

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK
HİBRİT (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİ İÇİN
BOYUT OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sefer AYAN

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN

TEMMUZ 2019

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK
HİBRİT (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİ İÇİN
BOYUT OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sefer AYAN
(1148204105)**

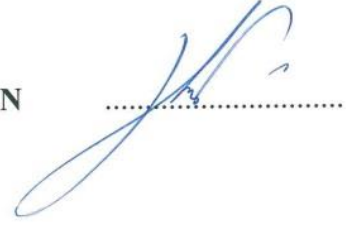
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN

TEMMUZ 2019

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148204105 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sefer AYAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK HİBRİT (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİ İÇİN BOYUT OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

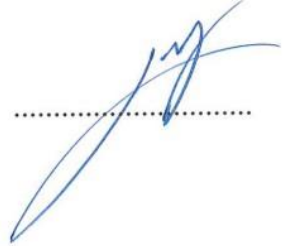
Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN**
Kırklareli Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Fatih SEMERCİ**
Kırklareli Üniversitesi



Doç. Dr. İlhan UMUT
Trakya Üniversitesi



Teslim Tarihi : 19 Haziran 2019
Savunma Tarihi : 04 Temmuz 2019

Çok kıymetli Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca bana yol gösteren destek ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ömrü boyunca beni yetiştiren maddi manevi her koşulda destekleyen, yokluğunu hep hissettiğim rahmetli babam Hüseyin (Hasan) AYAN' a ve halen varlığıyla da yanımda olan annem Servet AYAN' a, ablalarım Hanım BİLGİN, Ayşe GİRİŞTA ve Nurten ÖZDEM' e, bana her zaman koşulsuz abilik yapan ve destekleyen eniştem abim Yusuf BİLGİN' e, beni ben yapan tüm aile büyüklerime, kuzenlerime ve dostlarıma; beni koşulsuz seven ve yanımda olan, tez çalışmam boyunca da anlayışını ve desteğini gördüğüm sevgili eşim Sultan Mehtap İZMİRLİ AYAN' a ve bu küçücük yaşında bile bana destek olan sevgili oğlumuz Hasan Bahadır AYAN' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Sefer AYAN
(Bilişim Teknolojileri Öğretmeni)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	9
2.1 Güneş Enerjisi	9
2.1.1 Ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli	10
2.1.1.1 Marmara bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli.....	10
2.1.2 Güneş enerjisinden elektrik üretimi.....	11
2.1.3 Isıl güneş enerjisi teknolojileri.....	12
2.1.3.1 Düşük sıcaklık sistemleri	12
2.1.3.2 Orta sıcaklık sistemleri.....	13
2.1.3.3 Yüksek sıcaklık sistemleri.....	14
2.1.4 Fotovoltaik sistemler (FV).....	15
2.1.4.1 Fotovoltaik hücrelerin yapısı ve çeşitleri	16
2.2 Rüzgar Enerjisi	19
2.2.1 Ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyeli	20
2.2.1.1 Marmara bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli.....	22
2.2.2 Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi	24
2.2.3 Rüzgar türbinini oluşturan elemanlar	24
2.2.4 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	26
2.2.4.1 Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri	26
2.2.4.2 Önden rüzgar alan ve arkadan rüzgar alan türbinler	27
2.2.4.3 Kapasitelerine göre rüzgar türbinleri	27
2.2.4.4 Şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız rüzgar türbinleri	28
2.2.5 Rüzgar enerjisini oluşturan parametreler	28
2.2.5.1 Güç katsayısı	28
2.2.5.2 Toplam güç dönüşüm katsayısı ve etkili güç çıkışı	28
2.2.5.3 Lanchester-Betz limiti.....	29
2.2.5.4 Güç eğrisi	29
3. HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİ	31
3.1 Fotovoltaik Paneller	33
3.2 Rüzgar Türbinleri	35
3.3 Dizel Jeneratörler	37
3.4 Mikro Hidroelektrik Güç Üretim Sistemi	38

3.5 Jeotermal Enerji Güç Üretim Sistemi.....	39
3.6 Hidrojen Yakıt Pilleri ve Hidrojen Depolama Tankı	40
3.7 Depolama Birimleri	42
3.8 Güç Dönüştürücüler.....	43
3.9 Enerji Yönetimi ve Kontrol Sistemleri.....	44
3.9.1 Merkezi kontrol düzeni	45
3.9.2 Dağıtılmış kontrol düzeni	45
3.9.3 Hibrit merkezi ve dağıtılmış kontrol düzeni	46
4. OPTİMİZASYON	47
4.1 Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Optimizasyon Teknikleri	48
4.2 Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları.....	50
4.2.1 Genetik algoritma	52
4.2.2 Tabu araştırma algoritması	55
4.2.3 Benzetilmiş tavlama.....	56
4.2.4 Parçaçık sürü optimizasyon algoritması	58
4.2.5 Yapay arı koloni algoritması.....	60
4.2.5.1 Arıların yiyecek arama davranışı	60
4.2.5.2 Yapay arı koloni algoritmasının adımları ve akış diyagramı	62
5. ÖRNEK BİR HİBRİD (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİNİN BOYUT OPTİMİZASYONU	67
5.1 Güç Sistemi Kurulacak Yerin Yük Karakteristiği.....	67
5.2 Güç Sistemi Kurulacak Yerin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli	68
5.2.1 Rüzgar enerjisi potansiyeli.....	68
5.2.2 Güneş enerjisi potansiyeli	69
5.3 Hibrit Enerji Sisteminin Tanımlanması.....	70
5.3.1 Fotovoltaik panel özellikleri	71
5.3.2 Rüzgar türbini özellikleri	72
5.3.3 Batarya grubu özellikleri	73
5.3.4 Hibrit sistem tasarım parametreleri.....	74
5.4 Hibrit Sistemin Modellenmesi ve Boyut Optimizasyonu.....	75
5.4.1 Amaç fonksiyonu	75
5.4.2 Güvenilirlik	76
5.4.3 Kısıtlamalar ve karar değişkenleri	77
5.4.4 Yapay arı koloni algoritması.....	78
5.5 Bulgular	81
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	89
KAYNAKÇA	91
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
BBO	: Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
BT	: Benzetilmiş Tavlama
CS	: Guguk Kuşu Arama
DC	: Doğru Akım
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
FV	: Fotovoltaik Sistem
GA	: Genetik Algoritma
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
HBB-BC	: Hibrit Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritması
HES	: Hibrit Enerji Sistemi
HRES	: Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi
KKA	: Karınca Kolonisi Algoritması
LPSP	: Güç Kaynağı Kaybı Olasılığı
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RT	: Rüzgar Türbini
TA	: Tabu Arama
TUMAS	: Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi
YAK	: Yapay Arı Kolonisi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 10 m yükseklikte bölgelerimize ait ortalama rüzgar güç yoğunlukları.	22
Çizelge 2.2 : Marmara Bölgesi' ndeki illerin rüzgar enerjisi potansiyeli verileri	23
Çizelge 2.3 : Kırklareli ili rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi.....	23
Çizelge 4.1 : Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması.....	51
Çizelge 5.1 : Aylık toplam tüketim.....	67
Çizelge 5.2 : Aylık ortalama rüzgar hızı.....	69
Çizelge 5.3 : Aylık ortalama güneş radyasyonu	70
Çizelge 5.4 : Test edilmiş fotovoltaik panel özellikleri	71
Çizelge 5.5 : Bergey Excel 6 rüzgar hızına göre verimliliği.	72
Çizelge 5.6 : Rüzgar türbini özellikleri.....	73
Çizelge 5.7 : Batarya teknik özellikleri.	74
Çizelge 5.8 : Hibrit FV/RT sisteminde kullanılan tasarım parametreleri.....	74
Çizelge 5.9 : YAK algoritmasının parametreleri.....	83
Çizelge 5.10 : YAK algoritması ile elde edilen güç sistemleri için optimizasyon sonuçları.	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	10
Şekil 2.2 : Kırklareli iline ve ilçelerine ait güneş enerji potansiyeli.....	11
Şekil 2.3 : Kırklareli ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	11
Şekil 2.4 : Düzlemsel güneş kolektörünün yapısı.....	13
Şekil 2.5 : Düzlemsel güneş kolektörü sisteminin araçları.....	13
Şekil 2.6 : Parabolik oluk sisteminin gösterimi	14
Şekil 2.7 : Merkezi alıcı güneş enerjisi sistemi.	14
Şekil 2.8 : Parabolik çanak kolektör	15
Şekil 2.9 : Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi	16
Şekil 2.10 : Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji dağılımı.	20
Şekil 2.11 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Güç Yoğunluğu Haritası	21
Şekil 2.12 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Rüzgar Hızı Haritası	22
Şekil 2.13 : Kırklareline ait rüzgar hızı ve kapasite faktörü dağılımı.....	23
Şekil 2.14 : Yatay eksenli rüzgar türbininin yapısı	25
Şekil 2.15 : Rüzgar türbinini oluşturan elemanlar	25
Şekil 2.16 : Rüzgar türbini güç eğrisi	29
Şekil 3.1 : Tipik bir hibrit sistemin diyagramı.....	31
Şekil 3.2 : Hibrit güç üretim sisteminin genel blok şeması	33
Şekil 3.3 : Fotovoltaik pil	34
Şekil 3.4 : a ve b dikey, c yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	36
Şekil 3.5 : Kaplan türbin şeması	38
Şekil 3.6 : Atmosferik egzozlu buhar çevrimi	39
Şekil 3.7 : Hibrit sistemde yakıt pilleri şeması	40
Şekil 3.8 : Yakıt hücresi şeması.....	41
Şekil 3.9 : Enerji depolama sınıflandırması.....	42
Şekil 3.10 : Hibrit sistemde veri ve güç akışı	44
Şekil 3.11 : Merkezi kontrol düzeni	45
Şekil 3.12 : Dağıtılmış kontrol düzeni.....	46
Şekil 4.1 : Optimize edilecek fonksiyon ya da işlemin şeması	47
Şekil 4.2 : Optimizasyon metodları	48
Şekil 4.3 : HES için boyut optimizasyon yöntemleri	49
Şekil 4.4 : Boyut optimizasyon teknikleri şeması	50
Şekil 4.5 : Genetik Algoritma akış şeması.....	53
Şekil 4.6 : Bal arılarının yiyecek arama davranışı.	62
Şekil 4.7 : YAK algoritmasının akış diyagramı.....	63
Şekil 5.1 : PMTAL binasının saatlik tüketim grafiği	68
Şekil 5.2 : Kırklareli/Pınarhisar saatlik ortalama rüzgar hızı değerleri	69
Şekil 5.3 : Kırklareli/Pınarhisar saatlik ortalama güneş radyasyonu	70
Şekil 5.4 : Bergey Excel 6 kW güç eğrisi.....	73
Şekil 5.5 : YAK algoritması ile geliştirilen programın akış şeması.	80
Şekil 5.6 : Sistemin optimizasyonu için tasarlanan arayüz.....	81

Şekil 5.7 : 120 W'lık bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik enerjisi.....	82
Şekil 5.8 : 6 kW'lık bir rüzgar türbini tarafından üretilen elektrik enerjisi.	82
Şekil 5.9 : Hibrit FV-RT güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği	83
Şekil 5.10 : Sadece FV güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği.	84
Şekil 5.11 : Sadece Rüzgar güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği.	84
Şekil 5.12 : Hibrit FV/rüzgar güç üretim sisteminin farklı LPSP değerlerine göre bir akünün şarj-deşarj grafiği.	87

SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK HİBRİT (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİ İÇİN BOYUT OPTİMİZASYONU

ÖZET

Son yıllarda artan enerji ihtiyacıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim giderek artmıştır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan araştırmalar da bu ilgiyle birlikte artış göstermektedir. Mikro ölçekli enerji üretimi için rüzgar türbinlerinin ve fotovoltaik panellerin uygulanabilirliğinin (kurulum ve enerji kaynağı potansiyeli gibi) diğerlerine göre kolay olması sebebiyle bu sistemlerin kullandığı yenilenebilir enerji kaynakları çalışmada esas ilgi alanı olarak dikkate alınmıştır. Bu tür güç üretim sistemleri tek başlarına kullanılabildikleri gibi rüzgar enerjisi ve güneş enerjisinin aralıklı ya da kesintili olmasından dolayı birlikte de kullanılmaktadırlar. Hibrit enerji sistemi iki ya da daha fazla güç üretim sisteminden, depolama birimlerinden ve kontrol elemanlarından oluşmaktadır. Hibrit enerji sisteminin boyutunun belirlenmesi, farklı kriterleri göz önünde bulundurarak çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerinin boyut optimizasyonu için analitik yöntemler, dinamik programlama ve sezgisel algoritmalar gibi bir çok teknik kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması, hibrit fotovoltaik/rüzgar güç üretim sisteminin boyutunun, sezgisel optimizasyon algoritması olan Yapay Arı Kolonisi algoritması yardımı ile bulunmasını önermektedir. Çalışma alanı olarak Pınarhisar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi (PMTAL) seçilmiştir. Bu bağlamda bölgenin rüzgar hızı ve güneş radyasyon verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü TUMAS veri tabanından alınmıştır. Elde edilen bu verilerle, PMTAL' nin güç talebini karşılayabilecek hibrit Fotovoltaik/Rüzgar enerji sisteminin toplam maliyetini minimize edecek boyut optimizasyonu, nesne tabanlı programlama dilinde geliştirilmiştir. Güç talebini karşılayacak sistemin güvenilirlik analizi, güç kaynağı kaybı olasılığı (LPSP) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde LPSP değerleri %0, %0.2, %1 ve %3 olarak belirlenmiş ve sistemin yük talebini karşılamak için yeterli güce sahip olması sağlanmıştır. Belirlenen LPSP değerlerine göre hibrit fotovoltaik/rüzgar enerji sisteminin yıllık toplam maliyeti en aza indirgenerek optimum rüzgar türbini, güneş paneli ve akü sayısı Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması ile belirlenmiştir. Ayrıca, sadece fotovoltaik panel ve sadece rüzgar türbininden oluşan tekil enerji sistemlerinin de boyut optimizasyonu aynı yöntem ile hesaplanarak elde edilen sonuçlar hibrit sistem ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması ile yenilenebilir enerji kaynağının boyutunun belirlenmesi için karar verme süreci hızlandırılmış ve bununla birlikte karar kalitesinin de artırılması ile etkin ve doğru çözüme ulaşılmıştır.

SIZE OPTIMIZATION FOR HYBRID (PHOTOVOLTAIC-WIND) ENERGY SYSTEM USING HEURISTIC OPTIMIZATION ALGORITHM

SUMMARY

With the increasing energy demand in recent years, the trend towards renewable energy sources has increased. Therefore, researches on renewable energy sources are increasing with this interest. Since the applicability of wind turbines and photovoltaic panels (such as installation and energy supply potential) for micro scale energy production is easier than the others, renewable energy sources used by these systems have been considered as the main area of interest in the study. This type of power generation systems can be used alone or used together because of intermittent or discontinuous wind and solar energy. The hybrid energy system consists of two or more power generation systems, storage units and control elements. Determining the size of the hybrid energy system is a problem that needs to be solved by considering different criteria. Many techniques such as analytical methods, dynamic programming and heuristic algorithms are used for size optimization of these systems.

This thesis proposes that the size of the hybrid photovoltaic/wind power generation system is determined with the help of Artificial Bee Colony algorithm, an heuristic optimization algorithm. Pınarhisar Vocational and Technical Anatolian High School (PMTAL) was chosen as the study area. In this context, wind speed and solar radiation data of the region were obtained from TUMAS database of General Directorate of Meteorology. With these data, size optimization was developed in object oriented programming language to minimize the total cost of hybrid photovoltaic/wind energy system which can meet the power demand of PMTAL. The reliability analysis of the system that will meet the power demand was made by the power supply loss probability (LPSP) method. In this method, LPSP values are determined as 0%, 0.2%, 1% and 3% and the system is provided with sufficient power to meet the load demand. According to the determined LPSP values, the total annual cost of hybrid photovoltaic/wind energy system is minimized and optimum wind turbine, solar panel and battery number is determined by Artificial Bee Colony optimization algorithm. In addition, size optimization of single energy systems consisting only of photovoltaic panels and wind turbines was calculated by the same method and the results were compared with the hybrid system. As a result, in this study, the decision making process has been accelerated to determine the size of the renewable energy source with the Artificial Bee Colony optimization algorithm and with the improvement of the decision quality, an effective and correct solution has been reached.

1. GİRİŞ

Dünyada enerji tüketim oranı yüksektir ve bu enerji ihtiyacına yol açan yük talebini karşılamak için enerji santrallerinden gelen arz yeterli değildir. Büyük merkezi santraller enerji üretimi için birincil enerji kaynakları olan kömür, doğal gaz ve petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarını kullanırlar. Bu geleneksel kaynaklar hem sınırlıdır hem de yeryüzünde dengesiz dağılmışlardır (Krishna ve Kumar, 2015). Enerji ihtiyacı, demografik ve endüstriyel gelişmelere paralel olarak yıldan yıla artan bir eğilim göstermektedir. Fosil yakıtlardaki rezervlerin azalması, insanların güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal enerji gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur (Toylan ve Hüner, 2017). Fosil yakıtlarının hem tükenebilir olması hem de CO₂, NO, NO₂ ve SO₂ emisyonları gibi çevresel sorunları beraberinde getirmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha cazip hale getirmektedir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sera gazı emisyonlarını azaltacağı için Kyoto protokolünün gerekliliklerini yerine getirmede ülkelere yardımcı olacaktır (Ismail ve diğ, 2014).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim sistemi tekil sistemlerden (sadece fotovoltaik, sadece rüzgar) oluşabileceği gibi başka yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ya da jeneratörler (fotovoltaik/rüzgar, fotovoltaik/dizel) ile birlikte hibrit bir sistemden de oluşabilmektedir. Ayrıca bu sistemler şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olabilmektedir. Şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji güç üretim sistemlerinde kaynakların tahmin edilemeyen doğası nedeniyle değişken aralıklı olması ve kesintili olması sebebiyle hibrit olarak tasarlanması güç üretim sisteminin sürekliliği açısından önemlidir. En yaygın olarak kullanılan sistemler modüler olması sebebiyle güneş ve rüzgar enerjisi sistemleridir.

Şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji sistemlerinden güç üretmek yüksek maliyetler ortaya çıkarabilmektedir. Bu yüzden talep edilen gücü karşılayabilecek sistemin güvenilir ve en az maliyetle optimize edilerek tasarlanması büyük önem arz etmektedir. Bu sistemlerin optimize edilmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar tarafından karmaşık problemlerin çözümlenmesindeki

başarılarından ve en iyi çözüme kısa sürede yakınlaşmalarından dolayı sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Pınarhisar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi' nin enerji ihtiyacını, bölgenin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini kullanarak karşılayabilmek için şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik/rüzgar güç üretim sistemi tasarlanarak ve güvenilirlik analizi yapılarak en uygun maliyetle optimum rüzgar türbini, fotovoltaik panel ve batarya sayıları belirlenmiştir. Sistemin optimizasyonu için sezgisel algoritmalarından olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışmamızın genel amacı, belirli bir bölgedeki elektrik enerjisi talebini karşılamak üzere tasarlanacak fotovoltaik/rüzgar hibrit güç üretim sisteminin boyutunun sezgisel optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenmesidir. Sezgisel optimizasyon algoritması olarak sayısal programlama temelli bal arılarının davranışlarından esinlenerek tasarlanan Yapay Arı Kolonisi algoritması seçilmiştir. fotovoltaik/rüzgar hibrit güç üretim sisteminin bileşenleri; Rüzgar türbini, güneş paneli ve batarya olarak belirlenmiştir. Bu bileşenlerin kullanıldığı hibrit sistemde, optimizasyon algoritmasının genel amacı yıllık toplam net maliyeti en aza indirmek ve hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin sayılarını belirlemektir. Bu amaçla, Yapay Arı Kolonisi algoritmasından faydalanılarak Hibrit enerji sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için nesne tabanlı bir programlama dilinde yazılım geliştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Enerji bir toplumun refah düzeyinde ve sosyo-ekonomik kalkınmasında kilit rol oynayan unsurlardan biridir. Ülkelerin gelişmişlik göstergeleri arasında enerji parametresi ilk sırada gelmektedir. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde, enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Yenilenebilir enerjinin avantajları olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının iklim koşullarına bağlı olmasından dolayı, üretimin süreksizliği gibi önemli dezavantajları vardır. Bu yüzden rüzgar, fotovoltaik ve hidro gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan hibrit sistemler kullanılmaktadır.

Hibrit Sistemin boyutlandırılması için literatürde mevcut olan geleneksel optimizasyon teknikleri doğrusal programlama, dinamik programlama ve analitik yöntemlerdir. Ayrıca hibrit sistemin boyutlandırılması için genetik algoritma, benzetilmiş tavlama ve parçacık sürü optimizasyonu gibi evrimsel teknikler uygulanmıştır.

Dong ve arkadaşları, Çin'in Zhejiang eyaletinde Zhoushan, adasında elde edilen verilerle hibrit sistemin avantajlarını göstermek için simülasyon deneyi yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik (FV), rüzgar türbini (RT), batarya ve hidrojen sisteminin (depolama kaynağı batarya ve hidrojen tabanlı hibrit bir sistem) boyutunu güvenilir ve ekonomik olarak optimize etmeyi amaçlamışlardır. Temel yük talebini karşılayan ve etkili bir enerji depolamasına sahip hibrit sistemi daha kapsamlı bir perspektiften boyutlandırmak için maksimum sistem güvenilirliği (güç kaynağı kaybı olasılığı-LPSP) ve minimum yıllık sistem maliyetleri iki hedef olarak ele almışlar ve hibrit sistemin boyut optimizasyonu için Karınca Koloni Algoritması kullanmışlardır. Hedefe ulaşmada arama süresini kısaltan KKA kullanılarak yapılan simülasyonlarda sistem maliyetinin azalması ve sistem güvenilirliğinin artması arasında paradoksal bir ilişki olduğunu bulmuşlardır. Sadece batarya tabanlı hibrit sistem, sadece hidrojen tabanlı hibrit sistem ve her ikisinin de olduğu üç sistem karşılaştırılmış. Batarya ve hidrojen tabanlı sistemin diğer sistemlere göre daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Dong ve diğ, 2016).

Hadidian-Moghaddam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Matlab yazılımında formüle ettikleri Gri Kurt Optimizasyon algoritmasını kullanarak, şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik/rüzgar türbini/batarya güç enerji sisteminin boyut optimizasyonu metodunu önermişlerdir. Optimizasyonda temel amaçları güvenilirlik (LPSP) dikkate alınarak en uygun rüzgar türbini, fotovoltaik panel ve batarya sayısını belirleyerek hibrit sistemin toplam yıllık maliyetini en aza indirmektir. Önerdikleri bu yöntemde yükü karşılayan en uygun hibrit sistemi rüzgar türbini ve batarya olarak belirlemişlerdir. Hibrit güç üretim sisteminin bileşenlerinin %90, %95 ve %100 oranında kullanılabilirliklerini de karşılaştırdıkları çalışmalarında, cihazların kullanılabilirliği azaldıkça güvenilirlik özelliğini azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Optimizasyonda elde ettikleri sonuçlar Gri Kurt Optimizasyon algoritmasının literatürde iyi bilinen metotlar ile karşılaştırdıklarında hızlı bir şekilde ve daha düşük maliyetle optimum hibrit güç enerji sistemini kolayca bulduğu

sonucuna ulaşmışlardır. Güvenilirlik metodunun dikkate alınmasının optimizasyonda önemli bir etkiye sahip olabileceğini önermişlerdir (Hadidian-Moghaddam ve diğ., 2016).

Sanajaoba Singh ve Fernandez, Hindistan'ın Almora bölgesinden elde edilen verilerle yaptıkları çalışmada fotovoltaik panellerin kullanılabilirliğini ve rüzgâr türbinlerinin güç kesinti oranlarını (0.05 olarak kabul edilmiş) da dikkate alarak hibrit enerji sisteminin optimizasyonunu sunmuşlardır. Hibrit enerji sisteminin optimizasyonu için Guguk Kuşu Arama algoritması olarak adlandırılan yeni bir meta-sezgisel algoritma MATLAB programlama ortamında uygulanmıştır. Ayrıca güneş radyasyonu, rüzgar kaynakları ve sermaye maliyeti gibi çeşitli girdi parametrelerinin birim enerji maliyetine olan duyarlılığını araştırarak hassasiyet analizi de yapmışlardır. Guguk Kuşu Arama algoritmasının sonuçları Genetik Algoritmalar ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmaları ile karşılaştırılmış hesaplama zamanlarının sırasıyla %20,1 ve %17,8 oranında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Sanajaoba Singh ve Fernandez, 2018).

Sangeetha ve Suja, fotovoltaik panel, rüzgar türbini ve batarya grubundan oluşan hibrit sistemin Simulink programı kullanarak modellenmesini ve Matlab programında sezgisel optimizasyon tekniklerini kullanarak boyut optimizasyonu tahmini yapmışlardır. Hibrit sistemin boyut optimizasyonunda güç kaynağı güvenilirliğini en üst düzeye çıkarmayı ve güç üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada boyut optimizasyonu için Genetik Algoritma ve Çiçek Tozlaşma Algoritması'nı kullanarak sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Genetik algoritmanın da optimizasyonda iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamışlar ancak Çiçek Tozlaşma Algoritması'nın kurulu gücü karşılayan enerji üretimi ve enerji maliyeti dikkate alınarak Genetik Algoritma'ya kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğine ulaşmışlardır (Sangeetha ve Suja , 2017).

Sasidhar ve Jagadish Kumar, Sezgisel optimizasyon algoritmalarından Genetik Algoritma ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon tekniklerini kullanarak hibrit sistemin boyut optimizasyonunu sistem maliyetini en aza indirmek için yapmışlardır. Sistem toplam maliyetini hesaplar iken ilk yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri ile proje sonlandığında sistemin her bir bileşeninin geri dönüşüm maliyetlerini dikkate almışlardır. Tasarladıkları hibrit sistem rüzgar türbinleri, fotovoltaik panellerden ve bataryadan oluşmaktadır. Matlab yazılımı kullanılarak geliştirilen

sezgisel optimizasyon algoritmalarının hibrit sistemin optimizasyonunda etkili olduğu sonucuna ulaşmışlar ve Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniği kullanılarak maliyet fonksiyonu minimuma indirilmiştir. Genetik Algoritma tekniğinin Parçacık Sürüsü Optimizasyonu tekniğine göre optimizasyon da daha başarılı sonuçlar verdiğine ulaşmışlardır (Sasidhar ve Jagadish Kumar, 2015).

Kusakana ve arkadaşları, gelişmekte olan ülkelerin kırsal alanlarında yük tedarik etmek için hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin Doğrusal (Lineer) programlama yöntemini kullanarak şebekeden bağımsız fotovoltaik, rüzgar, hidrokinetik hibrit yenilenebilir enerji sisteminin optimal boyutlandırılması için genel yöntem sunmuşlardır. Çözümüne ulaşmak için Matlab’ da doğrusal programlama problemlerini çözmek için “linprog” komutunu kullanarak bir arayüz yazmışlardır. Örneklemede Güney Afrika’ da günlük enerji tüketimi 1.97 kWh tipik bir hane ele alınmıştır. Doğrusal programlama yöntemiyle optimizasyon, hibrit sistemlerin boyut ve maliyetini en aza indirmek için daha hızlı, güvenilir ve uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Kusakana ve diğ, 2013).

Marano ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, basınçlı hava enerji depolama alanı ile birleştirilmiş bir rüzgar santrali ve bir fotovoltaik tesisten oluşan hibrit enerji santralini termo-ekonomik analiz ve optimizasyonu için bir model sunmuşlardır. Optimizasyon analizi, İtalya’ da Salerno Üniversitesi kampüsü elektrik yükü ve çevredeki bölgenin yenilenebilir enerjisi düşünülerek yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında fotovoltaik paneller, rüzgar türbinleri, kompresörler, gaz türbinleri ve basınçlı hava deposu dahil olmak üzere birçok alt sistem modellenmiş ve maliyeti en aza indirme amacıyla optimal yönetim stratejisini belirlemek için dinamik programlama tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Basınçlı hava enerjisi depolama teknolojisinin elektrik şebekesine entegrasyonunun yenilenebilir kaynakların ekonomik olarak canlılığını artırmasına ve CO₂ emisyonlarını ciddi ölçüde azaltmasına yardımcı olabileceği sonucuna ulaşmışlardır (Marano ve diğ, 2012).

Li ve arkadaşları, rüzgar türbini/ fotovoltaik panel ve bataryalardan oluşan hibrit sistemin bileşenlerinin sayısını belirlemek için basit bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma bataryaların şarj kapasitelerinin değişmeyeceğini varsayımına dayanarak geliştirilmiştir. Algoritma bir döngü içerisinde rüzgar türbini sayısına göre fotovoltaik panel sayısını, batarya sayısını, ve sistemin maliyet hesabını tüm olasılıklar tek tek değerlendirerek hesaplamaktadır. Önerilen algoritmanın etkinliğini

göstermek Çin'in Zhoushan adasındaki bir bölgede örnekleme yaparak sonuçlarını paylaşmışlardır (Li ve diğ, 2012).

Zhang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, hidrojen ve batarya tabanlı iki enerji depolama cihazını dikkate alarak yenilenebilir enerji için hibrit sistemin modellenmesi ve optimizasyonu için yeni etkili bir metodolojiyi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Optimizasyon için hibrit Kaotik Arama ve Harmoni Arama tabanlı Benzetilmiş Tavlama algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritmanın performansı Benzetilmiş Tavlama ve Harmoni Arama tabanlı Benzetilmiş Tavlama algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. İran' ın Kerman Eyaleti' nde uzak bir bölgedeki konutun elektrik yükünün, şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklarıyla tedarik edilerek hibrit sistemin minimum yaşam döngüsü maliyetini elde etmek ve optimizasyon için algoritmalar Matlab programında geliştirilmiştir. Rüzgar türbini/hidrojen, fotovoltaik Panel/hidrojen, rüzgar türbini/fotovoltaik panel/hidrojen, rüzgar türbini/batarya, fotovoltaik panel/batarya ve rüzgar türbini/fotovoltaik panel/batarya' dan oluşan altı hibrit sistemin optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonuçlarına göre batarya tabanlı hibrit sistemlerin, hidrojen tabanlı hibrit sistemlerden daha düşük maliyetli ve güvenilir enerji sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. En uygun ve ekonomik hibrit sistemin rüzgar türbini/ batarya olduğu, rüzgar türbini, batarya ve dönüştürücünün toplam yaşam döngüsü maliyetlerine oranını sırasıyla %67, %5 ve %28 olarak açıklamışlardır. Algoritmaların performansının karşılaştırılması ve algoritmaların sağlamlığı için 50 bağımsız çalışma yürütülmüş ve önerilen hibrit Kaotik Arama ve Harmoni Arama tabanlı Benzetilmiş Tavlama algoritmasının diğerlerine göre daha üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Zhang ve diğ, 2018).

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Finlandiya' nın güneyindeki bir bölgenin, ısı talebini karşılamak için birleşik ısı ve güç sistemleri, ısı kazanları, güneş panellerinden oluşan termal tesis ve termal enerji depolarından oluşan Akıllı Hibrit Yenilenebilir Enerji adlı enerji entegrasyon sistemini önermişlerdir. Birleşik ısı ve güç sistemlerini temel alan Akıllı Hibrit Sistemin matematiksel modellenmesinde LP2 adlı doğrusal programlama algoritması geliştirmişler ve elde edilen sonuçları mevcut bir enerji optimizasyon yazılımı (EnergyPro) ile karşılaştırmışlardır. Modelde ısı ve güç dengelerini, enerji depolama dengelerini ve ayrıca enerji depoları ve güç rampası üzerindeki kısıtlamaları dikkate almışlardır. 2011 yılının 8. haftası

(soğuk sezon), 24. haftası (sıcak sezon) ve 42. haftası (ılık sezon) olmak üzere LP2 algoritması ve Energy Pro yazılımından elde edilen Akıllı Hibrit Sistemin optimizasyon sonuçları paylaşılmıştır. Sonuçlara bakıldığında geliştirdikleri LP2 algoritmasının Akıllı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri için geliştirilen modelleme ve optimizasyon yönteminin daha verimli ve esnek olduğunu önermişlerdir (Wang ve diğ, 2015).

Ranaboldo ve arkadaşları, kırsal bölgelerin rüzgar türbini, fotovoltaik panel ve bataryalardan oluşan hibrit sisteme dayalı şebekeden bağımsız elektrifikasyon projelerini tasarlamak için gelişmiş bir deterministik ve meta-sezgisel yöntem sunmuşlardır. Önerdikleri yöntemde çoklu mikro şebekelerin ve bağımsız kullanıcıların tasarımını, hibrit sistemin kullanımını, mikro ölçekli kaynak değişimlerini ve güç talep noktalarından uzaktaki jeneratörlerin kurulumunu dikkate almışlardır. Önerilen yeni algoritmada, deterministik sezgisel algoritmanın sıkışabileceği yerel optimum durumlardan kaçmak için Açgözlü Rasgele Uyumlu Arama Prosedürleri (GRASP) tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir. En iyisini seçmek için farklı algoritma versiyonları (GRASP0-GRASP5) kalibre edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Geliştirilen algoritmalar, gerçek projelere göre oluşturulan literatürden 450 örnek üzerinde, farklı kullanıcı sayıları (10' dan 90' a kadar), kullanıcıların farklı yoğunlukları ve mevcut rüzgar ve güneş kaynakları ile test edilmiştir. GRASP tabanlı algoritmanın var olan deterministik sezgisel algoritmaya göre daha hızlı bir şekilde çözüme ulaştığı sonucuna varmışlardır. Bu yöntem, kullanıcı sayısı ve kullanıcı yoğunluğu arttıkça artma eğilimindedir: 40 kullanıcıdan büyük örneklerin % 30' undan fazlasında önemli iyileştirmeler (% 1' den yüksek) elde etmişlerdir (Ranaboldo ve diğ, 2015).

Ismail ve arkadaşları, Filistin'in uzak bölgelerine ısı yükünü ve elektrik yükünü karşılayan gücü sağlamak için fotovoltaik panel/mikro türbin/batarya hibrit enerji sisteminin optimum tasarımını modellemeyi amaçlamışlardır. Genetik Algoritma kullanılarak gerçekleştirilen hibrit enerji sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için Matlab tabanlı bir yazılım geliştirmişlerdir. Küresel ısınma emisyonlarının maliyeti bu optimizasyon analizinde dikkate alınmıştır. Farklı tiplerdeki fotovoltaik panel, batarya ve mikro türbinleri ile panellerin eğim ve azimut açılarının da dikkate alındığı çalışmada enerji üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. FV/batarya/mikro türbinden oluşan hibrit sistem en ekonomik seçenek olarak

bulunmuştur. Önerilen bu çalışmada dizel jeneratörleri kullanmak yerine mikro türbinleri yedek besleme kaynağı olarak kullanmanın uygunluğunu kanıtlamışlardır (Ismail ve diğ, 2014).

Fetenat ve Khorasaninejad, hibrit fotovoltaik/rüzgar enerji sisteminin boyut optimizasyonu için sayısal tabanlı sürekli etki alanları için Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Tam sayı programlama probleminin karar değişkenleri olarak güneş paneli, rüzgar türbinleri ve akü sayısı seçilmiştir. PV-rüzgar sistemi tasarımının amaç fonksiyonu, toplam sermaye maliyeti ve toplam bakım maliyetinden oluşan toplam tasarım maliyetini en aza indirmektir. Optimizasyon hibrit sistem, tek başına rüzgar sistemi ve tek başına fotovoltaik sistem olarak üç farklı şekilde yapılmıştır. Önerilen algoritmanın sonuçları diğer yapay zeka ve geleneksel optimizasyon teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonuçları, Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritmasının birkaç saniye içinde en iyi sonuçları verdiğini göstermişlerdir (Fetenat ve Khorasaninejad, 2015).

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Ülkemizde ve dünyada gelişen teknolojiler ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Enerjinin üretilmesinde kullanılan fosil yakıtların, tükenebilirliğin yanında, hem gezegenimize, hem de gezegenimizde yaşayan tüm canlılara olumsuz etkileri bulunmaktadır. Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan yenilenebilir enerjiler ise, hem olumsuz çevre koşulları oluşturmayan hem de gezegenimizde var olan tüm canlılar için güvenilir olan, temiz ve devamlılık teşkil eden teknolojiler olarak kullanımıyla dünyamız için önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bu enerjilerin üretimi ve devamlılığı başka ülkelere olan ihtiyacı da ortadan kaldırmaktadır (Kılıç, 2015).

Çevre kirliliği oluşturmayan ve doğanın kendi döngüsü ile birlikte her defasında yeniden var olabilen enerji kaynakları yenilenebilir enerji olarak tanımlanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak: güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi gibi farklı kaynaklar olarak incelenebilmektedir (Önal ve Yarbay, 2010).

2.1 Güneş Enerjisi

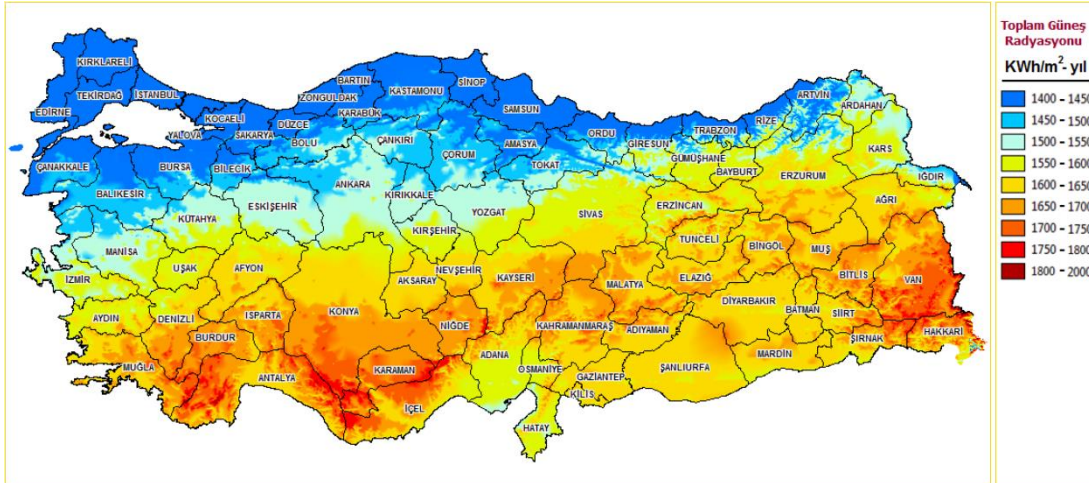
Hidrojen gazının, helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışıma enerjisi güneş enerjisi olarak adlandırılır. Bu dönüşüm esnasında saniyede 4×10^6 ton kütle enerjiye dönüşmekte ve yaklaşık 386×10^6 EJ (Eksa Joule) ($1 \text{ EJ} = 22.7 \text{ MTEP}$ -Milyon ton eşdeğer petrol) değerindeki enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Bu işlemin sürekliliği sebebiyle en azından milyarlarca yıl daha devam edeceği (~ 5 milyar yıl olarak tahmin edilmektedir) düşünülerek, Güneş' in Dünya' mız için sonsuz bir enerji kaynağı olduğu kabul edilmektedir (Kılıç, 2015).

Güneş enerjisi, günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Isıtma, ulaşım, iletişim araçları, otomasyon teknolojileri, tarımsal teknolojiler, sanayi, güneş pompaları, güneş pilleri vb.

2.1.1 Ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumun avantajı olarak iyi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyel halen yeterince değerlendirilmemektedir. Türkiye, Güneş kuşağı içerisinde bulunmasına rağmen güneş enerjisinin kullanımına yönelik sistemler ve uygulamalar yeterince kullanılmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin arttığı günümüzde, bu kaynakların kullanımının artırılması ve sürdürülebilir olması önem taşımaktadır (Kılıç, 2015).

Ülkemizde tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirmesini yapan kurum Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) dir. EİGM kurumunun, yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) incelendiğinde ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat ve ortalama toplam gelen güneş enerjisi miktarı 1527 kWh/m²-yıl dir. Şekil 2.1’ de GEPA gösterilmiştir.

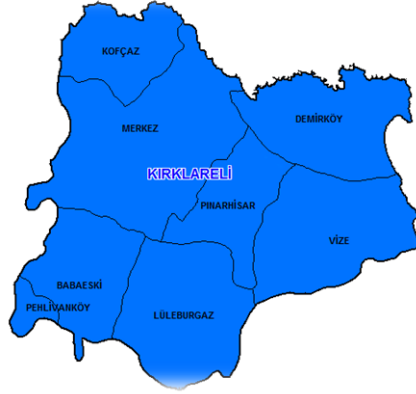


Şekil 2.1 : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).

2.1.1.1 Marmara bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli

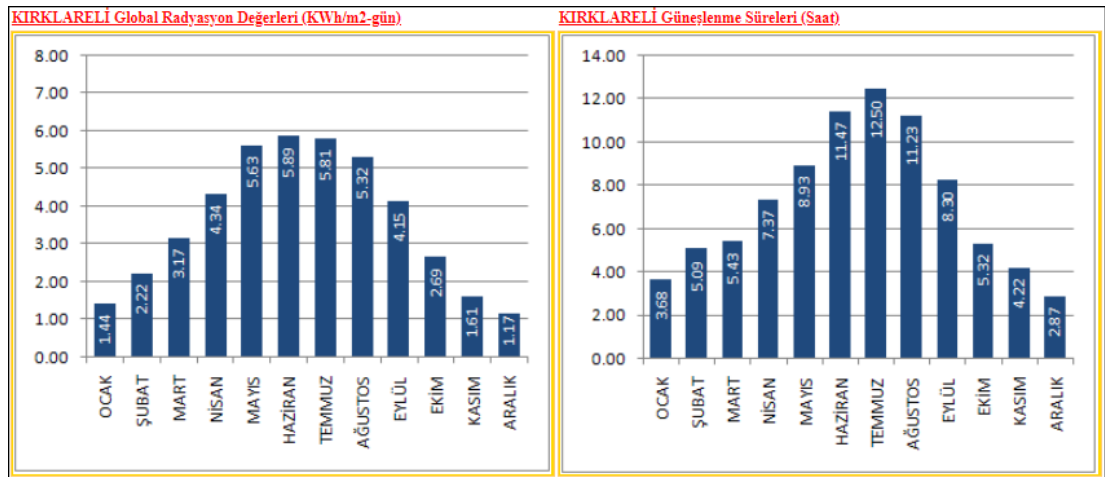
Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgiler doğrultusunda Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) incelendiğinde ülkemizde yıl içinde metrekareye düşen toplam güneş radyasyonu bilgileri bulunmaktadır (Şekil 2.1). Bu bilgilere göre Marmara Bölgesi 1400-1450 kWh ile toplam güneş radyasyonunun en az görüldüğü bölgedir (EİGM, 2019).

Aşağıda Şekil 2.2 ve Şekil 2.3' de Kırklareli iline ait bilgiler verilmektedir.



Şekil 2.2 : Kırklareli iline ve ilçelerine ait güneş enerji potansiyeli (EİGM, 2019).

Kırklareli'nin GEPA verileri incelendiğinde Şekil 2.3' de görüldüğü gibi ülkemizin geneli ile doğru orantılı olarak global radyasyon değerleri içinde en yüksek değerlerin Haziran ve Temmuz aylarına, güneşlenme sürelerinde ise yine en yüksek değerlerin Haziran ve Temmuz aylarında olduğu görülmektedir (EİGM, 2019).



Şekil 2.3 : Kırklareli ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (EİGM).

2.1.2 Güneş enerjisinden elektrik üretimi

Güneş enerjisi teknolojileri, yöntem ve teknik düzeyden çok çeşitlilik göstermesine rağmen genellikle iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlardan birincisi, ısı güneş enerjisi teknolojileridir. Bu sistemlerde önce ısı enerjisi elde edilir, sonra elde edilen ısı direkt olarak kullanılabilirdiği gibi elektrik enerjisine çevrilerek de kullanılabilir. İkincisi ise fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemlerde kullanılan güneş pilleri sayesinde, güneş ışığı doğrudan elektrik enerjisine çevrilerek kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Aşağıda bu sistemler detaylı olarak incelenmektedir.

2.1.3 Isıl güneş enerjisi teknolojileri

Isıl güneş enerjisi teknolojilerinde, güneşten öncelikle ısı enerjisi elde edilmektedir. Elde edilen ısı, doğrudan kullanılabilirdiği gibi çeşitli sistemler ile elektrik enerjisine çevrilerek de kullanılabilir. Bu teknolojiye ısı üretimi: düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak ayrılabilir (Url 1).

Düşük sıcaklık uygulamaları (20-100°C) sıcaklık aralığında gerçekleşen uygulamalar olup, bina ısıtılması – soğutulması, sera ısıtılması, güneş ocakları ve fırınları, tuz üretimi, tarım ürünlerinin kurutulması gibi örnekler de verilebilir.

Orta sıcaklık uygulamaları (100-300°C) sıcaklık aralığında yapılan uygulamalar olup, büyük ısıtma ve soğutma sistemleri ve endüstriyel alanda kullanım için elektrik ve buhar üretimidir.

Yüksek sıcaklık uygulamaları ise (300°C den fazla) sıcaklıklarda yapılan uygulamalardır ve yukarıda bahsedildiği gibi parabolik çanak ve merkezi alıcı sistemlerinden elektrik elde edilmesi olarak bilinir (Bulut, 2009).

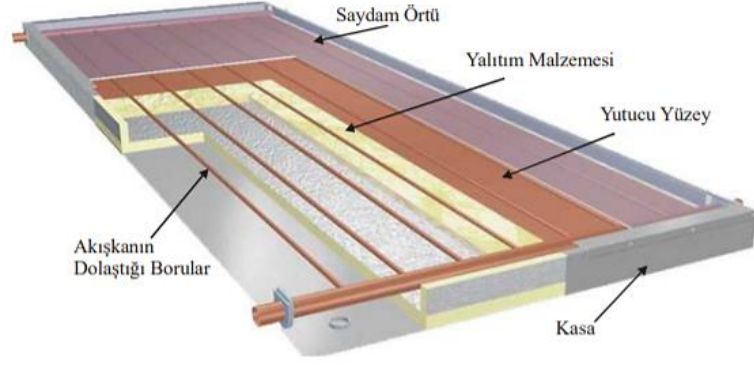
2.1.3.1 Düşük sıcaklık sistemleri

- **Düzlemsel güneş kolektörleri**

Güneş enerjisini toplayarak bir akışkana ısı olarak aktarılmasını sağlayan sistemler güneş kolektörleri olarak adlandırılır. İklimlendirme, ısıtma ve sıcak su ile yapılan uygulamalarda genel olarak kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri bulunduğu bölgenin coğrafi yapısına bağlı olarak, güneşten en üst seviyede yarar sağlayacak bir sabit açıyla monte edilmektedir (Url 2).

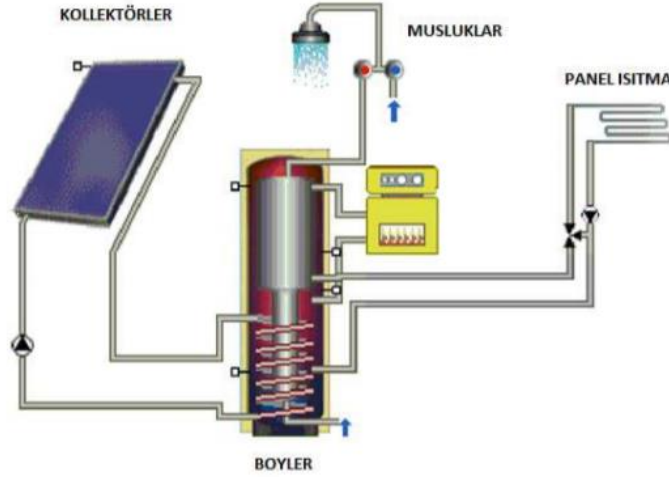
Düzlemsel güneş kolektörlerini kullanmanın temel amacı basit ve maliyet bakımından diğer sistemlere nazaran daha ucuz olmasıdır. Düzlemsel güneş kolektörü yapı olarak şekil 2.4’ de görüldüğü gibi, saydam örtü, yutucu yüzeyler, akışkanların dolaştığı borular, yalıtım ve kasa malzemesinden oluşmaktadır (Tezcan, 2001).

Dünya genelinde kurulmuş halde olan güneş kolektörü alanları 30 milyon m² den fazladır. Türkiye’ de ise kurulu halde 18 milyon m² güneş kolektörü alanı bulunmaktadır (EİGM, 2019).



Şekil 2.4 : Düzlemsel güneş kolektörünün yapısı (Url 2).

Düzlemsel güneş kolektörünün kullanılmış olduğu bir sistem görüntüsü ise şekil 2.5’ de görülmektedir.



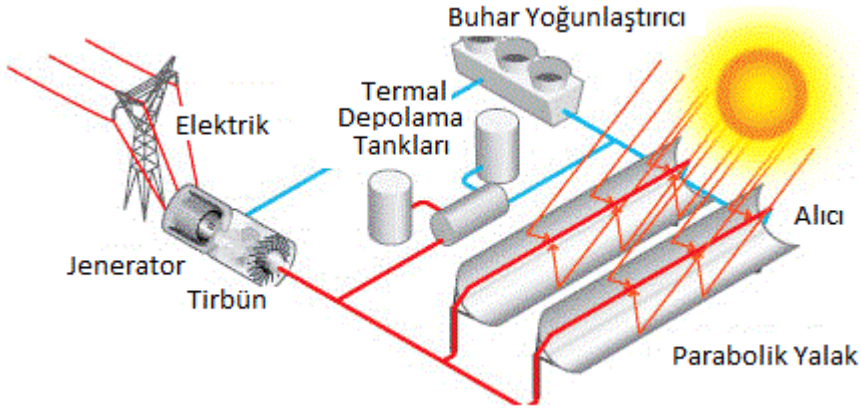
Şekil 2.5 : Düzlemsel güneş kolektörü sisteminin araçları (Url 2).

2.1.3.2 Orta sıcaklık sistemleri

•Parabolik oluk sistemleri

Bu sistemler, odak noktalarına göre nokta-odak yoğunlaştırıcılar (merkezi alıcı sistemler ve parabolik çanaklar) veya hat-odak yoğunlaştırıcılar (parabolik kanal toplayıcılar (PTC'ler) ve doğrusal fresnel toplayıcılar) olarak sınıflandırılır.

Parabolik oluk sistemleri Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi doğrudan güneş ışığını kolektör eksenindeki bir odak çizgisine odaklarlar. İçine akan sıvı ile boru duvarlarından konsantre güneş enerjisini emen ve ısısını yükselten bir alıcı boru bu odak çizgisine kurulur. Güneş ışınlarının eksenine paralel olarak düşmesini sağlamak için kolektör bir eksenli güneş izleme ile donatılır. Parabolik oluk sistemleri doğrudan güneş ışığını kullanabilirler (Fernández-García ve diğ, 2010).



Şekil 2.6 : Parabolik oluk sisteminin gösterimi (Url 2).

2.1.3.3 Yüksek sıcaklık sistemleri

• Merkezi alıcı sistemler

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP teknolojisi) adı altında incelenen merkezi alıcı sistemler, literatürde güneş kuleleri olarak ta adlandırılmaktadır (Zhang ve diğ, 2013).

Merkezi alıcı sistemler güneşi ayrı ayrı takip eden ve güneş ışınlarını bir kulenin tepesine odaklayan heliostat adı verilen dağıtılmış aynaları kullanmaktadır. Güneş ışınlarının 600 ile 1000 kez yoğunlaştırılması sağlanarak; 800 °C' den 1000 °C sıcaklıklara kadar ulaşması sağlanır. Güneş enerjisi, akışkan bir sıvı tarafından emilir ve daha sonra bir türbini besleyerek buhar üretmek için kullanılır (Müller ve Trieb, 2004).



Şekil 2.7 : Merkezi alıcı güneş enerjisi sistemi (Url 3).

• Çanak kolektörler

Parabolik çanak kolektörü, güneşi iki ekseninde izleyebilen ve güneş enerjisinin çanağın odak noktasında bulunan bir alıcıya yoğunlaştıran bir kolektördür. Çanak yapısı, güneş ışınlarını termal alıcıya ulaştırabilmek için güneşi tamamen izlemelidir. Merkezi bir güç dönüştürücüsünden elektrik üreten parabolik çanak sistemleri, ayrı alıcılardan emilen güneş ışığını toplar ve bunu bir ısı transfer sıvısı yoluyla güç dönüşüm sistemlerine iletir. Alıcı, güneş enerjisini emer ve onu sirküle eden bir akışkandaki termal enerjiye dönüştürür. Termal enerji, doğrudan alıcıya bağlı bir jeneratör kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir veya borular aracılığıyla merkezi bir güç dönüşüm sistemine taşınabilir. Parabolik çanak sistemleri 1500 °C' den yüksek sıcaklıklara ulaşabilir. Alıcılar, parabolik oluklar gibi bir toplayıcı alana dağıtıldığı için parabolik çanaklara genellikle dağıtılmış alıcı sistemleri olarak bilinir. Parabolik çanak kolektörlerinin bazı önemli avantajları şöyledir: Her zaman güneşi takip ettikleri için tüm kolektör sistemleri için de daha avantajlı durumdadırlar, genellikle 600-2000 aralığında konsantrasyon oranına sahiptir ve bu nedenle termal enerji emme ve güç dönüşüm sistemlerinde oldukça verimlidirler, bağımsız olarak veya daha büyük bir çanak sisteminin bir parçası olarak işlev görebilecek modüler toplayıcı ve alıcı üniteleri vardır (Kalogirou, 2004).



Şekil 2.8 : Parabolik çanak kolektör (Kılıç, 2015).

2.1.4 Fotovoltaik sistemler (FV)

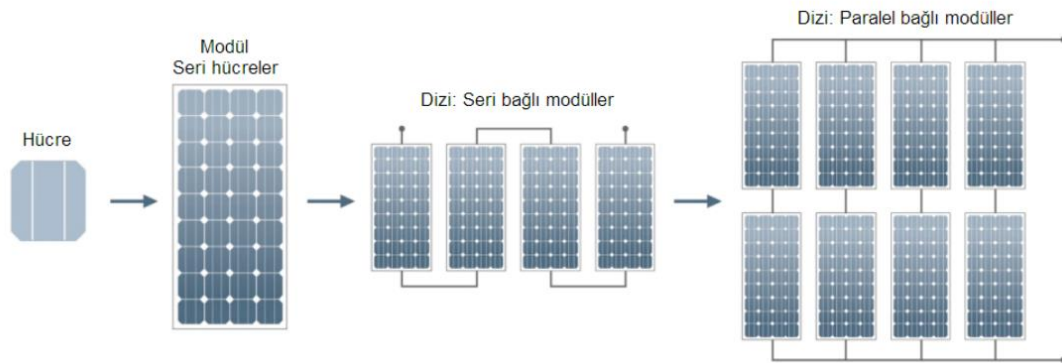
Yenilenebilir enerji kaynağı olarak yukarıda bahsedilen yoğunlaştırılmış sistemlerin diğer adıyla ısıl güneş enerjisi teknolojilerin yanında fotovoltaik sistemler de kullanılır.

Fotovoltaik (FV) teknolojisi, fotoelektrik prensibine göre doğrudan gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Gelen güneş radyasyonunun dağınık bileşenlerini kullanır, bu nedenle FV teknolojisi hem düşük hem de yüksek doğrudan ışınlı alanlar için uygundur (Khan ve Arsalan, 2016).

Fotovoltaik sistemlerin yüzeyleri, kare, daire ya da dikdörtgen biçiminde değişiklik gösterebilir. Kalınlıkları 0,2 mm veya 0,4 mm civarında olup alanları ise 100 m²'ye kadar değişkenlik gösterebilir. Güneşli bir günde deniz seviyesinde iken güneş ışınımının şiddetinin 1000 W/m² olduğu bilinmektedir. Bölgelere bağlı olarak her 1m² ye düşen enerji miktarı yılda 800 ile 2600 kW/h arasında değişkenlik göstermektedir (Çelebi, 2002).

FV teknolojisi kullanan enerji üretimi, farklı tür fotovoltaik malzemelerden oluşan güneş panellerinden faydalanmaktadır. En yaygın kullanılan malzemelerden bazıları arasında mono ve polikristalin silikon, kadmiyum tellürit (CdTe), galyum arsenit (GaAs) ve İndiyum galyum fosfit (InGaP) 'den oluşan üçlü birleşme güneş hücreleri bulunur.

Bir güneş pili genellikle küçük bir elektrik üretim cihazıdır. Daha büyük ölçekte elektrik üretmek için, güneş pilleri, çoklu hücrelerin bir modülünü oluşturmak üzere birleştirilir; Bu modüller daha sonra birkaç metreye kadar uzunluk içeren bir FV dizisine monte edilir (Khan ve Arsalan, 2016).



Şekil 2.9 : Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi (Url 4).

2.1.4.1 Fotovoltaik hücrelerin yapısı ve çeşitleri

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan modüller, farklı şirketlerin üretimi ile yapı olarak değişkenlik gösterir. Bu yapılar; alüminyum çerçeveli modüller güneş pilinin alüminyum bir çerçevenin içine geçirildiği yapılardır ve en çok tercih edilen yapılardandır, metal tabanlı modüller ise monokristal silikon güneş enerjisi

pillerinden üretilmektedir ve özel yapışkanlı ve yalıtımlı kaplaması olan paslanmaz çelik kullanılır, çerçevesiz modüller de monokristal silikon güneş pilinden yapırlar ve metal tabanlı modüllerden farklı olarak ki tabaka da optik filmle kaplanır ve genellikle başka bir sistemle bağlantı olmayan durumlarda kullanımı idealdir, çift yüzeyli modüller ise iki yönlü olarak enerji üretebilen yapılardır (Sayın ve Koç, 2011).

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan güneş pilinin önemli malzemesi “Silisyum” dur. Silisyum, yarı iletken özelliğe sahip ve ham maddesi kum olan bir elementtir. Yeryüzünde yeterince kum olduğu için ham madde olarak kolay bulunan bir malzemedir. Birçok firma tarafından, farklı teknolojiler ve farklı malzemeler kullanılarak değişik türlerde güneş pilleri üretimi gerçekleştirilmektedir (Sayın ve Koç, 2011).

Aşağıda farklı türlerde ki bazı güneş pilleri açıklanmaktadır.

Kristal silisyum güneş pilleri, ilk nesil FV sistemleri ile kullanılmaya başlanmış malzeme olarak kristal yapıda silisyum (Si) kullanılan sistemlerdir. Bu hücreler sürekli olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Tek kristalli, çok kristalli ve ribbon silisyum hücreler olmak üzere farklı türleri bulunmaktadır.

Tek Kristal silisyum hücreleri en çok kullanılan güneş pili çeşitlerdendir. Güneş pilleri içinde %80 kullanım oranına sahiptir. Esas olarak kristalin Si p-n bağlantıları kullanılmaktadır. Homojen bir yapıya sahip olması ve silisyumun özelliğini uzun süre muhafaza etmesi sebebi ile tercih edilirliliği yüksektir. Maksimum verimi standart test koşulları ile %23-30 oranında değişmektedir.

Çok kristalli silisyum güneş hücreleri, tek kristalli hücrelere oranla daha az verimle çalışmasına rağmen maliyeti daha düşük olduğundan tercih edilen güneş hücrelerindendir. Kristalli güneş pillerinin üretimini tek silisyumdan çok silisyuma dönüştürmenin avantajı metal kirlenmesindeki ve kristal yapısındaki kusurları azaltmaktır. Ancak buna rağmen %15-18 verimle çalışabilmektedir.

Gözenekli güneş pilleri, bu teknolojide materyal geliştirmelerinden ziyade daha iyi hücre tasarımıyla verimliliğin artmasına olanak sağlamaktadır. Arka n-tipi teması karşı taraftaki vericiye bağlamak için küçük lazerle delinmiş delikler kullanılmaktadır. Ön temasların çıkarılması, hücrenin tüm yüzey alanının güneş ışınlarını emmesini sağlar, çünkü metal çizgilerle maskeleme artık mevcut değildir.

Gözenekli güneş pilleri verim olarak %15-20 aralığında çalışabilmektedir. En büyük dezavantajı dolun faktörünün yüksek seri dirençten kaynaklanan zorlanmasıdır (El Chaar ve El Zein, 2011).

İnce film teknolojisi, Kristal silikon hücrelere kıyasla, hücrelerin ömrünü uzun tutmak ve FV sistemin maliyetini düşürmek amaçlı kullanılmaktadır. Modüllerin oluşturulması için cam paneller arasına yarı iletken parçaların sıkıştırıldığı güneş hücrelerinin kristalli formlarından farklı olarak, ince film panelleri, püskürtme malzemelerini kullanarak, belirli malzemelerin ince katmanlarının cam veya paslanmaz çelik alt tabakada kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Teknik olarak, katmanların çok daha ince olması, gelen güneş ışığını absorbe etmek için daha az fotovoltaik malzemeyle sonuçlanır, bu nedenle, ince film güneş modüllerinin verimleri, kristalininkinden daha düşüktür, ancak birçok farklı malzeme ve alaşımları biriktirme kabiliyeti daha iyidir. İnce film teknolojisi ile yapılan uygulamalarda verimlilik %15-20 arasında görülmektedir. İnce film teknolojisi amorf silisyum hücreler, bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellürid olmak üzere incelenmektedir.

Amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri, geliştirilen en eski güneş pili teknolojilerindendir. Bu teknoloji, si atomlarının birbirlerinden rasgele konumlandırılmış olmaları nedeniyle kristalin silisyumdan ayrılır. Atom yapısındaki bu rastgelelik, kristalin silisyumdan daha yüksek bir bant boşluğuna neden olan malzemenin elektronik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Daha büyük bant aralığı a-Si hücrelerinin güneş spektrumunun görünür kısmını spektrumun kızılötesi kısmından daha güçlü bir şekilde emmesini sağlar. Bu teknolojiye alt tabakalar cam veya esnek paslanmaz çelik, tandem (eklemlili) kavşak, çift ve üçlü kavşak olabileceği ve her birinin farklı bir performans gösterebileceği çeşitli varyasyonlar vardır. Bu teknolojiyi standart test koşullarında verimi %6-%8 aralığındadır.

Bakır indiyum diselenidi ($CuInSe_2$) veya bazen de bilindiği gibi bakır indiyum selenidi (CIS) güneş pilleri, yüksek optik absorpsiyon katsayıları ve elektriksel özellikleri nedeniyle faydalı olan periyodik tablodaki I, III ve VI gruplarından yarı iletken elemanları içermektedir. Ayrıca, selenid kullanımıyla daha iyi homojenlik elde edilir, galyum ile kullanıldığında en iyi verim %20' lere çıksa da, geniş alan modüllerinde %13 civarında da kalmaktadır.

Kadmiyum tellürid (CdTe) ince film güneş pilleri, uzun zamandır güneş emici malzeme için yüksek doğrudan emme katsayısı olan ve ince film güneş pilleri için umut verici bir fotovoltaik malzeme olarak kabul edilen ideal bant boşluğuna sahip olduğu bilinmektedir. Verimliliği %15' ten büyük olan küçük alanlı CdTe hücreleri ve verimi %9' dan büyük olan CdTe modülleri bulunmaktadır. CdTe, diğer ince film teknolojilerinin aksine, büyük ölçekli üretim için depolanması daha kolay ve daha uygun sistemler olarak gösterilebilmektedir. Kadmiyumun (Cd) toksisitesi ve ilgili çevresel konular, bu teknoloji için sorun oluşturmaktadır (El Chaar ve El Zein, 2011).

2.2 Rüzgar Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir diğer önemli kaynak rüzgar enerjisidir. Aslında rüzgarın temeli de güneştir. Güneşten gelen ışınlar yeryüzünü farklı şekilde ısıtır ve bu farklılıklar hava sıcaklığının, hava basıncının ve nemin farklı olmasına sebep olur. Bu farklılıklar da havanın hareketine neden olur ve dolayısıyla yüksek basınç ve alçak basınç arasında gerçekleşen hava hareketi rüzgarı oluşturur (Şenel ve Koç, 2015).

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynağı olarak, taşıma sorunu bulunmayan, atmosferde bol miktarda bulunan, güneş ve dünyamız var olduğu sürece faydalanılabilecek bir kaynaktır. Ayrıca rüzgardan enerji elde etmek çok yüksek teknolojiler gerektirmemektedir. İnsanlık tarihi boyunca rüzgar enerjisinden faydalanmıştır.

Günümüzde rüzgardan enerji elde etmek için çoğunlukla rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri, rüzgardan elde edilen kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmışlardır. Rüzgar türbinleri teknolojileri geliştikçe ve üretim maliyetleri düştükçe, rüzgar enerjisi fosil yakıtlardan elde edilen enerjiyle rekabet edebilir duruma gelmektedir. Bu sebeple son yıllarda birçok gelişmiş ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımları artırarak devlet politikası haline gelmesi için uğraşmaktadırlar (Şenel ve Koç, 2015).

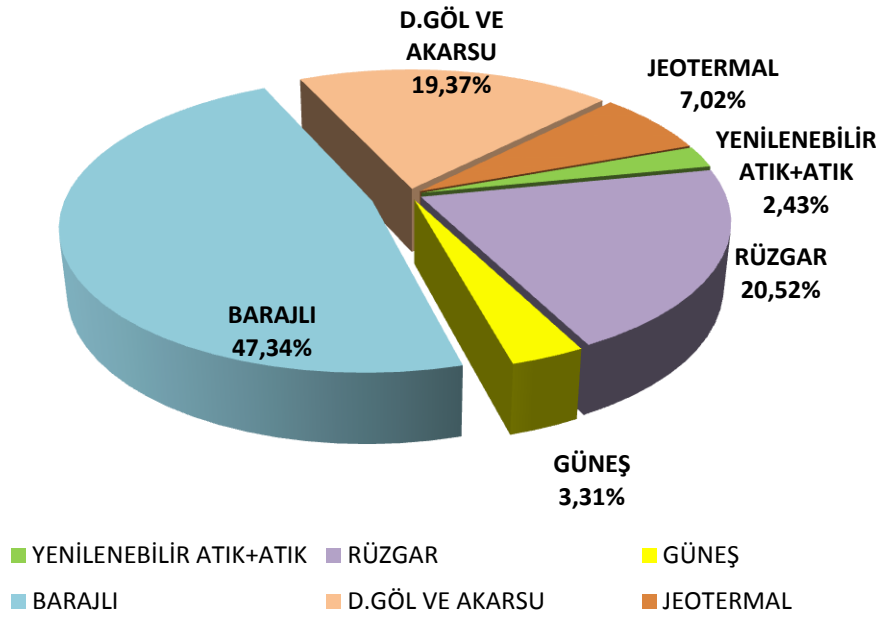
2.2.1 Ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyeli

Dünyada rüzgar enerjisi potansiyelinden faydalanan 100' den fazla ülke bulunmaktadır. Bunlardan en fazla kurulu güce sahip olan ülkelerin başında: Çin, ABD ve Almanya gelmektedir. Türkiye rüzgar enerjisi santrali kurulumunda Avrupa'da 7. sırada, dünyada ise 12. sırada yer almaktadır (Url 5).

Ülkemizde bulunan 172 RES' in (Rüzgar Enerjisi Santrali) toplam kurulu gücü 5.789,39 MW' dır. 2016 yılı verilerine göre RES' ler ile 15.369.548.000 kW/h elektrik üretimi yapılmıştır.

2019 yılı verilerine bakıldığında 192 kayıtlı santral bulunmaktadır. Bu santrallerden 175 tanesi lisanlı olup 17' si lisanssızdır. Bu santraller tam kapasite çalıştığında 496 MW kapasiteli rüzgar türbini devreye girmiş olacak ve kurulu gücün de 7.521 MW kapasiteye çıkacağı beklenmektedir (Url 6).

Ayrıca TEİAŞ' da yayınlanan 2017 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi dağılımı şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji dağılımı (Url 7).

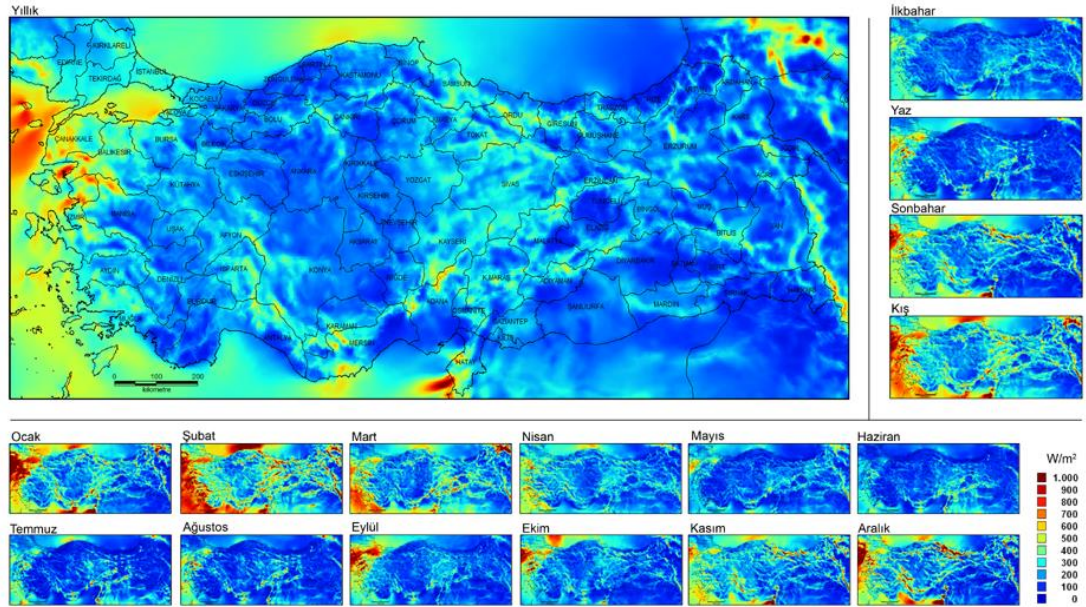
Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin %20,52' sini rüzgar enerjisi oluşturmaktadır.

Ülkemizde yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzerinde olan rüzgar hızlarına sahip alanlarda her km² başına 5 MW gücünde rüzgar enerjisi santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabullerden yola çıkarak orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası) hazırlanmıştır.

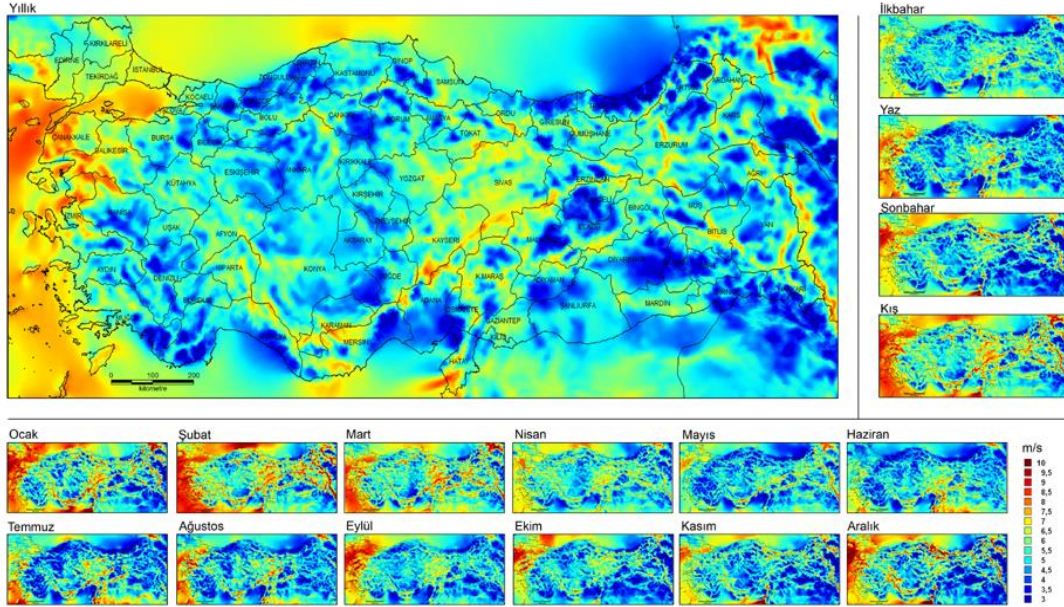
Ülkemiz rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiş olup bu potansiyele karşılık gelen toplam alan ülkemiz yüzölçümünün %1,30' una denk gelmektedir.

Ayrıca Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan bilgilere göre, ülkemiz 2018 yılında rüzgar enerjisinden 19,882 milyar kW/h elektrik üretilmiştir. 2018 yılında işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin toplam kurulu gücü ise 7.005 MW' dır (Url 8).

REPA' da ülkemizin tamamına ait rüzgar güç yoğunluğu ve rüzgar hızı bilgilerine yer verilmiştir. Bu bilgiler 50 metrede ve 100 metrede olmak üzere iki farklı şekilde hazırlanmıştır. Aşağıda şekil 2.11 ve şekil 2.12' de 50 m de güç yoğunluğu ve rüzgar hızı haritaları verilmiştir.



Şekil 2.11 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Güç Yoğunluğu Haritası (50 m yükseklik için) (Url 9).



Şekil 2.12 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Rüzgar Hızı Haritası (50 m yükseklik için) (Url 9).

2.2.1.1 Marmara bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli

Ülkemizde tüm bölgeler göz önüne alınarak ölçülen rüzgar hızları ve rüzgar güç yoğunlukları incelendiğinde Marmara Bölgesinin diğer bölgelere oranla daha yüksek bir kapasiteye sahip olduğu bilinmektedir. Aşağıdaki çizelge 2.1’ de bölgelere göre ortalama rüzgar güç yoğunlukları bilgilerine yer verilmiştir (Şenel ve Koç, 2015).

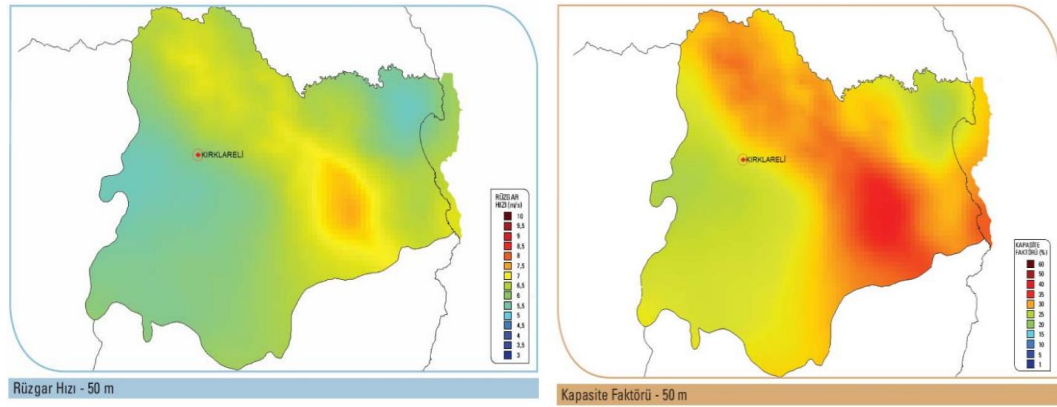
Çizelge 2.1 : 10 m yükseklikte bölgelerimize ait ortalama rüzgar güç yoğunlukları.

Bölge Adı	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)
Marmara Bölgesi	3,3	51,91
Güney Doğu A. Bölgesi	2,7	29,33
Ege Bölgesi	2,6	23,47
Akdeniz Bölgesi	2,5	21,36
Karadeniz Bölgesi	2,4	21,31
İç Anadolu Bölgesi	2,5	20,14
Doğu Anadolu Bölgesi	2,1	13,19
Türkiye Toplamı	2,54	24

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’ nden alınan bilgiler ışığında Marmara bölgesinde bulunan illere ait rüzgar enerjisi santrallerinin potansiyel verileri aşağıda çizelge 2.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Marmara Bölgesi' ndeki illerin rüzgar enerjisi potansiyeli verileri.

İl	Teorik Potansiyel Güç (MW)	Devrede RES	Yapım Aşamasında RES	Lisans Alınan RES	Ön lisanslı RES
Balıkesir	13827	1091	173	74	478
Çanakkale	13013	323	70	425	501
Tekirdağ	4627	153	49	19	60
İstanbul	4177	231	108	277	250
Edirne	3470	167	27	0	344
Kırklareli	3079	116	11	150	145
Bursa	3882	119	4	0	130
Bilecik	309	39	41	90	0
Yalova	533	84	50	32	110
Kocaeli	334	10	294	0	30
Sakarya	180	0	0	70	110



Şekil 2.13 : Kırklareline ait rüzgar hızı ve kapasite faktörü dağılımı (Url 9).

EİGM' den alınan bilgilere göre, ekonomik bir RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı, ekonomik RES yatırımı içinse, % 35 veya üzeri kapasite faktörü gerekmektedir. Şekil 2.13' te Kırklareli iline ait rüzgar hızı ve kapasite faktörleri gösterilmektedir.

Yine EİGM' de Kırklareli iline kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi için aşağıdaki çizelge 2.3 hazırlanmıştır.

Çizelge 2.3 : Kırklareli ili rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi.

50 m' de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50 m' de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 - 400	6.8 – 7.5	572,66	2.863,28
400 - 500	7.5 – 8.1	43,22	216,08
500 - 600	8.1 – 8.6	0	0
600 - 800	8.6 – 9.5	0	0
> 800	> 9.5	0	0
		615,88	3.079,36

2.2.2 Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi

Rüzgar atmosferik basınç gradyanları nedeniyle havanın hareketinden kaynaklanan bir doğa olayıdır. Rüzgar, yüksek basınçlı bölgelerden düşük basınçlı bölgelere akarak oluşur. Atmosferik basınç gradyanı büyüdükçe, rüzgar hızı artar ve dolayısıyla rüzgar enerjisi dönüştürme makineleri aracılığıyla rüzgardan yakalanabilecek rüzgar gücü artar.

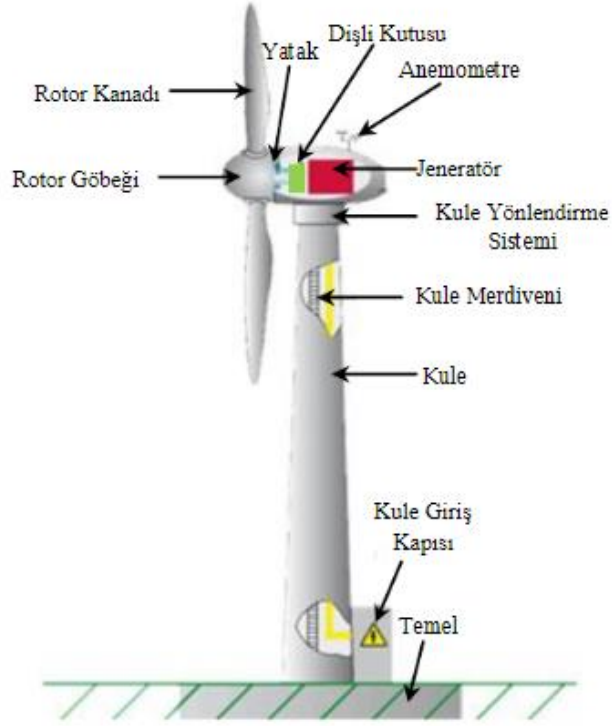
Rüzgar enerjisinin kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Eski insanlık tarihi, rüzgar enerjisinin dünyanın çeşitli yerlerinde bağımsız olarak keşfedildiğini ve kullanıldığını ortaya koymuştur. Su pompalama veya tahıl öğütme gibi çeşitli tarımsal faaliyetlerde yel değirmenleri kullanılmıştır.

Dünyada otomatik olarak işletilen ilk rüzgar türbini 1888’ de Charles Brush tarafından tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu rüzgar türbini, dönen çapı 17 m olan 144 sedir kanadıyla donatılmıştır. Lambalara ve elektrik motorlarına DC akımı sağlayan aküleri şarj etmek için 12 kW’ lık bir tepe güç üretmiştir (Tong, 2010).

Rüzgar türbinleri enerji üretebilmek için belirli bir rüzgar hızına ihtiyaç duyarlar. Başlama hızı (cut-in) ve kesme hızı (cut-out) rüzgar hızları arasında enerji üretebilirler. Cut-in değeri alt sınırdır, genellikle bu sınırın altında sistem durur. Modern türbinlerde cut-in değeri 2-4 m/s arasında değişir. Türbinden elde edilen enerji, rüzgarın hızının artmasıyla artışa geçer. Rüzgar türbinleri için belirlenmiş bir rüzgar hızı için, sistemden elde edilen güç en yüksek değere ulaşır. Ulaşılan bu en büyük hıza nominal hız, en büyük güce de nominal güç denir. Eğer rüzgar hızı nominal hız değerini aşarsa, sistemden elde edilen güç nominal güç kadar olacaktır. Modern türbinlerde genellikle nominal hız değeri 10-15 m/s aralığındadır. Daha yüksek rüzgar hızlarından sistemin hasar görmemesi için sistemin durması gerekmektedir. Sistemin durmasını sağlayacak maksimum hız noktasına cut-out adı verilir. Modern türbinlerde bu değer çoğunlukla 25-35 m/s aralığındadır (EİGM,2019).

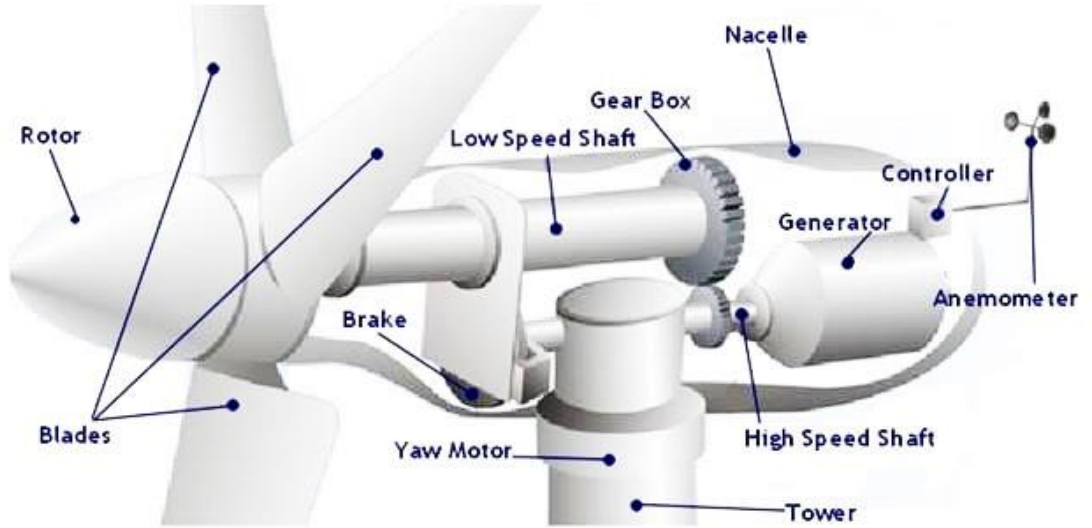
2.2.3 Rüzgar türbinini oluşturan elemanlar

Bir rüzgar türbini başlıca: dişli kutusu, rotor, anemometre, otomatik yöneltme düzeni, frenleme düzeni, yaw mekanizması ve kuleden meydana gelmektedir. Şekil 2.14’ te tipik bir rüzgar türbinine ait elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Yatay eksenli rüzgar türbininin yapısı (Koç ve Şenel, 2011).

Şekil 2.15’ de rüzgar türbinini oluşturan elemanlar ve kısaca açıklamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.15 : Rüzgar türbinini oluşturan elemanlar (Url 10).

Rotor (Çark, Gövde), türbinin kanatlarının bulunduğu ana kısma verilen addır. Gelen rüzgarı, şaft vasıtasıyla dişli kutusuna ve jeneratöre gönderir. Rotor kanadından gelen rüzgar, kanadın gövdesine ve rotorun merkezine doğru hareketlendikçe gelme açısı 90° ye yaklaşır. Eğer fazla dik açı ile etkilenirse, rüzgarın kanadı kaldırma kuvveti

azalarak sıfıra iner. Bu sebeple rotorun kanadı burulur ve kanadın arka ucu esen rüzgarla aynı yöne doğru itilir (Emniyetli, 2007). Rüzgar türbinlerinde *kanatların* (blades) ve göbeğin oluşturduğu kısım rotor olarak tanımlanır ve aynı zamanda pitch control adı verilen kanat döndürme sistemi de bu kısım içerisinde. *Gövde* (Nacelle), rotora bağlantılı olan kısımdır ve kulenin üstüne yerleştirilerek dişli kutusu, yüksek hızlı ve düşük hızlı shaft, kontrol ünitesi ve jeneratör kısımlarını içinde barındırmaktadır. *Dişli kutusu*, kanatlarda oluşan düşük hız yüksek momenti (torku), yüksek hız düşük momente dönüştürülmesini sağlayarak jeneratöre gönderirler. *Jeneratör*, hızı artmış moment veya torku düşürülmüş mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilmiştir. *Kule*, rüzgar türbininin rototru, gövdesi ve kanatlarını destekleyen çelik ve dayanıklı malzemeden yapılmış olan kısımdır (Koç ve Şenel, 2011). *Anemometre (rüzgar ölçer)*, rüzgar ve rüzgar altında konumlandırılmış kabloların arasında oluşan dakikalık sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan rüzgar hızını ölçen kısımdır (Emniyetli, 2007).

2.2.4 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, elektrik enerjisi üretmek için kullanılan rüzgar enerjisi santrallerinin ana elemanıdır. Rüzgar türbinleri, türbin jeneratörü konfigürasyonuna, türbin rotoruna göre hava akış yoluna, kanat sayısına, rüzgar gücüne, rüzgar etkisine, dişli özelliklerine ve türbin kurulumunun konumuna göre sınıflandırılabilir.

2.2.4.1 Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri

Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri dönme eksenine göre sınıflandırılmış türbinlerdir. Günümüzde rüzgar türbinlerinin çoğu döner ekseninin rüzgar akımına paralel olduğu yatay eksen tipine aittir. Bu tür rüzgar türbinlerinin avantajları arasında yüksek türbin verimi, yüksek güç yoğunluğu, düşük kesme rüzgar hızları ve birim güç çıkışı başına düşük maliyet sayılabilir (Tong, 2010).

Yatay eksenli türbinlerde rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı döner. Bu türbinler yerden 20-30 m yüksekte olacak şekilde kurulur ve çevredeki engellerden de en az 10 m uzakta olacak şekilde konumlandırılır. Verim olarak dikey eksenli türbinlere göre daha verimlidirler (Nurbay ve Çınar, 2005).

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin kanatları, yere dik olan dikey eksenlerine göre döner. Dikey eksenli rüzgar türbininin önemli bir avantajı, türbinin herhangi bir

yönden rüzgarı kabul edebilmesi ve dolayısıyla herhangi bir yalpalama kontrolüne gerek olmamasıdır. Rüzgar jeneratörü, dişli kutusu ve diğer ana türbin bileşenleri zemine kurulabildiğinden, rüzgar kulesi tasarımını ve yapımını büyük ölçüde basitleştirir ve sonuç olarak türbin maliyetini düşürür. Ayrıca, dikey eksenli rüzgar türbinleri, başlatma sırasında bıçakları döndürmek için harici bir enerji kaynağı kullanmalıdır. Rüzgar türbininin eksenini zeminde yalnızca bir ucunda desteklediğinden, maksimum pratik yüksekliği sınırlıdır. Verimliliği yatay eksenli türbinlere nazaran daha düşüktür (Tong, 2010).

2.2.4.2 Önden rüzgar alan ve arkadan rüzgar alan türbinler

Rüzgar rotorunun rüzgarın akış yönüne göre yapılandırılmasıyla oluşturulan türbinlerdir. Aslında günümüzde kullanılmakta olan yatay eksenli türbinlerdir. Yalnızca rüzgarı alışı yönüne göre farklılık göstermektedir. Önden rüzgarlı olan türbinlerin temel avantajı rüzgar kulesi ve gövde, rüzgar geçerken akış alanının bozulmasını önler (Tong, 2010). Ayrıca rotoru rüzgara karşı döndürmek için “yaw” mekanizmasını kullanırlar (Nurbay ve Çınar, 2005).

Arkadan rüzgar alan türbinlerde, rotorlar kule arkasındadır. Rüzgar gövde ve kuleden önce kanatlardan üflenir. Bu tasarım, kule kanatlarını dikkate almadan rotor kanatlarının daha esnek hale getirilmesini sağlar. Ayrıca kule ve gövde arasındaki çarpık ve dengesiz hava akışı etkisinden dolayı arkadan rüzgarlı türbinlerde rüzgar gücü dalgalanmaya uğrar. Ayrıca ek olarak, dengesiz hava akışı aerodinamik kayıplara neden olarak türbine yorgunluk ve fazla yük verebilir (Tong, 2010).

2.2.4.3 Kapasitelerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinleri ürettikleri güce göre mikro, küçük, orta, büyük ve ultra büyük türbinler olarak sınıflandırılırlar. Mikro rüzgar türbinleri elektrik şebekesinin bulunmadığı yerlerde, sokak aydınlatması, su pompası gibi yapılarda kullanılır. Başlangıçta düşük kesme hızına ihtiyaç duyarlar ve ılımlı rüzgar hızlarında çalışırlar. Küçük rüzgar türbinleri ise genellikle 100 kW’ tan daha düşük olan türbinler için kullanılır. Konut evlerinde, çiftliklerde ve su pompalama istasyonları, telekom tesisleri vb. kırsal alanlarda özel uzaktan kumanda uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağıtılmış küçük rüzgar türbinleri, bölgelerdeki elektrik arzını artırabilirken, iletim hatlarının kapasitesini artırma ihtiyacını geciktirebilirler. Orta rüzgar türbinleri ise 100 kW ile 1 MW arasında güce sahip olan türbinlerdir. Bu tür

rüzgar türbinleri, hibrit sistemler, dağıtılmış enerji, rüzgar enerjisi santralleri, vb. yerlerde kullanılmaktadır. Büyük rüzgar türbinlerinde ise üretilen güç 10 MW' a kadar çıkabilmektedir. Günümüzde enerji santrallerinde kullanılmaktadır. 10 MW' dan daha fazla kapasiteye sahip olan ultra büyüklükteki rüzgar enerji santralleri de mevcuttur ve giderek geliştirilmektedir (Tong, 2010).

2.2.4.4 Şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinleri şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olarak kullanılabilirler. Çoğu orta ölçekli ve hemen hemen tüm büyük boyutlu türbinler şebeke bağlantılı olarak çalışmaktadırlar. Şebeke bağlantılı türbinlerin en büyük avantajı enerjiyi depolama probleminin olmamasıdır. Şebekeden bağımsız türbinler ise daha çok küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde kullanılır. Sonuç olarak, şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri, rüzgar güç kaynağının dengesini arttırmak için genellikle bataryalarla, dizel jeneratörlerle ve fotovoltaik sistemlerle bağlantılı olarak kullanılabilirler.

2.2.5 Rüzgar enerjisini oluşturan parametreler

2.2.5.1 Güç katsayısı

Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülmesi için ilk aşamada kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi gerekir. Bu aşamadaki kritik cihaz kanatlardır. Rüzgar enerjisinin maksimum düzeyde yakalanması için kanatların dikkatli tasarlanması gerekir. Eşitlik 2.1' de gösterilen güç katsayısı (C_p) fiili olarak kanatlar tarafından elde edilen mekanik gücün (P_{me}) rüzgardaki mevcut güce (P_w) oranı olarak tanımlanan dönüştürme verimliliğidir. Burada ρ hava ağırlığı, A türbin kanatlarının süpürdüğü alan ve V rüzgar hızıdır (Tong, 2010).

$$C_p = \frac{P_{me}}{P_w} = \frac{P_{me}}{1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3} \quad (2.1)$$

2.2.5.2 Toplam güç dönüşüm katsayısı ve etkili güç çıkışı

Rüzgar türbini kanatları tarafından yakalanan mekanik enerji, rüzgar jeneratörleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu aşamada, dönüşüm verimliliği dişli kutusu verimi (η_{ak}), jeneratör verimi (η_{jen}) ve elektrik verimi η_{elk} parametreleri ile

belirlenir. Bu nedenle rüzgârdan elektrik enerjisine toplam güç dönüşüm verimliliği eşitlik 2.2' de gösterilmiştir.

$$\eta_t = C_p \cdot \eta_{ak} \cdot \eta_{jen} \cdot \eta_{elk} \quad (2.2)$$

2.2.5.3 Lanchester-Betz limiti

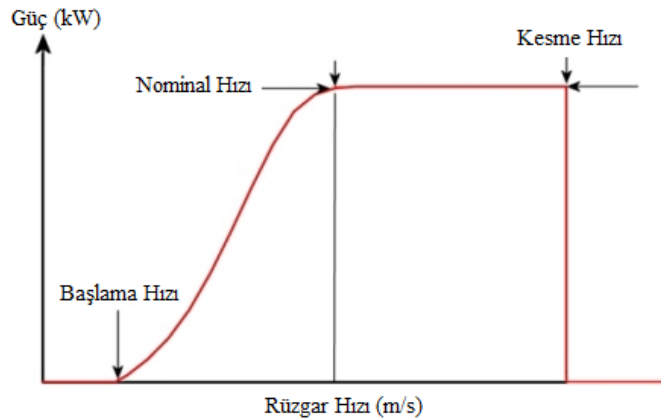
İdeal bir rüzgar türbinin teorik maksimum verimi, 1915 yılında Lanchester ve 1920' de Betz tarafından bulunmuştur. Lanchester-Betz yasasına göre bir rüzgar türbini, rüzgarın kinetik enerjisinin maksimum %59.26' sını mekanik enerjiye dönüştürmektedir (Tong, 2010).

2.2.5.4 Güç eğrisi

Eşitlik 2.3' de gösterildiği gibi bir rüzgar türbinden elde edilen efektif elektrik gücü, mevcut rüzgar gücüne ve toplam etkili rüzgar türbini verimliliğine doğru orantılıdır.

$$P_{etkin} = \eta_t \cdot P_w \quad (2.3)$$

Bir rüzgar türbininin güç eğrisi, türbinin güç çıkışını (gerçek elektrik gücü çıkışını veya nominal gücün yüzdesini) bir fonksiyon olarak gösterir. Şekil 2.16' da gösterildiği gibi güç üretimi belli bir rüzgar hızına ulaşıncaya başlar ve buna başlama hızı denir. Güç çıkışı, rüzgar hızının artmasıyla, güç çıkışının, nominal güç çıkışı olarak tanımlanan maksimum değerine ulaştığı doymuş bir noktaya ulaşana kadar sürekli olarak artar ve bu noktadaki hıza nominal hız denir. Nominal hızdan sonraki rüzgar hızlarındaki artış gücü daha da fazla artırmaz. Rüzgar hızı çok fazla olduğunda türbinin zarar görmemesi için durdurulması gerekir ve buna kesme hızı denir (Tong, 2010).

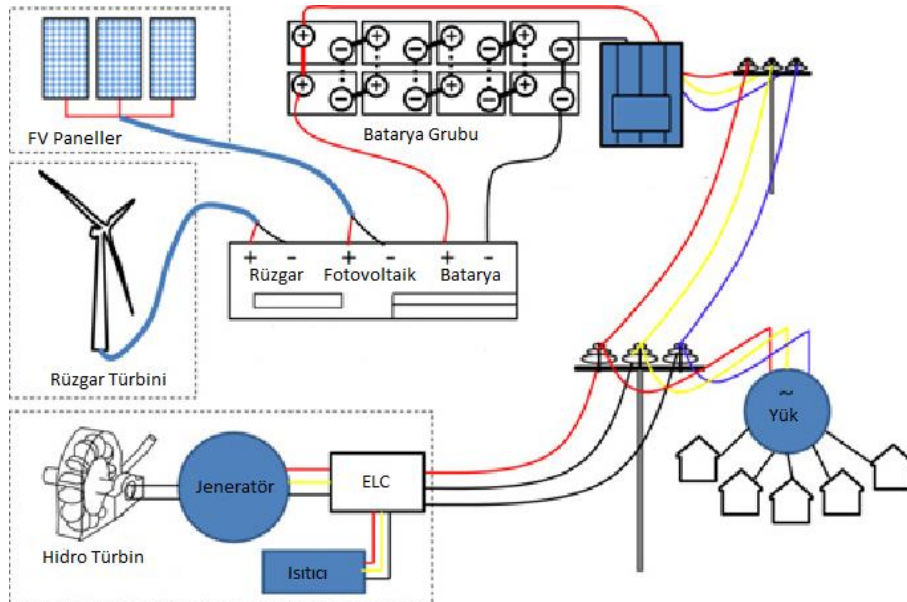


Şekil 2.16 : Rüzgar türbini güç eğrisi (Url 11).

3. HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİ

Tüm yenilenebilir bireysel enerji kaynaklarının mevsim koşullarına, gece gündüz durumlarına gibi sebeplerden enerji üretimleri değişir. Bu sebepten tek başlarına zengin bir enerji üretim kaynağı değildirler. Sistemlerin birleştirilmesi çok daha fazla enerji üretiminde etkilidir. Bu çözüme "Hibrit Sistem" denir. Birçok yenilenebilir enerji uzmanlarına göre, küçük bir "hibrit" elektrik sistemi rüzgar veya fotovoltaik güneş teknolojilerini birleştirir ya da tek sistem üzerinden kullanarak pek çok avantaj sağlar.

Hibrit güç sistemleri, rüzgar türbini, FV, mikro hidro, hidrojen ve fosil yakıtları kullanan diğer geleneksel jeneratörler gibi enerji üretim cihazlarının kullanımıyla elektrik enerjisi üretimi için tasarlanmıştır. Bu tür sistemler, tek bir eve güç sağlama kapasitesine sahip küçük bir sistemde olabilir ve bir köye ya da bir adaya güç verebilecek büyük bir sistemde olabilir. Hibrit güç sistemlerinin, özellikle elektrik şebekesinin ekonomik ve teknik olarak uygun olmadığı gelişmiş dünyadaki birçok uzak topluma güç sağladığı düşünülmektedir (Bhandari ve diğ, 2015).



Şekil 3.1 : Tipik bir hibrit sistemin diyagramı (Bhandari ve diğ, 2015).

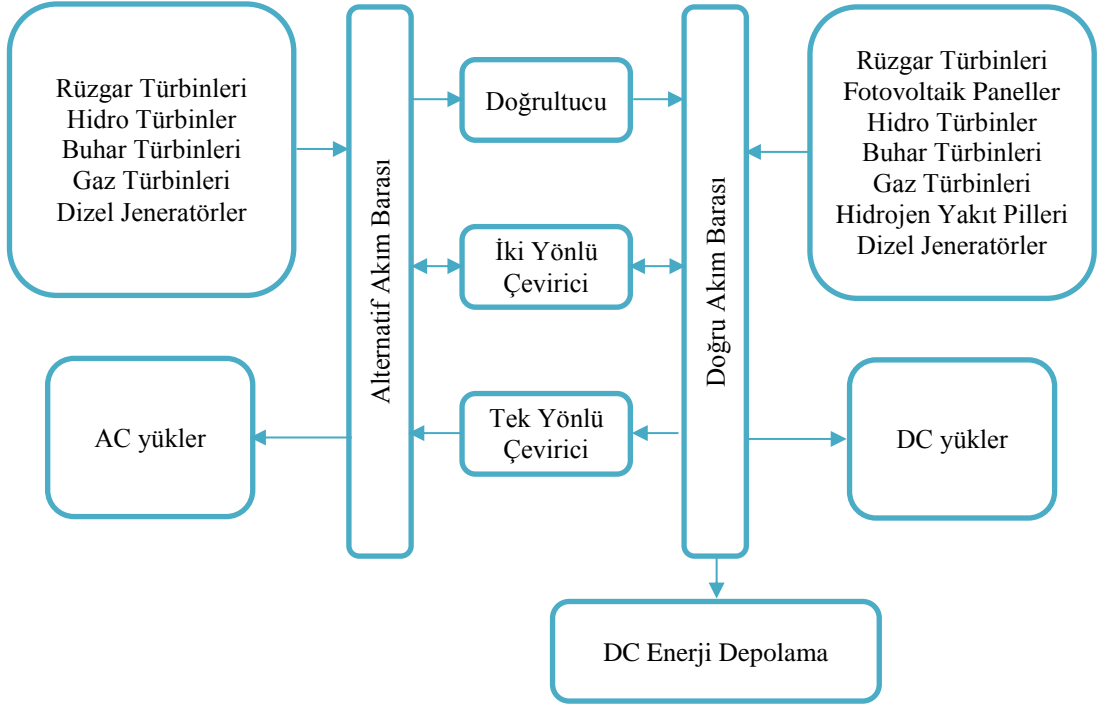
FV ve dizel jeneratöründen oluşan ilk hibrit güç sistemleri, 16 Aralık 1978' de Amerika Birleşik Devletleri, Schuchuli, Arizona' da ki Papago Hint Köyüne kuruldu. Sistemin ürettiği güç, 1983 yılında köye bir elektrik şebekesi bağlanıncaya kadar buzdolabı, çamaşır makinesi, dikiş makinesi, su pompaları ve lambalar için elektrik sağlamak için kullanıldı. Son yıllarda, hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde (HRES) birden fazla yenilenebilir enerji türü kullanılmaktadır. Enerji depolama sistemleri olan veya olmayan mikro hidroelektrik, FV ve rüzgar enerjisi kaynakları, tüketicilere uzak bölgelerde elektrik gücü sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı alternatif enerji kaynakları farklı üretim özelliklerine sahiptir. Mesela mevsimlere göre nehirdeki su debisinin değişmesinden, güneş ışınlamasının yaz aylarında kış aylarına göre yüksek olmasından, gündüz ve geceleri yüksektir ve benzer şekilde rüzgar hızı yaz aylarında daha yüksektir. Bu yüzden genellikle hibrit sistem konfigürasyonlarında kullanılırlar. HRES için yakıt bol, bedava ve sonsuzdur, bu nedenle bu sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi yakıt fiyatından bağımsızdır (Bhandari ve diğ, 2015).

HRES' in avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yerel yenilenebilir enerji potansiyeli temelinde iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı tek bir sisteme entegre edilebilir.
- Tüm yenilenebilir enerji hibrit sistemlerinden (FV, Rüzgar ve Hidro gibi) herhangi bir emisyon üretilmez.
- Modüler (FV ve rüzgar sistemi) kurulumu kolaydır ve çoğu durumda ev içi kullanım için tasarım gerektirmez.
- Küçük hibrit sistemler, nükleer sistem gibi daha büyük ve karmaşık sistemlerden daha ucuzdur.
- Küçük hibrit sistem şebeke dışı elektrifikasyon için en uygundur.

Şebekeden bağımsız FV veya rüzgar sistemleri, günün her saati ve yıl boyunca güç üretmez. FV ve rüzgarın birleştirilmesi, diğer avantajların yanı sıra düşük pil kapasitesi ve dizel gereksinimlerinden (yedek olarak geleneksel jeneratör olması durumunda) fayda sağlar. Bununla birlikte, hibrit FV-rüzgar sisteminin daha iyi performans göstermesi için, sahada güneş enerjisinin yanı sıra rüzgar enerjisinin iyi potansiyeli de şarttır. Çevresel faktörler, FV kapasitesi (FV panel sayısı), rüzgar

jeneratörü kapasitesi (rüzgar jeneratörü boyutu), depolama cihazı kapasitesi (pil sayısı), üretim yeri (elektrik santrali ile tüketici arasındaki mesafe), vb. gibi hibrit FV/rüzgar/dizel sisteminin işletme, bakım ve maliyetinde önemli bir rol oynamaktadır (Bhandari ve diğ, 2015).



Şekil 3.2 : Hibrit güç üretim sisteminin genel blok şeması (Oğuz, 2007).

Genel olarak bir hibrit güç üretim sistemleri Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi, AC jeneratörleri, DC jeneratörleri, AC ve DC dağıtım sistemleri, yükler, yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar türbinler, güneş panelleri, v.b), enerji depolama üniteleri, güç dönüştürücüleri, yük denetim mekanizmaları ve denetim amaçlı kullanılan kontrol ünitelerini kapsayabilmektedirler (Oğuz, 2007).

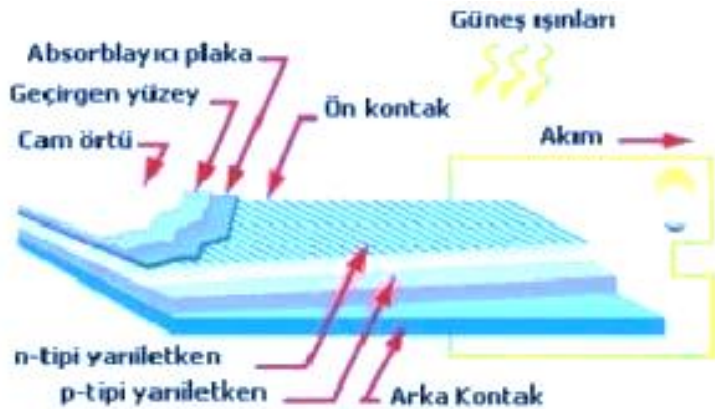
3.1 Fotovoltaik Paneller

Bir fotovoltaik güç üretim sistemi, hücreler, mekanik ve elektriksel bağlantılar ve elektrik çıkışını düzenleyen veya değiştirmeye yarayan araçlar gibi çoklu bileşenlerden ve oluşur. Bu sistemler, güneşin açık bir günde panele dik bir açıyla bir sistemin sağlaması beklenen bir elektrik gücü miktarı olan tepe kilovatlar da (kWp) derecelendirilmiştir (Parida ve diğ, 2011).

KW cinsinden güneş enerjisi çıkışının, en yüksek FV panel verimi ve panel alanı ile kW m^{-2} cinsinden küresel yatay ışınım ile çarpılmasına eşit olduğu varsayılmıştır.

Gerçek bir sistemde, PV panelinin eğim ve azimut açıları için ayarlamalar yapılmalıdır; radyasyon ışın etkisi, dağınık radyasyondan ayrı olarak düşünülmalıdır; sıcaklık ve spektral (dalga boyu) etkiler dikkate alınmalıdır; maksimum güç noktası izleyici ve güç dönüştürücüsünün özellikleri de dahil edilmelidir. Ancak, tüm bu etkiler ikincil büyüklüktedir. FV güç üretim sistemleri genellikle dizel jeneratörler ve rüzgar türbinleriyle birlikte hibrit güç üretim sistemi olarak kullanılırlar (Barton ve Infield, 2006).

Fotovoltaik (FV) paneller, güneş ışınımını doğrudan elektriğe dönüştürmek için yarı iletkenlerin benzersiz özelliklerini kullanan bir güneş enerjisi teknolojisidir. Potansiyel ekonomik tasarrufların ötesinde FV sistemlerinin birçok avantaj ve faydası vardır. FV, gürültü ve kirlenmeye neden olmayan ve kısa sürede sahaya kurulabilen çevre dostu bir teknolojidir. Dahası, FV' ler dayanıklıdır ve nadiren bakım gerektirir ve kolayca yerinden çıkarılabilirler. FV sistemlerinin en önemli dezavantajı, diğer enerji üreten teknolojilerin fiyatlarına kıyasla yüksek başlangıç maliyetidir (Bataineh ve diğ, 2014).



Şekil 3.3 : Fotovoltaik pil (Url 12).

FV paneller fotovoltaik pillerin bir araya gelmesiyle oluşur. Fotovoltaik pillerin boyutuyla fiyatlandırması arasında doğrusal bir orantı vardır. FV paneller tiplerine göre ömürleri 10-20 yıl arasındadır. Fotovoltaik pil, güneş enerjisini radyasyon ışınımı sayesinde DC elektrik enerjisine dönüştürür. Bir güneş panelinin güç oranı standart test koşullarında (sıcaklığın 25° C ve güneş radyasyonundan edilen her m^2 ' de ki güç $1000 W/m^2$) belirlenmektedir (Oğuz, 2007).

3.2 Rüzgar Türbinleri

Rüzgârla enerji üretimi, kuleler, türbin kanatları, yalpa mekanizması, mekanik dişli, elektrik jeneratörü, hız sensörleri ve kontrol cihazları gibi farklı bileşenlerden oluşan rüzgar enerjisini elektriğe çevirmekte kullanılan bir veya daha fazla üniteden oluşur. Rotorun büyük atalet momenti nedeniyle, güç üretme işlemi sırasında hız kontrolü ve gerektiğinde türbini durdurma gibi zorlukları vardır. Acil durumlarda veya rutin bakım için gerektiğinde türbini durdurmak için frenleme sistemleri kullanılır. Rüzgar türbini çiftliğinde, her bir türbinin uzak bir yerden kendi kontrol sistemine operasyonel ve emniyet fonksiyonlarına sahip olması gerekir (Patel, 2005).

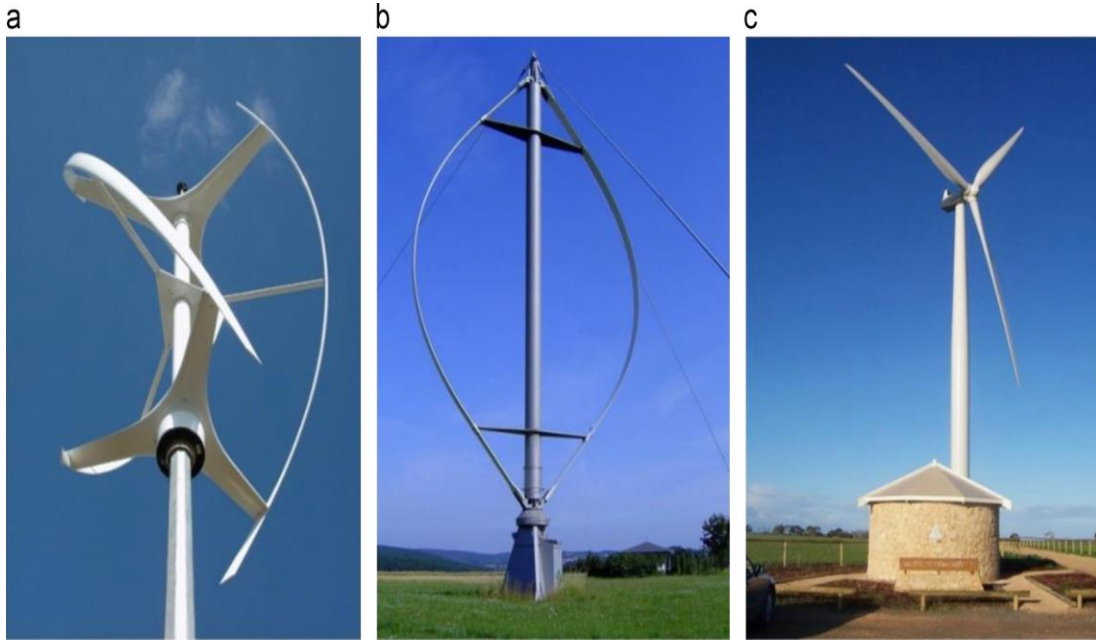
Rüzgar tarafından sürülen kanatlar ve rotor, ana şaft üzerinden dişli kutusu üzerinden jeneratöre enerji iletir, ana şaft mil yatağı tarafından desteklenir ve dişli kutusu aracılığıyla jeneratörün hızı, elektrik üretimi için optimum seviyeye mümkün olduğunca yakın olacak şekildedir. Rüzgar yönü ile uyum, bir yalpa sistemi tarafından kontrol edilir ve makine bölümü (nasel) bir kulenin en tepesine monte edilir. Rüzgar türbinlerinin bir çoğu iki veya üç pervanelidir (kanatlıdır). Kanat yüzeylerinde çatlama ve aşınma, jeneratördeki elektrik kısa devreleri ve dişli kutusunun aşırı ısınması gibi en tipik hataların çoğu, bakım için daha sofistike bir yaklaşım gerektirir (Márquez ve diğ, 2012).

Rüzgar enerjisi dolaylı olarak rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek veya doğrudan mekanik güç olarak kullanılabilirler. Herhangi bir rüzgar enerjisi sisteminin en önemli kısmı, rüzgar enerjisini çeşitli uygulamalarda kullanılacak mekanik güce dönüştüren rüzgar türbinidir. Elektrik üretimi için ilk rüzgar türbini, 20. yüzyılın başında geliştirilmiştir. Hem AC hem de DC güç üretebilen çeşitleri vardır. Her ne kadar rüzgar türbini teknolojisi kademeli olarak iyileşmekle birlikte, rüzgar türbini tasarımında kayda değer gelişmeler sağlanmıştır (Kumar ve diğ, 2016).

Temel olarak üç tip tipik rüzgar jeneratörü sistemi mevcuttur. Birinci tip, doğrudan şebekeye bağlı standart bir sincap kafesli endüksiyon jeneratörü (SCIG) içeren sabit hızlı bir rüzgar türbini sistemidir. İkinci tip, iki yönlü beslenen endüksiyon jeneratörüne (DFIG) sahip değişken hızlı bir rüzgar türbini sistemidir. Rotor sargısını besleyen güç elektroniği dönüştürücüsü, nominal gücün yaklaşık %30' luk bir güç oranına sahiptir. DFIG' in stator sargısı doğrudan şebekeye bağlıdır. Üçüncü

tip, tam güçte elektronik dönüşüm sistemine ve senkron jeneratöre veya SCIG' ye sahip değişken hızlı bir rüzgar türbinidir. İlk iki tip jeneratörler ile birlikte genellikle çok aşamalı şanzımanlar kullanılır. Modern bir rüzgar türbini, genellikle bir rüzgar çiftliği içindeki yerel elektrik bağlantısı için, jeneratör terminal voltajından, genellikle 1 kV' nin altındaki bir gerilimden, 20 kV veya 30 kV civarında bir orta voltaja çıkan bir trafo ile donatılmıştır (Chen ve Blaabjerg, 2009).

Ayrıca rüzgar türbinleri yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki türe ayrılabilirler. Yatay eksenli türbinler yüksek verim ve enerji ürettikleri için hakimdirler. Dikey eksenliler zemine yakın monte edilmeleri ve dolayısıyla daha az rüzgara maruz kalarak daha az güç ürettikleri için tercih edilmezler (Kumar ve diğ, 2016).



Şekil 3.4 : a ve b dikey, c yatay eksenli rüzgar türbinleri (Kumar ve diğ, 2016).

Güç sisteminin kaynağı yalnızca rüzgar türbinlerinden oluşuyor ise rüzgar hızlarının düzensizliği sebebiyle güç üretimi kalitesizdir ve güvenilir değildir. Bu yüzden diğer enerji üretim kaynakları ile hibrit bir sistemde birlikte kullanılırsalar üretilen güç gelişmiş performans sistemleri aracılığıyla daha kaliteli ve güvenilir hale gelir (Oğuz, 2007).

3.3 Dizel Jeneratörler

Yenilenebilir enerji sistemleri kaynaklarına bağlı olduklarından değişken güç çıkışı özelliklerine sahiptir ve sabit bir güç çıkışı sağlamak için geleneksel güç kaynaklarıyla entegre edilmiştir. Çeşitli hibrit sistemler dizel jeneratörleri bu sabit güç kaynağı olarak kullanılırlar. Dizel jeneratörlü sistemler, akü ile birlikte yenilenebilir enerji kaynağı yeterli gücü sağlayamıyorsa gücü sağlamak ve ayrıca depolama aygıtını şarj etmek için tasarlanmıştır. Optimum sistemin aralıksız çalışması için tam enerji dengesi gereklidir ve yakıt tüketimi sağlanacak güç ile doğru orantılıdır. (Bajpai ve Dash, 2012).

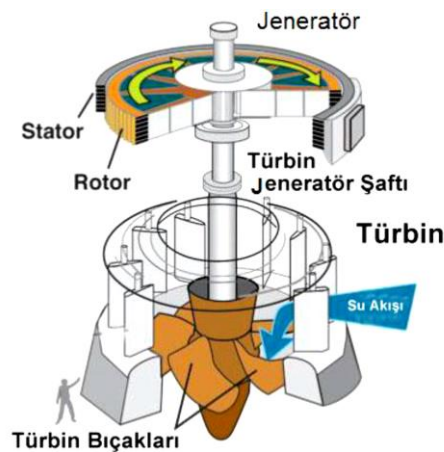
Dizel jeneratör seçimi, yükün türüne ve doğasına bağlıdır. Kurulacak olan motor jeneratörünün nominal kapasitesini belirlemek için, iki durum göz önünde bulundurulmalıdır. Birincisi dizel jeneratör doğrudan yüke bağlıysa, jeneratörün nominal kapasitesi en az maksimum yüke eşit olmalıdır ve ikincisi dizel jeneratör bir akü şarj cihazı olarak kullanılıyorsa, jeneratör tarafından üretilen akım 5 amperden büyük olmamalıdır. Normal olarak, dizel jeneratörler, gerekli otonomiye ulaşmak için hibrit güç sisteminin kontrolünde modellenir. Jeneratörün tam yükün %70 - %90' ın da çalıştırılması durumunda ekonomik olduğu görülmektedir (Deshmukh, 2008).

Dizel jeneratörler, içten yanmalı bir motorla yakıt enerjisini (dizel veya biyodizel) mekanik enerjiye, daha sonra da bir elektrik jeneratörü ile elektrik enerjisine dönüştürürler. Yakıt tanklarının boyutuna ve seviyesine göre, üretilen gücün kullanımının herhangi bir zamanda herhangi bir yerde erişilebilir olduğu varsayılabilir. Bir mikro şebekeye entegre edilmiş bir dizel jeneratör, elektrik üretimindeki herhangi bir eksiklikten sonra veya herhangi bir teknik sorun nedeniyle bir elektrik kesintisinden sonra sistemi en iyi şekilde desteklemeyi amaçlamaktadır. Dizel jeneratörler, büyüklüklerinden (1 kVA' dan 1000 kVA' ya kadar), ilk maliyet, basitlik ve yakıtın satın alınması kolay olması nedeniyle kullanılan en yaygın elektrik jeneratörüdür. Bir dizel jeneratör, esas olarak bir içten yanmalı motordan, bir elektrik jeneratöründen (genellikle senkron tipte), mekanik bağlantıdan, otomatik voltaj regülatöründen, hız regülatöründen, destek şasisinden, dizel jeneratörünün çalıştırılmasına izin veren motoru çalıştırmak için bir aküden, bir yakıt deposu ve bir komut paneli oluşur. Bir sistemde kullanılan dizel jeneratör sürekli veya asal bir

jeneratör olarak çalışabilir ve değişken yükte önemli süreler boyunca çalışacak şekilde boyutlandırılmalıdır (Sechilariu ve Locment, 2016).

3.4 Mikro Hidroelektrik Güç Üretim Sistemi

Bu türbinler, suyun düşüş gücünü dönen şaft gücüne dönüştürerek enerji elde ederler. Türbin, herhangi bir hidroelektrik projesinin kalbidir çünkü hidrolik gücü mekanik güce dönüştürür. Şafttan çıkarılan mekanik güç, türbin veriminin türbin girişindeki giriş hidrolik gücü ile çarpılması durumunda bulunur. Türbin, dönen bir elemandan (çark olarak bilinir) ve sabit bir elemandan oluşur. Enerji dönüştürme işlemi, disk üzerindeki bıçakların bir araya getirilmesinden oluşan çarkta gerçekleşir. Çark, yataklarda desteklenen bir şafta kilitlenmiştir. Şaft, mekanik gücü elektrik üretimi için bir jeneratöre ya da değirmen gibi iş tüketen bir cihaza aktarır. Herhangi bir belirli su sahası için en iyi türbinin seçimi, mevcut olan bölgenin hidrolik düşüne (suyun düşme yüksekliği) ve suyun akışına, hacmine gibi alan özelliklerine bağlıdır. Seçim ayrıca, jeneratörün istenen çalışma hızına da bağlıdır. Bununla birlikte, diğer karar verici faktörler arasında türbinin ne kadar derin olması gerektiği, verimlilik ve maliyet de yer almaktadır Türbinin azaltılmış akış koşulları altında güç üretmesinin beklenip beklenmeyeceği gibi diğer hususlar da seçimde önemli bir rol oynamaktadır. Tüm türbinler güç hızı özelliğine ve verimlilik hızı özelliğine sahiptir. Belirli bir hızda, yükseklik ve akışta en verimli şekilde çalışma eğilimindedirler (Paish, 2002; Kaunda ve diğ, 2014).



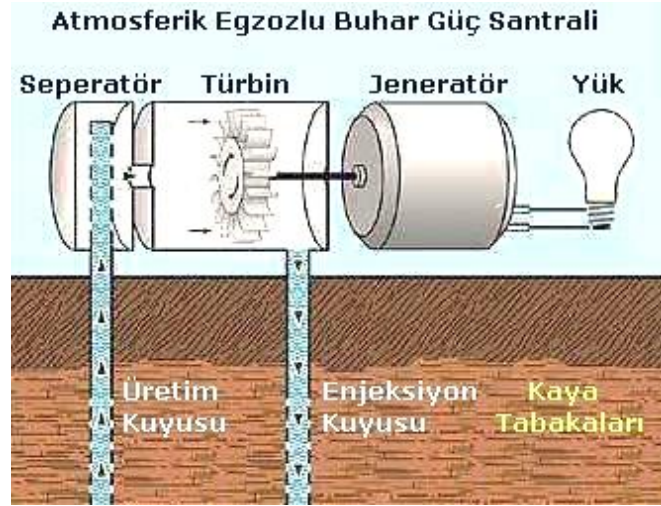
Şekil 3.5 : Kaplan türbin şeması (Elbatrana ve diğ, 2015).

Hidroelektrik sistemlerde kullanılan türbinler, farklı şekil ve büyüklükte çarklara sahiptir. Etki ve reaksiyon tipi türbinler olmak üzere kullanılan iki ana hidro türbin

çeşidi vardır. Etki tipi türbinler çarkı hareket ettirmek için suyun kinetik enerjisini kullanır ve atmosferik basınca deşarj ederler. Bir etki tipi türbini genellikle yüksek hidrolik düşü ve düşük debili sistemlere uygulanır. Pelton, Turgo ve Banki yaygın olarak kullanılan üç tür etki tipi türbin çeşididir. Reaksiyon tipi türbinler karşılıklı basınç etkisinden ve suyun hareket ettirilmesiyle elektrik üretirler. Reaksiyon tipi türbinler, etki tipi türbinlerine kıyasla daha düşük hidrolik düşü ve daha yüksek debili alanlar için uygundur. Tipik reaksiyon türbin tipleri, Francis, Kaplan ve Kinetik' tir (Okot, 2013).

3.5 Jeotermal Enerji Güç Üretim Sistemi

Jeotermal enerji, dünyanın yer kabuğu içinde ısı olarak bulunan enerjidir. Jeotermal ısı pompaları ısıtma ve soğutma için yüksek verimli, yenilenebilir enerji teknolojisidir. Bu teknoloji, Dünya' nın yerkabuğunun altında nispeten sabit bir sıcaklığa, kışın havadan daha sıcak, yaz aylarında havadan daha soğuk olmasına dayanır. Jeotermal enerji kullanmanın en büyük avantajı, bu yenilenebilir enerji kaynaklarının rüzgar veya güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılaştırıldığında kesintisiz günde 24 saat enerji sağlayabilmesidir (Banos ve diğ, 2011).



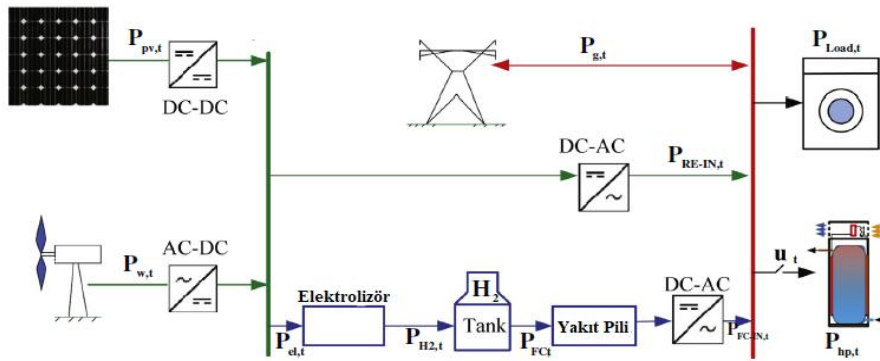
Şekil 3.6 : Atmosferik egzozlu buhar çevrimi (Url 13).

Elektrik üretimi esas olarak jeotermal kaynağın özelliklerine bağlı olarak geleneksel buhar türbinlerinde ve ikili tesislerde gerçekleşir. Geleneksel buhar türbinleri, en az 150 °C sıcaklıklarda akışkan gerektirir ve atmosferik (geri-basınç) veya yoğuşma aspirasyonları ile mevcuttur. Atmosferik egzoz türbinleri daha basit ve ucuzdur.

Kuru buhar çukurlarından doğrudan veya ayrıldıktan sonra ıslak çukurlardan çıkan buhar, bir türbinden geçirilir ve atmosfere verilir. Bu tür bir ünite ile üretilen kilovat/saat başına buhar tüketimi (aynı giriş basıncından), bir yoğuşma biriminin neredeyse iki katıdır. Atmosferik egzoz üniteleri çok hızlı bir şekilde oluşturulabilir ve monte edilebilir. İkili (binary) tesisler ikincil çalışma akışkanı, genellikle düşük bir kaynama noktasına ve düşük sıcaklıkta yüksek bir buhar basıncına sahip olan bir organik akışkan (tipik olarak n-pentan) kullanırlar. İkincil akışkan, geleneksel bir Rankine döngüsü boyunca çalıştırılır. Jeotermal akışkan, bu sıvının ısıtıldığı ve buharlaştığı ısı değiştiricileri yoluyla ikincil akışkana ısı verir. Üretilen buhar normal bir aksel türbini çalıştırır. Daha sonra soğutulur ve yoğuşturulur ve döngü tekrar başlar (Dickson ve Fanelli, 2013).

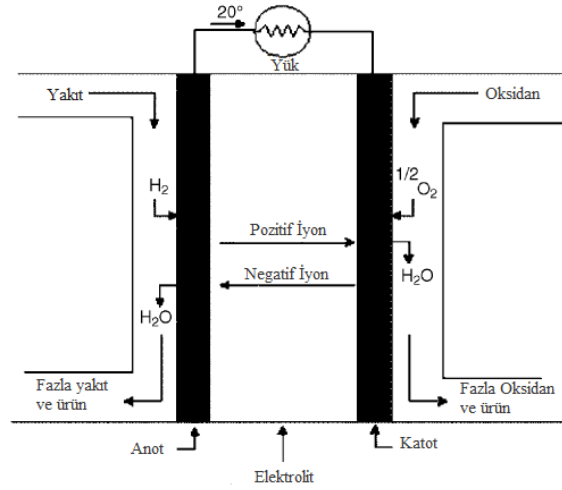
3.6 Hidrojen Yakıt Pilleri ve Hidrojen Depolama Tankı

Hidrojen depolama sistemi bir elektrolizör ve hidrojen depolama tankından oluşur. Elektrolizörün giriş enerjisi, suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi için talep fazlası üretim dönemlerinde yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanır. Hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin yükü karşılamak için yeterli olmadığı durumlarda yakıt hücreleri tarafından kullanılacak tankta depolanır. Depolama tankı maksimum ve minimum hidrojen depolama seviyelerinde çalışır ve güvenlik limitini korumak için tankta minimum seviyede hidrojen kalmalıdır. Elektrolizör doğrudan hidrojen depolama tankına bağlıdır ve elektrolizör tanka güç sağlar. Yakıt pili yığınları, yüke göre değişen bir voltajda doğru akım üretir. Yakıt pilleri tarafından üretilen gerilimi talebin ihtiyaçlarını uygun karşılayabilmek ve yakıt pillerini aşırı akımdan veya gerilimden korumak için güç dönüştürücü kullanılır (Sichilalu ve diğ., 2016).



Şekil 3.7 : Hibrit sistemde yakıt pilleri şeması (Sichilalu ve diğ., 2016).

Yakıt pilleri, bir reaksiyonun kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi bir yakıt hücresinin temel yapı bloğu, her iki tarafındaki gözenekli bir anot ve katot ile temas halinde olan bir elektrolit katmandan oluşur. Tipik bir yakıt hücresinde, gaz halindeki yakıtlar sürekli olarak anot ucundan beslenir ve oksidan sürekli olarak katot bölmesinden beslenir ve elektrik akımı elde etmek için elektro kimyasal reaksiyonlar elektrotlarda gerçekleşir. Yakıt pilleri, hücrelerde kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılırlar. Bu yakıt pilleri, 80 °C ile 1000 °C arasında değişen yaklaşık çalışma sıcaklığı sırasına göre listelenirse polimer elektrolit yakıt pili, alkalın yakıt pili, fosforik asit yakıt pili, eriyik karbonat yakıt pili ve katı oksit yakıt pili olmak üzere beş sınıftır.



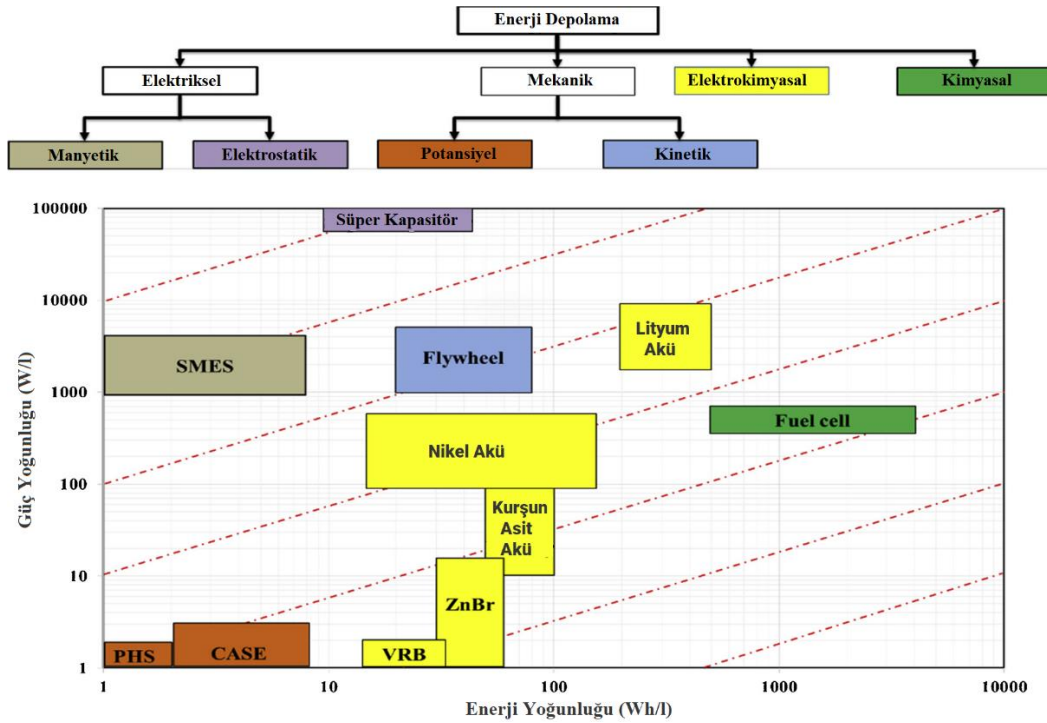
Şekil 3.8 : Yakıt hücresi şeması (Khan ve Iqbal, 2005).

Suyun hidrojen ve oksijene ayrışması, bir sulu elektrolitle ayrılmış iki elektrot arasında bir elektrik akımı geçirilerek elde edilebilir. Suyun hidrojen ve oksijene ayrışması, bir sulu elektrolitle ayrılmış iki elektrot arasında bir elektrik akımı geçirilerek elde edilebilir. Bir su elektroliz cihazı, seri bağlanmış birkaç elektrolizör hücresinden oluşur. Elektrolizörün akım ve voltaj özellikleri çalışma sıcaklığına bağlıdır. Bu özellikler son derece doğrusal değildir ve genellikle eğri uydurma kullanılarak modellenmiştir. Faraday yasasına göre, bir elektrolizör hücresindeki hidrojenin üretim hızı, sırayla devredeki elektrik akımına eşdeğer olan elektrotlardaki elektronların transfer hızı ile doğru orantılıdır (Khan ve Iqbal, 2005).

3.7 Depolama Birimleri

Elektrik enerjisini depolamak için çeşitli depolama teknolojileri kullanılmaktadır. Şekil 3.9’ da, enerji sistemlerindeki ve Mikro şebekedeki en önemli depolama teknolojilerini göstermektedir. Çeşitli elektrik enerjileri depolama yöntemlerine göre sınıflandırılmıştır. Aküler, elektrik şebekelerini dengelemenin en önemli ve etkili yollarından biri olarak kabul edilirler. Aküler ekonomik, kompakt ve yerleştirilmesi kolay olduğundan daha caziptirler. Paralel veya seri bağlanmış birden fazla hücreden oluşan bir akü, depolanan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kimyasal reaksiyon kullanır ve bunun tersi de geçerlidir. Mikro şebeke uygulamaları için Vanadyum Redoks (VRB) Akışkan, Nikel, Kurşun Asit, Lityum, Çinko-Brom (ZnBr) Akışkan Aküler gibi çeşitli akü teknolojileri kullanılmaktadır. Şekil 3.9’ da farklı akü teknolojileri için güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu özellikleri gösterilmektedir (Hajiaghahi ve diğ, 2019; Mahlia ve diğ, 2014).

Farklı bir depolama birimi olarak, pompalanmış hidro enerji depolama ve basınçlı hava enerjisi depolama teknolojileri, büyük ölçekli enerji depolama uygulamalarını desteklemeyi mümkün kılar. Bununla birlikte, pompalanmış hidro enerji depolama sistemi belirli coğrafi ve çevresel koşullara bağlı olarak gelişimini oldukça zorlaştırmaktadır.



Şekil 3.9 : Enerji depolama sınıflandırması (Hajiaghahi ve diğ, 2019).

Flywheel enerji depolama sistemi ise, arka arkaya bir dönüştürücü, bir elektrikli makine, büyük bir disk ve bir dc bara kapasitöründen oluşan elektromekanik enerji depolama çeşididir. Bununla birlikte, bu tip bir depolama sistemi, verimliliği ve kararlılığı etkileyebilecek mekanik bileşenlere sahiptir. Flywheel' in dezavantajı yüksek kayıp ve bakım maliyetleridir. Düşük kayıp ve bakım maliyetine sahip enerji depolanması için süper iletken bir itme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemde iki rulman kullanılmaktadır. Birincisi tamamen sabit mıknatıslardan oluşur ve havaya kalkma kuvveti sağlar, ikincisi sabit bir mıknatıs ve bir süper iletken oluşur ve stabilizasyonu sağlar.

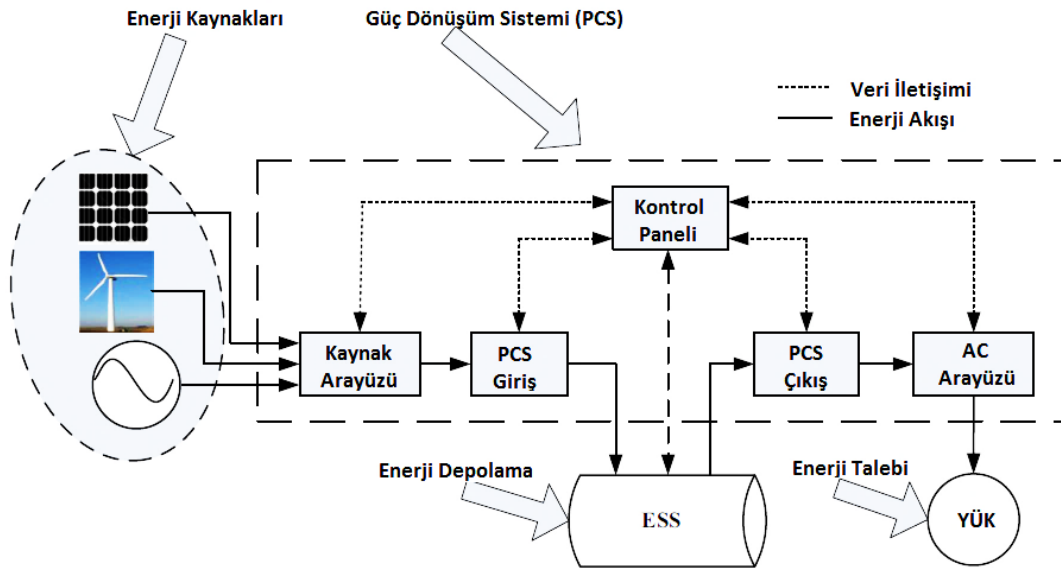
Süper kapasitörler elektrostatik depolardır ve yüksek geri dönüşüm derecesi ve yüksek güç yoğunluğu önemli avantajlarıdır. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemi (SMES), birkaç doğrudan elektrik enerjisi depolama sisteminden biridir. SMES teknolojisi bir soğutma sistemine, süper iletken bir bobin ve akımların adaptasyonu için elektrik ve kontrol sistemine ve işlemin teorikleştirilmesine dayanan bir sistemden oluşur (Hajiaghahi ve diğ, 2019).

3.8 Güç Dönüştürücüler

AC şebekeleri veya AC yükleri ile birlikte kullanılacak depolama veya diğer DC bileşenleri için, bir tür güç dönüştürme bileşenleri gereklidir. Hibrit güç sistemleri için doğrultucu ve evirici (invertör) olmak üzere özel önem taşıyan iki tür güç dönüşüm işlevi vardır. Doğrultucular AC gücü DC güce dönüştürürler. Hibrit sistemlerde aküleri bir AC kaynaktan şarj etmek için yaygın olarak kullanılırlar ve basit, ucuz ve verimli cihazlardır. İnvertörler ise DC gücünü AC gücüne dönüştüren elektronik cihazlardır. Bir DC kaynağından veya akü bankasından AC yükleri beslemek için kullanılırlar. İnvertörler güç transistörlerini yüksek frekansta çalıştırmaya da yararlar. Ayrıca invertörler voltaj ve akım düzensizliklerine karşı hassastırlar. Çoğu inverter hat komütasyonlu ve kendinde komütasyonlu olmak üzere iki tipten birine sahiptir. Hat komütasyonlu invertörler, harici bir elektrik şebekesine veya hatta bağlıdırlar. Gücün değişmesi (DC' den AC' ye dönüşüm) elektrik hattı tarafından kontrol edilir, böylece elektrik şebekesinde bir arıza varsa, sistem hatta elektrik besleyemez. Bu nedenle, örneğin tüm dizel jeneratörleri kapalıysa, şebeke frekansını ayarlayamazlar. Kendinden komütasyonlu invertörler komuta etme araçlarının invertörün içinde yer aldığı bir invertördür ve frekansı kendileri kontrol

ederler. Normalde şebeke frekansını ayarlayan başka bir cihazla birlikte çalışmazlar ancak bağımsız veya başka bir jeneratöre paralel olarak çalışabilen invertörler vardır. Bunlar çok yönlüdür, ve diğerlerine oranla maliyetleri yüksektir. Hem doğrultucu hem de invertör görevini yapan elektromekanik döner dönüştürücülerde vardır. Bir DC makineye doğrudan bağlanmış bir AC senkron makinesinden oluşur (Manwell ve diğ, 2006).

3.9 Enerji Yönetimi ve Kontrol Sistemleri

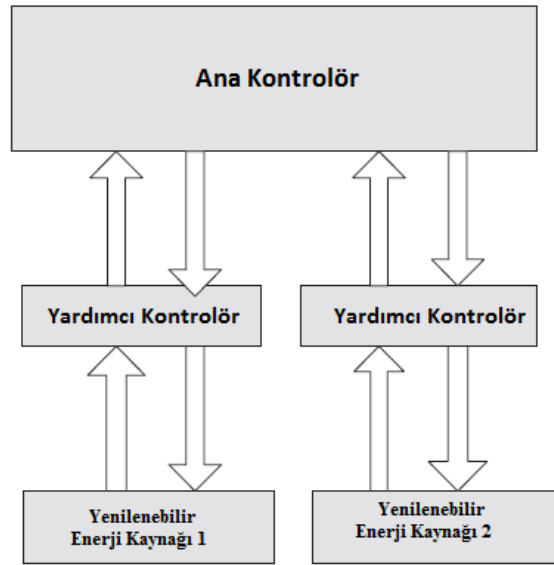


Şekil 3.10 : Hibrit sistemde veri ve güç akışı (Upadhyay ve Sharma, 2014).

Hibrit Enerji Sistemi' nin en yüksek sistem güvenilirliğini ve çalışma verimliliğini sağlamak için doğru kontrol edilmesi kritik öneme sahiptir. Kontrolör, yük talebini azaltmak için gerekli gücün izlenmesinde ve düzenlenmesinde önemli bir rol oynar, Şekil 3.10' da enerji kaynağı ile iletişim kuran basit bir kontrol cihazı gösterilmiştir. Tipik olarak, çıkış voltajını ve frekansını istenen seviyede tutarken her enerji kaynağından aktif ve reaktif çıkış gücü çıkışını belirlemek ve atamak için bir kontrol (veya enerji yönetimi) sistemi gerekir. Genel olarak, kontrol sistemleri merkezi, dağıtılmış, hibrit kontrol modelleri ve çok seviyeli kontrol yaklaşımı olarak üç kategoride sınıflandırılabilir. Her durumda, her bir enerji kaynağının, mevcut bilgilere dayanarak karşılık gelen birimin optimum çalışmasını belirleyebilen kendi (yerel) kontrolöre sahip olduğu kabul edilir. Birden fazla (ve bazen kesinleşen) hedeflere ulaşılabilecek ve tüm enerji kaynakları en uygun şekilde çalışmazsa, tehlikeli bir işletme kararı alınabilir (Upadhyay ve Sharma, 2014).

3.9.1 Merkezi kontrol düzeni

Merkezi kontrol düzeninde, tüm sistem, çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemi için bir ana kontrolör ve birkaç yardımcı kontrolörden oluşur. Bir gruptaki tüm enerji kaynaklarının ölçüm sinyalleri, Şekil 3.11’ de gösterildiği gibi ana kontrol cihazına gönderilir. Ana kontrolör, bir enerji süpervizörü olarak görev yapar ve ölçülen tüm sinyallerin ve önceden belirlenmiş hedeflerin ve kısıtlamaların temelinde kontrol eylemine karar verir. Kaynak üretme ve yük talebinin mevcudiyetine bağlı olarak, entegre sistemdeki çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki enerji akışını önceliklendirecek ve yönetecektir. Merkezi kontrol yapısı sistemdeki çok amaçlı enerji yönetimi için en uygun olan ve mevcut bilgilere dayanarak küresel optimum değerlere yakındır ve bu kontrol yapısı ağır hesaplama süresinden mustarıptır ve bazen tek nokta arızalarına maruz kalabilir (Chauhan ve Saini, 2014).

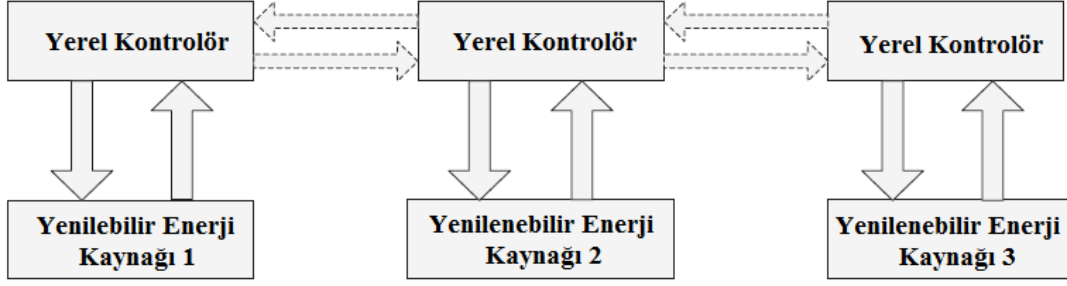


Şekil 3.11 : Merkezi kontrol düzeni (Chauhan ve Saini, 2014).

3.9.2 Dağıtılmış kontrol düzeni

Dağıtılmış kontrol düzeninde, her bir enerji kaynağı, Şekil 3.12’ de gösterildiği gibi ölçüm sinyallerini yerel kontrol cihazında sonlandırır. Yerel kontrolörler, küresel optimizasyon için uygun kararı almak üzere birbirleriyle iletişim kurarlar. Ancak, bu kontrol yapısı yerel kontrolörler arasında karmaşık iletişim sisteminin dezavantajına sahiptir. Bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bunların karma birleşimleri gibi yapay algoritmalar, dağıtık kontrol şemasının bu tür sorunlarını

çözmek için olası seçeneklerdir. Çok ajanlı sistem (MAS), dağıtılmış kontrol sistemi için en umut verici yaklaşımlardan biridir (Chauhan ve Saini, 2014).



Şekil 3.12 : Dağıtılmış kontrol düzeni (Chauhan ve Saini, 2014).

3.9.3 Hibrit merkezi ve dağıtılmış kontrol düzeni

Hibrit kontrol düzeninde, birleşik ve dağıtılmış kontrol şemaları kombinasyonudur. Hibrit kontrol programında, yenilenebilir enerji kaynakları entegre sistemde gruplandırılmıştır. Her grupta merkezi kontrol programı uygulanmış ve her grubu koordine etmek için dağıtık kontrol programı kullanılmıştır. Böyle bir hibrit kontrol şemasında, yerel optimizasyon grup içi merkezi kontrol ile gerçekleştirilir ve farklı enerji kaynakları grupları arasında global optimizasyon dağıtık kontrol ile sağlanır. Bu entegre enerji sisteminde tek nokta arızası sorunları minimize edilerek ana denetleyici ve yerel kontrolörler daha az hesaplama yükünü sunmaktadırlar (Chauhan ve Saini, 2014).

4. OPTİMİZASYON

Optimizasyon, fizik, biyoloji, mühendislik, ekonomi ve işletme gibi birçok bilim dalında sayısal problemlerin çözümü için kullanılan matematiksel ilke ve yöntemlerin toplamıdır. Mühendislikte ise optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyetin en azaltılması, kârın en çoklanması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en çoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Url 14).

Haupt' a göre optimizasyon, daha iyi bir şey yapma sürecidir. Optimizasyon bir cihaza, matematiksel işlem veya deneye göre, minimum veya maksimum sonuç ya da çıktıyı bulmak için girdileri ayarlama sürecidir. Şekil 4.1' de gösterildiği gibi girdiler değişkenlerden oluşur, işlem ya da fonksiyon maliyet fonksiyonu, amaç fonksiyonu, uygunluk fonksiyonları olarak bilinir ve çıktı, maliyet ve uygunluktur. (Rajabioun, 2011; Haupt, 2004).



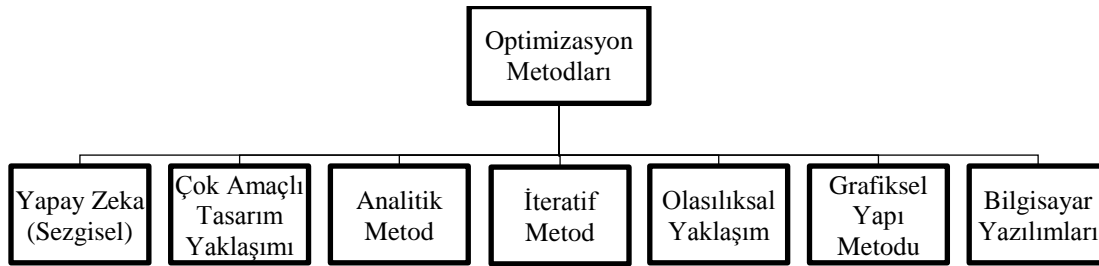
Şekil 4.1 : Optimize edilecek fonksiyon ya da işlemin şeması (Haupt, 2004).

Optimizasyon matematiksel olarak, bir ya da birden fazla bağımsız değişkene sahip fonksiyonun belirli kısıtlamalar altındaki en iyi çözümünü arama işlemi olarak tanımlanabilir. Optimizasyon, en büyükleme ve en küçükleme işlemidir, ekonomiden, işletmeye, üretimden, tasarıma birçok bilim dalını ilgilendirmektedir. İşletmelerde en yüksek kar veya en az maliyetin elde edilmesi, tasarımda en ideal boyutlarda cihaz üretimi, en düşük enerji kullanan cihazların tasarımı veya üretilen motordan çıkan zararlı gazların en aza indirgenmesi birer optimizasyon işlemidir (Erdoğan, 2016).

Optimizasyon problemleri, “en iyi” sistem bileşenlerinin bir arama alanından veya bir dizi olası çözümden seçilmesidir (Luna-Rubio ve diğ, 2012).

4.1 Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Optimizasyon Teknikleri

Yenilenebilir Enerji Sistemleri, büyük ölçüde sistemin bileşenlerine bağlıdır, bu nedenle, her bir bileşenin doğru bir şekilde modellenmesi, sistemin performansını ve güvenilirliğini daha iyi anlamak için araçlar sağlar ve sistemin optimizasyonuna yardım eder. Hibrit FV/rüzgar enerjisi sistemini optimize etmek için araştırmacılar tarafından Grafikselsel Yöntem, Olasılıksal Yaklaşım, İteratif Teknik, Yapay Zeka (Sezgisel), Dinamik programlama, Doğrusal Programlama, Çok Amaçlı Tasarım ve yazılım tabanlı gibi çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılmıştır (Bhandari ve diğ, 2015).

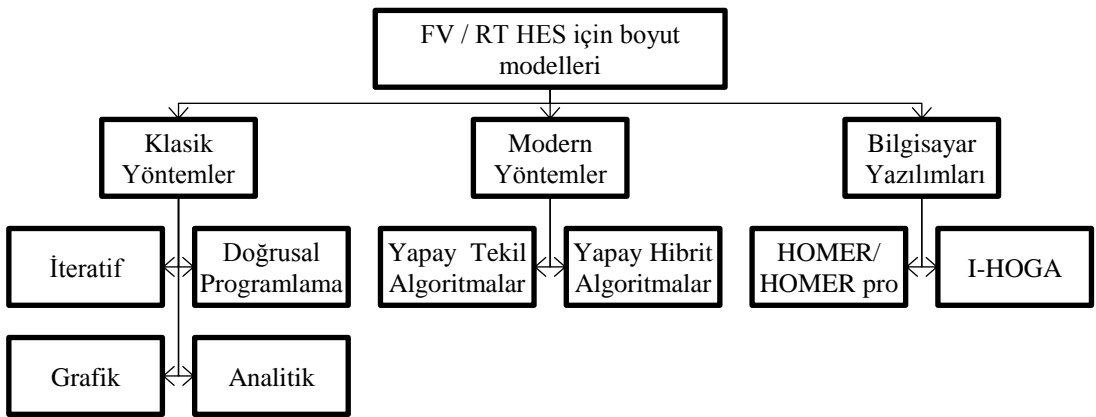


Şekil 4.2 : Optimizasyon metodları (Chauhan ve Saini, 2014).

Optimizasyon yöntemleri geleneksel ve yeni nesil yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Geleneksel yöntemler Grafikselsel Yapı Yöntemi, İteratif Yöntem, Olasılık Yöntemi, Takas Yaklaşımı Yöntemleri’ dir. Geleneksel yöntemler titiz bir prosedür izlerler ve ayrıca esneklikleri az, yakınsama hızları yavaş, hesaplama süreleri daha fazla ve dinamik değişim ile başa çıkamazlar. Günümüzde bu teknikler dezavantajları nedeniyle neredeyse kullanılmamaktadır. Diğer taraftan, yeni nesil yaklaşımlar daha hızlı, daha iyi yakınsama hızı ve etkili global arama çözümleri ile geleneksel yaklaşımlardan daha esnektir. Bu eğilim, yeni nesil algoritmaların (evrimsel-sezgisel) son yıllarda daha yaygın olarak kabul edildiğini ve literatürde kullanıldığını gösteriyor. Yeni nesil yöntemler ise Yapay Zeka tabanlı Tabu Arama, Genetik, Benzetilmiş Tavlama, Harmoni Arama, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Guguk Kuşu, Ateş Böceği algoritmaları gibi doğadan esinlenmiş sezgisel algoritmalarıdır (Sinha ve Chandel, 2015).

HES modelleri doğrusal ve konveksiyonel değildir ve geleneksel optimizasyon yöntemleriyle çözülemeyen karışık tip değişkenlerden oluşur. Alternatif olarak, optimal HES' lerin tasarlanması için simülasyon (yazılım) tabanlı optimizasyon ve sezgisel optimizasyon yöntemleri olmak üzere tipik olarak iki tür yaklaşım kullanılır. Simülasyon temelli optimizasyon yöntemleri insan müdahalesi açısından sınırlıdır. Sezgisel optimizasyon daha verimlidir çünkü bir dizi karmaşıklığı otomatik olarak işleyebilirler (Bourennani ve diğ, 2015).

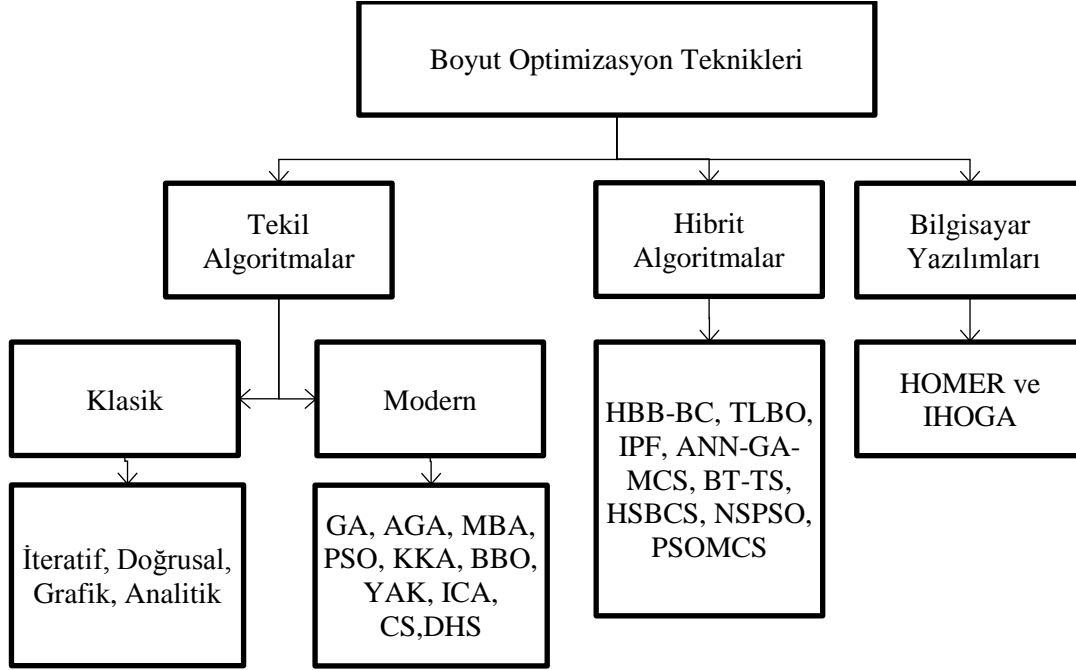
Boyut optimizasyon teknikleri klasik teknikler, modern teknikler ve bilgisayar yazılım araçları olarak sınıflandırılabilirler. Klasik teknikler, İteratif, Sayısal, Analitik, Olasılıksal ve Grafikselsel Yapım yöntemlerini kullanılır. Bu yöntemler, optimum çözümü elde etmede diferansiyel hesabı kullanır. Modern teknikler, yapay ve hibrit yöntemleri kullanmaktadırlar. Bu yöntemler, global en uygun sistemi belirleyebilir ve bir dizi en uygun çözümü bulmada daha iyi yakınsama ve doğruluğa sahiptirler. HES boyutlandırma için üçüncü boyut optimizasyon yaklaşımında bilgisayar yazılımı araçları kullanılır. Bağımsız FV-RT HES için boyut optimizasyonunda en yaygın kullanılan yazılım araçları: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) ve Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithm (iHOGA) yazılımlarıdır. Şekil 4.3' de FV-RT HES için son optimizasyon yöntemleri gösterilmektedir (Al-falahi ve diğ, 2017; Mahesh ve Sandhu, 2015).



Şekil 4.3 : HES için boyut optimizasyon yöntemleri (Al-falahi ve diğ, 2017).

Boyutlandırma optimizasyon metodolojileri, tek amaçlı optimizasyon fonksiyonunu veya çok amaçlı optimizasyon fonksiyonlarını kullanabilir. Tek amaçlı optimizasyon algoritmaları fonksiyon tarafından tanımlanan minimum veya maksimum değere karşılık gelen en uygun çözümü bulmak için kullanılır. Çok amaçlı optimizasyon, bir

dizi takas çözümünü belirlemek için iki veya daha fazla bireysel amaç fonksiyonunu birleştirerek problem gereksinimlerine göre en uygun çözümü seçmelerini sağlar. Çoğu klasik teknik, tek amaçlı optimizasyon işlevine sahip tekil algoritmalar kullanır. Modern yöntemler, tek amaçlı veya çok amaçlı optimizasyon sorunlarını çözmek için tekil ve karma algoritmalar kullanır. Dolayısıyla, modern yöntemler karmaşık optimizasyon problemleriyle başa çıkmada daha esnektir ve daha doğru sonuçlar sunar (Al-falahi ve diğ, 2017;Fadaee ve Radzi,2012).



Şekil 4.4 : Boyut optimizasyon teknikleri şeması (Al-falahi ve diğ, 2017).

4.2 Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Sezgisel algoritmalar, bazı sezgisel bilgileri kullanarak sorunlara kabul edilebilir çözümler bulmaya çalışır ve çoğu gerçek hayatı simüle ederler. Sezgisel algoritmaların en önemli özelliği sınırsız optimizasyon problemleri için tasarlanmış olmalarıdır. Ayrıca sınırlı optimizasyon problemlerine de uyarlanabilirler. Algoritmalar, amaç fonksiyonun minimum değerini kısıtlamalar dahilinde bulmak için tasarlanmıştır. Çözüm kısıtlamaları karşılamıyorsa değer minimum olsa bile bu çözüm kabul edilemez. Sezgisel algoritmalar, yakınsama özelliğine sahiptir ve en uygun çözümleri bulma garantisi vermez. Makul bir sürede optimum seviyeye yakın kabul edilebilir çözümler bulmaya çalışırlar (Erdoğan ve Toz, 2012).

Sezgisel optimizasyon algoritmaları, oldukça basit konseptlere dayanıyor ve uygulamasının kolay olması, gradyan bilgisi gerektirmemesi, yerel en uygun değeri atlayabilmesi ve farklı disiplinleri kapsayan çok çeşitli problemlerde kullanılmasından dolayı mühendislik uygulamalarında gittikçe daha popüler hale gelmektedir. Doğadan ilham alan sezgisel algoritmalar, biyolojik veya fiziksel olayları taklit ederek optimizasyon problemlerini çözer. Çizelge 4.1’ de gösterildiği gibi evrim tabanlı, fizik tabanlı ve sürü tabanlı yöntemler olmak üzere üç ana kategoride gruplandırılabilirler ve literatürde insan davranışlarından ilham alan başka sezgisel yöntemler de bulunmaktadır. Evrim tabanlı yöntemler, doğal evrim yasalarından ilham almaktadır. Fizik tabanlı yöntemler evrendeki fiziksel kuralları taklit eder. Sürü tabanlı yöntemler hayvanların sosyal davranışlarını taklit ederler (Mirjalili ve Lewis, 2016).

Çizelge 4.1 : Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (Mirjalili ve Lewis, 2016).

Yöntemler	Algoritmalar
Evril Tabanlı	Genetik Evril Stratejisi Genetik Programlama Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
İnsan Tabanlı	Tabu Arama Harmoni Arama Grup Arama Optimizasyon Öğretme Öğrenme Tabanlı
Fizik Tabanlı	Benzetilmiş Tavlama Büyük Patlama-Büyük Büzülme Yer Çekimi Arama Kara Delik
Sürü Tabanlı	Parçacık Sürü Optimizasyonu Karınca Kolonisi Optimizasyon Ateş Böceği Guguk Kuşu Yapay Arı Kolonisi

Sezgisel algoritmalara şu nedenlerden dolayı ihtiyaç duyulmaktadır: Optimizasyon probleminin kesin sonucu arama işleminde tanımlanamayan yapıya sahip olması, sezgisel algoritmaların anlaşılabilirliği açısından karar verici için çok daha basit olması, öğrenme amaçlı ve kesin sonucu arama işleminin bir parçası olarak kullanılması, matematiksel formüller ile yapılan tanımlarda genel olarak gerçek dünya problemlerinin en zor taraflarının ihmal edilmesidir (Karaboğa, 2018).

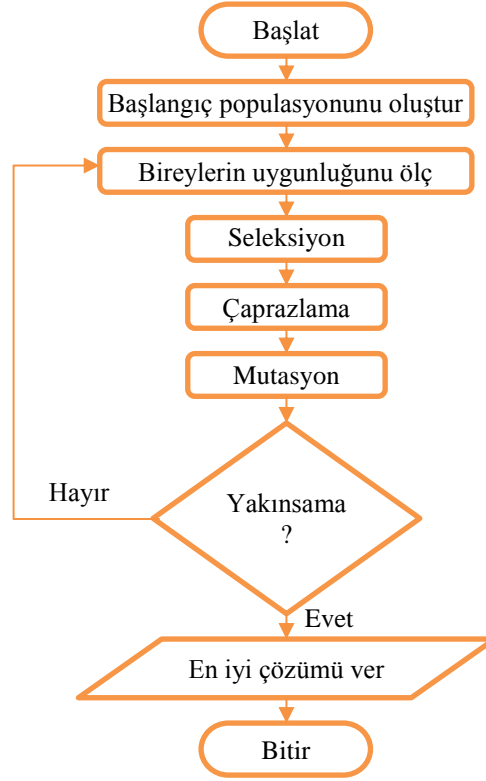
4.2.1 Genetik algoritma

Doğada, çevrelerine göre zayıf ve güçsüz türler, doğal seleksiyonla neslinin tükenmesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Güçlü olan, üreme yoluyla genlerini gelecek nesillere aktarma konusunda daha büyük fırsatlara sahiptir. Uzun vadede, genlerinde doğru kombinasyonu taşıyan türler popülasyonlarında baskın hale gelir. Bazen yavaş evrim sürecinde, genlerde rastgele değişimler meydana gelebilir. Bu değişiklikler hayatta kalma mücadelesinde ek avantajlar sağlarsa, yeni türler eskilerinden evrimleşir. Başarısız değişiklikler doğal seçim ile ortadan kalkarlar (Konak ve diğ., 2006).

Genetik Algoritma (GA), doğal seleksiyon işlemini taklit eden ve 1970' li yıllar da John Holland tarafından Hollanda' da geliştirilen bir arama-bulma işlemidir. GA, kalıtım, mutasyon, doğal seçim ve çaprazlama gibi doğal evrimden esinlenen teknikleri kullanarak optimizasyon problemlerine çözümler üretir. GA' nın birden çok çözümlerle sorunları çözebilmesi, anlaşılmasının kolay olması, kolayca mevcut simülasyonlara ve modellere aktarılabilmesi gibi sebeplerden dolayı birçok avantajı vardır. Problemin global optimum değerden ziyade yerel optimum değere yaklaşma eğilimi ve sabit optimizasyon yanıt süresi sağlayamamaları gibi sınırlamaları vardır (Sinha ve Chandel, 2015).

Genetik algoritmalar, bir bilgisayar programı kullanılarak doğada gözlemlenen üreme, seçim, çaprazlama ve mutasyon olaylarını simüle ederler. GA tarafından problemin aday çözümlerinin popülasyonu oluşturulur. Aday çözümler tipik olarak ikili dizilerdir ancak başka gösterimleri de olabilir. Her nesilde, bazı aday çözümler eşleştirilir ve her bir bireyin parçaları iki yeni çözüm oluşturmak üzere karıştırılır; bu çaprazlamadır, düzenli çaprazlama bireysel bitleri değiştirirken, çok noktalı çaprazlama tüm alt dizileri değiştirir. Sonra her birey rastgele değişime maruz kalır ve buna mutasyon denir. Gelecek nesil, şu anki olan bireylerin uygunluk durumlarına göre seçilmesiyle üretilir. Uygunluk her aday çözümün ne kadar iyi olduğunun bir ölçüsüdür. Sonunda popülasyonun çok yüksek uygunluğa sahip çözümlerle doymuş hale gelmesi gerekir (Bala ve Siddique, 2009).

Genetik Algoritma' ların akış diyagramı şu şekildedir:



Şekil 4.5 : Genetik Algoritma akış şeması (Haupt, 2004).

Genetik Algoritma' ya optimize edilecek değişken değerler dizisi olarak bir kromozom tanımlayarak sürece başlanır. N adet parametre (N boyutlu bir problem) varsa kromozomlar eşitlik 4.1' deki amaç fonksiyon ise eşitlik 4.2' deki gibi $1 \times N$ elemanlı bir dizi olarak tanımlanır. Daha sonra belirlenen popülasyonun boyutu (N_{pop}) kadar rastgele $N_{pop} \times N_{par}$ (eşitlik 4.3) popülasyon matrisi üretilir (Haupt, 2004).

$$(kromozom) = (p_1, p_2, p_3, \dots \dots p_{N_{par}}) \quad (4.1)$$

$$maliyet = f(kromozom) = f(p_1, p_2, p_3, \dots \dots p_{N_{par}}) \quad (4.2)$$

$$pop = rastgele(N_{pop}, N_{par}) \quad (4.3)$$

Tüm parametreler eşitlik 4.4 ve eşitlik 4.5 kullanılarak normalize edilerek ikili sayı sistemine dönüştürülür. Amaç fonksiyonu hesaplanırken ise parametreler eşitlik 4.6 ve eşitlik 4.7' yi kullanarak ondalık sayıya dönüştürülür. (Haupt, 2004).

$$P_{norm} = \frac{P_n - P_{min}}{P_{mak} - P_{min}} \quad (4.4)$$

$$gen[m] = yuvarla\{P_{norm} - 2^{-m} - \sum_{p=1}^{m-1} gen[p]2^{-p}\} \quad (4.5)$$

$$P_{norm} = \sum_{m=1}^{N_{gen}} gen[m] 2^{-m} + 2^{-(m+1)} \quad (4.6)$$

$$P_n = P_{norm}(P_{mak} - P_{min}) + P_{mak} \quad (4.7)$$

Burada;

N_{pop}, N_{par} = popülasyon ve parametre sayılarını

P_{norm} = parametrelerin normalize edilmiş değerini,

P_{min}, P_{mak} = parametrelerin en küçük ve en yüksek değerlerini,

$gen[m]$ = parametrelerin ikili değerini,

N_{gen} = genin bit sayısını göstermektedir.

Genetik algoritmalarda kromozomlardan en uygun olanları kalmalı diğerleri yok edilmelidir. Eşitlik 4.8 kullanılarak eşleşme havuzu için kaç adet kromozomun kalacağına (N_{secim}), seçim oranı (X_{oran}) ile karar verilir ve eşitlik 4.9 ile rastgele seçim yöntemi kullanılarak geliştirilecek en iyi kromozomlar eşleştirilir. Çaprazlama yöntemi kullanılarak iki kromozomdan iki yavru kromozomun elde edilmesi eşitlik 4.10' da gösterilmiştir. Algoritmanın mutasyon aşamasında kromozomdaki değişime uğrayacak bitlerin sayısı mutasyon oranı (μ) ile belirlenir ve kromozomdaki hangi bitin değişeceğinin seçimi eşitlik 4.11' de verilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda çaprazlama ve mutasyona uğramış kromozomların uygunluk değerleri hesaplanarak yeni bir nesli oluştururlar (Haupt, 2004).

$$N_{secim} = X_{oran} * N_{pop} \quad (4.8)$$

$$eş_{1,2} = yuvarla(N_{secim} * rastgele(1, N_{secim})) \quad (4.9)$$

$$nesil_1 = [P_{m1}, P_{m2}, \uparrow P_{d3}, \uparrow P_{d4}, P_{m5} \dots \dots \dots P_{mN_{par}}]$$

$$nesil_2 = [P_{d1}, P_{d2}, \uparrow P_{m3}, \uparrow P_{m4}, P_{d5} \dots \dots \dots P_{dN_{par}}] \quad (4.10)$$

$$mutasyon = \mu * (N_{pop} - 1) * N_{popbit} \quad (4.11)$$

4.2.2 Tabu araştırma algoritması

Tabu Araştırma (TA), birçok kombinasyonel optimizasyon problemine başarıyla uygulanan güçlü bir optimizasyon algoritmasıdır. Esnek bir hafıza sistemi kullanarak yerel en uygun çözüme girmeyi önleme kabiliyetine sahiptir (Mantawy ve diğ, 1999). Herhangi bir çözümün komşusunu tanımlamak için hareket adı verilen bir işlem kullanılır. Bir çözümden diğerine sürekli olarak hareket yaparak bir dizi problemin çözümünü araştırarak iteratif bir tekniktir (Katsigiannis ve diğ,2012). Glover tarafından geliştirilen algoritmanın ana fikri, uygulanabilir tüm çözümlerin arama alanını bir dizi hareketler ile araştırmaktır. Bir çözümden diğerine geçiş en iyi çözümlerle sonuçlanır. Ancak yerel en uygun çözümden kaçmak ve sürekli döngüyü önlemek için belirli hareketler yasak veya tabu olarak sınıflandırılır. Tabu son arama geçmişinden türetilmiş hareketler olarak tanımlanır (Geem ve diğ, 2001).

TA' nın tabu liste kısıtlamaları ve bu kısıtlamalarla bağlantılı çözümün aspirasyon kriterleri iki ana bileşendir. Tabu listeleri, hareketleri yapıldıkları sıraya göre kaydederek işlem yapar. Tabu listesine yeni bir özellik girerse, en eskisi tabu listesinden çıkarılır. Tabu liste büyüklüğünün doğru seçilmesi algoritmanın başarısı için kritik öneme sahiptir. Tabu liste kısıtlamalarını aspirasyon kriterleri geçersiz kılabilir. Yani aspirasyon kriteri gerekli yeterliliği sağlıyorsa yasaklanan bir hareketi tekrar aktif hale getirebilir. En yaygın kullanılan aspirasyon kriteri, bir hareket şu ana kadar elde edilenlerden daha iyi bir çözüm ürettiğinde aday hareketinden bir tabu sınıflandırmasını kaldırır (Katsigiannis ve diğ, 2012; Lee ve El-Sharkawi, 2008).

TA, her türlü optimizasyon problemine doğrudan uygulanabilir. Bu problemlerin çoğunu eşitlik 4.12 ile ifade edebiliriz. Burada optimize maksimuma çıkarmak ya da minimuma indirmek anlamına gelir.

$$\text{Optimize } f(x), \quad x \in X \quad (4.12)$$

$F(x)$ fonksiyonu doğrusal, doğrusal olmayan veya hatta olasılıksal olabilir ve X kümesi, x karar değişkenlerinin vektöründeki kısıtlamaları özetler. Kısıtlamalar benzer şekilde doğrusal, doğrusal olmayan veya olasılıksal eşitsizlikler içerebilir ve farklı değerler almak için x ' in tüm bileşenlerini veya bazılarını zorlayabilir. Başka bir ifade ile her x elemanı bir hareketi temsil eder ve tüm hareketler X ile gösterilmektedir. Ancak daha doğru bir varsayım x vektörlerinin TA bellek yapısı olarak kullanıldığıdır (Glover ve diğ, 2007).

Mevcut Çözüm, Hareketler, Aday Hamle Seti, Tabu Kısıtlamaları, Aspirasyon Kriteri (Seviye) ve Durdurma Kriterleri TA algoritmasının temel unsurlarıdır. TA algoritmasının adımları şu şekildedir (Abido, 2002; Maleki ve Askarzadeh, 2014):

Adım 1: İtereasyon indeksi (iter) 0 olarak ayarlanır ve bir başlangıç çözümü ($x_{başlangic}$) rastgele oluştur. Bu çözüm, en iyi çözüm ve mevcut çözüm olarak belirle. ($x_{eniyi} = x_{başlangic} = x_{mevcut}$).

Adım 2: Mevcut çözümün çevresinde bir grup aday çözümler (n_{aday}) üret. Her bir aday çözüm (x_{aday}) amaç fonksiyonuna konular ve kalitesi hesaplanır. Aday çözümler amaç fonksiyonlarının değerlerine göre küçükten büyüğe sıralanır. x_{aday}^k , sıralanan bu grupta k. aday çözüm olarak tanımlanır, $1 \leq k \leq n_{aday}$. Bu nedenle x_{aday}^1 , amaç fonksiyon değerleri arasında en iyi aday çözümü göster.

Adım 3: k değerini 1' e ayarla. Eğer $f_T(x_{aday}^k) > f_T(x_{eniyi})$ adım 4' git değilse $x_{eniyi} = x_{aday}^k$ ayarla ve adım 4' git.

Adım 4: x_{aday}^k ' in Tabu durumunu kontrol et. Eğer tabu listesinde yok ise $x_{mevcut} = x_{aday}^k$ ' a ayarla ve tabu listesine ekle ve adım 7' ye git. Eğer tabu listesinde varsa adım 5'e git.

Adım 5: x_{aday}^k ' in Aspirasyon kriterini kontrol et. Eğer kriter gerçekleşmiş ise tabu kısıtlamalarını geçersiz kıl ve Aspirasyon durumunu güncelle, $x_{mevcut} = x_{aday}^k$, ve adım 7' ye git. Kriter gerçekleşmiyor ise $k = k + 1$ ' e ayarla ve adım 6' ya git.

Adım 6: Eğer $k > n_{aday}$ ise adım 7'ye git değilse adım 4' e geri dön.

Adım 7: Durdurma kriterini kontrol et.

4.2.3 Benzetilmiş tavlama

Benzetilmiş Tavlama (BT), ilk olarak çeşitli değişkenlerin fonksiyonlarını optimize etmek için Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından 1983 yılında yeni bir teknik olarak önerildi. Kesin bir cevap üretmek için üssel olarak bir kaç adımın gerekli olduğu NP-Tam problemlerin optimizasyonu için bir araç sağlayan sezgisel bir yöntemdir. En uygun sonucu bulmayı garanti edemezse de, kabul edilebilir uygun sonucu kısa bir sürede bulabileceği bilinmektedir. BT algoritması diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında en önemli avantajı, iterasyonları sırasında küçük olasılıklı, daha

kötü çözümleri kabul ederek yerel bir optimum bölgeye yakalanmaktan kaçınma yeteneğine sahiptir. Algoritma, sadece amaç fonksiyonunu azaltan değişiklikleri kabul etmeyen aynı zamanda onu artıran bazı değişiklikleri de kabul eden rastgele bir arama kullanır. Başlangıçta, daha kötü çözümleri kabul etme olasılığı oldukça yüksektir ve yeni aday çözümler nispeten büyük bir kümeden seçilir. Arama işlemi sırasında, olasılık azalır ve küme küçülür (Ekren ve Y. Ekren, 2010).

BT, global optimizasyon problemleri için kullanılan popüler bir genel olasılıksal algoritmadır. Algoritma maden bilimindeki tavlama yönteminden ilham kaynağı alınarak tasarlanmıştır. Tavlama, kristallerinin boyutunu artırmak ve kusurlarını azaltmak için bir maddenin ısıtılmasını ve kontrollü soğutulmasını içeren bir işlemdir. BT' de benzeşme ilerledikçe yani her iterasyonda sıcaklık (T) yavaş yavaş azaltılır. Algoritma, arama alanının geniş bir bölgesine doğru gitmek için yeterince büyük bir T değeri ile arama yapmaya başlar ve en dik iniş yöntemine göre aşağı hareket etmek için küçük bir T değeri ile sonlandırır (Askarzadeh, 2013).

Optimizasyon problemine BT algoritmasını uygulamadan önce, tavlama programının belirlenmesi gerekir. Başlangıç sıcaklığı, son (donmuş) sıcaklığı, sıcaklık azalma oranı (α), denge algılama, hareket jeneratörü algoritmanın temel parametreleridir (Cheng ve diğ., 2009).

Her bir iterasyon n , mevcut çözüm x_n , ona karşılık gelen amaç fonksiyon değeri $f(x_n)$ ve komşuluk fonksiyonu ile x_n ' den hareket edilerek elde edilen çözüm x'_n ile tanımlanır. Bir sonraki çözümün, x_{n+1} , x'_n olma olasılığı, hem ilgili uygunluk fonksiyonları arasındaki farka, $\Delta F = f(x'_n) - f(x_n)$, ve hemde sıcaklıklarına bağlıdır. Yeni nitelikli çözüm eşitlik 4.14' te gösterildiği gibi belirlenir. Burada ρ , 0 ile 1 arasında rasgele bir sayıdır. Yeni çözümler üretme süreci, maksimum iterasyon sayısı karşılanıncaya kadar devam eder. x'_n komşuluk fonksiyonu ve T belirli bir soğutma fonksiyonu ile iterasyonlar süresince değişimleri eşitlik 4.15' de gösterilmiştir (Xinchao, 2011; Maleki, 2018).

$$x_{n+1} = \begin{cases} x'_n, & \text{eğer } e^{-\frac{\Delta F}{T_n}} > \rho \\ x_n, & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$x'_n = x_n + w \quad \text{ve} \quad T_{n+1} = s * T_n \quad (4.15)$$

Burada w , $[-w \quad +w]$ arasında bir vektör ve s , adım boyutudur.

BT algoritmasının standart optimizasyon adımları şu şekildedir (Rere ve diğ, 2015):

Adım 1: İlk çözüm vektörünü oluşturma: Sistemin optimize edilmesi için rastgele bir başlangıç çözümü x_0 'ı seç ve amaç fonksiyonunu hesapla.

Adım 2: İlk sıcaklık değerini başlatma: T sıcaklığının başlangıç değeri, algoritmanın başarılı bir şekilde uygulanması için önemlidir. Değer çok yüksekse yakınsama için daha fazla azalma gerektirir, çok düşükse potansiyel global optimum aşılabileceğinden arama işlemi çok iyi olmayabilir.

Adım 3: Mevcut çözüme komşu yeni bir çözüm seçme: T' ye bağlı olarak yeni bir çözüm olarak $x_0 + \Delta x$ kabul et. Amaç fonksiyonları $f(x_0 + \Delta x)$ ve $f(x_0)$ ile temsil edilir.

Adım 4: Yeni çözümü değerlendirme: Eğer $f(x_0 + \Delta x) \leq f(x_0)$ ise yeni çözüm x_0 'ın yerine $x_0 + \Delta x$ olarak güncelle ve adım 6.ya git.

Adım 5: Sıcaklığı periyodik olarak azaltma: Algoritma araştırması süresince, T sıcaklığını düşür ($T = c * T$).

Adım 6: Durdurma kriteri kontrol et: Eğer kriter yerine gelirse algoritmayı sonlandır, gelmez ise Adım 2'ye git.

4.2.4 Parçacık sürü optimizasyon algoritması

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (PSO), ilk olarak 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir. PSO algoritması, sürekli problemlerin yanında ayrık veya ikili problemleri çözebilir. PSO “Kuş sürüsü” veya “balık sürüsü” nün sosyal davranışından ilham alan “çok etmenli paralel arama tekniği” dir. PSO’ da, konum ve hız vektörleri ile tarif edilen bir dizi parçacık ya da sürü, mevcut optimum parçacığını izleyerek arama alanı boyunca uçmaktadır. Parçacıkların hareketleri, sürünün her bir yöndeki hızını tanımlayan bir vektör ile tanımlanır. Şimdiye kadar elde edilen her parçacık için en iyi çözüm parçacık hafızasında ve parçacık deneyiminde saklanır. Tüm parçacıklar arasında elde edilen en iyi çözüm, en iyi global parçacık olarak adlandırılır. Sürünün hızı ve konumu, deneyimlerine ve en iyi küresel parçacıklara göre güncellenir. Her parçacığın diğer sürüler ile arasındaki tecrübe paylaşımı, PSO başarısının ardındaki en önemli nedendir ve parçacık hareketini daha iyi bölgelere yönlendirir (Ahmed ve Glasgow, 2012; Sharafi ve ELMekkawy, 2014).

PSO' da parçacıklar belleğe sahiptir ve önceki durumlarının bir kısmını tutarlar. Parçacıkların inanç alanında aynı noktayı paylaşması için herhangi bir kısıtlama yoktur, ancak özgünlükleri korunur. Her parçacığın hareketi, iki rastgele ağırlıklı etkinin ve başlangıçtaki rastgele hızın bileşimidir. Sosyallik, komşunun en iyi önceki konumuna ve özgün (parçacığın önceki en iyi yeri) yönüne doğru hareket etme eğilimidir (Maleki ve diğ, 2016).

Her sürünün rastgele konumlara ve hızlara sahip, S boyutlu arama alanı boyunca düzgün bir şekilde başlatılan N adet parçacık popülasyonu vardır. Parçacıklar, global en iyi konumu bulmak için belli bir hızla hareket ederek arama alanı boyunca arama yaparlar. Parçacıklar aralarında işbirliği yaparlar ve deneyimlerini paylaşırlar. Kendi deneyimleri (kişisel hafıza) ve sürünün en iyi deneyimlerini (sosyal hafıza) kullanarak yeni hızlarını güncellerler. Parçacıklar S boyutlu konum vektörü, $\vec{X}_k = [X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, \dots, X_{S1}]$, ve bir hız vektöründen, $\vec{V}_k = [V_{k1}, V_{k2}, V_{k3}, \dots, V_{S1}]$, oluşur. PSO 'da parçacıkların hızını ve konumunu güncellemek için eşitlik 4.16 ve 4.17 kullanılır.

$$V_{ks}^{t+1} = \omega V_{ks}^t + c_1 r_1 (P_{eniyi_{ks}}^t - X_{ks}^t) + c_2 r_2 (G_{eniyi_s}^t - X_{ks}^t) \quad (4.16)$$

$$X_{kd}^{t+1} = X_{kd}^t + V_{kd}^{t+1} \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad s = 1, 2, \dots, S \quad (4.17)$$

Burada V_{kd} ve X_{kd} sırasıyla s. boyuttaki k. parçacığın hızını ve konumunu, t ve t+1 şimdiki ve sonraki iterasyonu temsil eder. $P_{eniyi_{ks}}$ s. boyuttaki k. parçacığın elde edilen en iyi konumu, G_{eniyi_s} s. boyuttaki global en iyi konumdur. c_1 ve c_2 , hızlanma katsayılarını temsil eder ve r_1 ve r_2 0-1 aralığında üretilmiş rasgele sayılardır. ω ise atalet(eylemsizlik) ağırlığıdır (Tanweer ve diğ, 2015).

PSO' nun global versiyonunun uygulanması için süreç şu şekildedir (Shi ve Eberhart, 2001):

Adım 1: Rastgele konum ve hızlarda bir parçacık popülasyonu oluştur.

Adım 2: Her parçacığın konumu (s) için optimize edilmek istenen uygunluk fonksiyonunu hesapla.

Adım 3: Parçacıkların uygunluk değerlerini P_{eniye} ile karşılaştır. Eğer mevcut değer P_{eniye} ' den daha iyi ise mevcut değeri P_{eniye} olarak ayarla ve s boyutlu alanda mevcut konumu da P_{eniye} konumu olarak ayarla.

Adım 4: Hesaplanan uygunluk değerini popülasyonun önceki en iyisi (G_{eniye}) ile karşılaştır. Eğer mevcut değer G_{eniye} ' den daha iyi ise mevcut parçacığın indeks ve değerlerini G_{eniye} olarak ayarla.

Adım 5: Parçacık hızını ve konumunu sırasıyla eşitlik 4.16 ve 4.17' ye göre değiştir.

Adım 6: Yeterli derecede uygunluk değeri bulunana ya da iterasyon tamamlanincaya kadar adım 2' ye dön.

4.2.5 Yapay arı koloni algoritması

Yapay Arı Koloni algoritması Karaboğa tarafından 2005 yılında ortaya konulan ve böcek, kuş, balık gibi hayvan sürülerinin ortak hareketlerinden esinlenerek geliştirilmiş sürü zekasına dayalı sezgisel bir algoritmadır (Karaboğa, 2005).

4.2.5.1 Arıların yiyecek arama davranışı

Bir arı kolonisini bir ortamdan bilgi toplayan ve davranışını buna göre ayarlayan dinamik bir sistemdir. Koloninin akıllı karar verme davranışı bireyler arasındaki iletişim seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kolektif zekanın ortaya çıkmasına neden olan asgari yem seçimi modeli yiyecek kaynakları, görevli işçi arılar ve görevsiz işçi arılar olmak üzere üç temel bileşenden oluşur. Bu modelin nektar kaynağına yönelme ve nektar kaynağını terk etme olmak üzere iki ana modu vardır (Tereshko ve Loengarov, 2005).

Bileşenleri açıklayacak olursak:

Yiyecek kaynakları: Kaynağın değeri zenginliği, yuvaya yakın olması, nektarın yoğunluğu ve nektarı alma kolaylığı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bununla beraber modelin sadeliği için yiyecek kaynağının karlılığı (zenginliği) tek bir nicelik olarak yeterlidir.

Görevli işçi arılar: Bu arılar sömürmekte oldukları yiyecek kaynaklarıyla ilişkilendirildiklerinde kaynağın yuvadan uzaklığı, karlılığı ve yönü hakkında bilgi

taşırlar. Bu bilgileri belirli olasılıklarla paylaşırlar. Kaynağın zenginliği arttıkça, arıların kuyruk dansı yapma ve bilgileri koloni ile paylaşma olasılığı da artar.

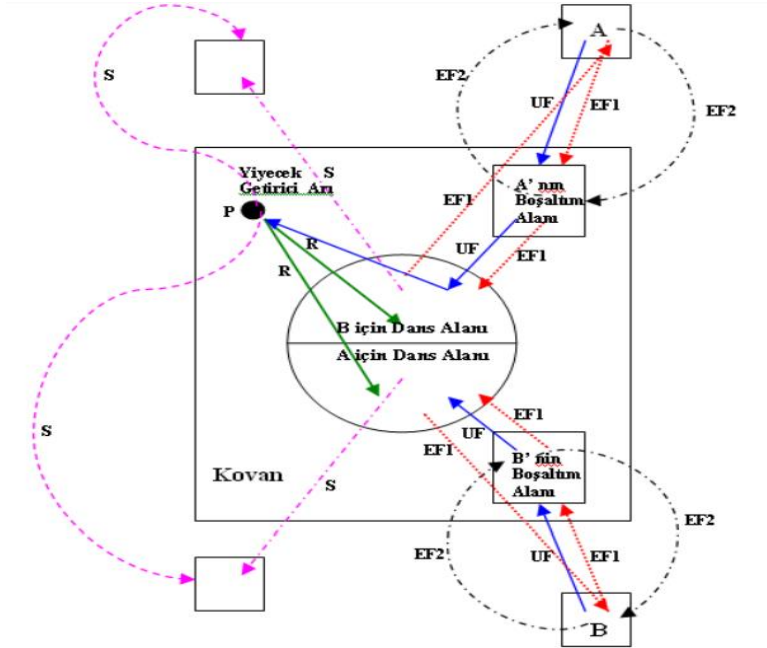
Görevsiz işçi arılar: Bu arılar sömürecek bir kaynak, yiyecek kaynağı ararlar. Yeni yiyecek kaynakları aramak için yuvaların 14 km' ye kadar olan çevresini arama yapan kaşif arılar ile yuvada bekleyen ve görevli işçi arılar tarafından paylaşılan bilgiler yoluyla bir yiyecek kaynağı bulan gözcü arılar olmak üzere iki tür görevsiz işçi arı bulunmaktadır. Bilginin yuvaya girişine bağlı olarak kaşif arıların oranı %5 ile %30 arasındadır.

Bal arısı koloninin tüm çatısı iletişime bağlıdır. Arılar arasında yiyecek kaynaklarının kalitesi ile ilgili iletişim dans alanında gerçekleşir. Bu dansa kuyruk dansı denir. Her bir kuyruk dansının yönü ve süresi, dans eden arı tarafından ilan edilen çiçeğin (yiyecek kaynağının) yönü ve uzaklığı ile yakından ilişkilidir. Görevli işçi arılar bilgilerini, yiyecek kaynağının karlılığı ile orantılı bir olasılıkla paylaşırlar (Kang ve diğ., 2009).

Karaboğa ve Akay (2009) yiyecek arayıcıların temel davranış özelliklerini daha iyi anlamak için Şekil 4.6 üzerinden şu şekilde açıklamışlardır. A ve B, iki keşfedilen yiyecek kaynağı olduğunu varsayıldığında potansiyel bir işçi arı, görevsiz işçi olarak başlayacaktır. Bu arının yuva etrafındaki yiyecek kaynakları hakkında bilgisi olmayacak. Böyle bir arı için iki olası seçenek vardır. Birinci seçenek, şekilde S ile gösterilmiştir, kaşif arı olabilir ve bazı içsel motivasyon veya olası dışsal işaretler nedeniyle yiyecek için kendiliğinden yuva etrafında arama yapmaya başlar. İkinci seçenek, R ile gösterilmiştir, kuyruk danslarını izledikten sonra bir yiyecek kaynağı aramaya başlayan gözcü arı olabilir. Arı besin kaynağını bulduktan sonra, yeri ezberlemek için kendi yeteneğini kullanır ve sonra hemen onu toplamaya başlayarak görevli işçi arı olur. Görevli işçi arı kaynaktan bir nektar yükü alır ve kovana döner. Yiyecek boşaltıldıktan sonra arı üç seçeneğe sahiptir:

- 1-Yiyecek kaynağını terk ettikten sonra bağımsız bir izleyici olabilir (UF).
- 2-Diğer arılar ile iletişim kurmadan kaynaktan yiyecek getirmeye devam edebilir (EF2).
- 3- Dans ederek iletişim kurabilir ve sonra yiyecek kaynağına dönmeden diğer arıları da kendi kaynağına yönlendirebilir (EF1).

Ayrıca tüm arıların aynı anda yiyecek arama yapmaya başlamadığına dikkat etmek önemlidir (Karaboğa ve Akay, 2009).



Şekil 4.6 : Bal arılarının yiyecek arama davranışı (Karaboğa ve Akay, 2009).

4.2.5.2 Yapay arı koloni algoritmasının adımları ve akış diyagramı

Karaboğa (2005) bal arılarının yiyecek arama davranışlarını simüle ederek çok boyutlu ve çok modlu optimizasyon problemlerinin çözümü için Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmasını tanımlamıştır. Tanımlanan bu modelde (YAK) işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar olmak üzere üç grup arı vardır. Koloninin yarısı işçi arılardan, diğer yarısı gözcü arılardan oluşmaktadır. Yani işçi arıların sayısı yiyecek kaynaklarının sayısına eşittir. İşçi arı tarafından besin kaynağı tüketilirse bu arı kaşif arı olur ve yeni bir besin kaynağı arar. Algoritmanın ana adımları şu şekildedir.

Adım 1: Kaşif arıları ilk besin kaynaklarına gönder.

Adım 2: İşçi arıları besin kaynaklarına gönder ve toplam nektarı belirle.

Adım 3: Gözcü arılar tarafından tercih edilen besin kaynaklarının olasılık değerini hesapla.

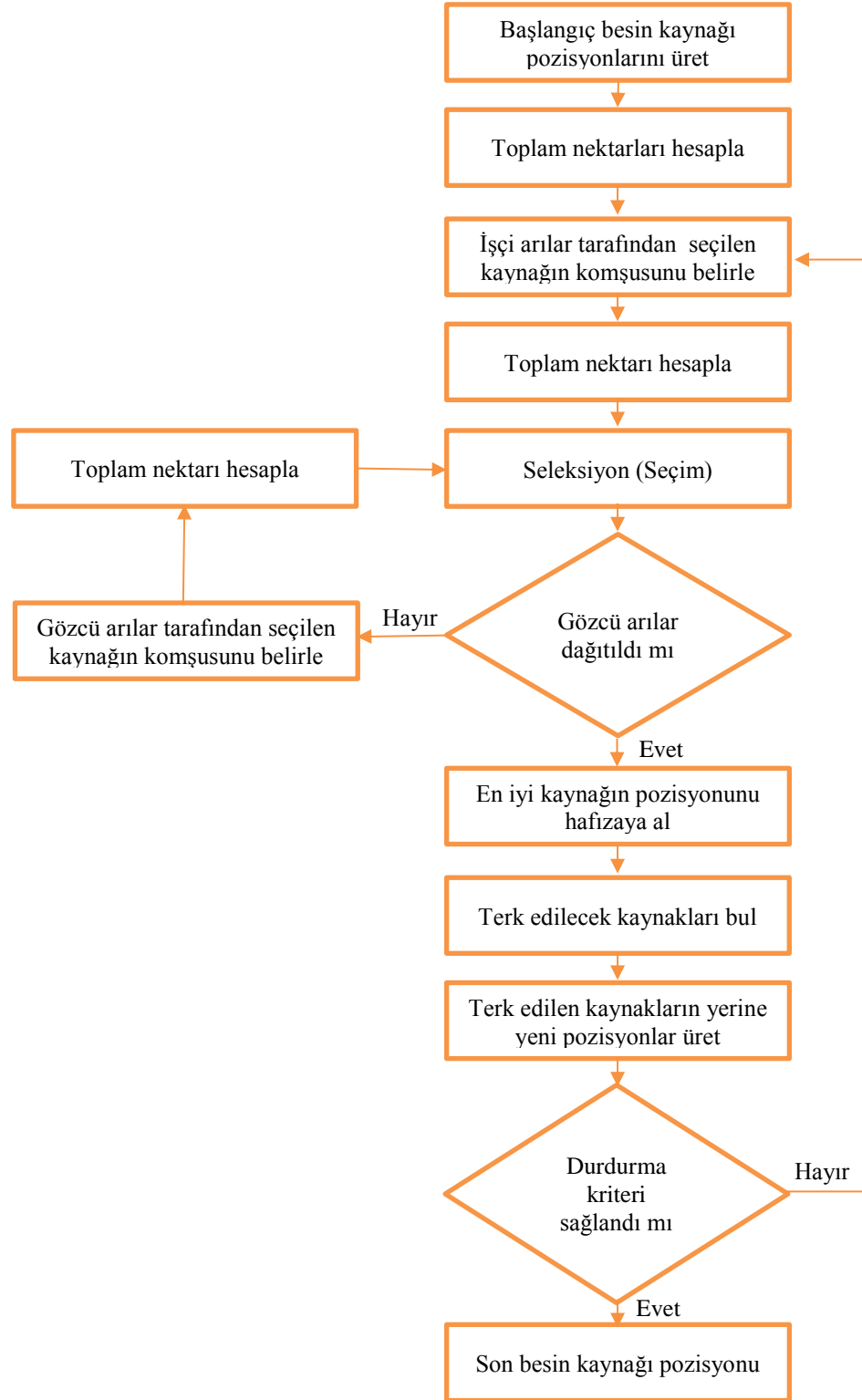
Adım 4: Arılar tarafından terk edilmiş olan kaynakların sömürülmesi durdur.

Adım 5: Rastgele yeni besin kaynakları keşfetmek için kaşif arıları gönder.

Adım 6: Bulunan en iyi besin kaynağını hafızada tut.

Adım 7: Durdurma şartı sağlanıncaya kadar adım 2' ye git.

Arıların yiyecek aramada ortaya çıkan zeka ile YAK algoritması arasındaki benzetimi kullanarak, YAK algoritmasının akış diyagramı ve temel birimleri şu şekildedir (Akay ve Karaboğa, 2012).



Şekil 4.7 : YAK algoritmasının akış diyagramı (Akay ve Karaboğa, 2012).

Başlangıç besin kaynakları üretilmesi

YAK algoritması başlangıçta arama alanındaki çözümlere karşılık gelen besin kaynakları alanlarını rastgele üretir. Bu kaynaklar parametrelerin alt ve üst sınırları dikkate alınarak eşitlik 4.18’ de gösterildiği gibi rastgele üretilir. Ayrıca bu aşamada çözümlerin deneme limitleri (geliştirememe) sayacı sıfırlanmaktadır (Akay ve Karaboğa, 2012).

$$x_{kp} = x_p^{min} + rastgele(0,1)(x_p^{max} - x_p^{min}) \quad (4.18)$$

k: Besin kaynağının indisi ($k = 1, 2, 3, \dots, K$)

p: Optimize edilecek parametrelerin indisi ($p = 1, 2, 3, \dots, P$)

x_p^{max} : Parametrenin en üst değeri

x_p^{min} : Parametrenin en alt değeri

İşçi arıların besin kaynaklarına gönderilmesi

Her bir işçi arı sadece bir besin kaynağı ile ilişkilendirilir. Yani işçi arıların sayısı besin kaynaklarının sayısına eşittir. İşçi arılar yerel bilgiye bağlı hafızalarındaki besin kaynaklarının (çözümlerin) pozisyonlarında değişiklik yaparak komşu birer besin kaynağı bularak kalitesini değerlendirir. Bulunan yeni çözüm daha iyiye bunu hafızalarına alırlar. YAK algoritmasında komşu bir besin kaynağının belirlenmesi eşitlik 4.19’ da gösterilmiştir. x_k ile temsil edilen her bir besin kaynağının komşuluğunda, x_k parametresinin değiştirilmesiyle v_k ile temsil edilen besin kaynağı bulunur (Akay ve Karaboğa, 2012).

$$v_{kp} = x_{kp} + \emptyset_{kp}(x_{kp} - x_{np}) \quad (4.19)$$

p: [1,2, ..., P] arasında üretilen rastgele bir sayı

n: [1,2, ..., K] arasında rasgele seçilen bir indisi

\emptyset_{kp} : [-1,1] aralığında dağıtılmış gerçek rastgele bir sayı

Eşitlik 4.19’ da görüldüğü gibi çözümler birbirine yaklaştıkça bölgesel optimal çözüme yaklaşılabilecektir. Bu işlem sonucunda v_{kp} değeri önceden belirlenmiş sınırları aşarsa, parametre eşitlik 4.20’ de olduğu gibi kabul edilebilir bir değere ayarlanmaktadır (Akay ve Karaboğa, 2012).

$$v_{kp} = \begin{cases} x_p^{min} & , \quad v_{kp} < x_p^{min} \\ v_{kp} & , \quad x_p^{min} \leq v_{kp} \leq x_p^{max} \\ x_p^{max} & , \quad v_{kp} > x_p^{max} \end{cases} \quad (4.20)$$

Sınırlar içinde v_k üretildikten sonra, minimizasyon problemini için uygunluk değeri v_k çözümüne atanmaktadır (Eşitlik 4.21).

$$uygunluk_k = \begin{cases} 1/(1 + f_k) & , \quad f_k \geq 0 \\ 1 + mutlak(f_k) & , \quad f_k < 0 \end{cases} \quad (4.21)$$

v_k çözümün maliyet değeri f'_k dir. Maksimizasyon problemleri için, maliyet fonksiyonu doğrudan uygunluk fonksiyonu olarak kullanılabilir. v_k ile x_k arasında uygunluk fonksiyonlarına bağlı olarak aç gözlü bir seçim uygulanır. v_k kaynağı karlılık açısından x_k kaynağından daha üstün ise işçi arılar yeni konumu hafızaya alarak eski konumu silerler. Yoksa önceki konum hafızada tutulur. Eğer x_k geliştirilemez ise deneme limiti sayacı bir artırılır (Akay ve Karaboğa, 2012).

Olasılık seçiminde yer alan olasılık değerlerinin hesaplanması

İşçi arılar aramalarını tamamladıktan sonra, nektar miktarları ve kaynaklarının konumlarını gözcü arılarla dans alanında paylaşırlar. Gözcü arılar, işçi arılardan alınan nektar bilgisini değerlendirir ve nektar miktarı ile ilgili olasılığa bağlı olarak bir besin kaynağı seçer. Bu olasılık seçimi popülasyondaki çözümlerin uygunluk değerlerine bağlıdır. Uygunluk seçimi yöntemi, sıralamaya dayalı, rulet tekerleği, skotastik evrensel örnekleme, turnuva seçim ve bunun gibi yöntemlerden biri olabilir. Temel YAK algoritmasında her dilimin uygunluk değeri ile orantılı olduğu eşitlik 4.22' de ki rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmaktadır. Bu seçim yönteminde, çözümlerin uygunluğu arttıkça, onları ziyaret eden gözcü arı sayısı da artmaktadır. Bu, YAK algoritmasının olumlu geri bildirim özelliğidir (Akay ve Karaboğa, 2012).

$$p_k = \frac{uygunluk_k}{\sum_{k=1}^K uygunluk_k} \quad (4.22)$$

Gözcü arıların besin kaynaklarını seçmesi

YAK algoritmasında, her besin kaynağı için $[0, 1]$ aralığında rastgele bir gerçek sayı üretilir. Eğer eşitlik 4.22' deki olasılık değeri bu rastgele sayıdan büyük ise gözcü arı işçi arılar gibi eşitlik 4.19' u kullanarak yeni besin kaynağı bulunur. Bu kaynağın

çözümü değerlendirildikten sonra açgözlü seçim yapılır ve gözcü arı ya eskisini unutarak yeni konumu ezberler ya da eskisini saklar. Çözüm geliştirilemez ise deneme limiti (geliştirememe sayacı) bir artırılır, geliştirilir ise sayaç sıfırlanır. Bu işlem tüm gözcü arılar besin kaynağı alanlarına dağıtılincaya kadar tekrarlanmaktadır (Akay ve Karaboğa, 2012).

Bırakma kriteri: limit ve kaşif arı üretimi

Bir döngüde, kullanılan tüm işçi arılar ve gözcü arılar aramalarını tamamladıktan sonra, algoritma terkedilecek tükenmiş bir kaynak olup olmadığını kontrol ederler. Bir kaynağın terk edilip edilmeyeceğine karar vermek için, arama sırasında güncellenen sayaçlar kullanılır. YAK algoritmasında geliştirememe sayacının sınırı “limit” olarak adlandırılır. Geliştirememe sayacı limit değerini geçerse kaynak terk edilmektedir. Terkedilen besin kaynağı kaşif arı tarafından eşitlik 4.18 kullanılarak keşif edilen yeni bir kaynakla değiştirilir. Bu YAK algoritmasında negatif geri besleme ve dalgalanma özelliğini temsil eder. Temel YAK’ da, her döngüde yalnızca bir kaynağın tükenebileceği ve yalnızca bir işçi arı kaşif arı olabilir varsayılmaktadır. (Akay ve Karaboğa, 2012).

5. ÖRNEK BİR HİBRİD (FOTOVOLTAİK-RÜZGAR) ENERJİ SİSTEMİNİN BOYUT OPTİMİZASYONU

Tez kapsamında yapılan bu çalışmada, Kırklareli Pınarhisar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi (PMTAL)' nin elektrik enerjisini karşılayacak bir fotovoltaik/rüzgar hibrit güç üretim sisteminin boyutu, sezgisel optimizasyon algoritması ile hesaplanmıştır. Sezgisel optimizasyon algoritması olarak sayısal programlama temelli Yapay Arı Kolonisi algoritması seçilmiştir ve nesne tabanlı bir programlama dilinde yazılım geliştirilmiştir.

Bu bölümde sırasıyla, güç sistemi kurulacak yerin yük karakteristiğinden, yenilenebilir enerji potansiyelinden, boyut optimizasyonu yapılacak hibrit sistemin bileşenlerinin özelliklerinden, kullanılan sezgisel yapay algoritmasından ve algoritmada kullanılacak matematiksel modellemelerden ve son olarak elde edilen sonuçlardan bahsedilmektedir.

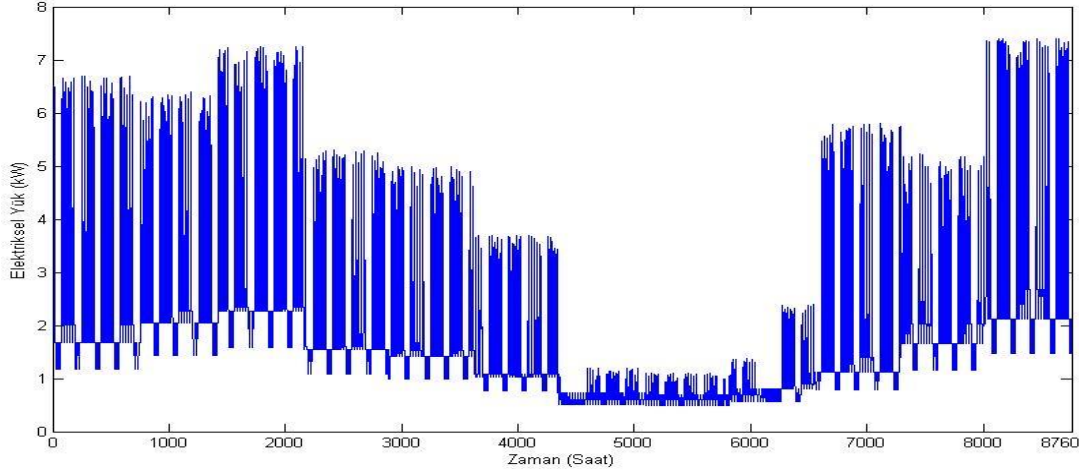
5.1 Güç Sistemi Kurulacak Yerin Yük Karakteristiği

Çalışma alanı Türkiye'nin Kırklareli şehrindeki Pınarhisar ilçesinde bulunan PMTAL 10 derslik, 7 atölye, 2 bilişim laboratuvaru ve idari bölümlerden oluşan ve 120 öğrencisi bulunan Lise düzeyinde eğitim sağlayan bir okuldur.

Çizelge 5.1 : Aylık toplam tüketim.

Aylar	Tüketim(kWh)
Ocak	2120
Şubat	2040
Mart	2571
Nisan	1700
Mayıs	1668
Haziran	1204
Temmuz	515
Ağustos	518
Eylül	680
Ekim	1613
Kasım	1720
Aralık	2557

Uygulama sahası olarak seçilmiş okul binasının talep ettiği 2016 yılına ait elektrik enerjisi ihtiyacı belirlenmiş ve aylık toplam güç tüketimi Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Çizelge 5.1 incelendiğinde toplam aylık tüketimlerin kışın ve okulun eğitim- öğretim dönemlerinde yüksek seviyelerde olduğu, okulun tatil olduğu yaz aylarında ise düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Burada kurulacak olan FV/rüzgar hibrit güç sisteminin en çok güç üretmesi gerektiği dönemin kışın olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 5.1 : PMTAL binasının saatlik tüketim grafiği(kWh).

PMTAL'nin saatlik güç tüketim değerleri (8760 saat=1 yıl) Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde saatlik en yüksek tüketimin 7 kWh' in biraz üstünde olduğu, saatlik en düşük tüketimin ise 0.5 kWh olduğu görülmektedir.

5.2 Güç Sistemi Kurulacak Yerin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

PMTAL' nin coğrafi konumu 41° 37' Kuzey enlemi ve 27° 30' Doğu boylamındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği ise 195 metredir.

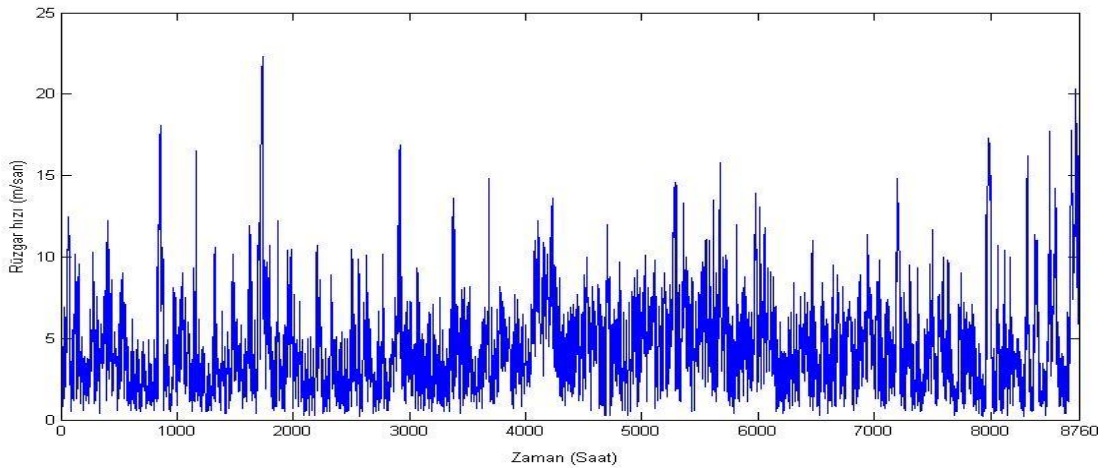
5.2.1 Rüzgar enerjisi potansiyeli

Kırklareli ilinin Pınarhisar ilçesine ait 2016 - 2017 yıllarına ait rüzgâr verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğünün TUMAS veri tabanından elde edilmiştir. Çizelge 5.2' de çalışma alanı için aylık ortalama rüzgar hızı gösterilmektedir. Bu çizelge değerlendirildiğinde en düşük rüzgar hızlarının Şubat, Nisan ve Mayıs aylarında, en yüksek rüzgar hızının Ağustos ayında ortalama 5.83 m/s olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Aylık ortalama rüzgar hızı.

Aylar	Rüzgar Hızı(m/s)
Ocak	3,98
Şubat	3,74
Mart	4,50
Nisan	3,39
Mayıs	3,91
Haziran	5,07
Temmuz	4,83
Ağustos	5,83
Eylül	4,62
Ekim	4,74
Kasım	4,26
Aralık	4,99

Bölgenin saatlik ortalama rüzgar hızının grafiği Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde saatlik ortalama en yüksek rüzgar hızının 20 m/s' den fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 : Kırklareli/Pınarhisar saatlik ortalama rüzgar hızı değerleri(m/s).

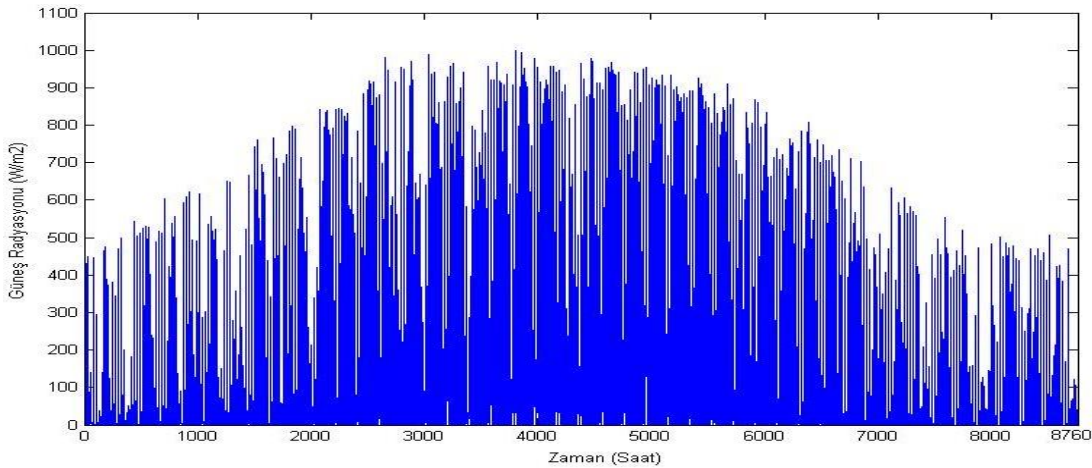
5.2.2 Güneş enerjisi potansiyeli

Çalışma alanına ait aylık ortalama güneş radyasyon verisi Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. Konumu kuzey yarım kürede olduğundan kışın güneşlenme süresi daha az, yazın daha yüksektir. Çalışma alanı için aylık ortalama güneş radyasyon değerleri 5,90 kWh/m²/gün ile 1,20 kWh/m²/gün arasındadır ve Çizelge 5.3' de gösterilmektedir. Bu çizelge değerlendirildiğinde en düşük aylık ortalama güneş radyasyon değeri Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında, en yüksek aylık ortalama radyasyon değeri Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3 : Aylık ortalama güneş radyasyonu (EİGM,2019).

Aylar	Güneş Radyasyonu(kWh/m ² /gün)
Ocak	1,50
Şubat	2,27
Mart	3,20
Nisan	4,44
Mayıs	5,63
Haziran	5,90
Temmuz	5,83
Ağustos	5,33
Eylül	4,20
Ekim	2,70
Kasım	1,65
Aralık	1,20

Çalışma alanının saatlik ortalama güneş radyasyon (Wh/m²) verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğünün TUMAS veri tabanından alınmış ve Şekil 5.3' te gösterilmiştir. Şekil 5.3 incelendiğinde en yüksek saatlik ortalama radyasyon miktarının yaklaşık 1000 Wh/m² olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 : Kırklareli/Pınarhisar saatlik ortalama güneş radyasyonu(Wh/m²).

5.3 Hibrit Enerji Sisteminin Tanımlanması

Bir hibrit enerji sistemi (HES), bazı enerji kaynaklarının eksik yönlerini diğer enerji kaynaklarının gücü ile tamamladığı, tek bir sistem oluşturmak için birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanılması ile oluşturulur. Bu çalışmamızda fotovoltaik (FV), rüzgar türbini (RT) ve akü bankasından oluşan hibrit bir enerji sistemini tasarlanacaktır. Bu konfigürasyon şebeke bağlantısız (off-grid) çalışabildiği gibi şebeke bağlantılı (on-grid) olarak ta çalışması mümkündür. Şebeke bağlantılı sistemlerin kullanılabilmesi için elektrik iletim hattının kullanım yerinde bulunması

gerekmektedir. Bu şekilde güneşten ve rüzgardan üretilen enerji eğer tüketim yerinde kullanım varsa burada kullanılabilir. Eğer kullanılmıyorsa veya üretilen enerji kullanılan enerjiden fazlaysa, üretilen enerjinin bu kısmı şebekeye verilebilir. Şebeke bağlantısız bir sistemde akü bankası kullanılmaktadır. Akü bankası, rüzgar türbini ve fotovoltaik panelin elektrik üretmediğinde bile yükü besleyebilecek enerji kapasitesi dahilinde sağlamaktadır. Bunu sistemde üretilen güç yükü aştığında fazla gücü depolayarak yapmaktadır. Enerji depolama sistemi, yenilenebilir enerjinin öngörülemez ve değişken doğasının eksikliğini gidermek için esastır.

5.3.1 Fotovoltaik panel özellikleri

FV sistemi tarafından üretilen elektrik gücü, seçilen bölgenin ortalama ışınımı (W/m^2) dikkate alınarak belirlenir. PV panelinin t zamanına göre çıkış gücü, aşağıdaki eşitlik 5.1 ile elde edilebilir.

$$P_{FV}(t) = \eta_{FV} \cdot P_{FV_{mak}} \cdot \left(\frac{A(t)}{A(s)} \right) \quad (5.1)$$

Burada $P_{FV}(t)$ birim zamanda üretilen gücü, η_{FV} panel verimini, $P_{FV_{mak}}$ panelin maksimum üretebildiği gücü, $A(t)$ birim zamanda panelin yüzeyine düşen radyasyon miktarını (W/m^2) ve $A(s)$ $1000 W/m^2$ ' dir.

Hibrit sistemde kullanacağımız her bir panel 120 W gücünde ve 12 V nominal gerilime sahiptir. Sistemde kullanılan fotovoltaik panelin verileri Çizelge 5.4' de verilmiştir. 120W Fotovoltaik panelin başlangıç maliyeti ve değiştirme maliyeti birbirine eşit olup 150\$' dır. İşletme ve bakım maliyeti çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilecektir.

Çizelge 5.4 : Test edilmiş fotovoltaik panel özellikleri.

Parametreler	Değerler
Tipik tepe gücü ($P_{FV_{mak}}$)	120 W
Tepe voltaj (V_{mp})	17,2 V
Tepe akım (I_{mp})	6,98 A
Kısa devre akımı (ISC)	7,51 A
Açık devre voltajı (VOC)	21,6 V
Panel verimi	%90
Çıkış toleransı	\pm %3
Çalışma sıcaklığı	-40 °C +80 °C

5.3.2 Rüzgar türbini özellikleri

Bir rüzgar türbininin çalışma prensibine göre rüzgar hızı, devreye girme hızı (cut-in, V_c) değerini aştığı zaman rüzgar türbini elektrik enerjisi üretmeye başlar. Rüzgar hızı, devreden çıkma hızı (cut-out, V_{co}) değerini aştığında ise türbin kendini korumak için çalışmayı durdurur. Rüzgar türbini ($P_{RT}(t)$) tarafından t zamanına göre üretilen enerji eşitlik 5.2' de ifade edilmiştir.

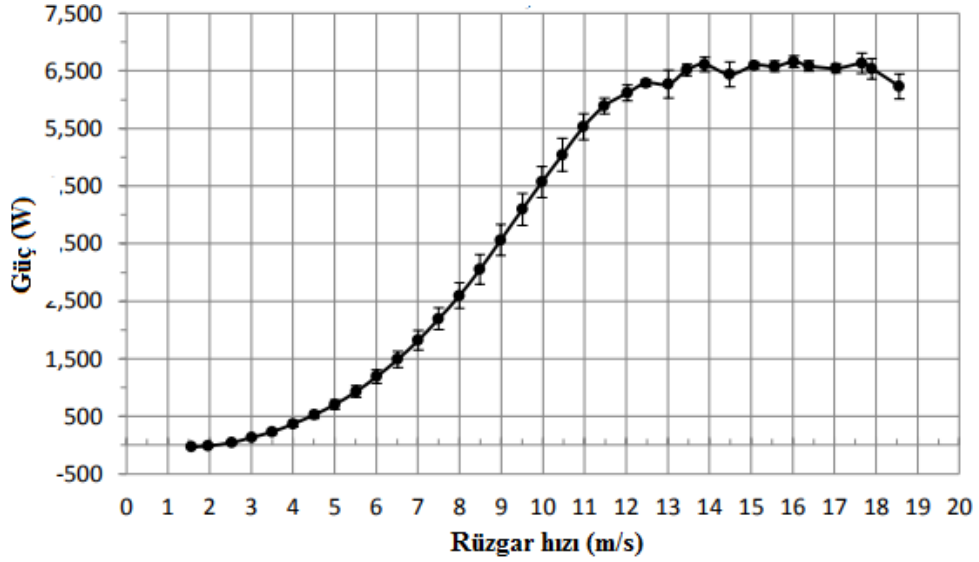
$$P_{RT}(t) = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot C_p \cdot \rho_{air} \cdot A_r \cdot V_{RT}^3(t) \quad (5.2)$$

C_p verimlilik faktörü ise, ρ hava yoğunluğudur (1,225 Kg/m³), A_r rüzgar türbinin kanatlarının süpürdüğü alandır (m²) ve V rüzgar hızı (m/s)' dir.

Çizelge 5.5 : Bergey Excel 6 rüzgar hızına göre verimliliği.

m/s	C_p	m/s	C_p
1,5	-	10,0	0,25
2,0	-	10,5	0,24
2,5	0,14	11,0	0,23
3,0	0,27	11,5	0,21
3,5	0,29	12,0	0,19
4,0	0,31	12,5	0,17
4,5	0,31	13,0	0,15
5,0	0,30	13,5	0,14
5,5	0,30	14,0	0,13
6,0	0,30	14,5	0,11
6,5	0,29	15,0	0,10
7,0	0,29	15,5	0,09
7,5	0,28	16,0	0,09
8,0	0,27	16,5	0,08
8,5	0,27	17,0	0,07
9,0	0,26	17,5	0,06
9,5	0,26	18,0	0,05

Hibrit sistemde kullanmak için Bergey Excel 6 kW 220 V AC rüzgar türbini seçilmiştir ve güç eğrisi Şekil 5.4' de gösterilmiştir. Bergey Excel nominal gücü 11 m/s hızda 5.5 kW olup maksimum gücü 16 m/s hızda 6.7 kW' tır. Rüzgar hızı 2,5 m/s' den fazla olduktan sonra türbin elektrik üretmeye başlar. Güç üretim hesaplamasında kullanacağımız türbinin rüzgar hızına göre verimlilik faktörü (C_p) çizelge 5.5' te verilmiştir. Türbinin başlangıç maliyeti 21995\$' dir. Türbinin hub yüksekliği 10 m olarak belirlenmiştir. Sistemde kullanılan türbinin özellikleri çizelge 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.4 : Bergey Excel 6 kW güç eğrisi.

Çizelge 5.6 : Rüzgar türbini özellikleri.

Parametreler	Değerler
Tepe gücü	6.7 kWh
Nominal hızı	11 m/s
Devreye girme hızı (cut-in)	2,5 m/s
Devreden çıkma hızı (cut-out)	Yok
Mak. Tasarlanan rüzgar hızı	60 m/s
Rotor çapı	6.2 m
Aşırı hız koruması	autofurl
Tipi	3 kanatlı, yatay

5.3.3 Batarya grubu özellikleri

Hibrit sistemde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları doğası gereği sürekli değildir. Bu sistemlerde enerji kimi zaman gerektiğinden fazla üretilebilir kimi zamanda gerektiğinden az. Bu güç güvensizliği sorununu çözebilmek için sistemde bataryalar kullanılmaktadır. Akü davranışı temel olarak şarj durumu (SOC) ile karakterize edilir. Bataryalar şarj ve deşarj olmak üzere iki durumda çalışır. Fotovoltaik panel ve rüzgar türbininden üretilen toplam güç yük tarafından tüketilen güçten daha büyükse bataryalar şarj durumundadır. Bu durumda bataryanın zamana göre şarj durumu eşitlik 5.3 ile ifade edilir.

$$SOC(t) = SOC(t - 1) \cdot (1 - \sigma) + [(P_{RT}(t) + P_{FV}(t)) - P_Y(t)] \cdot \eta_{BC} \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte $SOC(t)$ ve $SOC(t - 1)$ t zamanda batarya grubundaki şarj miktarını, σ saatlik şarj-deşarj oranını, $P_{RT}(t)$ rüzgar türbini tarafından t zamanda üretilen

gücünü, $P_{FV}(t)$ fotovoltaik panel tarafından t zamanda üretilen gücünü, $P_Y(t)$ t zamanda enerji talebini ve η_{BC} bataryaların şarj verimini göstermektedir.

Fotovoltaik panel ve rüzgar türbininden üretilen toplam güç yük tarafından tüketilen güçten daha küçükse bataryalar deşarj durumundadır. Bu durumda bataryanın zamana göre deşarj durumu aşağıdaki eşitlik 5.4 ile ifade edilir. Burada η_{BD} batarya grubunun deşarj verimini göstermektedir.

$$SOC(t) = SOC(t - 1). (1 - \sigma) + [P_Y(t) - (P_{RT}(t) + P_{FV}(t))]/\eta_{BD} \quad (5.4)$$

Hibrit güç üretim sisteminde batarya olarak Surrette 6-CS-25P kullanılmıştır. Bataryanın nominal gerilimi 6 V, nominal kapasitesi 1,156 Ah (6,94 kWh)' dir. Bataryanın başlangıç maliyeti 1.229\$ ve işletme-bakım maliyeti 10\$/yıl olarak belirlenmiştir Bataryanın teknik özellikleri Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Batarya teknik özellikleri.

Parametreler	Değerler
Nominal gerilim	6 V
Nominal kapasite	1156 Ah (6.94 kWh)
Minimum ömrü	4 yıl
Minimum şarj durumu	%40
Maksimum şarj durumu	%100
Şarj-deşarj oranı	%0,2 /gün
Şarj verimi	%80
Deşarj verimi	%100

5.3.4 Hibrit sistem tasarım parametreleri

Hibrit sistemin tasarımına başlamadan önce sistem bileşenlerinin maliyetleri ve ömürleri, sistemin ömrü, zaman dilimi v.b. gibi optimizasyonda kullanılacak parametrelerin önceden belirlenmesi gerekir. Tasarlanacak olan hibrit sistemin tasarım parametreleri çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Hibrit FV/RT sisteminde kullanılan tasarım parametreleri.

Parametreler	Değerler
Sistemin ömrü	20 yıl
Türbin ve Panel ömrü	20 yıl
Akü ömrü	5 yıl
Yıllık faiz oranı	%6
Fotovoltaik panel fiyatı	300\$
Fotovoltaik panel kurulum ücreti	150\$
Fotovoltaik panel bakım maliyeti	Yok sayılmıştır
Rüzgar türbin fiyatı	21995\$
Rüzgar türbin kurulum ücreti	5494\$

Çizelge 5.8 (devamı) : Hibrit FV/RT sisteminde kullanılan tasarım parametreleri.

Parametreler	Değerler
Rüzgar türbini bakım maliyeti	1000\$/yıl
Akü fiyatı	1229\$
Zaman birimi	Saat(h)
Akü ilk doluluk oranı	%50

5.4 Hibrit Sistemin Modellenmesi ve Boyut Optimizasyonu

5.4.1 Amaç fonksiyonu

Hibrit sistemde Yapay Arı koloni optimizasyon algoritmasının temel amacı, optimum yıllığa indirgenmiş toplam maliyetin (M_{toplam}) en aza indirilmesidir. Optimize edilen amaç fonksiyonu M_{toplam} , yıllık sermaye maliyeti ($M_{sermaye}$) ve yıllık bakım maliyetinin ($M_{bakım}$) toplamından oluşmaktadır (Eşitlik 5.5).

$$M_{toplam} = M_{sermaye} + M_{bakım} \quad (5.5)$$

Toplam sermaye maliyetini hesaplamak için ise sermayeyi geri kazanma faktörü (SGKF) kullanılmıştır. Eşitlik 5.6' da gösterildiği gibi SGKF yıllık faiz oranına (i) ve sistemin ömrüne (n) bağlı olarak değişmektedir.

$$SGKF = \frac{i+(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \quad (5.6)$$

Buna göre sistemin yıllık sermaye maliyeti ($M_{sermaye}$) aşağıda eşitlik 5.7' deki şekilde hesaplanmıştır;

$$M_{sermaye} = SGKF \cdot [N_{türbin} \cdot M_{türbin} + N_{panel} \cdot M_{panel} + (4 \cdot N_{akü} \cdot M_{akü})] \quad (5.7)$$

$N_{türbin}$ toplam rüzgar türbini sayısını, $M_{türbin}$ bir rüzgar türbinin sermaye maliyetini, N_{panel} toplam fotovoltaik panel sayısını, M_{panel} bir fotovoltaik panelin sermaye maliyetini, $N_{akü}$ toplam akü sayısını, $M_{akü}$ bir akünün sermaye maliyetini göstermektedir. Sistemin ömrü dikkate alındığından akü sayısı 4 ile çarpılmıştır. Tasarlanan sistemin yıllık toplam bakım maliyeti de eşitlik 5.8' de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$M_{bakım} = (N_{türbin} \cdot M_{türbin}^{bakım}) + (N_{akü} \cdot M_{akü}^{bakım}) \quad (5.8)$$

$M_{türbin}^{bakım}$ bir rüzgar türbinin, $M_{akü}^{bakım}$ bir akünün yıllık bakım maliyetini göstermektedir. Burada fotovoltaik panelin bakım maliyetleri düşük olduğundan ihmal edilmiştir.

Tasarlanan sistemde talep edilen güç değerlerinin güneş paneli ve rüzgar türbini tarafından gün içerisinde karşılanması ve bunun en uygun maliyet ile sistemin tasarımının yapılması algoritmanın kısıtlamasıdır.

$$(\sum_{t=1}^T (P_{FV} \cdot \Delta t) + \sum_{t=1}^T (P_{RT} \cdot \Delta t)) \geq \sum_{t=1}^T (P_{talep} \cdot \Delta t) \quad (5.9)$$

Burada P_{FV} saatlik paneller tarafından üretilen gücü ifade etmektedir. P_{RT} rüzgar türbini tarafından saatlik üretilen gücü ifade etmektedir. P_{talep} saatlik talep gücü ifade etmektedir. Sistemin batarya sayısının hesaplanabilmesi için gerekli depolama kapasitesinin belirlenmesi eşitlik 5.10' da gösterilen denklem ile bulunur.

$$S_{kap} = \sum_t^{t_{mak}} (P_{FV}^t + P_{RT}^t - P_{talep}^t) \Delta t - \sum_t^{t_{min}} (P_{FV}^t + P_{RT}^t - P_{talep}^t) \Delta t \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10' da t_{mak} kümülatif enerjinin en büyük olduğu zamanı, t_{min} kümülatif enerjinin en küçük olduğu zamanı tanımlar. P_{FV}^t fotovoltaik panellerin t zamanda ürettiği gücü, P_{RT}^t rüzgar türbinlerinin t zamanda ürettiği gücü ve P_{talep}^t yük tarafından t zamanda talep edilen gücü göstermektedir.

Sistemdeki fotovoltaik panel ve rüzgar türbinlerinin ürettiği güç aşağıdaki eşitlik 5.11' de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} P_{RT}^t &= N_{türbin} \cdot P_{RT-tek}^t \\ P_{FV}^t &= N_{panel} \cdot P_{FV-tek}^t \end{aligned} \quad (5.11)$$

P_{RT-tek}^t bir adet türbinin ürettiği gücü ve P_{FV-tek}^t bir adet fotovoltaik panelin ürettiği gücü göstermektedir. Buna göre akü sayısı denklemi eşitlik 5.12' de gösterilmiştir.

$$N_{akü} = \frac{S_{kap}}{\eta \cdot S_{akü}} \quad (5.12)$$

$N_{akü} \in Z^+$ olmak üzere akünün η nominal kapasitesinin kullanım oranını ifade eder. $S_{akü}$ her bir akünün kapasitesini ifade etmektedir.

Bu tür sistemlerde maliyetlerin minimuma çekilmesi fiyat/performans açısından gereksinimlerin başındadır. Sistemin tasarlanmasında talep edilen gücü karşılamak temel zorunluluk olmakla birlikte minimum maliyetleri elde etmek gereklidir.

5.4.2 Güvenilirlik

Güvenilir bir hibrit güç sisteminin belirli bir süre boyunca yük talebini karşılamak için yeterli güce sahip olması gereklidir. Hibrit sistemler tarafından üretilen gücün

öngörülemeyen doğası nedeniyle, güvenilirlik analizi bu tür sistemlerin tasarımı için hayati bir rol oynar. Güvenilirlik analizini gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler vardır. Eşitlik 5.13' te tanımlanan güç kaynağı kaybı olasılığı (LPSP), bu amaç için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T P_{talep}(t)} \quad (5.13)$$

Burada $LPS(t)$ üretilen enerjinin talep edilen enerjiden az olduğu güç kaynağı kaybıdır ve eşitlik 5.14' de gösterilmiştir.

$$LPS = P_{talep}(t) - (P_{türbin}(t) + P_{panel}(t) + P_{akü}(t)) \quad (5.14)$$

LPSP, 0 ile 1 arasında bir sayı ile tanımlanır. LPSP' nin sıfır (0) olma durumunda yükün her zaman karşılanabileceği anlamına gelir. LPSP' nin bir (1) olma durumunda ise yükün asla karşılanamayacağı anlamına gelir.

5.4.3 Kısıtlamalar ve karar değişkenleri

Hibrit sistem optimizasyonunun esas noktası, bazı kısıtlamalara tabi olan sistemin toplam maliyetinin en aza indirilmesidir. Bu nedenle Optimizasyon probleminde uygulanan amaç fonksiyonu aşağıdaki kısıtlamalara tabidir:

Fotovoltaik paneller, türbinler ve akü sayıları aşağıdaki eşitliklerde gibi negatif olmayan tamsayı değişkenleri olmalıdır.

$$N_{panel} = sayısal, N_{panel} \geq 0, N_{panel} \leq N_{panel}^{mak} \quad (5.15)$$

$$N_{türbin} = sayısal, N_{türbin} \geq 0, N_{türbin} \leq N_{türbin}^{mak} \quad (5.16)$$

$$N_{akü} = sayısal, N_{akü} \geq 0 \quad (5.17)$$

$$LPSP = sayısal, LPSP \leq LPSP_{mak} \quad (5.18)$$

Burada N_{panel}^{mak} maksimum kullanılabilir panel sayısını, $N_{türbin}^{mak}$ maksimum kullanılabilir türbin sayısını ve $LPSP_{mak}$ maksimum güvenilirlik oranını ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonumuzda N_{panel} , $N_{türbin}$, $N_{akü}$ olmak üzere üç karar değişkeni güvenilirlik ve en iyi maliyet göz önüne alınarak optimum şekilde ayarlanacaktır.

5.4.4 Yapay arı koloni algoritması

Güç sistemini oluşturacak fotovoltaik panel sayısı, rüzgar türbini sayısı ve bunlara bağlı olarak seçilen akü sayılarını belirlemek üzere sezgisel optimizasyon yöntemi olarak Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması seçilmiştir. Yapay Arı Kolonisi algoritması, Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilmiştir, gerçek parametrelili, konveks olmayan ve düzensiz optimizasyon problemlerini çözmek için bal arılarının yiyecek arama davranışlarını simule etmektedir. Bu algoritmada işçi, gözcü ve kaşif arılar olmak üzere üç tür arı bulunmaktadır. Bu arıların koloni içerisinde görev dağılımları şu şekilde tanımlanmıştır.

Her bir besin kaynağı bir işçi arı ile ilişkilendirilir ve her bir işçi arı çevresinde yeni bir besin kaynağı belirlemeye çalışır. İşçi arılar tarafından tespit edilen besin kaynağının nektar miktarı, mevcut besin kaynağının nektar miktarından yüksek olduğunda hafızaya alınır. Arama sürecinin tamamlanmasından sonra, işçi arılar, nektar gıda kaynaklarına ilişkin bilgilerini, dans alanında sallanma dansı aracılığıyla gözcü arılarla paylaşırlar. Gözcü arılar, işçi arılardan elde edilen bilgileri değerlendirir ve bu bilgilere göre seçilen besin kaynağının bulunduğu bölgede yeni bir besin kaynağı bulmaya çalışır. Dolayısıyla gözcü arıların eğilimi nektar miktarının yüksek olduğu gıda kaynaklarını araştırmaktır. Kaşif arılar ise kolonide önceden sayıları tanımlanmamıştır. Belirli bir deneme sayısı içerisinde (limit) yiyecek kaynaklarını tüketen işçi arılar yeni kaynaklar aramak için kâşif arı olurlar. Kâşif arılar da rastgele bir yiyecek kaynağı bularak nektar depolama işlemine devam eder. Bütün bu adımlar algoritmanın bir çevrimini oluşturur ve sonlanma kriteri sağlanana kadar bu adımlar devam eder. Her bir besin kaynağı kolonide kullanılan bir arı ile ilişkilidir. Bu nedenle, gıda kaynağı sayısı, kullanılan arı sayısına eşittir. ABC algoritmasında gıda kaynağı, optimizasyon probleminin olası bir çözümünü belirtir ve gıda kaynağındaki nektar miktarı ise bu çözümün kalitesini temsil eder.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji sisteminin analizi ve optimizasyonu için Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılmıştır. Yapay arı algoritması ile optimizasyon için nesne tabanlı bir programlama dilinde yazılım geliştirilmiştir.

Geliştirilen programa ait algoritmanın adımları aşağıda ve akış şeması Şekil 5.5' de gösterilmiştir.

1:Başlangıç parametrelerini ata ($N_{panel}^{mak}, N_{turbin}^{mak}, iter^{mak}, limit^{mak}, lp_{sp}^{mak}, bs^{mak}$).

2: Meteorolojik verileri (rüzgar hızı, güneş radyasyonu) ve yük değerini ($P_{yük}$) al.

4: $P_{RT-tek}(t)$ ve $P_{FV-tek}(t)$ değerlerini eşitlik 5.1 ve 5.2' yi kullanarak hesapla.

5: $x_{kp} = x_p^{min} + rastgele(0,1)(x_p^{max} - x_p^{min})$ eşitliğini kullanarak rastgele besin kaynaklarını oluştur.

6: Besin Kaynakların geliştirilememe limitlerini ($limit = 0$) sıfırla.

7: Amaç fonksiyonunu çalıştır.

- Eşitlik 5.11' i kullanarak $P_{RT}(t)$ ve $P_{FV}(t)$ değerlerini hesapla ve eşitlik 5.12' yi kullanarak akü sayısını $N_{akü}$ hesapla.
- Toplam maliyeti M_{toplam} hesapla.

8:Her bir kaynağın (x_k), uygunluk değerlerini ($uygunluk_k$) hesapla.

9: $v_{kp} = x_{kp} + \phi_{kp}(x_{kp} - x_{np})$ eşitliğini kullanarak işçi arılar ile yeni kaynak üret.

10:Amaç fonksiyonunu çalıştır ve yeni çözümün uygunluk değerini hesapla, x_k ve v_k çözümlerinin uygunluk değerine aç gözlü seçimi uygula iyi olanı kaydet.

11: Eğer x_k kaynağı geliştirilemezse limiti artır ($limit_k$), değilse sıfırla ($limit = 0$). Maksimum işçi arı sayısına ulaşana kadar adım 9' geri dön.

12: Gözcü arıların seçim yapması için uygunluk değerlerine göre hesaplanan olasılık değerlerini (p_k) hesapla.

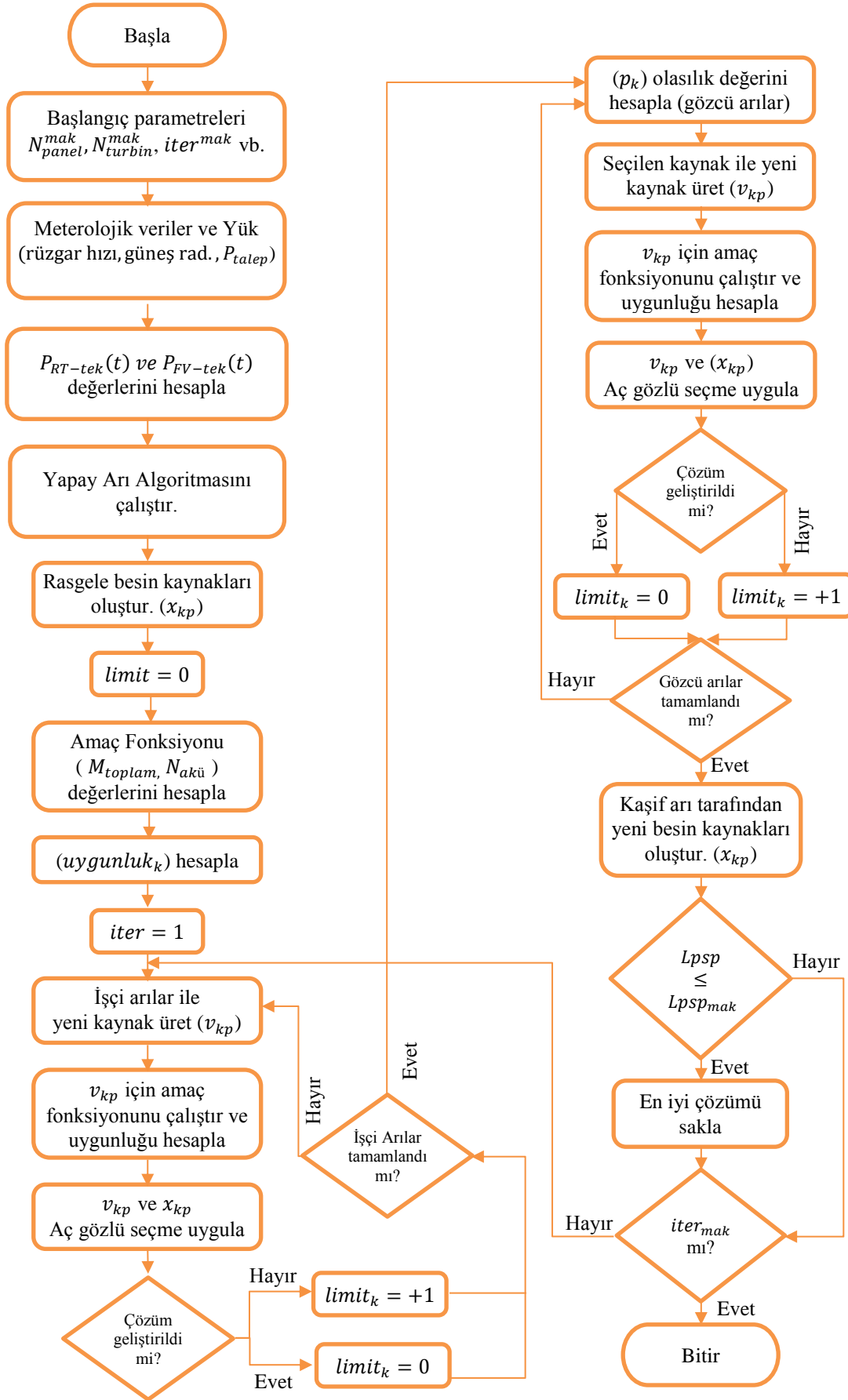
13:Adım 9' daki gibi eşitliği kullanarak gözcü arılar için yeni bir kaynak üret.

14:Amaç fonksiyonunu çalıştır ve yeni çözümün uygunluk değerini hesapla, x_k ve v_k çözümlerinin uygunluk değerine aç gözlü seçimi uygula iyi olanı kaydet.

15:Eğer x_k kaynağı geliştirilemezse limiti artır ($limit_k$), değilse sıfırla ($limit = 0$). Maksimum gözcü arı sayısına ulaşana kadar adım 12' ye geri dön.

16:Eğer kaynakların geliştirilememe limiti maksimum limiti aşmış ise ($limit_i \geq limit^{max}$) kaşif arı tarafından adım 5' deki eşitliği kullanarak yeni bir kaynak üret.

17:LPSP' yi kontrol et ve şimdiye kadar bulunan en iyi çözümü hafızada tut ve maksimum iterasyona ulaşana kadar adım9' a geri dön ($iter \leq iter^{mak}$).

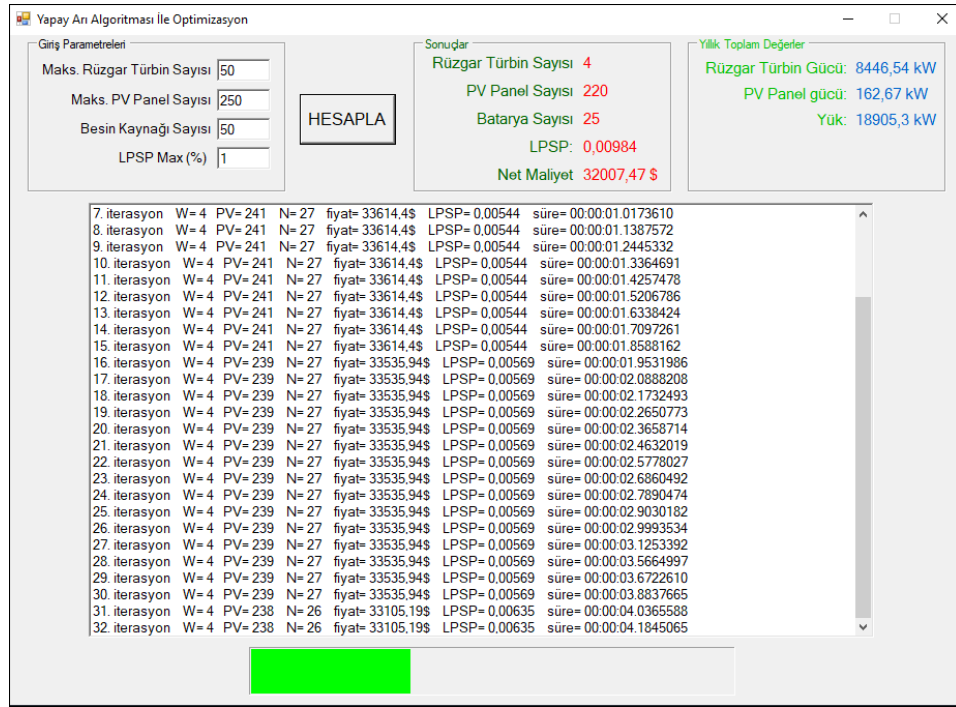


Şekil 5.5 : YAK algoritması ile geliştirilen programın akış şeması.

5.5 Bulgular

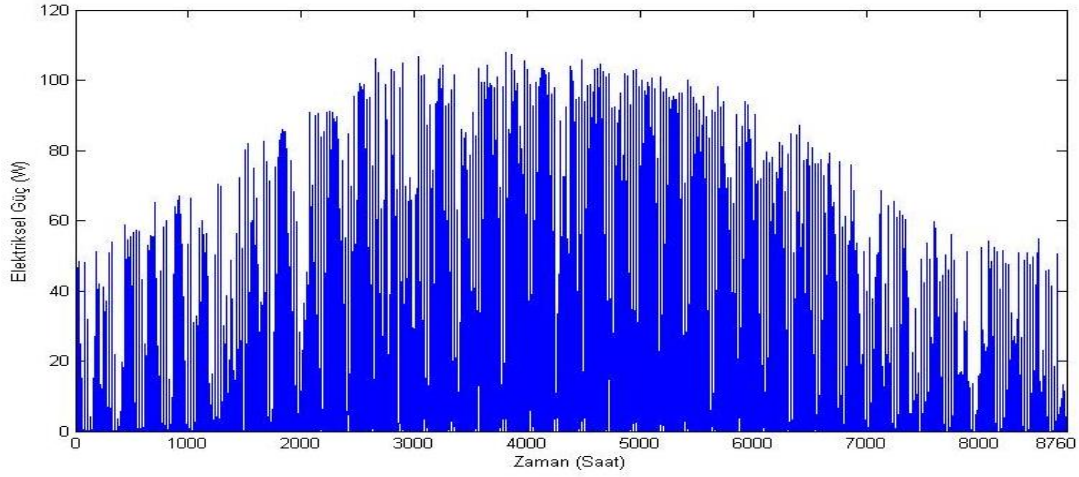
Bu çalışmada, sezgisel bir optimizasyon algoritması olan Yapay Arı Kolonisi algoritması yardımı ile fotovoltaik panel ve rüzgar türbininden oluşan şebekeden bağımsız (off-grid) bir hibrit güç sisteminin boyutu belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak, 41° 37' Kuzey Paraleli ve 27° 30' Doğu boylamında, Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde bulunan bir okul binası seçilmiştir.

Boyut optimizasyonu için geliştirilen algoritma nesne tabanlı bir programlama dili olan C# programlama dilinde yazılmış ve algoritmada kullanılacak kısıtlamaların girilmesi ve sonuçların gösterilmesi için görsel bir arayüz de tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz şekil 5.6'da gösterilmiştir.



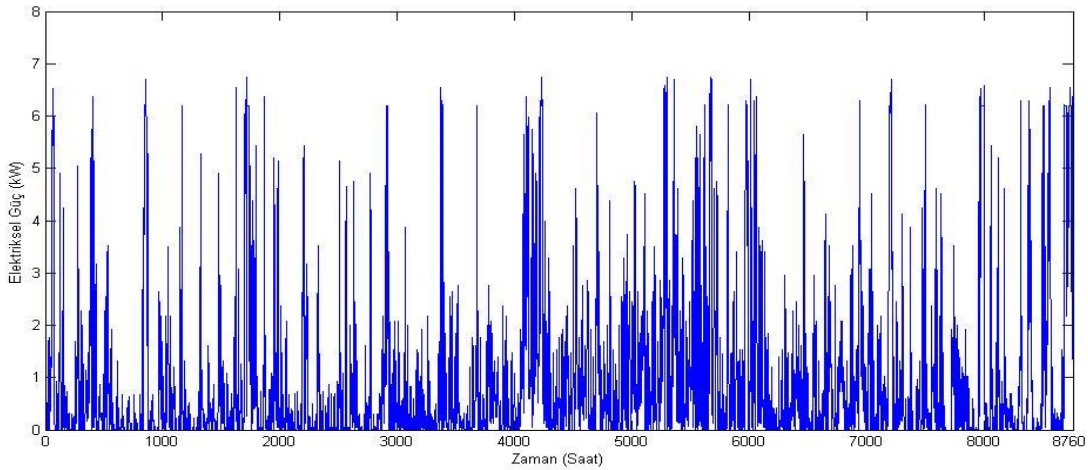
Şekil 5.6 : Sistemin optimizasyonu için tasarlanan arayüz.

Çalışmanın analizinde kullanılacak bir yıllık rüzgâr hızı ve güneş radyasyonun bulunduğu veriler Kırklareli Metroloji İl Müdürlüğü'nün ölçüm istasyonlarından (TUMAS veri tabanı) elde edilmiştir. Bu yıllık saatlik veriler ışığında sistemde kullanılmak üzere seçilen fotovoltaik panel ve rüzgar türbinlerin matematiksel modelleri yardımıyla ortalama yıllık saatlik üretebilecekleri güç değerleri hesaplanarak şekil 5.7' de ve şekil 5.8' de gösterilmiştir. Grafiklerde 0 noktası Ocak ayının 1. gününü göstermektedir.



Şekil 5.7 : 120 W'lık bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik enerjisi.

Şekil 5.7 incelendiğinde, bir fotovoltaik panelin en fazla güç ürettiği aylar güneş radyasyonunun en fazla olduğu ilkbahar ve yaz ayları olduğu görülmektedir. Üretilen maksimum güç 100-105 Watt aralığındadır. Güneş radyasyonunun düşük olduğu kış aylarında ise üretilen maksimum güç 60-65 Watt aralığındadır.



Şekil 5.8 : 6 kW'lık bir rüzgar türbini tarafından üretilen elektrik enerjisi.

Şekil 5.8 incelendiğinde yıl boyunca rüzgar türbini tarafından düzenli olarak güç üretildiği ve üretilen maksimum gücün, türbinin tepe gücü olan 6.7 kWh civarında olduğu görülmektedir.

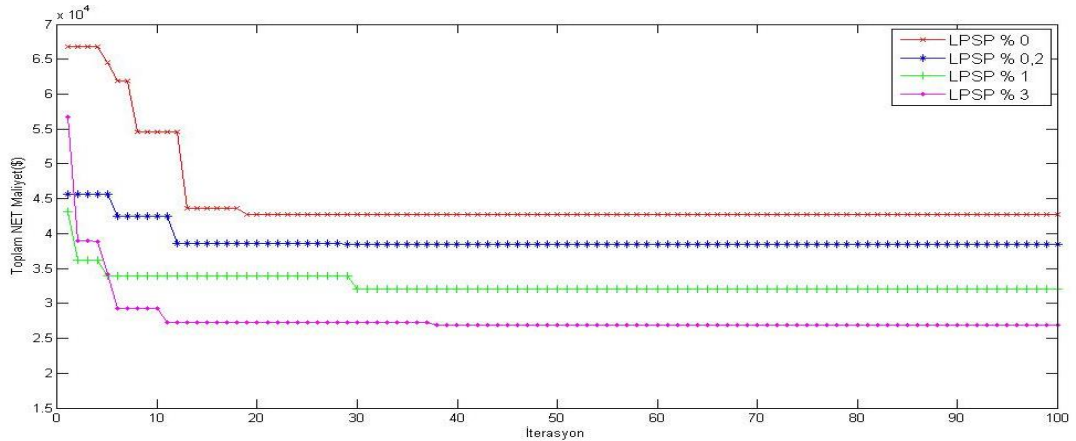
Uygulama sahası olarak seçilmiş okul binasının talep ettiği elektrik enerjisi ihtiyacı belirlenmiş ve yıllık saatlik güç tüketim değerleri Şekil 5.1' de verilmişti. Talep gücü karşılamak üzere saatlik ortalama (8760 saat) veriler üzerinde işlemler yapılmıştır. Güneş panellerinin güneş batımından sonra devre dışı kalacağı, seçilen türbin 2.5 m/s rüzgar hızına kadar elektrik üretimi yapamayacağı göz önüne alınmıştır. Bu veriler

ışığında talep gücü karşılayacak hibrit fotovoltaik rüzgar güç sisteminin oluşturulmasında Yapay Arı Kolonisi algoritmasından faydalanılmıştır. Bu sistemde fotovoltaik panel sayısı ve rüzgâr türbini sayısı Yapay Arı Kolonisi algoritmasında besin kaynağını oluşturan parametreler olarak belirlenmiştir. Algoritmada besin kaynağı, işçi arı, ve gözcü arı sayıları 50 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler Yapay Arı Kolonisi algoritması üç temel aşaması olan işçi arı, gözcü arı ve kaşif arı safhalarından geçirilmiştir. YAK algoritmasında kullanılan parametreler çizelge 5.9’ da verilmiştir.

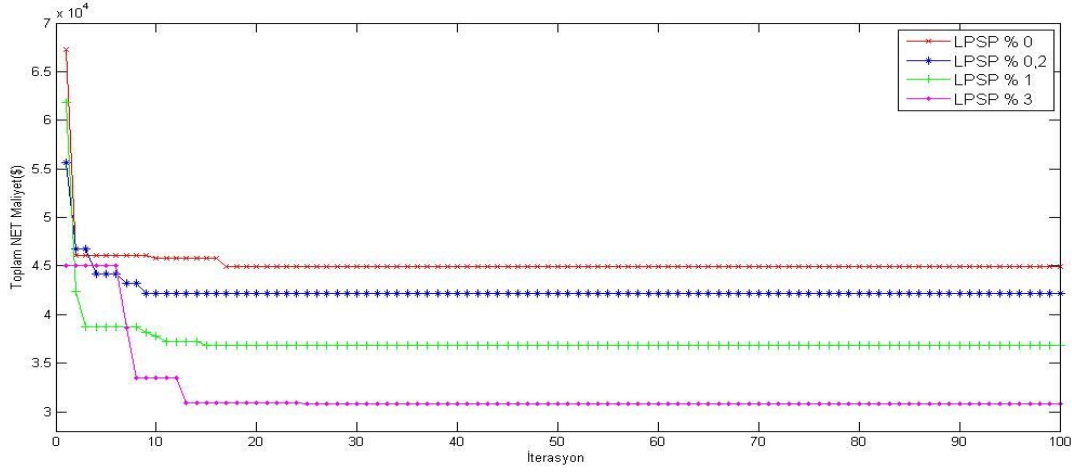
Çizelge 5.9 : YAK algoritmasının parametreleri.

Parametreler	Değerler
Popülasyon boyutu	100
İşçi arı	50
Gözcü arı	50
Besin kaynağı	50
Limit	15
Maksimum iterasyon	100

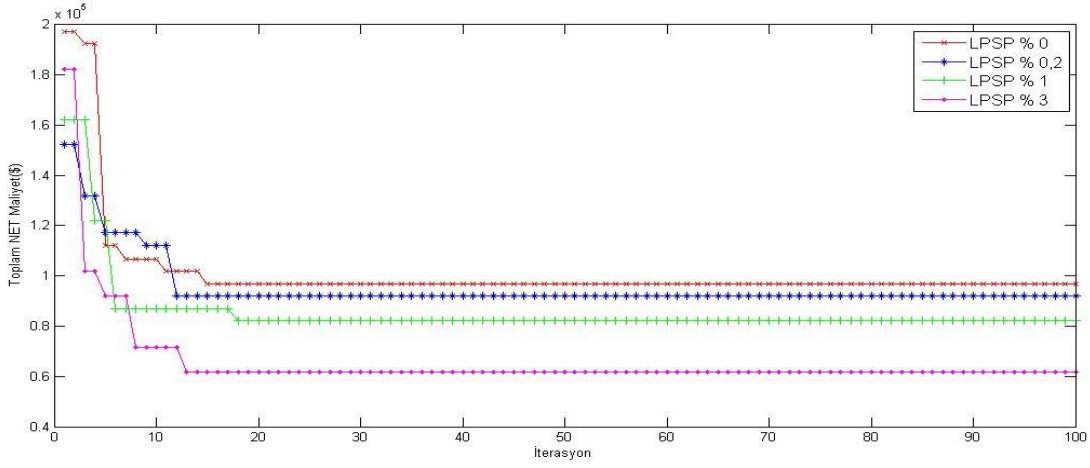
Buna göre maliyetleri minimumda tutacak ve talep gücü istenilen güvenilirlik aralığında karşılayacak sistemin boyut parametreleri optimizasyon işlemine tabi tutulmuştur. YAK algoritması ile parametreleri belirlenmek istenen fotovoltaik panel/rüzgar türbini hibrit güç üretim sistemi, sadece fotovoltaik panel güç üretim sistemi ve sadece rüzgar türbini güç üretim sistemi olmak üzere üç güç sistemi için analiz yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hibrit fotovoltaik panel/rüzgar türbini güç üretim sistemi için yakınsama grafiği şekil 5.9’ da gösterilmektedir. Amaç fonksiyonun optimum değere ulaşmasında 100 iterasyonun yeterli olduğu görülmüştür. Buna göre durdurma kriteri 100 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.9 : Hibrit FV-RT güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği.



Şekil 5.10 : Sadece FV güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği.



Şekil 5.11 : Sadece Rüzgar güç sisteminin YAK algoritması ile yakınsama grafiği.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de, FV panel sisteminin ve Rüzgar türbini sisteminin toplam maliyetinin en aza indirilmesi sırasında YAK algoritmasının yakınsama grafiklerini göstermektedir. İterasyonlar sırasında amaç fonksiyon değerinin azalması, YAK algoritmasının performansını onaylamaktadır. Şekiller incelendiğinde YAK algoritmasının güç sistemlerinin optimum boyutlandırmasını hızlı bir şekilde bulduğu görülmektedir.

Sistemlerin boyut optimizasyonu için yakınsama grafiği, belirlenen LPSP değerlerine göre değişim göstermektedir. Hibrit güç sistemi için dört farklı LPSP değeri tanımlanmış ve bunların her biri farklı iterasyon sayılarından sonra optimum çözüme yaklaşmıştır. Sistem maliyetinin belirlenen güvenilirlik aralığı ile ilişkili olduğu görülmektedir. LPSP değeri artırıldığında sistem güvenilirliği azalmakta ve sistem maliyetleri düşmektedir. Sistemin maliyetinin yanında sistem güvenliği de önemli bir unsur olduğundan talepleri kesintiye uğratmayacak LPSP değerinin belirlenmesi

gerekmektedir. Farklı değerlerde tanımlanan LPSP değerlerine göre YAK algoritması sonucunda elde edilen veriler çizelge 5.10’ da verilmiştir.

Çizelge 5.10 : YAK algoritması ile elde edilen güç sistemleri için optimizasyon sonuçları.

Sistem	$LPSP_{mak}$ %	N_{panel}^{mak}	$N_{türbin}^{mak}$	N_{panel}	$N_{türbin}$	$N_{akü}$	LPSP %	Yıllık Toplam Maliyet (\$)	Süre(sn)
Hibrit FV-Rüzgar	0	50	250	230	6	34	0	42717,58	1,90
	0,2	50	250	238	5	31	0,198	38459,84	2,30
	1	50	250	220	4	25	0,984	32007,47	4,41
Fotovoltaik	3	50	250	216	3	21	2,979	26887,41	4,71
	0	2250	0	687	0	46	0	44963,01	2,56
	0,2	2250	0	645	0	43	0,197	42140,66	2,85
	1	2250	0	570	0	37	0,974	36849,06	2,66
Rüzgar	3	2250	0	486	0	30	2,979	30812,85	3,86
	0	0	1000	0	20	74	0	96913,50	2,78
	0,2	0	1000	0	19	70	0,152	91950,37	2,46
	1	0	1000	0	17	62	0,584	82024,10	3,24
	3	0	1000	0	13	45	2,637	61780,06	2,66

Çizelge 5.10, hibrit FV/rüzgar türbini , sadece rüzgar türbini ve sadece FV güç sistemi için optimum boyutlandırma sonucunu özetlemektedir. Çizelge 5.10’ da, farklı belirlenmiş $LPSP_{mak}$, rüzgar türbini ($N_{türbin}^{mak}$) ve fotovoltaik panel (N_{panel}^{mak}) değerlerine göre, rüzgar türbini ($N_{türbin}$), fotovoltaik panel (N_{panel}), akü $N_{akü}$ sayıları, algoritmanın çözüme ulaşma süreleri ve sistemin yıllığa indirgenmiş maliyeti verilmiştir. Farklı $LPSP_{mak}$ değerleri dikkate alındığında hibrit ve tekil güç sistemlerin toplam yıllık maliyet değerleri değişim göstermektedir.

$LPSP_{mak}$ değerini %3 olarak ayarladığımızda, yıllık toplam maliyeti 26887,41\$ olan hibrit FV / Rüzgar güç üretim sisteminin tekil sistemlere göre daha ekonomik bir seçim olduğu görülmüştür. Bu durumda optimum boyutlandırma parametreleri 3 rüzgar türbini 216 fotovoltaik panel ve 21 akü olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre sistemin LPSP %2,979 elde edilmiş ve sonuca ulaşma süresi 4,71 sn olarak bulunmuştur. Sadece FV güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda LPSP değeri de %2,979 olarak elde edilmiş, maliyet 30812,85\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 486 fotovoltaik panel, 30 akü olarak belirlenmiştir. Sadece Rüzgar güç üretim sisteminin olduğu optimizasyon sonucunda ise LPSP değeri de %2,637 olarak elde edilmiş, maliyet 61780,06\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 13 rüzgar türbini, 45 akü olarak belirlenmiştir.

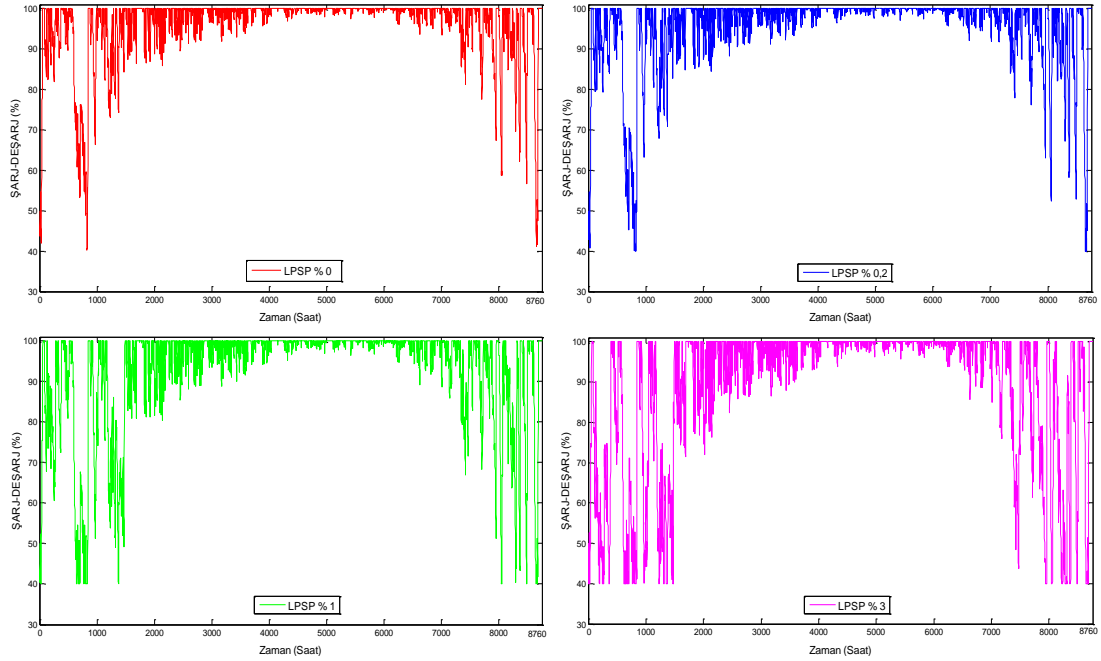
$LPSP_{mak}$ değerini %1 olarak ayarladığımızda, yıllık toplam net maliyeti 32007,47\$ olan hibrit FV / Rüzgar güç üretim sisteminin tekil sistemlere göre daha ekonomik bir seçim olduğu görülmüştür. Bu durumda optimum boyutlandırma parametreleri 4 rüzgar türbini 220 fotovoltaik panel ve 25 akü olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre sistemin LPSP %0,984 elde edilmiş ve sonuca ulaşma süresi 4,41 sn olarak bulunmuştur. Sadece FV güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda LPSP değeri %0,974 olarak elde edilmiş, maliyet 36849,06\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 570 fotovoltaik panel, 37 akü olarak belirlenmiştir. Sadece Rüzgar güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda ise LPSP değeri de %0,584 olarak elde edilmiş, maliyet 82024,10\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 17 rüzgar türbini, 62 akü olarak belirlenmiştir.

$LPSP_{mak}$ değerini %0,2 olarak ayarladığımızda, yıllık toplam net maliyeti 38459,84\$ olan hibrit FV / Rüzgar güç üretim sisteminin tekil sistemlere göre daha ekonomik bir seçim olduğu görülmüştür. Bu durumda optimum boyutlandırma parametreleri 5 rüzgar türbini 238 fotovoltaik panel ve 31 akü olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre sistemin LPSP %0,198 elde edilmiş ve sonuca ulaşma süresi 2,30 sn olarak bulunmuştur. Sadece FV güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda LPSP değeri %0,197 olarak elde edilmiş, maliyet 42140,66\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 645 fotovoltaik panel, 43 akü olarak belirlenmiştir. Sadece Rüzgar güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda ise LPSP değeri de %0,152 olarak elde edilmiş, maliyet 91950,37\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 19 rüzgar türbini, 70 akü olarak belirlenmiştir.

$LPSP_{mak}$ değerini %0 olarak ayarladığımızda ise her üç sistemin de LPSP değerleri %0 olarak bulunmuştur. Üç sistem arasında yıllık toplam net maliyeti 42717,58\$ olan hibrit FV / Rüzgar güç üretim sisteminin tekil sistemlere göre daha ekonomik bir seçim olduğu görülmüştür. Bu durumda optimum boyutlandırma parametreleri 6 rüzgar türbini 230 fotovoltaik panel ve 34 akü olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre sonuca ulaşma süresi 1,90 sn olarak bulunmuştur. Sadece FV güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda maliyet 44963,01\$ olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 687 fotovoltaik panel, 46 akü olarak elde edilmiştir. Sadece Rüzgar güç üretim sisteminin olduğu optimizasyonda ise maliyet 96913,50\$

olarak bulunmuştur ve optimum boyut parametreleri 20 rüzgar türbini, 74 akü olarak belirlenmiştir.

Sonuçları hesaplanan her üç sistemde de LPSP değerleri arttıkça maliyetler azalmakta sistem bileşenlerinin sayıları değişmektedir. LPSP değeri azaldıkça yani talep edilen enerjiyi sağlama oranı arttıkça sistemdeki akü sayılarının da arttığı görülmüştür. Akülerde depolanan enerji LPSP değerine etki ettiği eşitlik 5.14 ile gösterilmiştir. Bu yüzden çalışmamızda akülerin şarj ve deşarj durumları da analiz edilmiştir. Aşağıdaki şekil 5.12’ de en iyi sonuçların alındığı hibrit fotovoltaik/rüzgar güç üretim sisteminin LPSP değerlerine göre bir akünün şarj ve deşarj grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Hibrit FV/rüzgar güç üretim sisteminin farklı LPSP değerlerine göre bir akünün şarj-deşarj grafiği.

Şekil 5.12 incelendiğinde sistem güvenilirliğinin en fazla olduğu, talebin her saat karşılandığı LPSP %0 iken akülerin şarjlarının minimum şarj yüzdesi olan %40’ a kadar düşmedikleri görülmektedir. LPSP değerleri arttıkça akülerin minimum şarja ulaşma zamanları artmaktadır. LPSP değeri %3 olan grafiğe bakıldığından bu açıkça görülebilmektedir. Bu grafik gösteriyor ki LPSP değerindeki yüzdelik oran kadar sistemin talebi karşılayamaması hesap edilmiş ve algoritmadan LPSP değerlerine göre doğru sonuçlar elde edilmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Kırklareli Pınarhisar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi (PMTAL) binasının enerji talebini karşılamak için hibrit fotovoltaik-rüzgâr güç üretim sistemlerinin boyut optimizasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Boyut optimizasyonu için sezgisel yöntemlerden bal arılarının besin arama davranışını temele alan Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Algoritma için C# programlama dilinde yazılım geliştirilmiştir. Algoritmanın amaç fonksiyonu sistem maliyetini en aza indirmektir. Geliştirilen bu yazılım sayesinde binanın güç ihtiyacının hibrit fotovoltaik-rüzgar güç üretim sistemi ile karşılanması durumunda optimum fotovoltaik panel, rüzgar türbini ve bunlara bağlı olarak batarya sayıları bulunmuştur. Bu değerler bulunurken sistemin güvenilirlik analizi için $LPSP_{mak}$ değerleri dikkate alınmıştır. Bununla birlikte sistemin hibrit olmaması durumunda sonuçlar incelenmiş buna göre sistem sadece 120 W'lık fotovoltaik panellerden ve sadece 6 kW'lık rüzgar türbininden oluşturulması durumunda da maliyet çıkarımında bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre $LPSP_{mak}$ %0 iken 42717,58\$ maliyetle, %0,2 iken 38459,84\$ maliyetle, %1 iken 32007,47\$ maliyetle ve %3 iken 26887,41 maliyetle en uygun sonuçların hibrit Fotovoltaik/Rüzgar enerji sistemi olduğu sonucu bulunmuştur.

Program hem sistem maliyetini hem de $LPSP'$ yi optimize etmektedir. Sistemi daha güvenilir hale getirmek istiyorsak, $LPSP$ değerini sifıra yakın tutmak gerekir. Fakat düşük $LPSP$ değeri sistem maliyetlerini de yukarılara çekmektedir. Bu nedenle değerlerin kabul edilebilir değerlerde kalması fiyat/performans dengesi gözetilmesi bakımından uygun olacaktır.

Sonuçlar incelendiğinde hem kullanılan rüzgar türbininin maliyeti hem de rüzgar türbininin kurulması düşünülen bölgenin saatlik ortalama rüzgar değerlerine karşılık üretebileceği güç değerlerine bakıldığında farklı rüzgar türbinlerinin ve fotovoltaik panellerin de denenmesi daha iyi sonuçlar verebilir. Bu denemeler geliştirilen algoritma sayesinde çok hızlı bir şekilde yapılabileceği sonuçlardan da çıkarılabilir.

Ayrıca geliştirilen yazılım sayesinde de farklı bölgelerin enerji ihtiyacını karşılayacak hibrit sistemlerin boyut optimizasyonu kolaylıkla yapılabilir. Sonuç olarak, bu çalışma ile Yapay Arı Koloni algoritmasının güç sistemleri alanında optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir olduğu ayrıca algoritmanın optimal çözüme kısa bir süre içerisinde ulaşabildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abido, M. A.** (2002). Optimal power flow using tabu search algorithm. *Electric power components and systems*, 30(5), 469-483.
- Ahmed, H. ve Glasgow, J.** (2012). Swarm intelligence: concepts, models and applications. *School Of Computing, Queens University Technical Report*.
- Akay, B. ve Karaboğa, D.** (2012). A modified artificial bee colony algorithm for real-parameter optimization. *Information sciences*, 192, 120-142.
- Al-Falahi, M. D., Jayasinghe, S. D. G. ve Enshaei, H.** (2017). A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, 143, 252-274.
- Askarzadeh, A.** (2013). A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm for optimum design of PV/wind hybrid system. *Solar Energy*, 97, 93-101.
- Bajpai, P. ve Dash, V.** (2012). Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2926-2939.
- Bala, B. K. ve Siddique, S. A.** (2009). Optimal design of a PV-diesel hybrid system for electrification of an isolated island-Sandwip in Bangladesh using genetic algorithm. *Energy for sustainable Development*, 13(3), 137-142.
- Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A. ve Gómez, J.** (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(4), 1753-1766.
- Barton, J. P. ve Infield, D. G.** (2006). A probabilistic method for calculating the usefulness of a store with finite energy capacity for smoothing electricity generation from wind and solar power. *Journal of power sources*, 162(2), 943-948.
- Bataineh, A., Alqudah, A. ve Athamneh, A.** (2014). Optimal design of hybrid power generation system to ensure reliable power supply to the health center at Umm Jamal, Mafraq, Jordan. *Energy and Environment Research*, 4(3), 9.
- Bhandari, B., Lee, K. T., Lee, G. Y., Cho, Y. M. ve Ahn, S. H.** (2015). Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 2(1), 99-112.

- Bourennani, F., Rahnamayan, S. ve Naterer, G. F.** (2015). Optimal design methods for hybrid renewable energy systems. *International journal of green energy*, 12(2), 148-159.
- Bulut, H.** (2009). “Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar” *Temiz Enerji Teknolojileri Kursu*, 9-13 Şubat 2009, Gaziantep
- Chauhan, A. ve Saini, R. P.** (2014). A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 99-120.
- Chen, Z. ve Blaabjerg, F.** (2009). Wind farm—A power source in future power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1288-1300.
- Cheng, J. K., Lee, H. Y., Huang, H. P. ve Yu, C. C.** (2009). Optimal steady-state design of reactive distillation processes using simulated annealing. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 40(2), 188-196.
- Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım ilkeleri. Gazi Üniversitesi, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3) 17-33.
- Deshmukh, M. K. ve Deshmukh, S. S.** (2008). Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(1), 235-249.
- Dickson, M. H. ve Fanelli, M.** (2013). *Geothermal energy: utilization and technology*. Routledge.
- Dong, W., Li, Y. ve Xiang, J.** (2016). Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system based on battery/hydrogen with an improved ant colony optimization. *Energies*, 9(10), 785.
- EİGM**, (2019). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (www.yegm.gov.tr)
- Ekren, O. ve Ekren, B. Y.** (2010). Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing. *Applied energy*, 87(2), 592-598.
- El Chaar, L. ve El Zein, N.** (2011). Review of photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2165-2175.
- Elbatrana, A. H., Abdel-Hameda, M. W., Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M. ve Ismail, M. A.** (2015). Hydro power and turbine systems reviews. *Jurnal Technologies*, 74(5).
- Emniyetli, G.** (2007). *Evsel elektrik ihtiyacının karşılanması için rüzgar türbini tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Erdoğan, P.** (2016). Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları ve optimizasyon algoritmalarının optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 293-304.

- Erdoğmus, P. ve Toz, M.** (2012). Heuristic optimization algorithms in robotics. *Serial and Parallel Robot Manipulators-Kinematics, Dynamics, Control and Optimization, InTechOpen*, 311–338.
- Fadaee, M. ve Radzi, M. A. M.** (2012). Multi-objective optimization of a stand-alone hybrid renewable energy system by using evolutionary algorithms: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 3364-3369.
- Fernández-García, A., Zarza, E., Valenzuela, L. ve Pérez, M.** (2010). Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1695-1721.
- Fetanat, A. ve Khorasaninejad, E.** (2015). Size optimization for hybrid photovoltaic–wind energy system using ant colony optimization for continuous domains based integer programming. *Applied Soft Computing*, 31, 196-209.
- Geem, Z. W., Kim, J. H. ve Loganathan, G. V.** (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *simulation*, 76(2), 60-68.
- Glover, F., Laguna, M. ve Marti, R.** (2007). Principles of tabu search. *Approximation algorithms and metaheuristics*, 23, 1-12.
- Hadidian-Moghaddam, M. J., Arabi-Nowdeh, S. ve Bigdeli, M.** (2016). Optimal sizing of a stand-alone hybrid photovoltaic/wind system using new grey wolf optimizer considering reliability. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(3), 035903.
- Hajiaghasi, S., Salemnia, A. ve Hamzeh, M.** (2019). Hybrid energy storage system for microgrids applications: A review. *Journal of Energy Storage*, 21, 543-570.
- Haupt, R. L. ve Ellen Haupt, S.** (2004). Practical genetic algorithms.
- Ismail, M. S., Moghavvemi, M. ve Mahlia, T. M. I.** (2014). Genetic algorithm based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 85, 120-130.
- Kalogirou, S. A.** (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295.
- Kang, F., Li, J. ve Xu, Q.** (2009). Structural inverse analysis by hybrid simplex artificial bee colony algorithms. *Computers & Structures*, 87(13-14), 861-870.
- Karaboğa, D.** (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*, Technical report-tr06, Erciyes University, engineering faculty, computer engineering department, 200.
- Karaboğa, D. ve Akay, B.** (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1), 108-132.
- Karaboğa, D.** (2018). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. *Nobel Akademik Yayıncılık*, 245.

- Katsigiannis, Y. A., Georgilakis, P. S. ve Karapidakis, E. S.** (2012). Hybrid simulated annealing–tabu search method for optimal sizing of autonomous power systems with renewables. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 3(3), 330-338.
- Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z. ve Nielsen, T. K.** (2014). A technical discussion on microhydropower technology and its turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 445-459.
- Khan, J. ve Arsalan, M. H.** (2016). Solar power technologies for sustainable electricity generation–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 414-425.
- Khan, M. J. ve Iqbal, M. T.** (2005). Dynamic modeling and simulation of a small wind–fuel cell hybrid energy system. *Renewable energy*, 30(3), 421-439.
- Kılıç F. Ç.** (2015). "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 28-40.
- Koç, E. ve Şenel, M. C.** (2011). Rüzgar Türbin Teknolojisi ve Rüzgar Türbini Güç İletim Elemanlarının Teorik Analizi. 6. *Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu*, 21-22 Ekim 2011, Kayseri.
- Konak, A., Coit, D. W. ve Smith, A. E.** (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(9), 992-1007.
- Krishna, K. S. ve Kumar, K. S.** (2015). A review on hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 907-916.
- Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S. S., Devabhaktuni, V. K., Lee, J. W., Nikolaidis, E. ve Afjeh, A.** (2016). Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 209-224.
- Kusakana, K., Vermaak, H. J. ve Yuma, G. P.** (2013). Optimization of hybrid standalone renewable energy systems by linear programming. *Advanced Science Letters*, 19(8), 2501-2504.
- Lee, K. Y. ve El-Sharkawi, M. A.** (2008). *Modern heuristic optimization techniques: theory and applications to power systems*, 39, John Wiley & Sons.
- Li, J., Wei, W. ve Xiang, J.** (2012). A simple sizing algorithm for stand-alone PV/wind/battery hybrid microgrids. *energies*, 5(12), 5307-5323.
- Luna-Rubio, R., Trejo-Perea, M., Vargas-Vázquez, D. ve Ríos-Moreno, G. J.** (2012). Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies. *Solar Energy*, 86(4), 1077-1088.
- Mahesh, A. ve Sandhu, K. S.** (2015). Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1135-1147.

- Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H. ve Matseelar, H. S. C.** (2014). A review of available methods and development on energy storage; technology update. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 532-545.
- Maleki, A.** (2018). Modeling and optimum design of an off-grid PV/WT/FC/diesel hybrid system considering different fuel prices. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 13(2), 140-147.
- Maleki, A. ve Askarzadeh, A.** (2014). Comparative study of artificial intelligence techniques for sizing of a hydrogen-based stand-alone photovoltaic/wind hybrid system. *international journal of hydrogen energy*, 39(19), 9973-9984.
- Maleki, A., Khajeh, M. G. ve Ameri, M.** (2016). Optimal sizing of a grid independent hybrid renewable energy system incorporating resource uncertainty, and load uncertainty. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 83, 514-524.
- Manwell, J. F., Rogers, A., Hayman, G., Avelar, C. T., McGowan, J. G., Abdulwahid, U. ve Wu, K.** (2006). Hybrid2—a hybrid system simulation model—theory manual. *Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts*.
- Marano, V., Rizzo, G. ve Tiano, F. A.** (2012). Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage. *Applied Energy*, 97, 849-859.
- Márquez, F. P. G., Tobias, A. M., Pérez, J. M. P. ve Papaelias, M.** (2012). Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. *Renewable Energy*, 46, 169-178.
- Mirjalili, S. ve Lewis, A.** (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95, 51-67.
- Müller-Steinhagen, H. ve Trieb, F.** (2004). Concentrating solar power. A review of the technology. *Ingenia Inform QR Acad Eng*, 18, 43-50.
- Nurbay, N. ve Çınar, A.** (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- Oğuz, Y.** (2007). *Hibrid güç üretimi sisteminin modellenmesi, analizi ve neuro-fuzzy kontrolör kullanılarak sistem performansının iyileştirilmesi*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı.
- Okot, D. K.** (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520.
- Önal, E. ve Yarbay, R. Z.** (2010). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* Yıl: 9 Sayı: 18 Güz 2010 s. 77-96
- Paish, O.** (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(6), 537-556.

- Parida, B., Iniyar, S. ve Goic, R.** (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1625-1636.
- Patel, M. R.** (2005). *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. CRC press.
- Rajabioun, R.** (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, 11(8), 5508-5518.
- Ranaboldo, M., García-Villoria, A., Ferrer-Martí, L. ve Moreno, R. P.** (2015). A meta-heuristic method to design off-grid community electrification projects with renewable energies. *Energy*, 93, 2467-2482.
- Rere, L. R., Fanany, M. I. ve Arymurthy, A. M.** (2015). Simulated annealing algorithm for deep learning. *Procedia Computer Science*, 72, 137-144.
- Sangeetha, P. ve Suja, S.** (2017). Modeling and heuristic based optimal sizing of PV wind system. *2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT)*(359-363).
- Sasidhar, K. ve Kumar, B. J.** (2015). Optimal sizing of PV-Wind Hybrid energy system using Genetic Algorithm (GA) and Particle swarm optimization (PSO). *International Journal of Science, Engineering, and Technology Research (IJSETR)*, 4(2).
- Sechilariu, M. ve Locment, F.** (2016). *Urban DC Microgrid: intelligent control and power flow optimization*. Butterworth-Heinemann.
- Sharafi, M. ve ELMekawy, T. Y.** (2014). Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using PSO-simulation based approach. *Renewable Energy*, 68, 67-79.
- Shi, Y. ve Eberhart, R. C.** (2001). Particle swarm optimization: developments, applications and resources. In *Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation (IEEE Cat. No. 01TH8546)* 1, 81-86.
- Sichilalu, S., Tazvinga, H. ve Xia, X.** (2016). Optimal control of a fuel cell/wind/PV/grid hybrid system with thermal heat pump load, *Solar Energy*, 135, 59-69.
- Singh, S. S. ve Fernandez, E.** (2018). Modeling, size optimization and sensitivity analysis of a remote hybrid renewable energy system. *Energy*, 143, 719-731.
- Sinha, S. ve Chandel, S. S.** (2015). Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic–wind based hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 755-769.
- Şenel, M. C. ve Koç, E.** (2015). Dünyada Ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu- Genel Değerlendirme. *Engineer & The Machinery Magazine*, (663).
- Tanweer, M. R., Suresh, S. ve Sundararajan, N.** (2015). Self regulating particle swarm optimization algorithm. *Information Sciences*, 294, 182-202.
- Tereshko, V. ve Loengarov, A.** (2005). Collective decision making in honey-bee foraging dynamics. *Computing and Information Systems*, 9(3), 1.

- Tong, W.** (2010). Wind power generation and wind turbine design. WIT press.
- Toylan, H. ve Hüner, E.** (2017). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım (ANFIS) Tabanlı Güneş Takip Sistemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 546-554.
- Upadhyay, S. ve Sharma, M. P.** (2014). A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 47-63.
- Url 1** <<http://www.gunessistemleri.com/isil.php>> Alındığı Tarih: 21.05.2019
- Url 2** <<https://www.enerjiportali.com/gunes-kollektoru-nedir/>> Alındığı tarih: 21.05.19
- Url 3** <<https://oksijendergi.com/12/gunes-enerjisinin-pek-bilinmeyen-uygulamalari/>> Alındığı tarih: 22.05.19
- Url 4** <http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf> Alındığı tarih: 22.05.19
- Url 5** <<https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html>> Alındığı tarihi: 08.06.2019
- Url 6** <<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 7** <<https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 8** <<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 9** <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 10** <<https://www.muhendisbeyinler.net/yatay-eksenli-uc-kanatli-ruzgar-turbinleri/>> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 11** <http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm> Alındığı Tarih: 08.06.2019
- Url 12** <<https://muhendistan.com/gunes-pilleri-nasil-calisir/>> Alındığı Tarih: 20.05.2019
- Url 13** <<http://geocen.iyte.edu.tr/jeotermal-enerji-kullanimi/>> Alındığı Tarih: 26.05.2019
- Url 14** <<https://www.britannica.com/science/optimization>> Alındığı Tarih: 09.05.2019
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T.** (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran 2006, Esogü, 272-275. Eskişehir.
- Wang, H., Abdollahi, E., Lahdelma, R., Jiao, W. ve Zhou, Z.** (2015). Modelling and optimization of the smart hybrid renewable energy for communities (SHREC). *Renewable energy*, 84, 114-123.

- Xinchao, Z.** (2011). Simulated annealing algorithm with adaptive neighborhood. *Applied Soft Computing*, *11*(2), 1827-1836.
- Zhang, H., Baeyens, J., Degrève, J. ve Cacères, G.** (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, *22*, 466-481.
- Zhang, W., Maleki, A., Rosen, M. A. ve Liu, J.** (2018). Optimization with a simulated annealing algorithm of a hybrid system for renewable energy including battery and hydrogen storage. *Energy*, *163*, 191-207.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Sefer AYAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 13.08.1982
E-Posta : ayansefer@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik- Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Ayan S., Toylan H. (2017). Size Optimization of Hybrid Photovoltaic-Wind Power Genariting System: A Case Study of Pınarhisar METEM, Turkey. 8. Uluslararası Gelişmiş Teknolojiler Sempozyumu, 19-22 Ekim, 2017 Elazığ