminin en uygun sistem tasarımı olacağı sonucuna varmışlardır.

Güven ve Yörükeren (2022), bir üniversite kampüsündeki elektrik enerjisini karşılamak için yenilenebilir enerjilerden oluşan hibrit bir sistemin fizibilitesini araştırmışlardır. Hibrit sistemde rüzgar, güneş, dizel jeneratör ve invertör öğeleri bulunmaktadır. Öğelerin boyutlandırılması için kullandıkları yazılımlar HOMER ve MATLAB programlarıdır. Algoritma olarak da Parçacık Sürü Optimizasyonu, Gri Kurt Optimize Edici ve Genetik Algoritma yararlanmışlardır. Gri kurt optimize algoritması sonucu en iyi değere hızlı bir şekilde yaklaşma eğiliminde olduğunu görülmüştür. Genetik Algoritma uygulandığında yıllık sistem maliyeti $3,9808 \times 10^5$ \$ şeklinde hesaplamışlardır. Parçacık Sürü Optimizasyonu uygulandığında ise yıllık sistem maliyetini $4,1331 \times 10^5$ \$, 0,2075 \$ ve $6,7053 \times 10^6$ \$ şeklinde bulmuşlardır.

Tuna ve Kaymakçı (2022), istenilen tüketim tesisi sisteminin büyüklüğünü genetik

algoritma tekniklerini kullanarak belirlemiştir. Belirlediği tesisin kurulumun yapılacağı yerde batarya ve güneş enerji sistemleri kullanımını düşünmüştür. Tasarlamak istediği sistemi PV*SOL simülasyon yazılımından yararlanarak test etmiştir. Yazılım yardımıyla simülasyon sonuçları ile bölgede belirlenen bir evin enerji tüketimini karşılaştırmıştır. Tesis için belirlenen kriterler bilindiğinde algoritma yardımıyla istenilen sistemin büyüklüğü belirlenebilmektedir.

Aykut (2019), Marmara Üniversitesi Göztepe kampüsünün enerjisini hibrit bir sistem ile karşılanacağını önermiştir. Hibrit sistemde güneş, rüzgar ve biyokütle enerji kaynaklarından enerji elde edileceğini ön görmüştür. Hibrit sistemi HOMER programı ile gerçekleştirmiştir. Rüzgar hız verilerini Weibull ve Rayleigh olasılık fonksiyonları yardımıyla MATLAB programında hesaplamıştır. Bu hesaplamalar sonucunda şebekeye satılan miktar bir yılda 1 190 330 kWh olarak hesaplamıştır. Sistem kendi maliyetini 12 yılda karşıladığını hesaplamıştır.

Bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farkı ise HGS'ne büyükbaş hayvan gübresinden elde edilen biyoenerjinin diğer YEK olan PV ve Rüzgâr enerjisi ile modellenip, PVsyst, PV*SOL ve HOMER programlarının üçünün bir arada kullanılıp şebekeye bağlı olmasıdır. Ayrıca tesisin büyüme, gelişme ve sığır sayısındaki artışı baz alıp, GA kullanılarak 20 yıllık yük tahmini yapılması ve farklı senaryolar altında HGS tasarlanarak analiz sonuçları değerlendirilmiş olmasıdır.

Tez çalışma kapsamında; işletme yetkililerinden işletmeye ait günlük yük tüketim verileri ve işletmede bulunan cihazların bilgileri alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda yük profili oluşturulmuştur. İşletmedeki cihazların yükleri ve işletmedeki hayvanların günlük enerji tüketim grafikleri oluşturulmuştur. İşletmenin bulunduğu bölgenin güneş radyasyon değeri 4,49 kWh/m², yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 11,63 C⁰'dir. HOMER programında anemometre yüksekliği 10 metre alındığı zaman işletmenin bulunduğu yerin yıllık ortalama rüzgar hızı 5,10 m/s'dir. Biyogaz tesisinde kullanılacak olan gübre işletmede bulunan hayvanlardan elde edilmiştir. Hayvan sayısı yıllara göre artış göstermiştir. Bu artış oranına göre gübre miktarlarında da artış olmuştur İşletmede ilk yıldaki hayvan sayısı 250'dir. 20. Yıldaki hayvan sayısı genetik algoritma yöntemi ile

tahmin edilmiştir. Tahmin edilen hayvan sayısından yola çıkarak elde edilen gübre miktarları da hesaplanmıştır. Tahminlere göre gübre miktarı yirminci sene sonunda 16 864 ton/yıl'dır. PVsyst programı ile güneş enerjisi modellemesi yapılmıştır. Yapılan modellemede hataların en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. PV*SOL programı ile işletmenin çatı görüntüsü kullanılarak 3 boyutlu panel yerleşimi yapılmış ve bu sayede sistem verimliliği daha net ve daha doğru bir şekilde hesaplanmıştır. 2 160 m² alanı bulunan çatı üzerine 400 adet güneş paneli yerleştirilmiştir. PV*SOL programı ile kurulan bu sistem yıllık ortalama 226,417 MW enerji üretmektedir. Daha sonra ise rüzgâr türbini, PV panel ve biyogaz generatöründen oluşan HGS ile şebekeye bağlantılı bir sistem HOMER programında kurulmuştur. İşletme ilk yıllarda şebekeden % 85,7 oranında elektrik alırken ilerleyen yıllarda şebekeden elektrik satın alma oranı %0'a düşmüştür. İşletmenin enerji ihtiyacını 1. Yılda 120,06 MW iken 20. yılda bu değer fazla artış göstermemiş 127,669 MW'ye çıkmıştır. HGS'de 1. yılda biyogaz generatöründen enerji üretme oranı %7,81 iken yıl geçtikçe bu oran artmış ve 20. yılda %95,8'e çıkmıştır. 20. Yılda işletmenin enerji ihtiyacı PV panellerden %4,01 oranında, rüzgar türbininden %0,19 oranında ve biyogaz generatöründen %95,8 oranında karşılanmıştır. Böylelikle 20. yılda şebekeden hiç elektrik satın alınmamıştır. HGS'nin yıl geçtikçe işletmenin enerji ihtiyacına karşılık verebildiği hatta %38,9 oranında şebekeye elektrik satışı da gerçekleştirdiği görülmüştür. HOMER, PV*SOL ve PVsyst programlarında işletme için kurulan PV sistemlerin ürettiği enerji birbirlerinden farklıdır. 1. Yılda işletmenin ERS değeri 49,57 MW ile en yüksek PVsyst programındandır. GE değeri 237,42 MW ile en yüksek HOMER programındandır. ERG değeri 90,27 ile en yüksek HOMER programındandır. EN değerleri ise üç programda da aynıdır. 20. Yılda ise işletmenin GE değeri 237,42 MW ile en yüksek HOMER programındadır. EN değerleri üç programda da aynıdır. ERS değeri 78,43 MW ile en yüksek PVsyst programındandır. ERG değeri 128,58 MW ile en yüksek PVsyst programındandır. ESG değeri ise 210,527 MW ile HOMER programındadır. HGS için emisyon değerlerinden CO₂, SO₂ ve NO miktarları yıllar geçtikçe azalmaktadır.

Ayrıca yerel enerji ihtiyacının bölgesel YEK dinamiklerinin dikkate alınarak tüketim noktalarında karşılanmasının enerji maliyet ve kayıplarını minimize edeceği ve sürdürülebilir enerji ve çevre hedeflerine ciddi katkılar sunacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Adaramola M S, Agelin-Chaab M, Paul S S, 2014, Analysis of hybrid energy systems for application in southern Ghana, *Energy conversion and management*, 88, 284–295.
- Al-Turjman F, Qadir Z, Abujubbeh M, Batunlu C, 2020, Feasibility analysis of solar photovoltaic-wind hybrid energy system for household applications, *Computers & Electrical Engineering*, 86, Article number 106743.
- Asla F, Özgen İ, ve Esen H, 2016, Enerji Planlamalarında Biyogaz ve Mikroalglerden Yararlanma Olanakları ile Doğu Anadolu Bölgesi Potansiyeli. *Fırat Üniversitesi Mühendislik ve Bilim Dergisi*, Mart 19-20, 1289–1299.
- Ayan A, 2022, Biyokütle Enerjisinin Türkiye’deki Kullanım Olanaklarının Değerlendirilmesi, *Maltepe Üniversitesi, Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 155s, İstanbul.
- Aydın İ, 2013, Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(29), 29–50.
- Aykut E, 2019, Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü İçin Hibrit Enerji Sistemlerinin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Açından İncelenmesi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 131s, İstanbul.
- Baruah A, Basu M, Amuley D, 2021, Modeling of An Autonomous Hybrid Renewable Energy System For Electrification Of A Township: A case study for Sikkim, India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, Article number 110158.
- Bolat B, Erol K O, ve İmrak C E, 2004, Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritmalar ve Operatörlerin İşlevleri, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 264–271.
- Bolat M, Arifoğlu U, Demiryürek H K, 2020, Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1351–1363.
- Cengiz Y, 2004, Optimum Performanslı Mikrodalga Kuvvetlendirici Tasarımı, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 243s, İstanbul.

- Ceylan O, 2017, Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 82s, Isparta.
- Das I, Cañizares C A, 2019, Renewable Energy Integration In Diesel-Based Microgrids At The Canadian Arctic, Proceedings of the IEEE, 107(9), 1838–1856.
- Demirci A, Akar O, Ozturk Z, 2022, Technical-Environmental-Economic Evaluation of Biomass-Based Hybrid Power System with Energy Storage For Rural Electrification, Renewable Energy, 195, 1202–1217.
- Demirgil B, Orun A F, 2021, 6. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Yönelik Teşvikler Ve Yenilenebilir Enerjinin Ekonomik Etkileri: Incentives For Renewable Energy Investments In Turkey and The Economic Effects of Renewable Energy, International Journal Of Economic And Administrative Academic Research (E-ISSN: 2757-959X), 1(2), 90–112.
- Dil Y, 2015, Yazılım Projelerinin Optimizasyon Problemi Olarak İncelenmesi ve Genetik Algoritma ile Çözümü, İstanbul Ticaret Ünivrsitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, İstanbul.
- Dursun S, 2016, Biyokütle-Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi Kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinin Tekno-Ekonomik Açından Değerlendirilmesi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Kırklareli.
- Elibüyük U, Yakut A K ve Üçgül İ, 2016, Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Santrali Projesi, Yakarum Dergi, 3 (2), 22–32.
- Elmas Ç, 2011, Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 424s, Ankara.
- Emel G G, ve Taşkın Ç, 2002, Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 129–152.
- Farret F A, Simões M G, 2006, Integration of Alternative Sources of Energy, IEEE press, 494s, New Jersey.
- Goldberg D E, 1953, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley Professional, 432s, Alabama.

- Güllü M, ve Bayraç H N B, 2017, Biyoyakıt Üretimi, Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Amerika, Brezilya ve Almanya Örnekleri, Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, 64, 18–34.
- Güven A F, Mete M K, 2022, Balıkesir’in Erdek İlçesi için Şebeke Bağlantılı Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi, Mühendis ve Makina, 63(706), 138–158.
- Güven A F, ve Yörükere N, 2022, Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüşü Optimizasyon Algoritmaları-Genetik Algoritmalar ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritmaları Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi , 12 (2), 853–879.
- Holland J, 1975, Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence , MIT Press 202, Cambirdge.
- Ibrahim M M, Mostafa N H, Osman A H, Hesham A, 2020, Performance Analysis of A Stand-Alone Hybrid Energy System For Desalination Unit In Egypt, Energy Conversion and Management, 215, Article number 112941.
- İkiz A S, 2020, Doğal Kaynaklar ve Enerji Ekonomisi, Astana Yayınları, 163s, Ankara.
- İşci Ö, ve Korukoğlu, 2003, Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama, Celal Bayar Üniversitesi İİBF Dergisi, 10(2), 191–208.
- İşler Y S, 2020, Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Performans Analizi ve Verim Artırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 217s, Kahramanmaraş.
- Jahangiri M, Haghani A, Shamsabadi A A, Mostafaeipour A, Pomares L M, 2019, Feasibility Study on The Provision Of Electricity and Hydrogen For Domestic Purposes in The South Of Iran Using Grid-Connected Renewable Energy Plants, Energy Strategy Reviews, 23, 23–32.
- Jaszczur M, Hassan Q, Palej P, Abdulateef J, 2020, Multi-Objective Optimisation of a Micro-grid Hybrid Power System for Household Application, Energy, 202, Article number 117738.

- Kabaklı S G, 2017, Lykia bölgesi'ndeki Deniz Seviyesi Değişimlerinin Antik Liman Kentlerine Etkileri, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Antalya.
- Kırııcı S, 2007, Genetik Algoritma Kullanarak Tel Anten Tasarımı, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Ankara.
- Kotb K M, Elkadeem M R, Elmorshedy M F, Dán A, 2020, Coordinated Power Management and Optimized Techno-Enviro-Economic Design of an Autonomous Hybrid Renewable Microgrid: A Case Study in Egypt, Energy Conversion and Management, 221, Article number 113185.
- Lambert T, Gilman P, Lilienthal P, 2006, Micropower System Modeling With HOMER, Integration of Alternative Sources of Energy, 1(1), 379–385.
- Miao C, Teng K, Wang Y, Jiang L, 2020, Technoeconomic Analysis on a Hybrid Power System for The UK Household Using Renewable Energy: A Case Study, Energies, 13(12), 3231–3250.
- Mudasser M, Yiridoe E K, Corscadden K, 2015, Cost-Benefit Analysis of Grid-Connected Wind–Biogas Hybrid Energy Production, By Turbine Capacity and Site, Renewable Energy, 80, 573–582.
- Nabiyev V, 2016, Yapay Zeka, Seçkin Yayıncılık, 776s, Ankara.
- Olatomiwa L, Mekhilef S, Huda A N, Sanusi K, 2015, Techno-Economic Analysis of Hybrid PV–Diesel–Battery and PV–Wind–Diesel–Battery Power Systems For Mobile BTS: The Way Forward For Rural Development, Energy Science & Engineering, 3(4), 271–285.
- Özdemir R, 2012, Güneş Enerjisi Sektörü, Ahiler Kalkınma Ajansı, Aksaray.
- Özkan F, 2019, Yenilenebilir Enerji Destekli Ters Ozmos Deniz Suyu Desalinasyon Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Niğde.
- Öztürk Z, Tosun S, Öztürk A, ve Akar O, 2021, Farklı Enerji Depoları ile Bağımsız Hibrit Güç Sisteminin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, Fresenius Çevre Bülteni , 30 (9), 10908–10924.

- Rezk H, Al-Dhaifallah M, Hassan Y B, Ziedan H A, 2020, Optimization and Energy Management of Hybrid Photovoltaic-Diesel-Battery System To Pump and Desalinate Water At Isolated Regions, IEEE Access, 8, 102512–102529.
- Sara D M, 2019, Tek Makineli Çok Ölçütlü İş Sıralama ve Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile Çözülmesi: Alüminyum Sektöründe Uygulanması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 184s, Kocaeli.
- Sarkar T, Bhattacharjee A, Samanta H, Bhattacharya K, Saha H, 2019, Optimal Design and Implementation of Solar PV-Wind-Biogas-VRFB Storage Integrated Smart Hybrid Microgrid For Ensuring Zero Loss Of Power Supply Probability, Energy Conversion and Management, 191, 102–118.
- Satish M, Santhosh , Yadav A, 2020, PVsyst Yazılımı Kullanılarak Dubai Merkezli 200 KW'lık Bir Elektrik Santralinin Simülasyonu, 2020'de 7. Uluslararası Sinyal İşleme ve Entegre Ağlar Konferansı (SPIN) (824–827), IEEE.
- Şenol H, Elibol E A, Açikel Ü, Şenol M, 2017, Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 81-92.
- Tuna R, Kaymakçı Ö T, 2022 Şebekeye Bağlı Batarya Depolamalı Pv Güneş Enerji Santrallerinde Genetik Algoritmayla Sistemin İdeal Gücünün Belirlenmesi, Proceeding Book, 34–48.
- Ulutürk Ş, 2020, Karabük Üniversitesi Mikroşebekesinin Tasarımı ve Modellenmesi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134s, Karabük.
- Umar N, Bora B, Banerjee C, Panwar B S, 2018, Comparison of Different PV Power Simulation Softwares: Case Study On Performance Analysis of 1 MW Grid-Connected PV Solar Power Plant, International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), 7(7), 11–24.
- Yücel N, 2018, Minimum Tasarım ve İşletme Maliyetli Fotovoltaik Sistemin Çati Üstü Uygulaması: Denizli Teknobil Lisesi Örneği, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Düzce.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>, 28.10.2022
- 2- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, 30.10.2022
- 3- https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf, 10.11.2022
- 4- <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/3.aspx>, 10.11.2022
- 5- <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>, 14.11.2022
- 6- <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/bolgeler/TURKIYE-GENELI.pdf>, 12.11.2022
- 7- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>, 12.11.2022
- 8- <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/afyon>, 15.11.2022
- 9- <https://www.greensolarnetwork.org/assets/attachments/dosyalar/IRENA-Yenilenebilir-Enerji-Kurulu-G%C3%BC%C3%A7-Raporu.pdf>, 12.11.2022
- 10- <https://bepa.enerji.gov.tr/>, 26.11.2022
- 11- <https://cw-enerji.com/tr/urunler/gunes-panelleri-1.html>, 14.11.2022
- 12- <https://www.australianwindandsolar.com/wind-turbines> 16.11.2022
- 13- <https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/au/datasheet/SUN2000-100KTL-M1.pdf> , 10.11.2022