

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK ÜRETİM TESİSLERİNİ
İÇEREN MİKRO ŞEBEKELERİN KOOPERATİF TEMELLİ
OLARAK MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Uğur KILIÇ

DOKTORA TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU

Temmuz, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK ÜRETİM TESİSLERİNİ
İÇEREN MİKRO ŞEBEKELERİN KOOPERATİF TEMELLİ
OLARAK MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Uğur KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğr. Üye. Ali DURUSU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep YUMURTACI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Celal Fadıl KUMRU, Üye
Süleyman Demirel Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Altuğ BOZKURT Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. MOHAMMED VADİ, Üye
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU ve Dr. Ali DURUSU sorumluluğunda, tarafımda hazırlanan Çatı Üstü Fotovoltaik Üretim Tesislerini İçeren Mikro Şebekelerin Kooperatif Temelli Olarak Modellenmesi ve Optimizasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Uğur KILIÇ

İmza

TEŞEKKÜR

Bir yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi yaklaşımı olarak, çatı üzeri fotovoltaik üretim sistemleri, günümüzde oldukça fazla bir Şekilde rağbet görmektedir ve güç sistemleri içerisindeki nüfuzu her geçen gün artmaktadır. Çatı üzeri sistemler yenilenebilir enerjide karşılaşılan alan sorunlarına ve yerinde üretim prensibine uyan enerji üretim sistemidir. Ancak bu sistemin güneşe dayalı üretim yapması nedeniyle batarya sistemi ile desteklenmesi ve şebekeye bağlı çalışması gerekmektedir. Ayrıca fotovoltaik sistemlerin son tüketiciyi üretici konumuna getirebilmesi için ekonomik teorilere uygunluğu da gerekmektedir. Sunulan çalışmada hem ekonomik gerçeklere uygunluk sağlanmaya çalışılmıştır hem de hidro tabanlı depolama ünitesi ile desteklenerek tamamen yenilenebilir sistem tasarlanması amaçlanmıştır. Güncel metasezisel optimizasyon tekniklerinden yararlanılarak maliyet minimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca son tüketicide ekonomik yükünü azaltabilmesi açısından kurulum kooperatif temelli olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki ilgili çalışmalarda ve önerilen matematiksel modellerin türetilmesi aşamasında benimsenen yaklaşımların ve kullanılan yöntemlerin, olabildiğince teorik temellere dayalı anlatımları ile sunulmasına gayret gösterilmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, sunulan çalışma, konu üzerine çalışan kişilere faydalı bilgiler sağlayabileceğini ümit etmekteyim. Tez çalışması boyunca, engin bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan, tüm süreç boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU'na ve Dr. Ali DURUSU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Kendileri ile geçirdiğim bu süreçte edindiğim kazanımların ifadesini birkaç satıra sığdırabilmek mümkün değil. Tez çalışmalarım süresince, verdiği destek, gösterdiği sabır ve anlayış için Sevgili Eşime minnetlerimi sunarım. Herşeyden öte ve herşeyden önce hayatımın her safhasında, benden desteklerini esirgemeyen, benim için kendilerini hiçbir fedakârlıktan sakınmayan Canım Anneme ve Babama hakkıyla teşekkür edebilmem mümkün değil. Eğer bu tez benim için bir başarı ise, bu başarının en büyük payı onlara aittir.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ	13
1.1 Literatür Özeti	13
1.2 Tezin Amacı.....	18
1.3 Katkı Ve Özgün Değer	18
2 FOTOVOLTAİK SİSTEM TEKNOLOJİSİ VE KOOPERATİF YAPILARI	20
2.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri.....	20
2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Dünyadaki Güncel Durumu Ve Gelecek Provizyonları	22
2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Uygulanan Teşvikler Ve Politikalar	27
2.4 Enerji Yönetimi Ve Optimizasyonları	47
2.5 Mikro Şebekeler	53
2.6 Parçacık Sürü Optimizasyonuna Giriş	67
2.7 Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Teknolojisi	68
2.8 Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri.....	70
3 KOOPERATİF TABANLI MİKRO ŞEBEKE UYGULAMASI	75
3.1 Kooperatif Tabanlı Mikro Şebeke Optimizasyonu Yaklaşımı	76
3.2 Durum Çalışmaları.....	82
4 DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA	96
5 SONUÇ	100
KAYNAKÇA	103
A OPTİMİZASYON KODLARI	113
B ÇALIŞMADA KULLANILAN YÜKLERE AIT PROFİLLER	115
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	118

SİMGE LİSTESİ

a	Birimsel İlk Yatırım Maliyeti
APV	Kurulum Yapılabilecek PV Alan
B	Yıllık Operasyon Bakım Maliyeti
C	İlk Yatırım Maliyeti
C1,C2	Coefficient Sabitleri
E	Eskalasyon Oranı
Gbest	Global En İyi Çözüm Değeri
GW	Giga Watt
I(t)	Bölgesel Işıma Değeri
İ	Faiz Oranı
KW	Kilo watt
N	Proje Yaşam Süresi
Nhidro	Hidro Tabanlı Ünite Sayısı
OM	İşletme Bakım Maliyeti
Pbest	Parçacığın Çözüme En Yakın Durumu
Phidro	Depolama Ünitesi Gücü
Pload	Yüklere Ait Güç Talebi
PP	Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Pompa Çalışma Durumu
PPV	PV Üretim Gücü
PT	Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Pompa Çalışma Durumu
R	Santral Yenileme Maliyeti
Rand 1-2	Optimizasyon rastgele üretilen değerleri
S	Santral Hurda Değeri
ut	Binary Değişken(0-1)
v	Parçacık Değişim Hızı
V	Panel Verimi
x	Parçacık Değeri
Y	Yeniden Satış Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CEC	Clean Energy Certificate
ÇÜPV	Çatı Üzeri Fotovoltaik Enerji
FIT	Feed in Tariff
HVAC	Havalandırma Ve İklimlendirme
ICMS	Goods and Services Tax
IEA	International Energy Agency
JNNSM	Jawaharlal Nehru National Solar Mission
KPEC	Korea Power Electric Corporation
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
LIDAR	Light Imaging Detection and Ranging Data
NEM	Net Metering
NGTP	National Green Technology Policy
OFF GRID	Şebekeye Bağlı Olmayan
ON GRID	Şebekeye Bağlı
PV	Fotovoltaik
RPSSGP	Rooftop PV and Small Scale Generation Programme
SREP	Small Renewable Energy Program

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Ulaşılabilir çatı üzeri alanların kurulum potansiyeli	23
Şekil 2.2	Ülkelerin PV kurulumlarının dünyadaki yaklaşık yüzdesel payı	24
Şekil 2.3	2020-2024 yılları arasında yenilenebilir enerji kapasitesinin gelişimi....	25
Şekil 2.4	2007-2024 arası ülkelerin PV kurulu güç potansiyelleri ve gelecek provizyonu yaklaşık değerlendirmesi(GW)	26
Şekil 2.5	Solar enerji ve diğer enerji türlerinin birim maliyetlerinin yıllara bağlı azalışları.....	26
Şekil 2.6	ABD’de uygulanan portföy standartları uygulamasının seçili bölgelerde enerji ihtiyacını karşılama yüzdeleri ve gelecek provizyonlar.....	34
Şekil 2.7	Türkiye’nin kaynaklara göre yüzdesel kurulu gücü	42
Şekil 2.8	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası[71].....	44
Şekil 2.9	Enerji optimizasyon yöntemleri	48
Şekil 2.10	Enerji sistem modelleri ve optimizasyonları	49
Şekil 2.11	Karar verme tabanlı matematiksel programlama modelleri.....	50
Şekil 2.12	Mikro şebekeler genel gösterimi[136]	54
Şekil 2.13	Hidro tabanlı depolama ünitesi üretim ve depolama durumu görseli....	69
Şekil 2.14	Hidro tabanlı depolama potansiyelleri ülkelere göre değerlendirme tablosu.....	69
Şekil 3.1	Sistem akış diagramı.....	78
Şekil 3.2	Sistem amaç fonksiyonu, parametreleri, karar değişkenleri ve kısıtları....	77
Şekil 3.3	Sistem genel akış diagramı	79
Şekil 3.4	1.Durum çalışması prensip gösterimi	84
Şekil 3.5	2.Durum çalışması prensip gösterimi	85
Şekil 3.6	3. Durum çalışması prensip gösterimi	86
Şekil 3.7	4. Durum çalışması prensip gösterimi	88
Şekil 3.8	5. Durum çalışması prensip gösterimi	89
Şekil 3.9	6. Durum çalışması prensip gösterimi	90
Şekil 3.10	7. Durum çalışması prensip gösterimi	91
Şekil B.1	MŞ yük profili 1	115
Şekil B.2	MŞ yük profili 2	115
Şekil B.3	MŞ yük profili 3	116
Şekil B.4	MŞ yük profili 4	116
Şekil B.5	MŞ yük profili 5	117

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Fransa FIT değerlerinin kurucu güçlere göre kategorizasyonu	33
Tablo 2.2 Birleşik Arap Emirlikleri’nde vatandaşlara göre elektrik tarifeleri.....	43
Tablo 2.3 Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun kapsamında yenilenebilir kaynaklara verilen FIT değerleri.....	49
Tablo 2.4 Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun kapsamında yenilenebilir kaynaklara verilen FIT değerleri.....	50
Tablo 2.5 Kooperatif kurulum aşamaları tablosu.....	81
Tablo 2.6 Optimizasyon teknikleri karşılaştırmalı analizi.....	61
Tablo 2.7 Hidro tabanlı depolama potansiyelleri değerlendirme tablosu.....	77
Tablo 2.8 Türkiye’de kooperatif sistemlerin güçlere göre üye sayısı.....	80
Tablo 2.9 Kooperatif kurulum aşamaları tablosu.....	81

Çatı Üstü Fotovoltaik Üretim Tesislerini İçeren Mikro Şebekelerin Kooperatif Temelli Olarak Modellenmesi ve Optimizasyonu

Uğur KILIÇ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Eş-Danışman: Dr. Ali DURUSU

Çatı üzeri fotovoltaik (PV) enerji sistemleri tabanlı mikro şebekeler tüketim noktasında üretimin gerçekleşmesi nedeniyle hızla yaygınlaşmaktadır. Arzın talep noktasına taşınması ile bu sistemlerde enerjinin son kullanıcıya ulaştırma maliyetleri azalmaktadır, talep yenilenebilir kaynaklar ile karşılanarak çevreye verilen zararlar minimuma indirilmektedir, toplumlar için enerji arz güvenliği sağlanmaktadır, enerjide dışa bağımlı ülkelerde dışa bağımlılık azalmaktadır. Bu nedenle bu sistemlere yönelim hızlanmıştır. Çatı üzeri sistemlerin avantajlarının yanında yayılımını engelleyen kısıtlar da mevcuttur. Bu kısıtların başında kurulum yapılabilecek çatı alanlarının yetersizliği gelmektedir. Bu nedenle kısıtlı olan bu alanları optimal şekilde kullanmak gerekmektedir. Elbette alanı optimize ederken ekonomik parametreler, yenilenebilir odaklılık ve talebin doğru şekilde karşılanması dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada bu boyutlandırma sorununa çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu kapsamda 5 farklı tüketim noktasından alınan 1 yıllık gerçek tüketim değerleri ile mikro şebekeler oluşturulmuştur. Bu mikro şebekenin enerji talepleri çatı üzeri PV sistem ve hidro tabanlı depolama ünitesi kullanılarak

karşılanmıştır. Kurulan bu sisteme yaşam boyu maliyet analizi yapılarak maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Minimum maliyet ile talebin tamamen yenilenebilir kaynaklardan karşılanması sağlanmıştır. Optimizasyon metodu olarak Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniği kullanılmıştır. Optimizasyon Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen optimizasyon sonuçları farklı durum çalışmalarında incelenerek sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen sistemde kurulum yatırımları oluşturulan enerji kooperatifleri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ilk yatırım maliyetinin yatırımcıya olan yükü azaltılarak kolektif, tamamen yenilenebilir, şebeke ile minimum alışveriş içerisinde olan mikro şebeke modeli sunulmuş ve maliyet minimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Talebi karşılayacak optimal boyutlandırma sonuç olarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Mikro Şebekeler, Enerji Optimizasyonu, Yaşam Boyu Maliyet Analizi(LCCA)

Cooperative Modeling and Optimization of Microgrids Including Rooftop Photovoltaic Production Facilities

Uğur KILIÇ

Department of Electrical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Co-supervisor: Dr. Ali DURUSU

Micro-grids based on rooftop photovoltaic energy systems are rapidly becoming widespread due to the fact that production takes place at the point of consumption. By moving the supply to the demand point, energy transmission costs are reduced in these systems, the demand is met with renewable resources, the damage to the environment is minimized, the supply security is ensured for the societies, and the energy dependency is reduced in countries dependent on conventional energy. For this reason, the orientation to these systems has accelerated. In addition to the advantages of rooftop systems, there are also constraints that prevent their spread. The first of these constraints is the inadequacy of the roof areas that can be installed. For this reason, it is necessary to use these limited areas in an optimal way. Of course, when optimizing the space, economic parameters, a focus on renewables and the right fulfillment of demand must be taken into account. In this study, a solution proposal has been developed for this sizing problem. In this context, microgrids were created with 1-year real consumption values taken from 5 different consumption points. The energy demands of this microgrid were met by using a rooftop PV system and hydro-based storage unit. And cost optimization was carried

out by performing a lifetime cost analysis on this system. It has been ensured that the demand is met entirely from renewable resources with minimum cost. Particle Swarm Optimization technique was used as the optimization method. Optimization was carried out in Matlab Environment. The optimization results obtained in this context were examined in different case studies and the results were obtained. In the proposed system, installation investments were made through energy cooperatives. Thus, by reducing the burden of the initial investment cost on the investor, a collective, fully renewable, micro-grid model with minimum exchange with the grid was presented and cost minimization was realized. Optimal sizing to meet the demand is presented as a result.

Keywords: Photovoltaic Systems, Microgrids, Energy Optimization, Lifetime Cost Analysis (LCCA)

1 GİRİŞ

Tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tezin amacı, içeriği, konu ile alakalı literatürün incelenmesi, tezin literatüre yapacağı katkılar incelenmektedir. İkinci bölümde konu ile alakalı bilgi birikimini arttırmak, teknik altyapının güçlendirilmesini sağlamak amacıyla tez içeriği ile alakalı temel bilgiler verilmektedir. Bu bilgiler genel hatlarıyla; Fotovoltaik(PV) sistemlerin teknik alt yapısı, PV sistemlere uygulanan teşvikler ve politikalar, PV sistemlerin ülkemizde ve dünyada bulunduğu mevcut durum ve gelecek provizyonları, mikro şebeke kavramı ve mikro şebekelerde uygulanan optimizasyon metodları, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), hidro tabanlı depolama üniteleri ve kurulan sistemin yaşam boyu maliyet analizleri içeriklerini kapsamaktadır.

Üçüncü bölüm kooperatif temelli mikro şebeke modelinin anlatıldığı, optimize edildiği, durum çalışmaları ile geliştirilerek sunulduğu bölümdür. Bu bölümde kurulan sistemde PSO tekniğinin uygulanışı, LCC denklemlerinin oluşturulması, sistem parametrelerinin incelenmesi ve oluşturulması, kısıtların oluşturulması, durum çalışmalarının uygulanmasının verildiği kısımdır. Dördüncü bölüm elde edilen bulguların ve durum çalışmalarının değerlendirildiği bölümdür. Bulguların incelendiği ve çalışmadan literature sunulan sonuçların verildiği sonuç ve öneriler bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Sanayinin artması, küreselleşmenin her geçen gün ilerleyişi, teknolojik gelişmeler, refah seviyelerinin yükselişine bağlı olarak artan ihtiyaçlar, enerjiyi dünyanın en önemli gündem maddelerinden biri haline getirmektedir [1,2]. Talebin hızla artışı arz talep makasının açılmasına ve arz yeterliliği kaygılarına neden olmaktadır. Bu kapsamda arzın çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir kaynaklara dayandırılması gerekmektedir [3,4]. Arz kaynaklarının genelde fosil temelli olması onların tükenmesine ek olarak çevre kirliliği ve toplum sağlığı kaygılarını da oluşturmaktadır [5]. Bu kapsamda yenilenebilir kaynaklara olan ilgi artmaktadır [6,7].

Yenilenebilir enerji denilince akla ilk gelen sistemlerden biri PV sistemlerdir. Enerji hammaddesi olarak direkt olarak güneşi kullanan bu sistemler arz çeşitlendirme politikalarında önemli bir kaynak olarak dikkat çekmektedir. Yenilenebilir kaynaklar özellikle enerjide dışa bağımlı ülkelerde dış bağımlılığı azaltmak ve enerji politikalarını yerleştirmek için bir fırsat teşkil etmektedir.

PV sistemler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren enerji üretim sistemleridir [8]. Yani üzerlerine ışık düştüğünde uçlarında elektrik gerilimi oluşur. PV'nin verdiği enerjinin kaynağı direkt olarak güneşten alınmaktadır [9]. PV'ler istenen akım, gerilim, güç değerlerini elde edebilmek için seri ve paralel olarak bağlanmaktadır. PV'ler kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellirit, bakır indiyum diselenid, optik yoğunlaştırıcı hücreler kullanılarak üretilmektedir.

PV sistemler doğru akım üretir, kullanılacağı alanlara bağlı olarak DC ve AC formda kullanılabilir. Alternatif enerji formuna dönüştürülmesi eviriciler vasıtasıyla yapılmaktadır [10].

PV sistemler şebekeye bağlı(on-grid) ve şebekeden bağımsız(off-grid) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemler enerji arz fazlasını şebekeye verebilir talep fazlasını ise şebekeden alabilirler. Kurulan ücretlendirme politikaları ile gelir elde edebilirler. Şebekeden bağımsız sistemler ise şebekeye ulaşımın olmadığı veya zor olduğu yerlerde direkt olarak enerji kaynağı olarak kullanılabilirler. Şebekeden bağımsız sistemlerde temel amaç ihtiyacı karşılamaktır ve gelir eldesi imkanı bulunmamaktadır [11].

PV sistemler kurulum bölgesine göre 2'ye ayrılmaktadır. Bunlar çatı üzeri ve arazi tipi üretim tesisleridir. Arazi tipi fotovoltaik sistemler ticari gelir elde etmek üzere kurulmuş, ihtiyaç karşılama amacından ziyade santral olarak üretim yapma amacı taşıyan sistemlerdir. Çatı üzeri sistemler ise ev tipi ve ticari yapı çatısı santraller olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sistemlerde temel amaç iç tüketimi karşılamaktır. İç tüketim fazlası enerji ise ulusal şebekelere verilmektedir ve karşılığında kazanç, prim gibi girdiler elde edilmektedir.

PV sistemler, tüketim noktasında üretime elverişlilik, verimlerinin her geçen gün artması, yenilenebilir ve çevreci sistemler olmaları, üretim maliyetlerinin her geçen gün daha da azalması vb. Avantajlara sahiptir. Bu kapsamda fotovoltaik sistemler

hızla yaygınlaşmaktadır. PV sistemlerdeki bu hızlı yayılım beraberinde çözölmeyi bekleyen sorunları, geliştirilmeyi bekleyen konuları da gündeme getirmektedir. Literatürde bu konuların çözümüne dair birçok çalışma bulunmaktadır.

Çözölmeyi bekleyen konulardan biri PV sistemin geniş alanlar kaplaması ve özellikle çatı üzeri sistemlerde bu alan darlığının kuruluma engel teşkil etmesidir. Bu kapsamda boyutlandırma analizleri, çatı üzeri alanlara ait potansiyel değerdendirmeleri yapılmaktadır. Boyutlandırma analizlerinin temelinde tüketimin optimal üretim metodları ile karşılanması yer almaktadır. Dar bir kurulum alanı içerisinde, ekonomik ve teknik kısıtlar çerçevesinde, tüketimi karşılayacak optimal çözümün üretilmesi bu çalışmaların ortak amacını teşkil etmektedir. Bu çalışmalarda PV-rüzgar-batarya-jeneratör-hidro tabanlı depolama üniteleri vb. enerji üretim kaynakları hibrid olarak kullanılarak optimal çözüm sunulmaktadır. Bu çalışmalar optimal kurulum gerçekleştirerek boyutlandırma yaparken optimizasyon metodlarını ve metasezgisel algoritmaları kullanmaktadır. İkinci bölümde bu çalışma metodları genişletilerek sunulmaktadır.

Potansiyel değerdendirmeleri kapsamında yapılan çalışmalarda çatı üzeri alanların optimal kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Çatı üzeri kurulum yapılabilecek çatı alanları kısa adıyla kurulum potansiyelleri 3 metotla gerçekleştirilmektedir. Bunlar; sabit değerd metodu, manuel seçim metodu ve GIS temelli (LIDAR) metodlardır. Sabit değerd metodu ile çatı üzeri erişilebilir alan tespiti çalışmaları kullanımlarının kolay olması, ihtiyaç duyulan teknik bilginin az oluşu, fazla zamana ihtiyaç duyulmaması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu metod belirli çatılar üzerinde yapılan analizlerin belirli bir bölgeye uygulanması prensibine dayanmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak eğimli ve düz çatıların oranı, istenen yönde çatı yönelimleri olan binaların sayısı ve ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) gibi yapı bileşenleri tarafından engellenen alan miktarı hakkında pratik varsayımlar yapmaktadır. Sabit değerd yönteminin bir diğerd varyasyonu, bir bölgenin nüfus yoğunluğuna dayalı olarak mevcut çatı alanını tahmin etmeyi içermektedir.

Manuel seçim metodu çatı yüzeylerinin havadan görüntöleri alınarak yapılan potansiyel tahmin metodudur. Bu metotta havadan alınan görüntöler üzerinde çalışma yapılmaktadır. Böylelikle PV kurulumu yapılabilecek çatı alanı ölçölmektedir. Ayrıca gölgelenme yapan teçhizatlar üzerinde gölgelenme analizi

yapılarak kaybolan alan ve buna bağı olarak kaybolan potansiyel güç değeri analiz edilmektedir.

Manuel seçim metodu çalışmaları incelendiğinde 2 farklı değerlendirme gözlemlenmiştir. Bunlardan ilki toplam çatı alanlarının PV kuruluma uygun kısımlarının yüzdesel olarak değerlendirilmesidir. İkincisi ise uygulanabilir çatı alanlarının talep gücü karşılayabilme yüzdelerinin değerlendirilmesidir.

Çatı üzeri potansiyel değerlendirme metotlarından bir diğeri de GIS tabanlı değerlendirme metodudur. Bu metotta GIS yazılımı ve ilave yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yöntem diğeri metotlar ile mukayese edildiğinde daha hızlı, daha objektif ve daha yüksek doğruluk oranına sahiptir. GIS tabanlı metotlar üç boyutlu (3D) modelleme ile kullanılmaktadır. 3D modelleri fotoğraflamadan veya LİDAR (Light Imaging Detection and Ranging Data) verilerinden faydalanılarak oluşturulmaktadır. LİDAR metodu bu metotlardan en yaygın olanıdır. Lidar aktif bir uzaktan algılama sistemidir ve lazer ışınları kullanılarak, yeryüzündeki nesne ve taşıyıcı platform arasındaki mesafeyi ölçerek, nesnelerin yüksekliklerini hesaplamaktadır [14-15]. LiDAR sisteminde lazer, GPS ve IMU olmak üzere üç farklı teknoloji aynı anda kullanılmaktadır. Günümüzde LiDAR teknolojisi uzaydan, havadan, yersel, mobil, batimetrik ve koridor haritalama gibi farklı kullanım alanları bulmaktadır [16-17]. Havadan LiDAR uygulamalarında uçağa takılan lazer tarayıcı tarafından gönderilen lazer ışınları ile uçak-yer arasındaki gidiş dönüş zaman farkı hassas olarak ölçülmekte ve o andaki uçağın konumu ile beraber kayıt altına alınmaktadır [18-19]. Bu lazer sistem vasıtasıyla cisimlerin yükseklikleri tahmin edilmektedir. Böylelikle çatı üzerinde bulunan gölgelenmeye neden olabilecek cisimlerin yükseklikleri belirlenerek yapacakları gölgelenme de tahmin edilmektedir [20-21]. GIS tabanlı metotlarda literatürde yazılım oluşturarak yapılan değerlendirme metotları da bulunmaktadır [22]. Bunların başlıcaları PVGIS, Google Earth, ArcGIS, RADIANCE/DAYSIM, Google SketchUp'tır [23-24].

Literatürde üzerine çalışılan bir diğeri alan ise teknik fizibilite çalışmalarıdır. PV santraller hızla kurulmaya devam ederken yanlış fizibiliteler ile kaynak israfları yaşanmaktadır. Bu problemin çözümüne dair birçok çalışma literatüre kazandırılmıştır. PV sistemlerde üretilen enerjinin miktarı; kurulum bölgesi ışıma değerleri, gölgelenme oranları, kullanılan teknik teçhizatların uygun seçimi vb.

parametrelere bağılı olarak değişmektedir. Ayrıca kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu da bu projelerin tekno- ekonomik olarak optimal şartlarda tesis edilme zorunluluğunu gündeme getirmektedir. Bu nedenle PV sistemlerde simülasyon ve benzetim çalışmaları projelerin ana ayaklarından birini oluşturmaktadır. Bu kapsamda birçok simülasyon ve benzetim programı geliştirilmiştir ve bu benzetim programları literatürde birçok bilimsel çalışmada araştırılmaktadır.

PV sistemler dünyada ve ölkemizde yeni sayılabilecek sistemlerdir. Bu nedenle ekonomik olarak yatırıma elverişli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışma türlerinden biri panel teknolojisinin iç mekanizmalarının iyileştirilmesi çalışmalarıdır. Bu kapsamda mppt analizi, yarı iletken teknolojisinin geliştirilmesi, hücre teknolojisinin iyileştirilmesi çalışmalarıdır. Bir diğer ekonomik değerlendirme çalışmaları da santrallerin ekonomik uygulanabilirliğinin incelendiği, iyileştirildiği çalışmalardır. Bu alışmalar kapsamında net bugünkü değer analizleri, yaşam boyu maliyet analizleri, birim maliyet analizleri yapılmaktadır. Bu değerlendirme çalışmalarından en yaygın olanlarından biri de yaşam boyu maliyet analizleridir. Alternatif enerji sistemleri fosil yakıtların tersine ilk yatırım maliyeti yüksek, işletim maliyeti düşük enerji üretim sistemleridir. Bu kapsamda ömür boyu maliyet analizinin (LCCA) yapılması, yatırımın ekonomik fizibilitesinin doğru değerlendirilebilmesi açısından önemlidir.

Ömür boyu maliyet analizi, sistemin kullanımı boyunca sistemin maliyet bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu bileşenler aşağıda maddesel formda verilmektedir.

- Arsa maliyeti,
- İşletim maliyetleri
- Yatırım için kredi kullanımı halinde faiz maliyeti
- Sigorta maliyetleri
- Arıza-Bakım maliyetleri
- Vergi maliyetleri
- Diğer maliyetler

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, ana üretim kaynağı çatı üzeri fotovoltaiik sistem olan, destekleyici depolama kaynağı olarak hidro tabanlı depolama ünitesinin bulunduğu, 5 farklı mikro şebekeden alınan gerçek zamanlı yük profilinin dahil olduğu bir mikro şebeke modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan modelde yük talebi PV sistemden ve hidro tabanlı depolama ünitesinden karşılanmaktadır. Yük talebi karşılanırken maliyetin minimize edilmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu nedenle değişen yük talebini minimum maliyetle karşılayacak optimal çözümün sunulması hedeflenmiştir.

Kurulan hibrid sistemde hidro tabanlı depolama ünitesi kullanılması ile tamamen yenilenebilir kaynaklar ile, son tüketim noktasına kurulabilecek sistemi tasarlama amacı güdülmüştür. Değişen yük ve üretim durumlarında minimum maliyetle sistemi gerçekleştirebilmek için PSO kullanılmıştır. Optimizasyon çerçevesinde kurulan sürü her tüketim değeri için üretimi minimum maliyette gerçekleştirebilecek çözümü bulmaktadır. Daha sonrasında tüm zamanların optimal çözümünü kısıtlar çerçevesinde bizlere vermesi amaçlanmıştır. Ayrıca kurulan üretim sisteminin maliyetlerinin kooperatif temelli karşılanması ile ilk yatırım maliyetinin son tüketici üzerindeki etkileri de azaltılmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada amaç fonksiyonu olarak yaşam boyu maliyet denklemi geliştirilerek kullanılmaktadır. Böylelikle yaşam boyu maliyet minimize edilerek yük talebi yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaya çalışılmıştır. Böylelikle maliyet minimizasyonu, yenilenebilir kaynak kullanımının arttırılması, tüketim noktasında üretime elverişli sistem tasarlanarak literatüre sunulması hedeflenmektedir. Ayrıca kooperatif sistemi modele dahil edilmiştir. Ve kooperatif sistemlere özel uygulanabilecek teşvikler ve mevcut tüm sistemlere uygulanan teşvik metodları sisteme dahil edilerek incelenmiştir.

Böylelikle çok amaçlı değerlendirme ile sisteme yeni bir hibrid üretim modeli ve modelin kooperatif kaynaklı fonlanması yoluna gidilerek yeni bir yaklaşım sunulmaktadır.

1.3 Katkı Ve Özgün Değer

Literatürde hibrid enerji sistemleri genelde 2-3 kaynak ile oluşturulmuştur. Bu kaynaklar genelde PV-rüzgar, PV-hidro, PV-rüzgar-batarya vb. birleşimler ile

oluşturulmuştur. Tasarlanan bu yeni sistemde çatı zeri PV- hidro tabanlı depolama nitesi modeli oluşturulmuştur. Diğer modellerden ayrışan yn tamamen yenilenebilir sistem olması ve son tüketicilere uygunluğudur. Çalışmamız bir konut-ticari yapı çevresinde oluşturulmaya elverişli olması amacıyla hazırlanmasından dolayı, ekonomik olarak yaşam boyu maliyet analizinin optimize edilmesi, fonlama sistemi olarak kooperatif temelli kollektif çalışma sunması yönleriyle diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Sunulan bu yeni yaklaşımda birden fazla sorun çözümlenmeye çalışılmıştır. Bunlar; ilk yatırım maliyetinin son tüketicie yüksek gelmesi, tüketime karşılanabileceği optimal boyutlandırmanın minimum maliyette yenilenebilir kaynaklar ile gerçekleştirilmesi durumlarıdır.

Tasarlanan sistemin geliştirilmeye uygun olması da literatüre sunulan katkılar arasındadır. Geniş bir alana (köy-kasaba-mahalle-ile-il) uygulanabilirliği ile yenilenebilir mikro şebekeler kurulabilir, bu mikro şebekelerin kendi aralarında enerji alışverişi yapabileceği sistemler oluşturularak ulusal şebekeden bağımsız çalışan bölgeler tasarlanabilir. Enerji alışveriş modelleri geliştirilerek son tüketicie, reticie-satıcı konumuna getirilebilir. Bu ve benzeri birçok yaklaşım ile literatüre farklı bakış açıları kazandırılmıştır.

Ayrıca kooperatif modeli ile sistem tasarlanmıştır. Kooperatif modeline özel verilen teşviklerin de sisteme entegrasyonu ile modelin uygulanabilirliği arttırılarak literature kazandırılmıştır.

FOTOVOLTAİK SİSTEM TEKNOLOJİSİ VE KOOPERATİF YAPILARI

2.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri

Fotovoltaik enerji sistemleri 1839 yılında icat edilmiş yenilenebilir enerji üretim sistemleridir. İlk keşifleri Alexander Edmond Becquerel tarafından yapılmıştır. 1873-1883-1946 yıllarında yaşanan teknolojik gelişmeler ile bugünkü verimine erişmiştir.

Fotovoltaik enerji üretim sistemleri yüzeylerine gelen ışık enerjisini içerisindeki hücreler vasıtasıyla elektrik enerjisine çeviren yenilenebilir enerji üretim sistemleridir [25-26].

Fotovoltaik enerji sistemlerin temel yapısı hücrelerden oluşmaktadır. Hücre yapısı ise silisyum ve germanyum maddelerinden oluşmaktadır [27-28].

Fotovoltaik sistemler 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Kristal Silikon Hücreler
 - a. Tek- Kristal PV Hücreler(Monokristal)
 - b. Çok-Kristal PV Hücreler(Polikristal)
2. İnce Film PV Hücreler
 - a. Amorf Silisyum PV Hücreler
 - b. Kadmiyum Tellür PV Hücreler
 - c. Bakır İndium Galyum(di) Selenyum PV Hücreler
3. III-V Grubu PV Hücreler
 - a. Kuantum Kuyulu Hücreler
 - b. Çok Eklemlili Hücreler

Fotovoltaik teknolojinin büyük kısmı monokristal silisyum teknolojisidir. Monokristal silisyum teknolojisinde silisyum külçe wafer'a, wafer da silisyum hücreye dönüştürülmüştür [29-30].

Bir diğ er fotovoltai k üretim sistemleri ise polikristal hücre sistemidir. Polikristal hücreler dökme silisyum bloklarından dilimlenerek oluşturulmaktadır. Monokristale göre verimleri daha d    k olmasına rağ men d    k maliyetle üretildiklerinden kullanım alanları daha geniştir [31-32].

Bir diğ er fotovoltai k üretim sistemleri de ince film hücrelerdir. Bu hücreler ise diğ er hücrelerle mukayese edildiğ inde ışığı daha iyi almaktadırlar. 1 mikron kalınlığa sahip bu hücreler maliyet olarak diğ er hücrelere göre avantajlıdır. İnce film PV sistemleri fotovoltai k cephe uygulamalarında yoğ n olarak kullanılmaktadır [33-34].

Fotovoltai k hücreler tek başına istenilen gerilim değ erlerine ulaşamamaktadır. Bu nedenle seri ve paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değ erlerine ulaşım sağlanmaktadır. Fotovoltai k sistemlerde hücreler modülleri, modüller de panelleri oluşturmaktadır [35-36].

Fotovoltai k sistemler şebekeye bağlanma şekillerine göre on grid (şebekeye bağlı) ve off grid (şebekeden bağımsız) sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

On grid sistemler şebekeye bir çift yönlü sayaç üzerinden bağlanmaktadırlar. İhtiyaç fazlası enerji bu bağlantı üzerinden şebekeye verilmektedir. İhtiyaç eksiği olduğ unda ise şebekeden enerji alınmaktadır.

Fotovoltai k sistemlerde üretilen doğru akım(DC) formunda enerji inverterler vasıtasıyla alternatif akım(AC) formuna çevrilir ve şebeke ile entegrasyon sağlanmış olur [36].

şebekeye bağlı olmayan fotovoltai k sistemler şebekeden bağımsız direkt olarak yükü besleyen enerji üretim sistemleridir. Bu sistemlerde gün ışığı olmayan ak am saatlerinde sistem depolanan enerji ile beslenir.

PV enerji üretim sistemlerinin son yıllarda kullanım alanları hızla artmaktadır. Bu kapsamda birçok ürün üretilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Bunlar güneş enerjisine dayanan aydınlatma armat rleri, telefon şarj üniteleri, kamp çantaları, uzay araçları, elektrikli otomobiller, otobüsler vb vasıtalar, sulama sistemleri ve daha sayılabilecek birçok sistemde PV sistemler kullanılmıştır.

Fotovoltai k sistemlerin en yaygın örnekleri arazi (güneş tarlası) ve çatı üzeri uygulamalardır. G ne  tarlaları fotovoltai k sistemin büyük ölçekli kurulum

Şekilleridir. Çatı üzeri uygulamalar ise daha mikro düzeyde iç tüketimi öncelikli hedef haline getiren üretim sistemleridir. Şebekeye bağlı olan bu sistemle enerji üretilerek ulusal şebekeye yenilenebilir enerji kanunları kapsamında satılmaktadır

Çatı üzeri fotovoltaik (ÇÜPV) sistemler son yıllarda hızla yaygınlaşan enerji üretim sistemleridir. Son tüketimi yerinde karşılama olanağı sağlaması nedeniyle gerek evsel gerek endüstriyel kullanıcıların ilgisini çekmektedir.

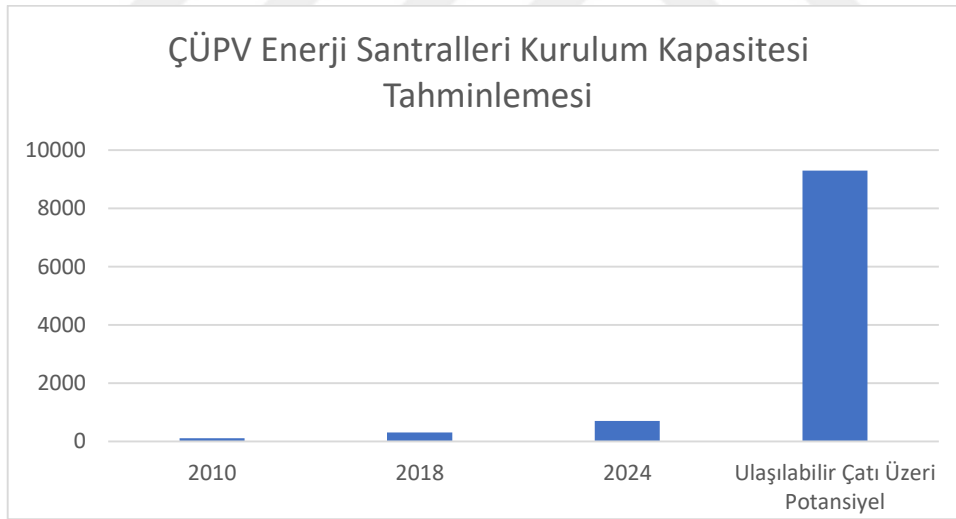
ÇÜPV sistemlerin diğer yenilenebilir sistemlere göre avantajlı yönleri vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır;

- Çatı üzeri fotovoltaik sistemler son tüketim noktasında üretimi olanaklı hale getirmektedir. Böylelikle son tüketici üretici konumuna gelmektedir. Ve özellikle enerjide dışa bağımlı ülkelerde bu durumlar enerji bağımsızlığı açısından oldukça önemlidir.
- ÇÜPV sistemler enerji arz çeşitliliğini sağlamaya, ulusal şebeke yükünü minimuma indirmeye, çevreye zararlı konvansiyonel sistemlerin kontrollü azaltılmasına olanak sağlamaktadır.
- ÇÜPV sistemlerin yıllara sair hızla artan verimi, düşen maliyetleri sayesinde uygulanabilirliği her geçen gün artmaktadır.
- ÇÜPV sistemlerde kullanılmayan atıl çatı alanları kullanılarak enerji talebi pratik şekilde sağlanmaktadır.

2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Dünyadaki Güncel Durumu Ve Gelecek Provizyonları

Yenilenebilir enerjinin çevre dostu bir üretim sistemi olması, teknolojinin gelişmesi ile daha dar alanlarda daha yüksek enerji girdisi eldesi, teçhizat verimlerinin artması, azalan maliyetler gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerjiye gösterilen ilgi artmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerjinin tüketim yerinde üretim prensibiyle çalışmaya uygun oluşu da yenilenebilir kaynakları uygulanabilir kılmaktadır. Bu kapsamda son yıllarda yapılan analizlerde ve akademik çalışmalarda da yenilenebilir kaynaklar odaklanılan konulardan biri haline gelmiştir. Özellikle Uluslar Arası Enerji Ajansı'nın(IEA) raporlarında yenilenebilir kaynaklar büyük bir yere sahiptir. Mevcut durum analizi ve 5 yıllık provizyon içeren raporlarda yenilenebilir tırmanış dikkat çekmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2019 ve

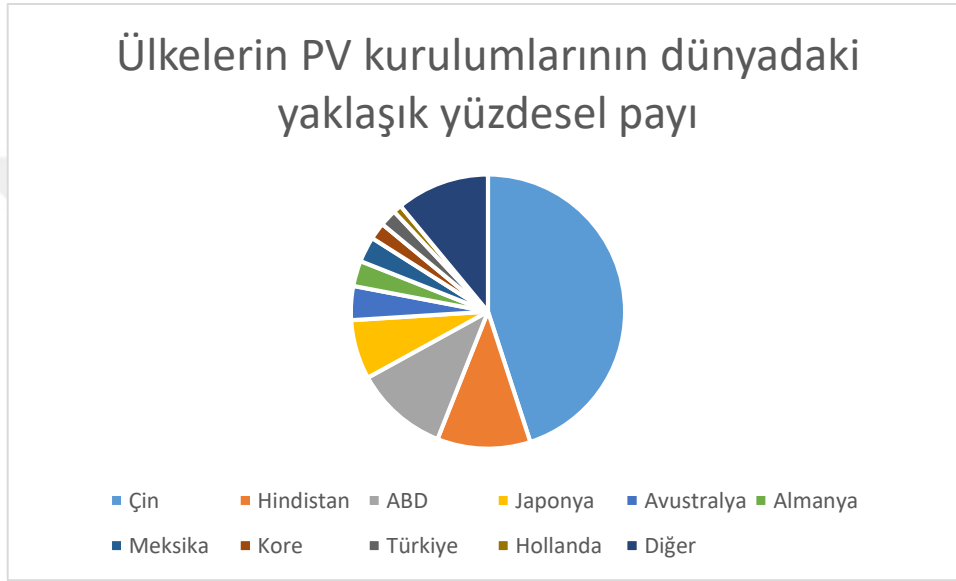
2020 yılı raporlarına göre küresel enerji kapasitesinin 2019-2024 yılları arasında %50 artarak 3 721 GW' a yükseleceği ve bu dönemde kurulu güce 1200 GW kapasite ekleneceği öngörülmektedir [37]. Çin Halk Cumhuriyeti' nin kurulu yenilenebilir güç kapasitesinin 1219 GW seviyesine çıkacağı, onu 411 GW ile Amerika Birleşik Devletleri'nin izleyeceği, devamında Hindistan, Almanya, Brezilya, Japonya gibi ülkelerin geleceği raporda ayrıca vurgulanmaktadır. Türkiye'nin ise 63 GW yenilenebilir enerji kapasitesi ile 11. sırada yer alacağı düşünülmektedir. Aynı rapora göre Türkiye'nin 2022 sonu itibarıyla 9,7 GW seviyesinde bulunan güneş enerjisi kurulu gücü, 2024'te 15,1 GW'a yükseleceği tahmin edilmektedir. Güneş enerjisindeki ilave 10 GW kapasite artışının 3,7 GW'si dağıtık enerji sistemlerinden sağlanacaktır. Yine aynı rapora göre yenilenebilir yükseliş büyük oranda güneş ve rüzgar enerjisinden kaynaklanacak ve eklenecek 1200 GW kurulu gücün 530 GW 'ı dağıtık sistemlerden elde edilecektir. Dağıtık sistem potansiyelinin ise ulaşılabilir çatı üzeri alanlar dikkate alındığında 9000 GW seviyelerine çıkacağı değerlendirilmektedir [37]. Bu durum aşağıdaki Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Ulaşılabilir çatı üzeri alanların kurulum potansiyeli

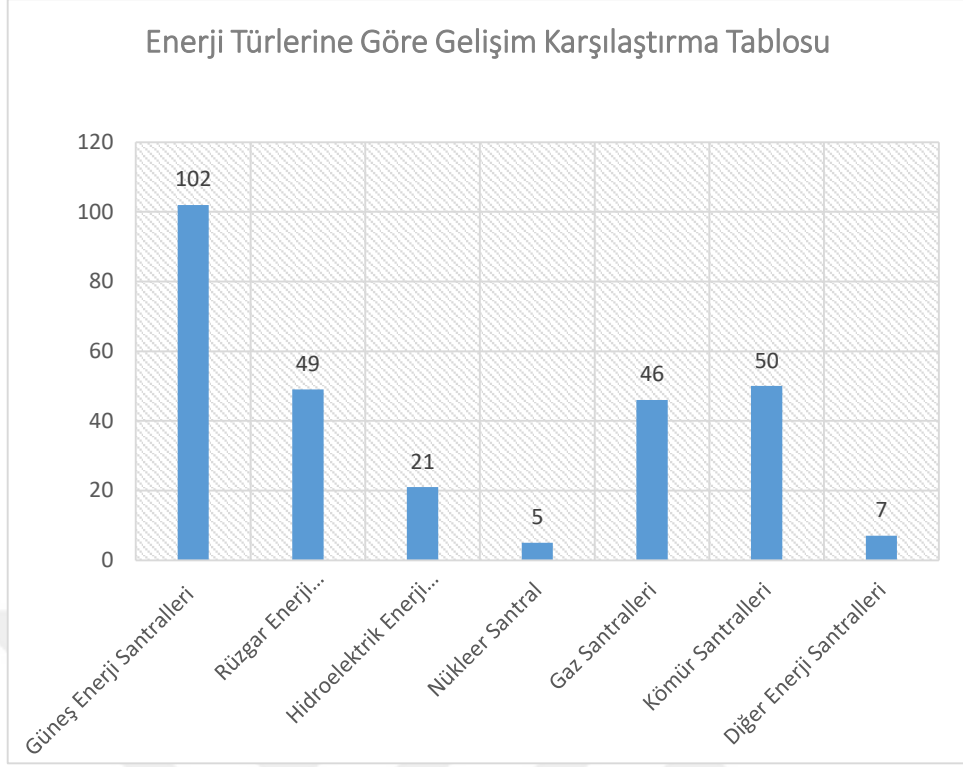
Solar Power Europe / Global Market Outlook for Solar Power 2019-2024 raporuna göre de 2018 yılı içerisinde 100 GW PV santral kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulu güç toplamda 500 GW seviyelerini aşmıştır [38]. 2018 yılı içerisinde kurulan santrallere bakıldığında fotovoltaik sistemler yatırım da 102 GW kurulu güç artışı ile ilk sırada yer almaktadır.

Oransal olarak bakıldığında ise 2018 yılı içerisinde kurulu güç ortalama %33 oranında artış göstermektedir. Diğer tüm enerji kaynakları içerisinde en yüksek artış solar sistemlerde yaşanmıştır. Solar sistemlerin bu artışında dünya üzerinde çatı üzeri sistemlerin yeri ise alt seviyelerdedir [38].2020 yılında ülkeler PV kurulumlarında önemli mesafeler kat etmişlerdir. Dünya kurulu gücünün %45'ini Çin oluşturmuştur. Türkiye ise kurulumlar arasında %2 seviyelerinde kalmıştır. Kurulan sistemlerin oransal olarak karşılaştırılması Şekil 2.2'de ve Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.2 Ülkelerin PV kurulumlarının dünyadaki yaklaşık yüzdesel payı

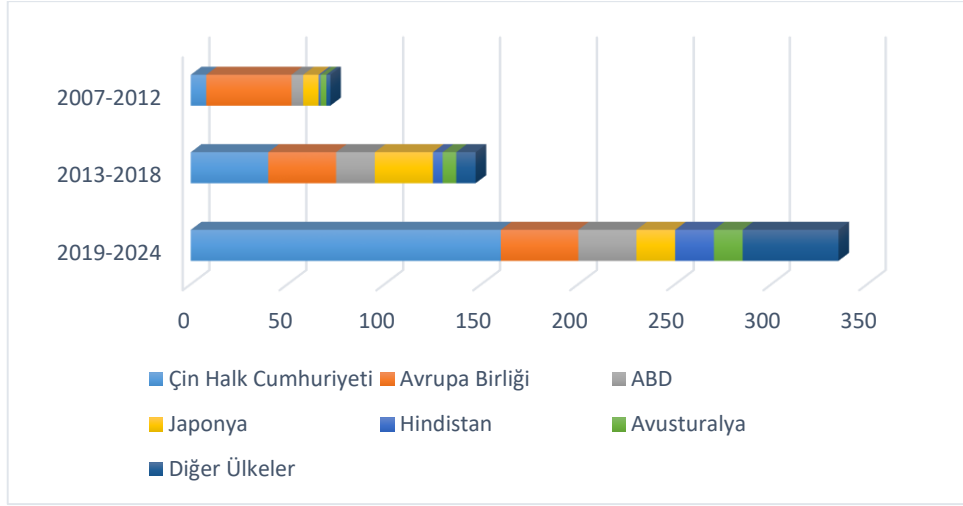
2020-2022 yılları verileri incelendiğinde ise küresel yenilenebilir enerji kurulumları %12 artmıştır. Bu artışın en güçlü ayağını fotovoltaik sistemler oluşturmaktadır. 2020-2024 yılları arasında bu kurulumların artmaya devam edeceği öngörülmektedir [38]. Yenilenebilir enerji kapasitesinin 2024 yılına kadar %50 artacağı düşünülmektedir.



Şekil 2.3 2020-2024 yılları arasında yenilenebilir enerji kapasitesinin gelişimi

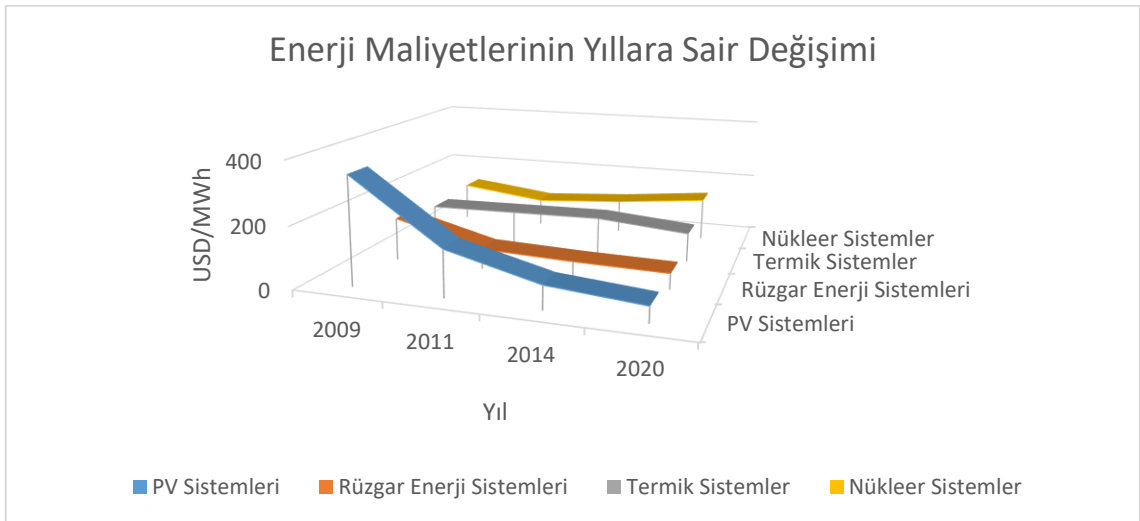
Yenilenebilir enerji kapasite tahminleri kullanılan enerji kaynaklarına göre farklı miktarlarda gelişim göstermektedir. Bu kapsamda yapılan tahminlere göre PV sistemler 700 GW seviyeleri ile 1. sırada yer almaktadır. Yenilenebilir sistemlerin içerisinde dağıtık sistemlerin payı ise 300 GW seviyelerinde olacaktır.

Gelecek 5 yılın tahminlemelerine göre de dağıtık PV sistemler kapasite artışını devam ettirecektir. Çin Halk Cumhuriyeti bu artışın lokomotifini konumunda olacaktır. Ve dünyanın en büyük dağıtık PV kapasitesine sahip olacaktır. Bu durum Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.4 2007-2024 arası ülkelerin PV kurulu güç potansiyelleri ve gelecek provizyonu yaklaşık değerlendirmesi(GW)

Dünyada solar enerji üretim maliyetleri de kurulu güç durumunu etkileyen faktörlerden biridir. Solar enerji sistemleri ile üretilen birim enerji maliyeti her geçen gün düşmektedir. 2009-2023 yılları arasında bu değerler 350 USD/MWh değerinden yaklaşık 40 USD/MWh değerlerine gerilemiştir. Maliyet azalış oranı diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla değerlendirildiğinde PV sistemler düşüş ivmesi en yüksek olan yenilenebilir enerji türüdür. Bu durum Şekil 2.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Solar enerji ve diğer enerji türlerinin birim maliyetlerinin yıllara bağlı azalışları

2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Uygulanan Teşvikler Ve Politikalar

Enerjide dışa bağımlı ülkeler enerji arzını çeşitlendirme politikasında yenilenebilir enerjiyi birinci öncelik haline getirmişlerdir. Bu özellikle enerjide dışa bağımlı ülkelerde enerji bağımsızlığının lokomotif olarak görülmektedir.

Yenilenebilir enerji santralleri son tüketiciyi üretici konumuna sokması yönüyle devletlerin enerji arzı organizasyonundaki zorluklarını azaltmaktadır. Bu kaynaklar mikro santraller olarak uygulanma imkânı tanıdığı için bölgesel olarak arzın karşılanmasında kullanılmaktadır. Devletler burada kanunlar ve teşvikler ile katalizör olarak çalışmakta ve süreçleri uygulanabilir kılmaya çalışmaktadırlar. Bu yönüyle incelendiğinde uygulanan politikalar yenilenebilir enerjinin rotasını belirlemektedir [39].

Ülkeler son yıllarda yenilenebilir enerji politikalarında farklı teşvik modelleri benimsemektedir. Teşvikler, farklı niteliklerde de olsa ekonomik kalkınma, milli gelir, toplumsal refah ve çevre üzerinde bir takım olumlu etkiler meydana getirmektedir. Bu çerçevede son yıllarda yenilenebilir enerjide meydana gelen büyümenin sübvansiyonlar, vergi kredileri ve diğer teşvikler aracılığıyla hükümet destekli programlarla sağlandığı ifade edilmektedir [39,40].

Genel olarak yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan teşvik mekanizmaları aşağıda sırasıyla verilmektedir;

Mali Teşvikler; yenilenebilir enerjinin üretimi ve tüketimi esnasında kanun koyucuların uygulayıcılara sağladığı ekonomik desteklerdir. Bunlar düşük faizli ve uzun vadeli kredi sağlama ile çevre vergisi istisnaları, katma değer vergisi muafiyetleri ve hızlandırılmış amortismanlar gibi araçlarla çeşitli finansal nitelikli desteklerdir. Vergi destekleri mali teşviklerin ana kısımlarından biridir. Karbon vergisi uygulaması, enerji vergileri, çevre, emlak ve katma değer vergisi istisna ve muafiyetleri, hızlandırılmış amortisman uygulamaları gibi mekanizmalar ile yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı teşvik edilmektedir [41]. Burada karbon vergisi uygulamaları ile de fosil yakıtların engellenmesi yoluyla yenilenebilir kaynaklara teşvik verilmektedir. Ayrıca elektrikle çalışan araçlara verilen teşvikler ise yenilenebilir enerji kaynaklarını dolaylı olarak desteklemektedir. Vergi teşvikleri genel olarak; katma değer istisnaları, gümrük vergisi istisnaları, stopaj vergisi destekleri, kurumlar vergisi muafiyeti olarak sınıflandırılmaktadır.

Özellikle güneş enerjisi teşviklerinde Amerika Birleşik Devletleri(ABD) özelinde yapılan çalışmalarda önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmalarda vergi teşvikleri ve indirimlerinin, kredi programlarının evsel uygulamalara ivme kazandırdığı gözlemlenmektedir [42]. Benzer Şekilde Çin Halk Cumhuriyeti'nde yapılan çalışmada vergi teşviklerinin ve tercihli politikaların Çin'in yenilenebilir endüstrisini hızlandırdığı görülmektedir [43].

Üretim teşvikleri; kurulan santrallerin üretime geçtiği andan sonra uygulanan teşviklerdir. Bunlar yenilenebilir portföy standardı, üretilen elektriğe teşvik ve sabit tarife olarak sınıflandırılmaktadır [44].

Yenilenebilir portföy standardı(RPS) elektrik tedarik şirketlerine ürettiği elektriğin bir kısmının yenilenebilir kaynaklardan sağlama zorunluluğu getirilmesi sistemidir. Portföy standardı modelinde sertifikalı yenilenebilir üreticileri ürettikleri her birim enerji için sertifika kazanmaktadır ve bu sertifikaları görevli tedarik şirketine satmak suretiyle gelir elde etmektedir. Bu standartta sadece tedarik şirketlerine değil kamu kurumlarına da bazı zorunluluklar getirilmektedir. Örneğin California Senatosu Ekim 2015'te bir portföy standartı yasası getirmiş ve görevli elektrik tedarik şirketine ve kamu kurumlarına elektriklerinin %50 sini yenilenebilir kaynaklardan sağlama zorunluluğu uygulamıştır. RPS programları, farklı yenilenebilir enerji türleri arasında daha fazla fiyat rekabetine izin verme eğilimindedir, ancak sınırlandırılabilir RPS programları için uygunluk ve çarpanlar yoluyla rekabet tercih edilmektedir. RPS mekanizmalarının benimsenmesini destekleyenler, piyasa uygulamasının, yenilenebilir enerjiyi mümkün olan en düşük maliyetle sunacak ve yenilenebilir enerjinin daha ucuz fosil yakıt enerji kaynaklarıyla rekabet etmesine olanak tanıyan rekabet, verimlilik ve inovasyonla sonuçlanacağını düşünmektedir.

Teşvik mekanizmalarının en önemli uygulamalarından biri de tarife ve prim garantisi teşvikleridir. Burada teşvik uygulamaları üretilen enerjinin 10-20 yıl aralığında alım garantisi ve ödemelerin döviz kurunda olması şeklinde gerçekleşmektedir. Döviz kuru burada santrallerin tüm ülkelerde uygulanabilir olması yönüyle oldukça önemlidir. Tarife ve prim garantisi, kurulan santralin; yerine, niteliğine ve kurucularına göre farklılık göstermektedir. [45] Burada standartlaşmış tek tip bir teşvik modeli uygulamak olası görünmemektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da bu duruma dikkat çekilmektedir.

Ülkeler tarife garantisi (FIT) çalışmalarında farklı teşvik değerleri uygulamaktadır. Bu teşvik değerleri liberal piyasa oyuncularını doğrudan yatırıma teşvik ettiği için çok önemlidir. Bu nedenle ülkeler mevcut kurulumlarını koydukları hedeflere yaklaşması açısından değerlendirerek FIT tarifelerini yıllara göre revize etmişlerdir. Türkiye ise bu değeri sabit bir değerde tutarak piyasa istikrarını gözetmiştir. Ancak FIT teşvik değerini düşük değerlerde tutmuştur. Ayrıca sektörel olarak belirli bir ivme kazandıktan sonra bu teşvikleri kademeli olarak azaltmışlardır [46].

Prim garantisi; üretilen enerjinin piyasaya satılması ve satış fiyatı ile piyasa fiyatı arasındaki farkın ise prim olarak alınması metodudur. Sabit Prim garantisi olarak da uygulanabilir. Bu sistemde önceden belirlenen sabit primler satılan enerjinin fiyatı piyasa satış fiyatı seviyesine erişinceye kadar üreticiye verilen sabit prim sistemleridir. Sabit prim garantisi yatırımcılara öngörülebilir piyasa sunmaktadır.

Net tüketim değerlendirmesi (NEM) teşvik sistemi; yatırımcılara tüketim fazlası elektriğin satılması olanağını sağlamaktadır. Burada sabit fiyat uygulaması kullanılacağı gibi piyasa satış fiyatı da uygulanabilmektedir. NEM kavramı kısaca ifade edilecek olursa mahsuplaşma terimi kullanılabilir.

Kota sistemi ise üretilen elektrik enerjisinin belirli bir kısmının yenilenebilir kaynaklardan sağlanmasını zorunlu kılan sistemlerdir. Burada kota fazlası enerji kotayı tutturamayan diğer tüketicilere satılabilir. Kota sistemi yeşil sertifika uygulamaları ile desteklenebilir.

Teşvik politikalarını ülkeler özelinde incelendiğinde ise bir veya birden fazla teşvik modeli benimsedikleri görülmektedir. Bu teşvik politikaları bazı ülkelerde alt kırılımlara ayrılarak çatı üzeri sistem ya da mikro sistem teşvikleri olarak ayrılmaktadır, bazı ülkelerde ise alt kırım olmaksızın tüm PV sistemler aynı kategoride değerlendirilmektedir.

2.3.1 Seçili 10 Ülkede Teşvikler Ve Politikalar

2.3.1.1 Avrupa Kıtası

A. Almanya

Almanya’da yenilenebilir enerji kaynakları için uygulanan mali ve finansman destek araçları; sübvansiyon, tarife garantisi, prim tarife garantisi, krediler, vergi düzenlemeleri ve kota sistemi şeklinde kategorize edilmektedir.

Almanya teşviklerine 1989 yılında uygulamaya koyduğu 1000 çatı programı ile başlamıştır. Burada 2250 çatıda toplamda 6,15 MWp kurulu güce ulaşılmıştır. Teşvik oranı bu çalışmalarda %70 seviyelerine erişmiştir. Daha sonra 2001 yılında ise 100 000 çatı projesiyle kurulu güç 15 kattan fazla artış göstermiştir. Burada teşvik modeli olarak düşük faizli krediler etkili olmuştur. Almanya bu dönemde teşviklerini 20 yıllık olarak uygulamaya almıştır. [47]

Almanya’da 100 kW üzeri santrallere tek fiyat yerine piyasa primi sistemi uygulanmıştır. Ayrıca çatı üzeri sistemler için de ek ödeme ve ihale sistemleri uygulanmaktadır.

2016 yılına kadar Almanya’da 100 kW kurulu güce kadarki tüm santraller sabit FIT değeri ile teşvik edilmiştir. 2017 yılından sonra uygulanan sabit FIT değeri tesisin kurulu gücüne ve kurulum bölgesine göre kategorize edilmiştir. Bölgeye bağlı olarak fit değeri 8,91 ile 12,70 € ct / kWh arasında değişmektedir. Uygulanan garantili teşvik üzerinden her ay %0,5 indirim sağlanmaktadır. 2017 yılında her yıl 2500 MW kurulu güç hedefi oluşturularak bu hedef aşıldığında teşvik indirimi % 2,8 e çıkarılmaktadır [48,49].

Ayrıca Almanya’da sabit alım garantisi solar sistemler için 9,23 – 13,50 € cent/kWh şeklinde uygulanmaktadır. Burada sabit alım değerinin tek bir değerde olmayışı burada kategorize edilmiş teşvik sistemini uygulandığını göstermektedir.

Almanyada çatı üzeri sistemleri teşvik edebilmek için de ek sübvansiyonlar sağlanmaktadır. Burada 20-100 metrekare aralığında kurulan mikro şebekelere 1.863 – 22.500 Euro aralığında destekler verilmektedir. Ayrıca destek mekanizmalarında tanımlı binalarda yapılan kurulumlarda destek üst seviyeye çıkarılarak çatı üzeri sistemler kontrollü olarak desteklenmiştir.

Almanya’da verilen destekler merkezi hükümet tarafından karşılanmamaktadır. Burada destekler sürşarj olarak son kullanıcılara yansıtılmıştır. 2017 yılında sürşarjlı toplam elektrik fiyatı EUR 9,56 Cent/kWh seviyelerine gelmiştir [50].

Almanya’da PV sistemler için vergi muafiyetleri de mevcuttur. Ticari yatırımcılar için %19 KDV muafiyeti sağlanmaktadır. Ayrıca farklı bölgelerde uygulanan yatırım bağışları da mevcuttur.

B. İspanya

İspanya’da yenilenebilir enerjiye yönelim 1997 yılında çıkarılan Elektrik Sektörü yasası ile başlamaktadır. 1999 yılında ilk olarak üretilen elektriğin alımını garantileme metoduna ek olarak sabit fiyat ve piyasa fiyatının üzerine verilebilecek fark ücretleri modeli uygulanmıştır. İlk etapta 5 kW a kadar olan mikro şebekelerde teşvik modeli benimsenmiştir. 2004 yılında çıkarılan yasalar ile de FIT ücretini dönemin elektrik ücreti ile oranlayarak bir katsayı elde edilmiştir. Alım fiyatları bu katsayı ile otomatik olarak güncellenmiştir. 2010 yılında ise verilen teşvikler 100 kW kurulu gücün üzerine çıkıldığında teşvik azaltma metoduna gidilmiştir. Böylelikle kurulumlar mikro şebekelere yöneltilmiştir. Uygulanan sistemde kurulu güç 100 kW değerini geçince teşvikler yarı fiyatına indirilmiştir. O yıllarda 100 kW için EUR 42 Cent/kWh olan tarife 100 kW kapasite geçilince EUR 21,99 Cent/kWh’e düşürülmüştür. Bu tarife ise süresiz olarak uygulanmıştır. Tesis 25 yılını doldurunca tarifede düşüş sağlanmıştır. Kapasite tahsisi ise 100 kW’lık paketler halinde uygulanmıştır [51]. 2005 yılından sonra da ek tarifeler uygulanmıştır [52]. Almanya gibi giderek azalan bir teşvik modeli uygulanmadığı için yatırımcı için öngörülebilir ve sürdürülebilir bir karlılık ortamı oluşturulmuştur. 2005-2010 yılları arasında da teşvikler mevcut tarifeden bağımsız hale getirilmiştir. 2007 yılında fotovoltaik kurulumlarında bir patlama gerçekleşmiştir. Bunun sebebi sürekli azalan kurulum maliyetlerine karşın teşviklerin yüksek bir bantta seyretmesidir. 2008 yılına gelindiğinde ise FIT yapısında düzenlemelere gidilmiştir. Üretim tesisleri detaylı olarak sınıflandırılmıştır. 2010 yılında ise teşvik süreleri 20 yıla indirilmiştir ve tarifelerde düşüşe gidilmiştir. Bunun sebebi ise fotovoltaik tesislerden kaynaklı maliyet artışlarını azaltma amacıdır. Daha sonra ülke güneşlenme sürelerine göre katagorize edilerek yüksek güneşlenme verilerine sahip bölgelere daha yüksek teşviklendirme modeline geçilmiştir. 2011 yılında çıkarılan yönetmelik ile de her MWh elektrik

için 0.5 euro bedel ödemek zorunda bırakılmıştır. Enerji satışından da %7 kesinti uygulanmaya başlanmıştır. 2013 yılında çıkarılan yönetmelik ile de ücretler ve prim uygulamalarının enflasyon oranına göre düzenlenmesine karar verilmiştir. Güncelleme ile tüketici fiyat endeksinden yemek ve enerji kısımları çıkarılarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca kurulumlar için düşük faizler uygulanmış ve kurulumlar hızlandırılmıştır. Bugün ise İspanya’da teşvik sistemi makul karlılık modeline göre revize edilmiştir. Projelerin vergi öncesi gelirleri devlet bankalarının 10 yıllık gelirinin %3 fazlası olarak uygulanmaktadır. Bu hesaba göre oluşturulan makul karlılık oranı 2013 yılında %7,39 olarak belirlenmiştir [53]. 2017 yılına gelindiğinde ise İspanya’nın 4978 MW kurulu PV gücüne erişilmiştir. Bu değer ile dünya üzerinde en fazla kapasitesine (2300 MW) sahip olması nedeniyle güneşten elektrik üretilmesinde dünya altıncısı konumuna gelinmiştir. 2021 yılında ise PV kurulu güç 8567 MW seviyelerini aşmaktadır.

C. Fransa

Fransa, solar sistemleri destekleme mekanizması olarak FIT sistemini kullanmaktadır [54,55]. Bu FIT sisteminde uygulanan değerler yasalarla belirlenmektedir. Bu sistemde ihtiyaç fazlası enerji veya üretilen tüm enerji şebekeye satılmaktadır. Bu sisteme ek olarak daha esnek bir Enerji Transfer Yasası da kullanılmaktadır. Bu yasa kapsamında üreticilerin ürettikleri enerjiyi satma zorunlulukları yoktur.

Fransa’da FIT değerleri de kurulu güce göre kategorize edilmektedir. Bu kategorizasyon 3-9-36-100 kW sınırlarıyla sağlanmaktadır. Ve tüm üretimin satılması veya ihtiyaç fazlası üretimin satılması da FIT değerini etkilemektedir. Burada da küçük tesislerin ihtiyaç fazlası enerjisini satması durumunda verilen teşvik oranları diğer teşviklere göre daha yüksektir. Bu durum Tablo 2.1’de gösterilmektedir [56].

Tablo 2.1 Fransa fit değerlerinin kurucu güçlere göre kategorizasyonu

KuruluGüç Seviyesi	Tamamının Satılması Durumunda FIT değeri (€ct/ kWh)	İhtiyaçFazlasıÜretimin SatılmasıDurumundaFIT Değeri(€ct/kWh)
≤3 kW	18.59	0.39
≤9 kW	15.80	0.29
≤36 kW	12.07	0.19
≤100 kW	11.19	0.9
>100 kW	0	0

2.3.1.2 Amerika Kıtası

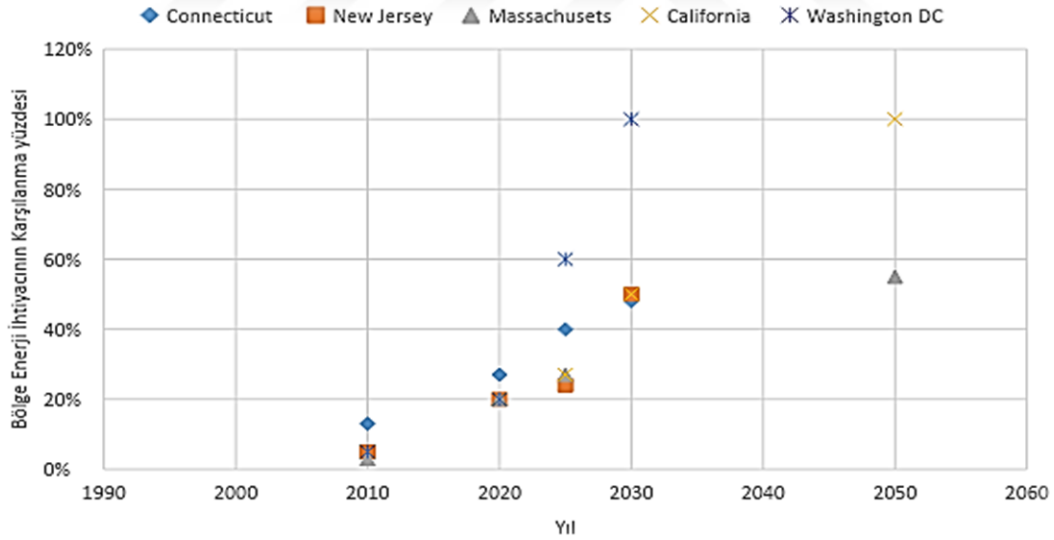
ABD dünya enerji tüketimi sıralamasında 2. Sırada yer almaktadır. Bu nedenle enerji politikalarını çeşitlendirme çalışmalarına yönelmiş dolayısıyla yenilenebilir enerjiye yoğunlaşmıştır. ABD; Çin ve Almanya'dan sonra yenilenebilir enerji uygulamalarına en çok yatırım yapan 3. ülke konumundadır.

ABD Ulusal Enerji Kanunu ile yenilenebilir enerjiye teşvikler uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak vergi muafiyetleri verilmiştir. Ayrıca fotovoltaik sistemlere yönelen evsel tüketim noktalarına vergi muafiyetleri sağlanmıştır. Ve kamu kurumları da yenilenebilir enerji kullanımına yönlendirilmiştir.

ABD' de yenilenebilir enerji teşvikleri eyaletler özelinde gerçekleştirilmektedir. Eyaletler koydukları hedefler doğrultusunda yaptıkları yatırımlar ile enerjilerinin bir kısmını yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadırlar. Yatırımlar teşvikler ile gerçekleştirilmektedir. Bu teşviklerin en önemlilerinden biri de kurulan sistem maliyetlerinin %30 unu karşılayacak Şekilde verilen eyalet vergisi muafiyetleridir. Ayrıca alınan enerji satış faaliyetlerinden de indirimler sağlanmaktadır.

Son yıllarda teşvikler konutlar için yoğunlaştırılmıştır. Bu kapsamda verilen kredi teşvikleri de konutlarda yenilenebilir yatırımları hızlandırmaktadır.

ABD’de yenilenebilir enerji teşvikleri genel olarak üretim vergisi indirimi, yatırım vergisi indirimi, işletme ve hibe sübvansiyonları, portföy standartları olarak sınıflandırılmaktadır. Hibeler kurulan yenilenebilir tesislerin %30 una kadarını karşılayabilmektedir. Hibeler belirlenen şartları sağlayan santrallere verilmektedir. İşletme sübvansiyonları ise elektrik tedarik şirketlerine elektriğin belli bir yüzdesinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanma zorunluluğu getirme şeklinde uygulanmaktadır. ABD’de seçili bölgelerde 2010-2050 yılları arasındaki portföy standartı tablosu Şekil 2.6’da verilmektedir. Burada % olarak ifade edilenler tüketilen elektriğin yenilenebilir enerjiden karşılanma oranını göstermektedir. 2020 yılı sonrası durumlar bölgelerde uygulanan portföy hedeflerini göstermektedir. Hedeflerin beklenen zamanda gerçekleşmesi halinde Washington 2030 yılında, California 2050 yılında enerjisinin tamamını yenilenebilir kaynaklardan karşılayacaktır.



Şekil 2.6 ABD’de uygulanan portföy standartları uygulamasının seçili bölgelerde enerji ihtiyacını karşılama yüzdeleri ve gelecek provizyonlar

A. Kanada

Kanada’da 1970 yılından beri enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji alanında çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle 1990-2003 yılları arasında enerji verimliliği%13 arttırılmıştır. Kanada hükümeti zararlı gaz salınımlarını azaltmak

için birçok politika geliştirmiştir. Bunların en önemlilerinden biri de solar sistem yatırımlarıdır. Kanada karbon emisyonunu azaltmak için birinci formül olarak PV sistemleri görmektedir. Özellikle çatı üzeri PV sistemler desteklenmektedir [66].

PV sistemler için bu ülkede benimsenen en etkili politika FIT politikasıdır. Kanada bu politikayı özellikle çatı üzeri sistemlerde çok etkin kullanmıştır. 2009 yılında FIT programı küçük ölçekli solar sistemlere yüksek teşvik oranıyla başlamıştır. Burada tarife 80.2 ¢/kWh olarak uygulanarak projelere adeta katalizör etkisi yapılmıştır. Bu teşvikle birlikte ülkeye Samsung C&T Corporation and the Korea Power Electric Corporation (KPEC) firmaları giriş sağlamıştır. Ve bu firmalarla 7 milyar dolarlık anlaşma sağlanmıştır. FIT teşviklerinin yanında Kanada PV sistem teşviklerini PV panel üretimine yoğunlaştırmıştır. Bu kapsamda vergi muafiyetleri, kredi garantisi ve nitelikli iş gücü arttırımı destekleri üreticilere sağlanmıştır.

2.3.1.3 Asya Kıtası

A. Çin Halk Cumhuriyeti

Çin Halk Cumhuriyeti 2000 yılından sonra yoğun olarak yenilenebilir enerjiye yönelim göstermiştir ve hızlı bir ivme ile ciddi bir mesafe katetmiştir. 2020 yılında ise dünyanın kurulu güç kapasitesi olarak lideri konumundadır. 2030 yılına kadar yıllık 145 milyar dolar toplamda 2.2 trilyon dolar yatırım yapılacağı planlanmaktadır. Çin 2030 yılına kadar toplam enerji talebinin %26 sını yenilenebilir enerjiden karşılamayı hedeflemektedir. 2050 yılında ise bu oranın %86 ya çıkarılacağı öngörülmektedir. Çin'in bu başarısının arkasında temel politika olarak portföy standartları, tarife garantisi ve doğrudan sübvansiyon uygulamaları bulunmaktadır. Çin bu alanda rekabetini arttırabilmek için 2009 yılından bu yana 2 sübvansiyon uygulamaktadır. Bunlardan birincisi Solar Roofs programıdır. Bu program ile çatı üzeri ve bina entegre sistemler desteklenmektedir. Bu program ile toplam yatırım bedellerinin %50'si sübvansiyonlarla desteklenmektedir. İkinci program ise büyük ölçekli projeleri destekleyen Golden Sun Demonstration projesidir [57]. Bu programlar ile iki yıl içerisinde 500 MW kurulum gerçekleştirilmiştir. 2012 yılı itibari ile de çatı üzeri sistemlerin üretim değerlerine katkısı 551 MW seviyelerini geçmiştir.

Çin'de uygulanan yenilenebilir enerji teşvikleri; kdv iadesi, enerji performansı yükleniciliği, tarife garantisi teşvikleri, finansal fonlar ve mali sübvansiyonlar

olarak sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda teknoloji üreticilerine %15 kurumlar vergisi muafiyeti uygulanmıştır. Projelerden elde edilen gelirler de aynı Şekilde vergi muafiyetinden yararlandırılmıştır. Buna ek olarak fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerji satışları için %50 kdv iadesi uygulanmaktadır ayrıca Çin 10 MW ve 60 MW lık projelerle ihalelere çıkmıştır. Kapasite artışları bu metotla gerçekleştirilmiştir.

Tüm elektrik miktarı sübvansiyonu politikasına göre sübvansiyon standardı, vergi dahil 0,0678 \$ / kWh'dir. PV sistemler için KDV'nin % 50 geri çekilme politikasının uygulanmasıyla, gerçek KDV oranı % 8,5 olmaktadır. Orjinal oran % 17 ile karşılaştırıldığında, bu destek tarife garantisinin 0,0032 \$ / kWh artarak 0,0065 \$ / kWh'ye çıkarılmasına denk gelmektedir. Verginin düşürülen kısmı, PV güç istasyonu için verim oranını% 1 -2 artıracaktır. Böylelikle kdv muafiyeti doğrudan yatırımları teşvik etmektedir [58].

Çin sabit fiyat teşviklerine 2011 yılı itibari ile başlamıştır ancak tek fiyat sisteminden vazgeçilerek teşvikler kategorize edilmiştir [59]. Tüm bu politikalar ile 100 GW kurulu güç hedefi vaktinden önce gerçekleştirilmiştir.

B. Hindistan

Hindistan yenilenebilir enerji alanında özellikle de PV sistemler alanında en hızlı kalkınma gösteren ülkelerden biridir. Hindistan'da PV sistemlere verilen teşvikler 3 ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; Solar hücre üretimi sistemleri ve buradaki araştırmalara yönelik teşvikler, PV panel üretimine yönelik teşvikler, PV sistem kurulu gücünü arttırmaya yönelik teşviklerdir.

Hindistanda 1995 yılına kadar 300.000 küçük ölçekli tesis kurularak 22 MW kurulu güç kapasitesine ulaşılmıştır. Bu kurulu güç Hindistan'ı dünyanın 3. En büyük PV sistem kurucusu haline getirmiştir.

Hindistan Solar Home System programı ile de ev tipi fotovoltaik sistemleri desteklemiştir. Bu kapsamda ilk 1 MW kurulu güce sahip PV sistemi Jamuria bölgesinde kurulmuştur.

2010 yılında Jawaharlal Nehru National Solar Mission (JNNSM) ismi ile ulusal aksiyon planı hazırlanmıştır. Bu planda 3 faz halinde 2022 yılına kadar 20 GW kurulu güç hedefi belirlenmiştir. Faz I 2010-2012, Faz II 2012-2017, Faz III 2017-2022 yıllarında gerçekleştirilmek üzere planlanmıştır. Faz I bünyesinde Rooftop PV

and Small Scale Generation Programme' (RPSSGP) isimli program uygulamaya konularak en fazla 2 MW kapasiteye sahip santraller desteklenmiştir [61,62,63].

Hindistanda PV sistemlerin kurulmasına yönelik verdiği mali teşvikler gelir vergisi indirimi, hızlandırılmış amortisman, gümrük vergisi istisnaları, sermaye yardımları, tarife garantisi, üretime dayalı teşvikler, hızlandırılmış amortisman, yenilenebilir enerji satın alma zorunluluğu ve vergisel avantajlar olarak sınıflandırılmaktadır.

C. Malezya

Malezya devleti 1949 yılından başlayarak birçok enerji politikası uygulamıştır. Malezya için ana amaç enerji arz güvenliğini ve enerji sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Bu kapsamda ilk enerji politikası olarak Central Electricity Board ismiyle bir politika oluşturulmuştur [64,65]. Faydacı yaklaşımla oluşturulan bu politika ilerleyen yıllarda çevreci enerji politikalarına dönüştürülmüştür. 1979 yılına gelindiğinde ekonomik, sürdürülebilir, çevreci politikalar oluşturulmuştur. İlk olarak 2001 yılında Small Renewable Energy Program (SREP) adıyla yenilenebilir enerji politikası oluşturulmuştur. Bu politika 2005 ve 2010 yıllarında farklı aşamalara getirilerek ilerletilmiştir. Bu programların birinci odak noktası şebekeye bağlı küçük yenilenebilir enerji santralleridir. 2009 yılında National Green Technology Policy (NGTP) adıyla yenilenebilir politikalar ilerletilmiştir. Bu politikanın Malezya'nın yenilenebilir enerji politikaları içerisinde önemi büyüktür. NGTP'nin 4 odak noktası vardır. Bunlar; enerji bağımsızlığını ve enerjiden faydalanma oranını arttırmak, çevreye verilen zararları minimuma indirmek, teknolojinin kullanımını arttırarak ekonomiye katkı sağlamak ve yaşam kalitesini arttırmaktır.

Malezya güneşlenme oranları analiz edildiğinde fotovoltaiik sistemlere uygun ülkelerden biridir ve 5.5kW/m² ışıma değerine sahiptir.

Malezya'da hala petrol ve doğalgaz odaklı politikalar uygulanmaya devam etmektedir. Solar sistemlerde uygulanan FIT sistemi ise bu ülkede uygulanmayacak noktalara getirilmiştir.

D. Birleşik Arap Emirlikleri

Birleşik Arap Emirlikleri enerjisinin yaklaşık %98'ini doğalgaz ve petrolden karşılamaktadır. Bu nedenle politikaları bu alanda odaklanmıştır. Ancak çevreci yaklaşımlar ve tükenen kaynaklar nedeniyle de PV sistemleri gelecekteki enerji

kaynakları olarak görmektedirler. Bu kapsamda birçok yenilenebilir enerji çalışmasını yürütmektedirler [67,68,69].

Bu ülkede enerji tüketim tarifeleri de yaşayanlara göre farklılık göstermektedir. Ülkenin yerli vatandaşları 0.014 (\$/kWh) tarife ücreti ile elektrik alırken diğer kesim değişen fiyatlarda elektrik almaktadır. Bu durum Tablo2.2’ de gösterilmektedir [12]. Bu durum da PV yatırımlarını etkilemektedir. Çünkü PV yatırımlarını teşvik eden durumlardan biri de elektrik kullanım maliyetleridir.

Tablo 2.2 Birleşik arap emirlikleri’nde vatandaşlara göre elektrik tarifeleri

Kullanıcı Tipi	Tarife Oranı (\$/kWh)
Yerli Vatandaş	0,014
Gurbetçi Vatandaş	0,057
Ticari Kullanıcı	0,044
Endüstriyel Kullanıcı	0,044
Tarım Kullanıcısı	0,044

Dubai yenilenebilir enerji politikaları 2011 Dubai’s Integrated Energy Strategy 2030 isimli programla oluşturulmuştur. Burada temel amaç 2030 yılına kadar yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji arzını %5 seviyelerine çekmektir. Daha sonra bu amaç 2015 yılında %15 olarak revize edilmiştir [70].

Birleşik Arap Emirlikleri’nde genel olarak FIT programı uygulanmaktadır. Bu programın yanında çatı üzeri PV ihaleleri ve ekipman destekleri ve öz tüketime yönelik mahsuplaşma uygulamalarıdır.

2.3.1.4 Güney Amerika

A. Brezilya

Brezilya PV sistemlere mahsuplaşma, iletim ve dağıtım ücretinin yenilenebilir kaynaklara değişen oranla azaltılması ve ek sübnavsiyon destekleridir. Bunların en

yoğun kullanımları ise NEM sistemidir. Ayrıca Brezilya’da mikro tesislere yönelik düzenlemeler de mevcuttur.

Nisan 2012’de Brezilya’da mikro tesislere destek vermek amacıyla NEM uygulaması hayata geçirilmiştir. Bu mekanizma ile şebekeyle iki yönlü enerji alışverişi sağlanmaktadır. 2015 yılına kadar uygulanan bu net metering mekanizması ile sadece 478 PV sistem kurulmuştur. Bunun üzerine 2015 yılında net metering uygulaması güncellenmiştir. Güncelleme ile dağıtık PV sistemleri mikro ve mini olarak kategorize edilmiştir. Mikro DG 75 kW ve daha az kurulu güce sahip santraller, mini DG ise 75 kW-5MW arası kurulu güce sahip santraller olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca uygulanan NEM sisteminde yerel tüketicilere ihtiyaç fazlası elektrik karşılığında 60 aya kadar kullanabilecekleri bir kredi tahsis edilmektedir.

Brezilya’da dağıtık PV sistemlerine uygulanan birçok vergi vardır. Bunların en önemlisi mal ve hizmet vergisidir (Goods and Services Tax (ICMS)). Bu vergi Brezilya’nın 27 bölgesinde uygulanmaktadır ve değeri %30’a kadar artmaktadır. İlk olarak şebekeden alınan enerjiye uygulanan bu vergi daha sonra şebekeye verilen enerji ile alınan enerji arasındaki fark değere uygulanmaya başlanmıştır. Bu da son tüketicileri PV sistem kurmaya teşvik etmektedir.

Brezilya’da 2017 yılına kadar yıllık 1 GW PV kapasitesi ilavesi yaşanırken yapılan teşvik revizyonları ile kurulum hızı artmıştır. Bu kapsamda 2019 yılında 2 GW kapasite artış değeri aşılmıştır. 2020 yılında kapasite artış değeri 2,5 GW seviyesini aşmıştır ve 2021 yılında da 3 GW seviyelerini aşacağı öngörülmektedir.

Bu teşvikler direkt olarak çatı üzeri sistemleri desteklemektedir.

Ayrıca Brezilya’da projelere doğrudan uygulanan sübvansiyon ve mali destekler de bulunmaktadır.

B. Meksika

Meksika 5,5 GW PV kurulu güce sahiptir. Bu kurulu güce ulaşmada uyguladığı en önemli teşvik metodu uzun vadeli açık arttırma yani ihale sistemidir. 2016 ve 2017 yıllarında 3 önemli yenilenebilir enerji ihalesi gerçekleştirilmiştir ve toplam 4,8 GW kurulu güç bu ihalelerle tahsis edilmiştir. Bu değerin yaklaşık %55’ini PV sistem ihaleleri kapsamaktadır. Yapılan bu ihalelerde ortalama 20.57 USD / MWh’lik bir değer belirlenmiştir. Yapılan bu üç ihale ile 2020 yılına kadar öngörülebilir bir

pazar oluşturulmuştur. 29 Nisan 2020 tarihinde projeler Covid 19 virüsü gerekçesi ile durdurularak pazar için öngörülebilir olma özelliği azaltılmıştır.

Meksika'da 2024 yılına kadar %35 yenilenebilir enerji hedefi koyulmuştur. 2017 yılına kadar %21 olan hedef revize edilmiştir. Bu hedefi karşılayabilmek için Meksika kota sistemi teşviklerini Temiz Enerji Sertifikası (Clean Energy Certificate(CEC)) adıyla hayata geçirmiştir. Bu program ile perakende tedarikçilerine, büyük tüketicilere enerji ihtiyaçlarının bir kısmını yenilenebilir kaynaklardan sağlama zorunluluğu getirilmiştir.

Ülkede dağıtık sistemlere yönelik politikalar da mevcuttur. Bürokratik ve İdari süreç külfeti 0,5 kW a kadar kurulu güce sahip tesisler için uygulanırken bu değer 1 MW seviyesine yükseltilmiştir, ayrıca küçük topluluklara birlikte proje geliştirmenin yolu açılarak son tüketiciler üretici konumuna getirilmeye çalışılmaktadır.

Meksika'da çatı üzeri PV sistemlere de teşviklerin yolu açılmaktadır. Bu kapsamda federal binalarda solar çatı kurulumları da zorunlu hale getirilmiştir. Ülkede 2020 yılı itibari ile 818 MW kurulu güce sahip 110.000'den fazla solar çatı bulunmaktadır. 2030 yılına kadar bu değer 25 GW seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir.

2.3.1.5 Sahra Altı Afrika Ülkeleri

Sahra altı Afrika ülkeleri Afrika'nın Arap Devletlerinin dışında kaldığı güneyde kalan Afrika devletlerini kapsamaktadır. Bu ülkeler; Angola, Benin, Botsvana, Burkina Faso, Burundi, Cibuti, Çad, Ekvator Ginesi, Eritre, Etiyopya, Fildişi Sahili, Gabon, Gambia, Gana, Gine, Gine Bissau, Güney Afrika, Güney Sudan, Kamerun, Kenya, Kongo Cumhuriyeti ve Komorlar Birliğidir.

Sahra altı ülkelerde yaşayan insan popülasyonunun yaklaşık %48 i elektriğe erişebilmektedir. Geri kalan kısmı ise elektriğe ulaşmada zorluklar yaşamaktadır. Bu nedenle PV sistemler bu ülkeler için alternatif bir kaynak olmaktan çıkıp temel kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bu ülkelerin solar ışıma değerleri yıllık 1500-2000 kWh/kWp değerleri arasında olmasına rağmen bölgenin kurulu gücü 3,8 GW seviyelerindedir. Bu Afrika Kıtası'nın ürettiği güç değerinin yaklaşık %3'ünü, Dünya solar kapasitesinin %1 ini kapsamaktadır. Bu 3,8 GW solar kurulu gücün 2,4 GW seviyesi de Güney Afrika sınırları içerisinde. Bölgede 100 MW kurulu

gücü geçen ülkeler ise Nambia, Kenya, Senegal ve Zambiadır. Tüm bu durumlar dikkate alındığında bölgede geleneksel teşvik sistemlerinin neredeyse hiç uygulanmadığını belirtilmektedir. Bu ülkelerde teşvik politikaları ülkeyi yatırıma uygun hale getirmektir. Bu kapsamda fonlayıcı ülkeler çeşitli proje destekleri uygulamışlardır. Bu destekler; finans destekleri, teknik destekler (şebekeye entegrasyon desteği), kapasite oluşturma desteğidir.

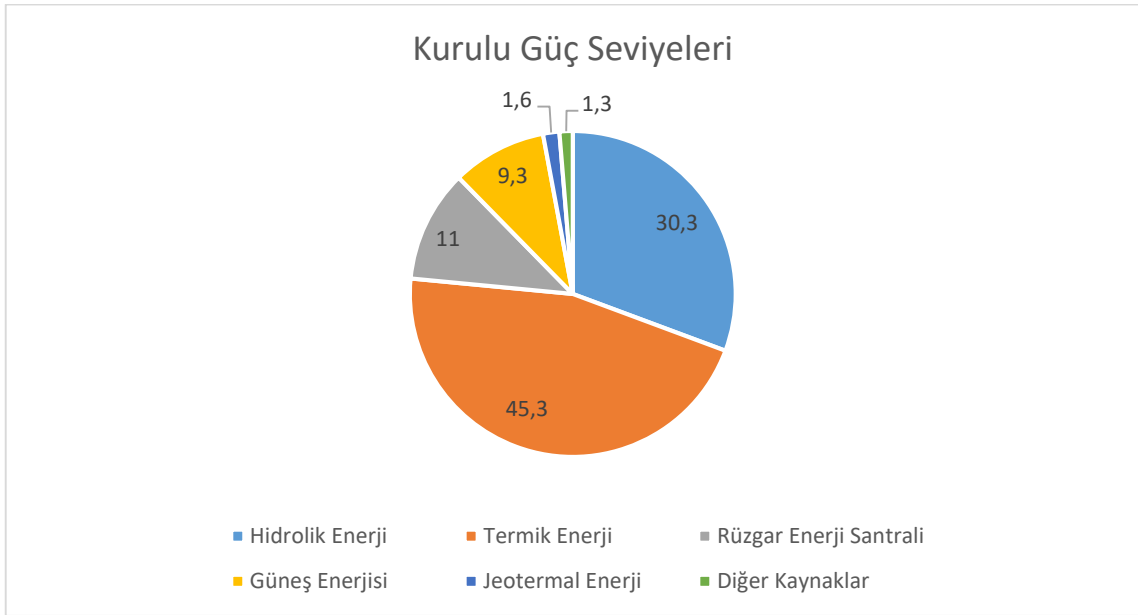
Avrupa Birliği ve diğer dünya ülkelerinin de sahra altı ülkelerinde yenilenebilir eksikliğin giderilmesi amacıyla uyguladıkları destek politikaları mevcuttur. Avrupa birliğinin uyguladığı Avrupa Yeşil Anlaşması'nın (European Green Deal) Yeşil Düzen Diplomasisi (Green Deal Diplomacy) diğer dünya ülkelerini de yenilenebilir enerjiye çekme ve motive etme amacı taşımaktadır. Bu kapsamda Sahra Altı Afrika Bölgesi de Avrupa'nın ilgi alanı içerisindedir ve burada projeler hayata geçirilmektedir. Avrupa Komisyonu'nun Mart 2020'de imzalanan Afrika İle Yeni Strateji (New Strategy With Africa) anlaşmasında da yeşil enerji konusunda Afrika ile güçlü işbirlikleri kurulacağı vurgulanmıştır. Bu sözleşme kapsamında belirtilen 'komşuluk, kalkınma ve uluslararası işbirliği aracı (Neighbourhood, Development and International Cooperation Instrument: NDICI) adı verilen 90 milyar euroluk finans desteğinin Afrika için kullanılabileceği de vurgulanmaktadır. Afrika için uygulanan diğer projeler; GET.invest, Electrification Financing Initiative, The Private Financing Advisory Network , The Renewable Energy Performance Platform , Climate Investor One, Africa Renewable Energy Scale-Up Facility , Transferability and Convertibility Facility , EU External Investment Plan , Scaling Solar, GET FiT, Sunfunder, Acumen Fund projeleridir.

Bu projelerde genel olarak erken aşama fonlama desteği, erken aşama danışmanlık desteği, proje konumlandırma desteği, projeler için düzenleyici çerçeve oluşturma desteği, özel finansmanı arttırmak için sağlanan güven ortamı teşvikleri, politika önerisi destekleri, tarife uygulanabilirliği açığı finansmanı, hedeflenen teknik yardım, y riskine karşı risk azaltma ve yenilenebilir şebeke entegrasyon desteği vb desteklerdir. Destek projeleri Avrupa Birliği, ABD, Dünya Bankası, Almanya, İsveç, Hollanda, Danimarka tarafından sağlanmaktadır.

2.3.1.6 Türkiye Mevcut Enerji Görünümü ve Uygulanan Solar Sistem(PV) Politikaları

1) Türkiyede Mevcut Enerji Görünümü

Türkiye'nin kurulu gücü 2023 yılı Şubat ayında T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 104 136 MW'a ulaşmıştır. Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı yüzde 30,3'ü hidrolik enerji, termik santral % 45,3, yüzde 11'i rüzgâr, yüzde 9,3'i güneş, yüzde 1,6'sı jeotermal ve yüzde 1,3'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir [71]. Bu durum Şekil 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.7 Türkiye'nin kaynaklara göre yüzdesel kurulu gücü

Ayrıca ülkede enerji santrali sayısı lisanssız enerji üretimi yapan santrallerde dahil olmak üzere 11711'e ulaşmıştır. Mevcut santrallerin 751 adedi hidroelektrik, 67 adedi kömür, 360 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 345 adedi doğal gaz, 9.635 adedi güneş, 490 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. Bu santrallerin %93'ü Lisanslı, %7'si ise Lisanssız santrallerdir.

Türkiye elektrik enerjisi üretimi 326,7 TWh, elektrik tüketimi ise 328 milyar TWh olarak gerçekleşmiştir [71].

2) Türkiye'nin Solar Enerji Mevcut Durumu Ve Potansiyeli

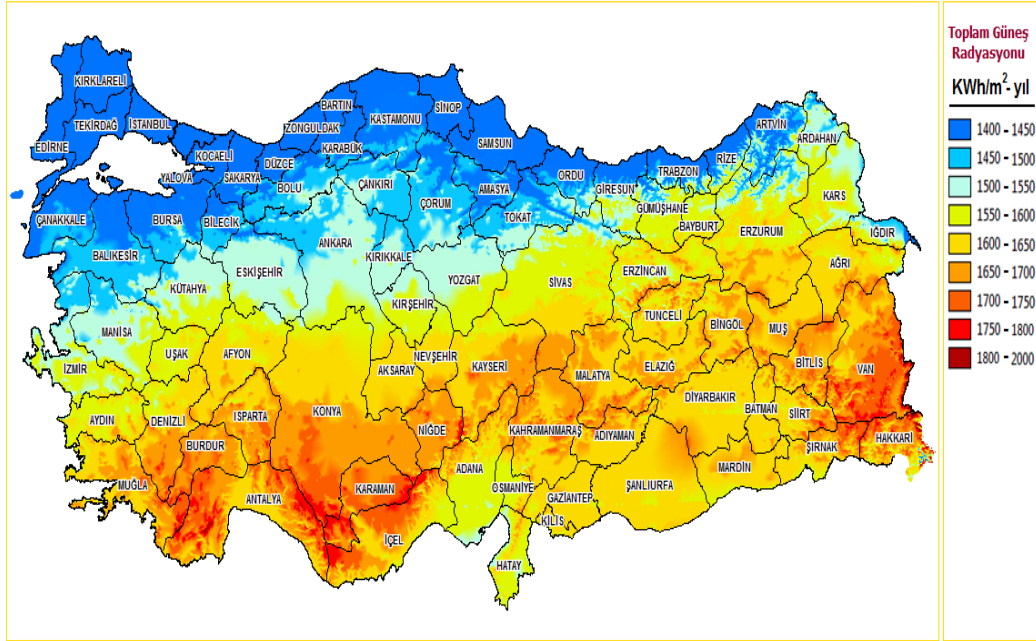
Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ortalama yıllık güneşlenme süresi 2741,07 saat/yıl, ortalama günlük toplam

güneşlenme süresi 7,50 saat/gün, ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti 1527,46 kWh/m²-yıl, Ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti 4,18 kWh/m²-gündür.

Türkiye'nin solar kurulu gücü 2020 yılı itibari ile 6. 294,7 MW seviyesindedir. Bu oran kaynaklara göre toplam üretim içerisinde %6,8'lik kısmı oluşturmaktadır.

Ülkenin güney ve doğu kesimleri batı ve kuzey kesimlerine göre daha yüksek güneşlenme oranına sahiptir. Bu da ülkenin coğrafi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Türkiye'de en yüksek güneşlenme seviyeleri Haziran ve Temmuz aylarında görülmektedir, en düşük seviyeler ise Aralık ve Ocak aylarında görülmektedir. Bu durum Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda(GEPA) gösterilmektedir [71]. GEPA Şekil 2.8'de verilmektedir.





Şekil 2.8 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası[71]

2.3 Türkiye Solar Sistem Politikaları

Türkiye enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkeler arasındadır. Bu nedenle arzın çeşitlendirilmesi politikaları hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda Türkiye yenilenebilir enerjiye yoğun olarak yönelmesi gereken ülkeler arasındadır. Türkiye yenilenebilir enerjiye teşvik sağlamak amacıyla 2005 yılında çıkardığı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile ilk yasal düzenlemeyi oluşturmuştur. 2013 yılında kadar tam anlamıyla uygulanamayan teşvik mekanizmaları bu yılda yapılan yasal düzenlemeler ve kapasite tahsisleri ile yenilenebilir enerji tesisleri teşvik edilmeye başlanmıştır. Bu yasa ile solar sistemler başta olmak üzere rüzgâr enerjisi sistemleri, hidroelektrik üretim sistemleri, jeotermal enerji sistemleri ve biyokütle enerji sistemleri teşvik edilmiştir. Bu teşvik değerleri tablo2.3’de gösterilmektedir. Gösterilen bu teşvik modelleri yerli üretim teçhizatların kullanılması veya kullanılmamasına göre katagorize edilmektedir.

Tablo 2.3 Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun kapsamında yenilenebilir kaynaklara verilen FIT değerleri

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar(ABD cent/kWh)	Doları
Hidroelektrik Üretim Tesis	7,3	
Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	7,3	
Jeotermal Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	10,5	
Biokütle Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	13,3	
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	13,3	

Türkiye’de ilk kapsamda uygulanan teşvikler; yatırım ekipmanlarının yurtiçinden veya yurt dışından alınması halinde sağlanan KDV muafiyeti, gümrük vergisi muafiyetleri, yatırım ve işletme aşamasında enerji nakil hattı kullanma bedellerinde %85 indirim, 10 yıl süre ile 13,3 cent/USD ile alım garantisi, yerli ürünlerin kullanım teşvikleri olarak sınıflandırılabilir. Bu teşvik ve uygulamalar 31.12.2019 tarihine kadar devreye alınan santraller için geçerli kılınmıştır. Birim enerji (kWh) teşvik değeri yerli ekipman kullanımlarında daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu teşvik değerleri ile kurulumlar hızlanmaktadır. Bu durum Tablo2.4’de gösterilmektedir.

Türkiye’de yerli hücre üretimi 2023 yılında başlamaktadır. Yerli panel üretimi ise 2012 yılından sonar hız kazanmıştır. Birçok yerli üretim firması kurulmuş ve üretimlerine başlamıştır. Bu nedenle bu teşvik modelinin tam kapsamlı uygulaması gecikme göstermiş ve tam kapsamlı uygulama gerçekleşmeden yeni mevzuat revizyonları gerçekleştirilmiştir. Bu revizyonlar 2019 ve 2022 yıllarında hız kazanmıştır ve en son mevzuat revizyonu 11.08.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.4 Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun kapsamında yenilenebilir kaynaklara verilen FITdeğerleri

Tesis Tipi	Yurt İmalat	İçinde	Gerçekleşen	Yerli İlavesi ABD cent/kWh	Katkı Doları
Fotovoltaik Enerji	1)PV Panel Entegrasyonu Ve Mekanîği İmalatı	Güneş Yapısal		0,8	
Fotovoltaik Enerji	2) PV Modülleri			1,3	
Fotovoltaik Enerji	3)PV Modülünü Oluşturan Hücreler			3,5	
Fotovoltaik Enerji	4)İnvertör			0,6	
Fotovoltaik Enerji	5)PV Modül Üzerine Odaklayan Malzeme	Güneş Işığını		0,5	

Bu teşvikler 12 Mayıs 2019 yılında çıkarılan yönetmelik ile bazı revizyonlara uğramıştır.

Bunlar aşağıda maddesel olarak özetlenmiştir.

- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında yapılan düzenlemeler ile güneş enerjisi tesislerinin çatı ve cephe uygulaması olarak uygulanabileceği vurgulanmıştır. Böylelikle uygulamalar çatı üzeri sistemlere yönlendirilmiştir.

- İşletmelerin ve vatandaşların şirket kurma ya da lisans alma zorunluluğu olmadan proje tesis edebilmelerinin yolu açılmıştır yeni yönetmelikle.
- Mesken aboneleri için 10kW, tüm işletmeler ve kamu kurumlarında 5 MW'ye kadar kurulacak enerjinin öz tüketim fazlasının satılabilmesinin önü açılmıştır.
- Üretim ve tüketim mahsuplaşması aylık olarak uygulanmaya başlanmıştır yeni yönetmelikle.
- Lisanssız santral kapsamı 5 MW seviyesine yükseltilmiştir.

11 Ağustos 2022 tarihinde yapılan mevzuat güncellemesi ile de aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır;

- Tüketim bölgesi ile üretim bölgesinin farklı olabilmesinin önü açılmıştır. Böylelikle kurulum alanı bulunmayan tüketim noktaları Türkiye'nin herhangi bir yerinde teknik şartların da uygunluğu halinde üretim tesisi kurabilmesinin ve mahsuplaşma yapabilmesinin önü açılmıştır.
- Tüketim değeri kadar üretim tesisine izin verilecek ancak organize sanayi bölgeleri bunun istisnası olarak tüketimden daha yüksek üretim değerlerine ulaşabilecek bölgeler olarak belirlenmiştir. Böylelikle organize sanayi tesisleri teşvik edilmiştir.

2.4 Enerji Yönetimi Ve Optimizasyonları

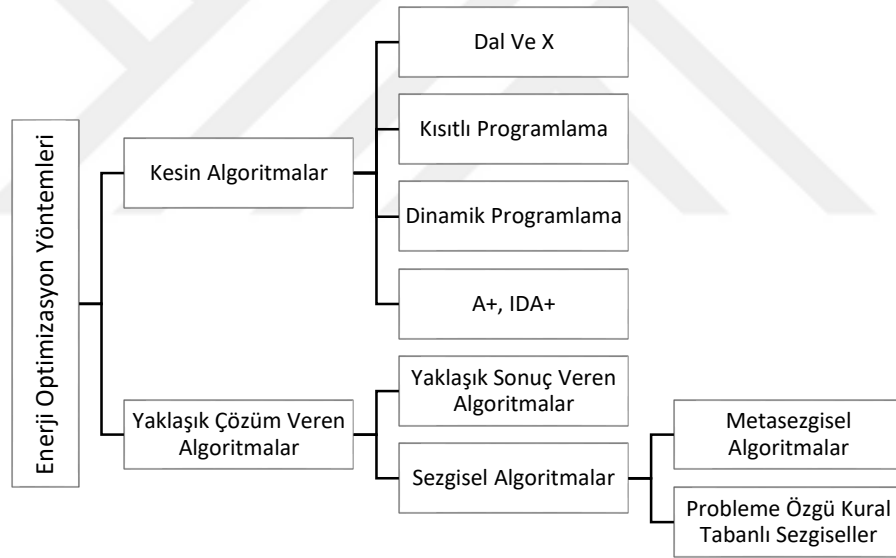
Yenilenebilir enerji kaynakları(YEK) enerji hammaddesi olarak doğayı kullanmaları nedeniyle ve tüketim noktasında üretim prensibiyle oluşturuldukları için geleneksel kaynaklara kıyasla arz ve talep tarafı kararlılıkları düşük enerji üretim sistemleridir. Enerji üretim kaynağı dönemsel ve anlık olarak değiştiğinden sürdürülebilirlikleri de geleneksel kaynaklara kıyasla daha zordur. Buna ilaveten ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, tesis kurulumunda karar verme aşamalarının çokluğu, bilinmeyen risk faktörlerinin fazlalığı YEK'lerdeki belirsizliği arttırmaktadır. Bu nedenle enerji yönetimi ve optimizasyonlar bu enerji sistemleri için çok önemlidir.

Enerji yönetimi kavramı incelendiğinde literatürde 3 farklı yaklaşım değerlendirilmektedir. Bunlar;

- Talep tarafı yönetimi modelleri

- Arz tarafı yönetimi modelleri
- Arz ve talep tarafını birlikte ele alan modeller

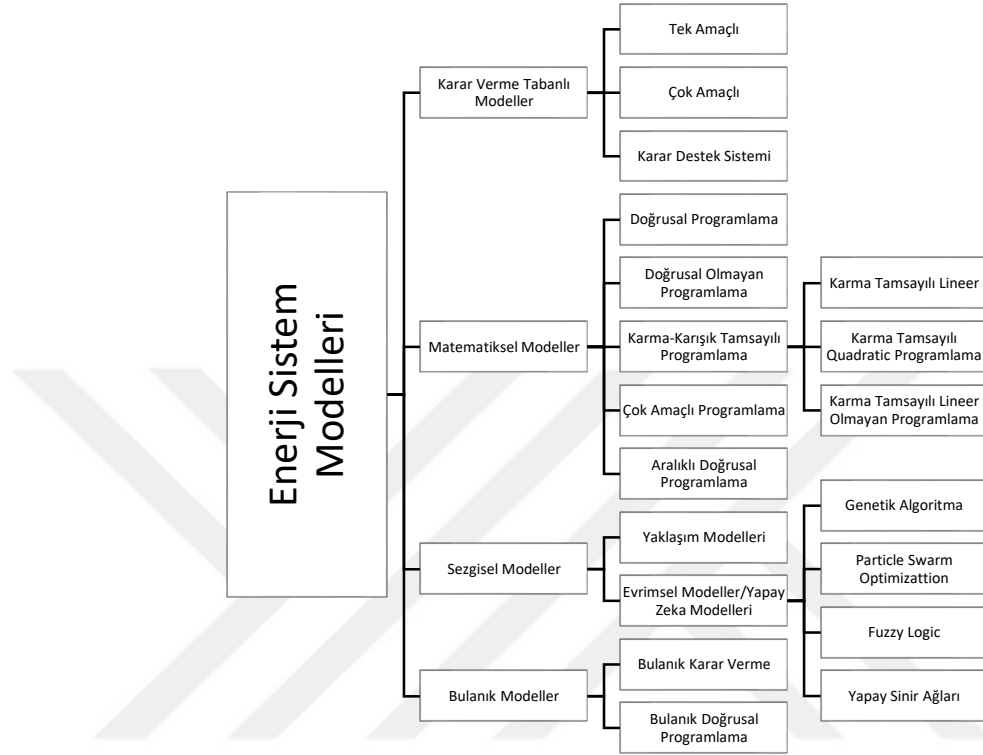
Enerji yönetimi kavramı yenilenebilir enerji planlaması, enerji alternatifinin belirlenmesi, enerji kullanım planlaması, proje planlaması vb konularını kapsamaktadır. Bu alanla ilgili çalışmalar analiz edildiğinde karar verme temelli araştırmalar yoğunlukla uygulanmaktadır. Bu karar verme tekniklerinin en yoğun kullanılanları Analitik hiyerarşi süreci ve çok kriterli karar verme tekniğidir. Ayrıca enerji yönetiminde kullanılan optimizasyon yöntemi olarak geleneksel yaklaşımlar ve metasezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Metasezgisel yaklaşımlar enerji sistemlerinde belirsizliğin yüksek olması, problemlerin karmaşık olması gibi nedenlerden dolayı yoğun olarak tercih edilmektedir. Geleneksel yaklaşımlar ile yüksek belirsizlik olan uygulamalarda optimal çözümü bulmak oldukça zordur. Enerjide kullanılan optimizasyon modelleri Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Enerji optimizasyon yöntemleri

Enerji sistem modelleri karar verme tabanlı modeller, matematiksel modeller, sezgisel modeller ve bulanık modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 2.10’da gösterilmektedir. İlk kırılım karar verme tabanlı modeller, matematiksel modeller, sezgisel modeller ve bulanık modeller olarak oluşmaktadır. Karar verme tabanlı modeller; tek amaçlı, çok amaçlı ve karar destek sistemleri olarak 3’e ayrılmaktadır. Matematiksel modeller; doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, karma-karışık tamsayı programlama, çok amaçlı

programlama, aralıklı doğrusal programlama olarak 5 ana kategoriye ayrılmaktadır. Sezgisel modeller; yaklaşım modelleri ve evrimsel modeller olarak 2'ye ayrılmaktadır. Bulanık modeller ise bulanık karar verme ve bulanık doğrusal programlama olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2.10 Enerji sistem modelleri ve optimizasyonları

2.4.1 Karar Verme Tabanlı Modeller

Karar verme tabanlı modeller tek amaçlı, çok kriterli ve karar destek sistemleri olarak sınıflandırılır. Tek amaçlı modelde tek amaç altında diğer alternatifler değerlendirilir. Çok kriterli modelde birden çok kriter altında optimal seçimin yapılması hedeflenmektedir. Kararlar birbiriyle çelişen seçenekler arasından yapılır. Karar destek sistemleri ise diğer karar yardım araçları ile veri tabanlarını bütünleştirerek optimal çözümü arayan sistemlerdir. Karmaşık karar problemlerinin çözümünde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Tek amaçlı karar verme modellei; karar ağaçları, etki diyagramı olarak sınıflandırılır. Çok kriterli karar verme yöntemleri; çok ölçütlü karar verme, çok amaçlı karar verme olarak sınıflandırılır. Çok ölçütlü karar verme kendi içerisinde; çok ölçütlü fayda teorisi, analitik hiyerarşi süreci, electre, promethee ve diğer çok ölçütlü karar verme metotları olarak alt gruplara ayrılmaktadır.

2.4.2 Matematiksel Modeller

Matematiksel modeller; doğrusal programlama modelleri, doğrusal olmayan modeller, karma tamsayılı modeller, çok amaçlı programlama modelleri, pareto optimizasyon yaklaşımları, aralıklı doğrusal programlama modelleri olarak sınıflandırılabilir. Matematiksel modeller ve temel özellikleri Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

Doğrusal Programlama	Doğrusal Olmayan Programlama	Karma Tamsayılı Modeller	Çok Amaçlı Programlama	Pareto Optimizasyon	Aralıklı Doğrusal Programlama
Doğrusal bir amaç fonksiyonunun doğrusal eşitlikler kullanılarak optimize edilmesidir.	Karar modelinin veya amaç fonksiyonunun en az birinin doğrusal olmadığı durumlarda kullanılan programlama metodudur.	Modellenecek sistem içerisinde değişken veya kısıtların bir kısmının tam sayı bir kısmının ise tam sayılı olmadığı modellerdir	Birden fazla ve çelişen amaçların bulunduğu sistemlerde kullanılan programlama tekniğidir.	Birden fazla amaç olan sistemleri baskın ve baskın olmayan çözümleri pareto şemasına dayandırarak optimal çözüm sunan sistemlerdir.	Modellenecek sistemin model katsayılarının aralıklı olarak verildiği sistemlerde kullanılan programlama yöntemidir.

Şekil 2.11 Karar verme tabanlı matematiksel programlama modelleri

Matematiksel modeller; doğrusal programlama modelleri, doğrusal olmayan modeller, karma tamsayılı modeller, çok amaçlı programlama modelleri, pareto optimizasyon yaklaşımları, aralıklı doğrusal programlama modelleri olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4.3 Sezgisel Modeller

Sezgisel modeller kesin bir matematiksel formülasyonu olmayan problemlerin optimizasyonunda kullanılmaktadır. Sezgisel modeller ayrıca kesin çözümü olan ancak büyük ve çözülmesi karmaşık olan problemlerin optimizasyonunda kullanılır. Çözüm için zaman sorunu olduğunda yoğunlukla tercih edilmektedir.

2.4.4 Bulanık Modeller

Bulanık küme teorisine dayanan optimizasyon tekniğidir. Çözümlemesi güç, karmaşık, doğrusal olmayan, bilgilerin niteliklerinin belirsiz olduğu durumlarda tercih edilen modeldir. Bulanık modeller kendi içerisinde bulanık karar verme ve bulanık doğrusal programlama olarak 2’ye ayrılmaktadır.

Belirsizlik modelleri belirsiz parametreler altında kullanılan, tercih edilen modellerdir. Kendi içerisinde 6 gruba ayrılmaktadır, bunlar;

- Olasılıksal yaklaşım

- Olabilirsel yaklaşım
- Aralık analizi
- Robust optimizasyon
- Hibrit yaklaşımlar
- Bilgi boşluğu karar teorisi

Olasılıksal yaklaşımlar monte carlo simülasyonu, nokta tahmini, senaryo tabanlı modelleme olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4.5 Metasezgisel Algoritmalar

Sezgisel yöntemlerin geliştirilerek arama uzayının arttırıldığı algoritmalarlardır. Her zaman en iyi çözümü sunmayı garanti etmezler ancak büyük ölçekli ve karmaşık problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılan sistemlerdir. Bu algoritmalar deterministik algoritmaların çözüm üretmekte zorlandığı karmaşık problemlere yaklaşık çözüm üretirler. Metasezgisel algoritmalar esinlendikleri bilim dalı ve doğa olayına göre 7 farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Fizik tabanlı
- Sürü tabanlı
- Sosyal tabanlı
- Müzik tabanlı
- Matematik tabanlı
- Kimya tabanlı
- Biyoloji tabanlı

Metasezgisel algoritmalar karmaşık problemlerde etkin kullanılan algoritmalar olmasına rağmen her algoritma genel geçer tüm problemlere çözüm üretemez. Bu nedenle algoritmalar farklı problemler için geliştirilmiş ve türetilmiştir.

2.4.6 Yenilenebilir Enerji Sistemleri Optimizasyonunda Kullanılan Girdiler, Kısıtlar Ve Amaçlar

Yenilenebilir enerji sistemleri dünya için yeni sayılabilecek sistemler olması, doğayı enerji girdisi olarak kullanmaları, stabilite sorunlarına sahip olmaları, şebekelere dağıtık sistem olarak farklı noktalardan bağlanmaları, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, geniş alanlara yayılım göstermeleri vb nedenlerden dolayı birçok açıdan optimize edilmesi gereken sistemlerdir. Bu kapsamda

literatürde birçok optimizasyon çalışması yapılmaktadır. Bu optimizasyon çalışmaları farklı amaç fonksiyonlarına, farklı kısıtlara ve farklı girdilere sahiptir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan başlıca girdiler aşağıda sıralanmaktadır.

- Atmosfer koşulları
- Kullanılan arazi miktarları
- Yenilenebilir enerji kaynağı birim teknolojileri
- İşletme ve Bakım Maliyetleri
- Meteoroloji şartları (Işıma değerleri, rüzgar hızları vb)

Yenilenebilir enerjide sistemlerinde kullanılan başlıca amaç fonksiyonları aşağıda verilmektedir;

- İlk kurulum maliyeti minimizasyonu
- İşletim maliyeti minimizasyonu
- Zararlı gaz emisyonu minimizasyonları
- Şebekeye bağlı (On grid) sistemler için şebeke kayıpları minimizasyonu
- Birim başına üretilen enerji maliyeti minimizasyonu
- Birim enerji başına kullanılması gereken proje alanı minimizasyonu
- Sistem güvenilirlik maksimizasyonu
- Verimlilik maksimizasyonu
- Kar maksimizasyonu
- Ortalama yaşam süresi maksimizasyonu
- Birim alanda üretilen güç maksimizasyonu

Yenilenebilir enerjide kullanılan başlıca kısıtlar aşağıda verilmektedir;

- Çevre ve atmosfer kısıtları
- Talep tarafı kısıtları
- Ekonomik kısıtlar (Enerji maliyeti kısıtları)
- Batarya sistemleri şarj/deşarj kısıtları
- Zararlı gaz emisyonu kısıtları
- Güç kaybı kısıtları
- Kullanılan ekipmanların yaşam ömrü kısıtlamaları
- Yenilenebilir enerji için kurulum alanı kısıtları

- Şebeke kapasite kısıtları (Hat yoğunlukları)

2.5 Mikro Şebekeler

Yenilenebilir enerji kaynakları(YEK), son tüketiciyi üretim aşamasına çeken, üreten tüketici modelinin oluşmasına olanak sağlayan enerji üretim sistemleridir. Geleneksel kaynaklara göre çevreye verdikleri zararlar çok düşük olan bu sistemler özellikle enerjide dışa bağımlı ülkeler için bir fırsat teşkil etmektedir. Ancak tüm bu avantajlarının yanında YEK'ler enerji ham maddelerinin doğa olması sebebiyle enerji üretim kararlılığı zayıf sistemlerdir. İklimsel verilerin değişkenliği YEK kararlılığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca dağıtık olarak tesis edilen bu sistemler talebin değişkenliği nedeniyle de kararsız hale gelmektedir. YEK'lerde hem arz hem de talep tarafı değişkenliği geleneksel kaynaklara göre daha fazladır. Bu nedenle arz ve talep tarafı esnekliğinin arttırılması gerekmektedir. Esnekliğin arttırılması için Mikro Şebeke(MŞ) yapısı önerilmektedir.

Mikro şebekeler birçok küçük üreticiden oluşan sistemlerdir. Yerleşim kolonileri gibi kendi aralarında birbirlerine bağlıdırlar. Mikro şebekeler tek bir enerji kaynağına bağlı olarak kurulabilecekleri gibi birden fazla enerji kaynağıyla da oluşturulabilirler. MŞ'ler tamamen kendi başlarına olabilirler veya geleneksel güç şebekelerine bağlanabilirler. Ancak Dağıtık Enerji Sistemlerinin(DEK) dağıtım sistemine mikro gruplar olarak nüfuz etmesi daha az dağıtım kaybı, yüksek güvenilirlik, esnekliğin arttırılması, güç kararlılığı gibi avantajlar sağlamaktadır.

Mikro şebekeler bünyesinde rüzgar enerji santralleri(RES), güneş enerji santralleri(GES), hidroelektrik santraller(HES), jeotermal enerji santralleri(JES), biyogaz ve biokütle santralleri, geleneksel üretim santralleri (kömür, doğalgaz vb), yakıt pilleri, batarya sistemleri, yükler, elektrikli araç sistemleri vb sistemleri kapsamaktadır. MŞ'ler bünyesinde üretim, tüketim, yük ve depolama sistemlerini bulundurarak bütüncül bir yapı oluşturmaktadır. Mikro şebeke yapısı Şekil 2.12'de verilmektedir.



Şekil 2.12 Mikro şebekeler genel gösterimi[136]

2.5.1. Mikro Şebekelerde Kullanılan Algoritmalar Ve Optimizasyon Teknikleri

Problem optimizasyonları, izin verilen bir küme içerisinde sistematik olarak seçilen girdileri kullanarak problemin maksimum ve minimumlarının hesaplanmasının sağlanmasıdır. Bu hesaplama girdilere göre oluşturulmuş matematiksel fonksiyonlar kullanılarak yapılır.

Enerji sistemlerinin olduğu noktalarda, kurulum, işletim ve kar durumlarının karışıklığı nedeniyle tüm girdilerin optimal şekilde değerlendirilmesi zordur ve bu sistemlerde hesaplama zorlukları mevcuttur. Bu tür problemlerden dolayı 1940 yılında sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Hibrid mikro şebekelerde gerçek sorunlarda hata çözümü bulma stratejileri, zaman sorunları oldukça karmaşıktır. Bu nedenle tüm çözümlerin hesaplanması kesinlikle imkansızdır bu nedenle belirlenen en verimli çözümün bulunması gerekmektedir. 1980-1990'lı yıllara gelindiğinde metasezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

2.5.1.1 Diferansiyel Evrimsel Algoritmalar

Stokastik (rastgele belirlenen) ve popülasyon tabanlı bir algoritma türüdür. Bu algorithmada amaç fonksiyonu uygun bölgede ifade edilir.

Bir diferansiyel algoritmanın uygulanma prosedürü aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir;

- Initialization: Problem önceden belirlenmiş aralıklarda rastgele parametreler seçilerek başlatılır.

- Mutation: Arama alanını genişletmek için kullanılır. Her parametre vektörü için ve mutant vektörler için rastgele atamalar yapılır. Bir donör vektör mutant vektörler ile hesaplanır.

- Recombination: Mutant çözümler başarılı çözümler ile bu aşamada birleştirilir. Bir deneme vektörü elde edilir.

- Selection: Hedef vektör ile deneme vektörü karşılaştırılırken, ikisinden en düşük olanı daha fazla iterasyon için seçilir. Mutation, recombination ve selection süreçleri belli koşullara ulaşıncaya kadar devam eder.

Güncel çalışmalarda bu algoritma gelişmiş algoritmalar ile birleştirilerek kullanılmaktadır. Böylelikle hibrid mikro şebekeler için daha verimli sonuçlar elde edilmektedir.

2.5.1.2 Genetik Algoritma

Darwin'in hayatta kalma teorisinden esinlenerek oluşturulmuş algoritma türüdür. Bu algoritmada amaç fonksiyonları kromozomları temsil etmek için bit dizeleri veya karakter dizileri olarak kodlanır. Bu dizeler daha sonra değiştirilir ve ilgili sorunu çözmek için uygunluk değerleri için test edilir.

Genetik algoritma 5 aşamada uygulanır. Bunlar, bir ilk rastgele popülasyon üretici, bir "uygunluk" değerlendirme birimi ve "seçim", "çapraz geçiş" ve "mutasyon" işlemleri için genetik operatörlerdir. Genetik algoritma aşamaları aşağıda verilmektedir;

- Rastgele popülasyon üretici: Problem tanımında belirtilen tüm kısıtlamaları karşılayan olası çözümler üretmektedir.

- Fitness: Daha sonra bu çözümler uygunluk değerlerine(fitness) göre değerlendirilmektedir.

- Selection: Operatör önceden tanımlanmış bir uyum çözümleri seti seçmektedir.

- Crossover: Seleflerine kıyasla daha yüksek uygunluk değerine sahip hibrit bireyler üretmek amacıyla yeni çözümler bulmaktadır.

- Mutation: Algoritmanın yerel minimum tuzaklanma probleminden kaçmasını sağlamaktadır. Bu işlem basamakları yakınsama değerlerine ulaşıncaya kadar devam eder.

2.5.1.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu, belirli bir alan içerisinde bir sürünün besin aramak için yaptığı hareketleri ve sürünün sosyal davranışlarını incelemeyi temel alan evrimsel temelli optimizasyon tekniğidir. Önceden belirlenmiş bir alanda amaç fonksiyonunun çözümünü bulan iterasyonlu bir algoritmadır. James Kennedy ve Russell Eberhart tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir.

PSO'da her bir çözüm parametresi kendi ve benzeri grup davranışları hakkında zekaya sahip sürüdeki bir parçacık olarak kabul edilmektedir. Her parçacık şuana kadar elde edilen en iyi çözümler olan iki konum değerini izler. Bu değerler Pbest ve Gbest olarak adlandırılır. PSO'nun ana prensini Pbest ve Gbest değerine doğru ağırlıklı olarak rastgele bir tamsayı olan ivmeyle hızlanmaktır.

PSO basit bir yapıya sahip olması, optimizasyon yazılımlarında uygulanma kolaylığı, çok hızlı oluşu, üçten fazla bileşen olması durumunda etkin oluşu HRES'ler için PSO'yu aranan algoritma haline getirmektedir.

2.5.1.4 Karınca Kolonisi Algoritması

Marco Dorigo tarafından 1992 yılında ortaya çıkarılmış bir algoritmadır. Karınca davranışlarından esinlenerek oluşturulmuştur. Karıncalar üzerinde yapılan araştırmalarda karıncaların diğer karıncaların yollarını işaretleyerek hareket ettiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemde çok sayıda karınca aynı yolu izlediğinde yolda feromon birikimi oluşmuş ve bunun üzerine böyle bir kanı oluşmuştur. Eğer aynı yol karıncalar tarafından kullanılmaz ise feromon kokusu kaybolmaktadır. Karıncaların yoğun feromon kokusu bıraktığı yerler onları genellikle zengin gıda kaynaklarına götürmektedir. Ve yoldaki işaretleme ise gıdaya giden en kısa yoldan yapılmaktadır. Tüm bu durumlar incelendiğinde Karınca kolonisi algoritması verilen amaç fonksiyonuna göre optimal çözümü sunmaktadır. Optimizasyonlar kullanılacakları problemlere göre çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir ve karşılaştırmalı analizlerinin yapılması gerekmektedir. Optimizasyon tekniklerinin karşılaştırmalı analizi Tablo 2.6'da gösterilmektedir.

Tablo 2.6 Optimizasyon teknikleri karşılaştırmalı analizi

Optimizasyon Modeli	Avantaj	Dezavantaj
Genetik Algoritma	* Optimal çözümü bulmak için geçiş, mutasyon ve seçim işlemlerini içermesi nedeniyle yakınsama hızı yüksektir. * Çok farklı alanlarda kullanım imkanı tanır.	*Geçiş ve mutasyon parametreleri ile popülasyon ve durdurma kriter parametreleri ayarlanma zorluğu vardır.
Dinamik Programlama	* Problemleri al birimlere bölme imkanı sağlayarak sıralı çözüme olanak oluşturur. - Alt bölümlerin hepsi ayrı ayrı optimize edilir.	*Yineleme sayısının fazla olması nedeniyle uygulama karmaşıklığı oluşur.
Particle Swarm Optimization	*Saçılma ve optimizasyon problemlerinde yüksek performans sağlar.	*Hesaplama kompleksliği vardır.
Çok Amaçlı Lineer(Doğrusal) Programlama	*Hızlı bir sorun çözme metodudur. Doğrusal kısıtlarda kullanılır. * Çoğu durumda küresel optimum çözümü garanti eder.	* Güvenlik ve ekonomik rassal analiz sağlar. * Amaç fonksiyonu sürekli olmayan ve birden fazla farklı amaç fonksiyonu olan durumlarda yetenekleri sınırlıdır. * Birden fazla optimal

		çözüm arasından seçim yapamaz
Çok Amaçlı Non Lineer(Doğrusal Olmayan) Programlama	* Karmaşık sorunların çözümü için kullanılan işlemler basittir. * Birden fazla optimal çözüm arasından seçim yapılabilir.	* Yüksek sayıda yineleme ile çalıştığı için hesaplama zorlukları ortaya çıkmaktadır.
Yapay Arı Kolonisi	* Uygulanması kolay, güçlü popülasyon tabanlı algoritmadır.	* Matematiksel formülasyon kompleksliği vardır.
Bakteriyel Yiyecek Arama Algoritması	* Sorunun boyutu veya doğrusallığından etkilenmez. * Analitik metotların yakınsama sağlamadığı yerlerde optimal yakınsama sağlar	* Karmaşık ve büyük bir tarama alanı vardır.

2.5.1.5 Genetik Algoritmanın Sahip Olduğu Avantaj Ve Dezavantajlar

*Optimal çözümü bulmak için geçiş, mutasyon ve seçim işlemlerini içermesi nedeniyle yakınsama hızı yüksektir.

* Çok farklı alanlarda kullanım imkanı tanımaktadır.

*Geçiş ve mutasyon parametreleri ile popülasyon ve durdurma kriter parametreleri ayarlanma zorluğu vardır.

2.5.1.6 Dinamik Programlamanın Sahip Olduğu Avantaj Ve Dezavantajlar

*Problemleri alt birimlere bölme imkanı sağlayarak sıralı çözüme olanak oluşturur.

Alt bölümlerin hepsi ayrı ayrı optimize edilmektedir.

*Yineleme sayısının fazla olması nedeniyle uygulama karmaşıklığı oluşur.

2.5.1.7 Parçacık Sürü Optimizasyonunun Sahip Olduğu Avantaj Ve Dezavantajlar

*Saçılma ve optimizasyon problemlerinde yüksek performans sağlar.

*Hesaplama kompleksliği vardır.

* Amaç fonksiyonu sürekli olmayan ve birden fazla farklı amaç fonksiyonu olan durumlarda yetenekleri sınırlıdır.

* Birden fazla optimal çözüm arasından seçim yapamaz

2.5.1.8 Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlamanın Sahip Olduğu Avantaj Ve Dezavantajlar

*Karmaşık sorunların çözümü için kullanılan işlemler basittir.

* Birden fazla optimal çözüm arasından seçim yapılabilir.

* Yüksek sayıda yineleme ile çalıştığı için hesaplama zorlukları ortaya çıkmaktadır.

2.5.1.9 Yapay Arı Kolonisinin Sahip Olduğu Avantaj Ve Dezavantajlar

* Uygulanması kolay, güçlü popülasyon tabanlı algoritmadır.

* Matematiksel formülasyon kompleksliği vardır.

* Sorunun boyutu veya doğrusallığından etkilenmez.

*Analitik metotların yakınsama sağlamadığı yerlerde optimal yakınsama sağlar

*Karmaşık ve büyük bir tarama alanı vardır.

2.5.2 Mikro Şebekelerde Optimizasyon Alanında Yapılan Başlıca Çalışmalar

A. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama Metodu

[76] nolu kaynakta karışık tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak mikro şebeke optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Dağıtık üretim sistemlerinde programlamanın öneminden bahsedilen çalışmada bu tip üretim kaynaklarının süreksizliği ve aralıklı çalışma hali yönetilerek yük kayıpları azaltılmıştır. Maliyet fonksiyonu lineer programlama vasıtasıyla oluşturularak GAMS programında çözümlenmiştir. Mikro Şebeke boyutlandırması ve simülasyonları HOMER ile gerçekleştirilmiştir.

[77] nolu kaynakta karışık tamsayılı metot kullanılarak Mikro Şebeke'lerde enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Mikro şebeke yapısı yakıt hücresi teknolojisine bağlı olarak kurulmuştur. Problem karışık tamsayılı lineer programlama vasıtasıyla çözülmüştür. PSO kullanılarak optimal enerji depolama sistemi tasarımı yapılmıştır.

[78] nolu kaynakta mikro şebeke optimizasyonu yapılmıştır. Ekonomik optimizasyon quadratic programlama vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Mikro şebeke PV tabanlı oluşturulmuştur. Talep karşılama hassasiyeti de değerlendirilmiştir. Algoritma IEEE'nin 33 baralı şebekesinde test edilmiştir.

[79] nolu kaynakta mikro şebekelerde enerji yönetimi üzerine çalışılmıştır. Lineer programlama kullanılarak oluşturulan algoritma ile hem arz hem de talep tarafının optimal işletimi sabit ve değişken yük durumları için optimize edilmiştir. Optimizasyon problemi, operasyonel ve ekonomik kısıtlamaları karşılarken, jeneratörlerin en uygun Şekilde işletilmesini içerir.

[80] nolu kaynakta AC/DC mikroşebeke topluluğu içerisindeki enerji yönetimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistem PV tabanlı olarak planlanmıştır. Gerçekleştirilen yönetim uygulamasında amaç fonksiyonu olarak günlük işletim maliyetlerinin azaltılması kullanılmıştır. Problemin çözümü için karışık tamsayılı doğrusal olmayan algoritmalar kullanılmıştır.

[81] nolu kaynakta karma tamsayılı doğrusal programlama vasıtasıyla rüzgar, PV, batarya sisteminden oluşan sistemin enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan optimizasyon 2 kısıma ayrılmaktadır. Birincisi parametre şemasının çıkarılması, ikincisi operasyonel kararın verilmesidir. Çalışmada kısıt olarak da piyasa fiyatları değişimi ve batarya sistemi dispozisyonu belirlenmiştir.

[82] nolu kaynakta işletim maliyetlerini minimize etmek amacıyla optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Lineer programlama metodu kullanılmıştır. Çalışmada sanal güç şebekesi tasarlanmıştır. Optimize edilen mikro şebekeler PV ve rüzgar sistemleri temelli olarak oluşturulmuştur.

[83] nolu kaynakta batarya bozulmalarını inceleyen bir model önerilmiştir. Problemin çözümü karma tamsayılı lineer programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük durumları, farklı üretim kaynakları, maliyetler, şebeke yapısı, enerjinin yerel ücretleri dikkate alınarak model oluşturulmuştur.

B. Metasezgisel Programlama Metodu

[84] nolu kaynakta PV, rüzgar, hidro, ac jeneratör, yakıt pili, elektrolizör ve batarya tabanlı mikro şebeke yapısının optimal enerji yönetimi genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak işletim maliyetlerinin azaltılması belirlenmiştir.

[85] nolu kaynakta ekonomik idare ve batarya bozunumu temelli bir model oluşturulmuştur. Genetik algoritma kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan model PV sistem ve dizel jeneratörden oluşan mikro şebekede doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada batarya ömrünün uzun olmasının işletim maliyetlerini azalttığı gösterilmiştir.

[86] nolu kaynakta mikro şebekeler için akıllı ve çok amaçlı enerji yönetim modeli önerilmiştir. Yapılan çalışmada işletim maliyetlerinin ve çevresel etkilerin minimizasyonu gerçekleştirilmiştir. PV ve rüzgar enerjileri üretimi tahmini için yapay sinir ağları, batarya sistemi zamanlaması için çok amaçlı lineer programlama kullanılmıştır.

[87] nolu kaynakta yük durumları ve rüzgar enerji sistemlerindeki dalgalanmalar dikkate alınarak mikro şebekenin optimal yönetimi gerçekleştirilmiştir. Bu enerji yönetimi problemi PSO algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amaç uygun ve doğru tahminler ile bu dalgalanmaları minimize etmektir.

[88] nolu kaynakta şebekeye bağlı olmayan, PV-rüzgar-dizel jeneratör temelli hibrid mikro şebeke yapısının PSO ve Gauss Mutasyonu kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan optimizasyonda yatırım sermayesi ve yakıt maliyetleri minimize edilmiştir.

[89] nolu kaynakta yapılan çalışmada yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Mikro şebeke yapısı rüzgar ve PV sistemlerinden oluşmaktadır ve bu nedenle aralıklı bir üretim yapısına sahiptirler. Bu çalışmada bu durum göz önüne alınarak bir maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda genel işletim maliyetlerinin %30 azaldığı gözlemlenmiştir.

[90] nolu kaynakta rüzgar ve batarya sisteminden oluşan şebekeye bağlı olmayan mikroşebekede genetik algoritma kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Sistemde batarya sistemi ve PV sistemin optimal konumlandırılması yapılarak

işletim maliyeti, yaşam boyu maliyeti ve bataryanın enerji boşalması minimizasyonu amaçlanmıştır. Ayrıca optimizasyonda yük profillerinden de yararlanılmıştır.

[91] nolu kaynakta yapılan çalışmada talep tarafı tahminlerine bağlı olarak önerilen modelde yapay balık sürüşü tekniği kullanılmıştır. Oluşturulan mikro şebeke yapısında yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan kaynaklar, yükler, batarya sistemleri bulunmaktadır. Bu kaynaklar rüzgar türbini, PV, yakıt pili, mikro türbin ve dizel jeneratördür. Çalışmanın amacı talep tarafı yönetimini optimal şekilde gerçekleştirmektir.

[92] nolu kaynakta ulusal şebekeye bağlı mikro şebeke yapısında PSO kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bataryanın şarj ve deşarj durumları dikkate alınarak oluşturulan maliyet fonksiyonunda genel maliyet %12 azaltılmıştır. Çalışma gerçek zamanlı olarak da doğrulanmıştır.

[93] nolu kaynakta yapılan çalışmada rüzgar, PV, dizel jeneratör, batarya sisteminden oluşan hibrid Mş yapısında çok amaçlı PSO kullanılarak enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen 6 aylık yaz ve kış dönemlerindeki arz kayıplarının minimizasyonu amaçlanmıştır.

C. Dinamik Programlama Metodu

[94] nolu kaynakta şebekeye bağlı olmayan mikro şebekelerin optimizasyonu için dinamik programlama kullanılmıştır. Kullanılan derin öğrenme algoritması gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır, bu da gerçek zamanlı programlamanın Mş optimizasyonu için bir kontrol stratejisi elde etmesine izin verirken, aynı zamanda merkezi yönetim çerçevesinde yerel kontrolörlerden bilgi alınmasını sağlamaktadır.

[95] nolu kaynakta yenilenebilir üretim sistemleri ve batarya sisteminden oluşan Mş'nin enerji yönetimi dinamik programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak yenilenebilir enerjiden elde edilen satış gelirini maksimize etmek, enerji taleplerini karşılamak için gerekli olan maliyetleri de minimize etmektir. Çalışmada düzensiz bir enerji piyasası ve batarya kontrol aşamaları dinamik programlama ile belirlenen bir sisteme bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

[96] nolu kaynakta hibrid olarak ölçeklendirilmiş Mş'de dinamik programlama kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Mş rüzgar, PV ve batarya sisteminden oluşmaktadır. Kurulan Mş yönetim sistemi kuralların belirlenmesi ile

MŞ performansının optimize edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yönetim sistemini gerçekleştirebilmek için güç üretiminin, tüketimin ve batarya sisteminin kontrol edilmesi aşamaları uygulanmıştır.

[97] nolu kaynakta şebekeye bağlı olmayan MŞ'nin optimize edilmesi için dinamik programlama kullanılmıştır. Tasarlanan MŞ PV, dizel jeneratör, batarya sisteminden oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak işletim maliyetleri ve emisyon minimizasyonu belirlenmiştir. Kısıtlar ise üretilen ve tüketilen güç dengesi ve her üretim biriminin kapasite değerleridir.

D. Multi Agent Algoritması

[98] nolu çalışmada her biri iki PV ve rüzgar jeneratöründen ve bir yükten oluşan MŞ'lerin elektrik kesintisi durumundaki enerji yönetimi diferansiyel evrimsel algoritma temelli bir multi agent algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir kaynaklarının aralıklı çalışma biçiminden ve yükün rastlantısallığından kaynaklanan üretim maliyetlerini minimize etmek amaçlanmıştır. Kurulan sistemde şebekedeki fiyat değişimlerini de ele almaktadır ve optimizasyon yapılırken kritik yükler dikkate alınmaktadır. Yapılan çalışmada JADE programından yararlanılmıştır.

[99] nolu kaynakta şebekeye bağlı olmayan bir MŞ sisteminde yük, dağıtık üretici, batarya sistemi arasındaki enerji dengesini sağlamak amacıyla intelligent multi agent algoritması kullanılarak enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. MŞ yapısında PV-rüzgar-yakıt pili-batarya sistemi bulunmaktadır. Çalışmada yükler öncelik sırasına göre 3'e ayrılmaktadır. Üretim tahmini için ARMA (Auto regressive moving average model) kullanılmıştır.

[100] nolu kaynakta evlerden ve binalardan oluşan MŞ yapısında enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan enerji yönetiminde dağıtık üretim ile talep cevabı arasındaki koordinasyon sağlanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak işletim maliyetlerini minimize etmek kullanılmıştır. Bu minimizasyon esnasında talep edilen elektrik ve ısı gücü de karşılamak gerekmektedir. Çalışmada Multi Agent Algoritma kullanılmıştır. Araçlar arasındaki iletişimi sağlamak için de hypertext iletişim protokolü kullanılmıştır.

[101] nolu kaynakta şebekeye bağlı akıllı MŞ yapısında merkezi olmayan enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Amaç olarak da işletim maliyetleri, emisyon

maliyetleri ve hat kayıplarını minimize etmek belirlenmiştir. Algoritma olarak multi agent sistemi temelli çok amaçlı hiyerarşik sistem kullanılmıştır.

[102] nolu kaynakta MŞ’de enerji yönetimi çalışması multi agent algoritmasına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Amaç olarak MŞ’nin ekonomik operasyonlarının minimizasyonu belirlenmiştir. Ayrıca merkezi ve merkezi olmayan yönetim sisteminden bahsedilmiştir. Ek olarak C++ ortamında yeni bir enerji yönetimi simülasyon programı oluşturulmuştur

E. Stochastic Methods and Robust Programlama

[103] nolu kaynakta MŞ yönetimi Stochastic Programlama vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. MŞ yapısı rüzgar, PV, batarya sisteminden oluşmaktadır. Rüzgar ve PV sistemlerinin yapıları gereği süreksiz oluşu problemi ele alınmıştır. Ayrıca talep edilen enerji miktarı da hesaplamalara dahil edilerek talebin karşılanması hedeflenmiştir. Yapılan stochastic programlama GAMS kullanılarak formülize edilmiş ve Taiwan Nükleer Enerji Araştırmaları Merkezi’nde test edilmiştir.

[104] nolu kaynakta şebekeye bağlı MŞ yapısında enerji yönetimi çalışması stochastic programlama kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şebekedeki belirsizlikler Monte Carlo Metoduna bağlı Latin Hiperküp Örnekleme yöntemi kullanılarak yönetilmeye çalışılmıştır. Elektrik fiyatları, yükler ve dağıtık kaynakları temel olarak üretilen senaryolar ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Beklenen fiyatın standart sapmasını ve güvenilirlik düzeyini belirlemek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

[105] nolu kaynakta yapılan çalışmada şebekeye bağlı MŞ için enerji yönetimi uygulaması agnet based modelleme ve robust optimizasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MŞ’nin performansı güç dengesine bağlı maliyetler açısından değerlendirilmiştir. Güç dengesi ise üretilen gücün ve talebin belirsizliği dikkate alınarak yönetilmeye çalışılmıştır.

Yenilenebilir enerjilerin belirsizliğinden kaynaklı problemlerde robust optimizasyon tercih edilmiştir.

F. Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak Yapılan Optimizasyonlar

[106] nolu kaynakta MŞ'lerde enerji yönetiminin önemine vurgu yapılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan modelde saatlik olarak hem MŞ hem de şebekenin durumlarını inceleyerek yüke göre optimal durumu otonom olarak tayin eden bir yönetim önerilmiştir. Yapılan optimizasyonda CPLEX algoritması kullanılmıştır.

[107] nolu kaynakta yapılan çalışmada smart MŞ enerji yönetimi modeli önerilmiştir. Dağıtık sistem olarak kurulan MŞ'de game teori kullanılmıştır. Önerilen yönetim modelinde maliyete dayalı karların ve enerjinin yeterli ve etkin kullanımı amaçlanmıştır.

[108] nolu kaynakta yapılan çalışmada 25 kurala göre dizayn edilmiş Bulanık Mantık kullanılarak MŞ'de enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, akünün şarj durumunu korurken şebeke güç sapmasını azaltmaktır.

[109] nolu kaynakta MŞ'lerde enerji yönetimi uygulaması game teori algoritması kullanılarak oluşturulan algoritma ile yapılmıştır. Yapılan optimizasyonun amacı MŞ tüketicileri için kar optimizasyonudur. Oluşan faydaların optimal dağıtımını için Stackelberg dengesi kullanılmıştır.

[110] nolu kaynakta şebekeye bağlı MŞ yapısı için adaptif zeka tekniği kullanılmıştır. Amaç yenilenebilir enerji üretimi düzensizliği sebebiyle oluşan yük dalgalanmalarını minimize etmektir. Ayrıca MŞ yapısına batarya sistemi de eklenmiştir.

[111] nolu kaynakta yenilenebilir kaynaklardan oluşan ev tipi şebekeye bağlı MŞ yapısında low complexity fuzzy logic metoduna bağlı olarak oluşturulan algoritma ile enerji yönetimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca MŞ yapısında batarya sistemi de kullanılmıştır

[111] nolu kaynakta MŞ'lerde enerji yönetimi için Stackelberg Game Approach algoritması kullanılmıştır. PV enerjisinin ücretini hesaba katan, MŞ operatöründen elde edilen karları ve PV tüketicileri için bir faydalı modeli içeren bir yönetim sistemi modeli önerilmiştir

2.5.3. Mikro Şebekeye Enerji Yönetimlerinde Ve Optimizasyonlarında Kullanılan Simülasyon Programları

Matlab/Simulink çok yönlü nümerik hesaplama programıdır. Matris temelli olarak çalışır. Matrislerin yönetilmesi, verilerin ve fonksiyonların planlanması ve, algoritmaların uygulanması, kullanıcı arayüzlerinin oluşturulması vb kapsamlı birçok amaç için kullanılır. C, C++, Java, Fortran dilleriyle uyumlu olarak çalışır. Ev tipi uygulamalarda, işletim sistemi zamanlaması problemlerinde, çok amaçlı eneryi yönetimi problemlerinde, MŞ'lerin modellenmesi ve simülasyonlarında yoğun olarak kullanılmaktadır [112-113]. Simulink ise matlab ile entegre olarak çalışan simülasyon programıdır. Veri akışları ve grafikleştirilmesi Simulink'te gerçekleştirilir. Simulink'te modelleme, simülasyon, kontrol, sinyal işleme, MŞ'lerde optimizasyon ve modelleme işlemleri yapılır [114-115].

GAMS ileri düzey matematiksel optimizasyon programıdır. Yoğunlukla Doğrusal, Doğrusal olmayan ve karma tamsayılı optimizasyonlarda kullanılır. GAMS şebeke ile güç alışverişi, başlangıç ve sonlanma maliyetleri, dağıtık sistemlerin işletim maliyetleri, talep cevabı uygulamalarında etkin olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren MŞ'ler de de yoğun olarak tercih edilmektedir [116-117].

PSCAD, enerji paylaşımı, güç kontrolü, birden fazla şebekeye bağlı mikro şebeke topluluğunun yönetimi uygulamalarında kullanılan kapsamlı bir simülasyon programıdır [118-119].

DigSILENT dağıtık sistemlerde yük yönetimi sağlayan optimizasyon ve simülasyon programıdır. Swiss2Grid Projesi ile önerilmiştir. Yükler için voltaj ve frekans optimizasyonu, yük değişimi zamanlaması, tüketici maliyetlerinin minimizasyonu, şebeke maliyetlerinin maksimizasyonu, güç akışı hesaplamaları için yoğun olarak tercih edilen programdır.

SIMPLOER enerji depolama sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu için kullanılan programlama aracıdır. Mikro şebekelerde batarya ve ultra kapasitör olması halinde enerji yönetimi uygulamalarında tercih edilmektedir [120].

Anylogic sürekli ve hibrid sistemlerin modellenmesinde kullanılan simülasyon programıdır. Talep tarafı cevaplarında, akıllı ev sistemlerinde, yenilenebilir kaynaklı MŞ'lerde tercih edilmektedir.

SCENRED şebeke ile güç alışverişlerinin formülize edilmesinde, başlama ve sonlanma maliyetlerinde, işletim maliyetlerinde, talep cevabı maliyetlerinde kullanılan çok yönlü simülasyon programıdır.

VERA arz tarafı yönetimi, şebekeye entegrasyon ve batarya sistemi problemleri, iç üretimin dengelenmesi ve şebekeye satışlar vb konularda kullanılan matematiksel modelleme programıdır.

CPLEX C, C++, JAVA, Python programları ile uyumlu çalışabilen optimizasyon programıdır.

HOMER hibrid enerji sistemlerinin yönetilmesinde yoğun olarak kullanılan simülasyon programıdır.

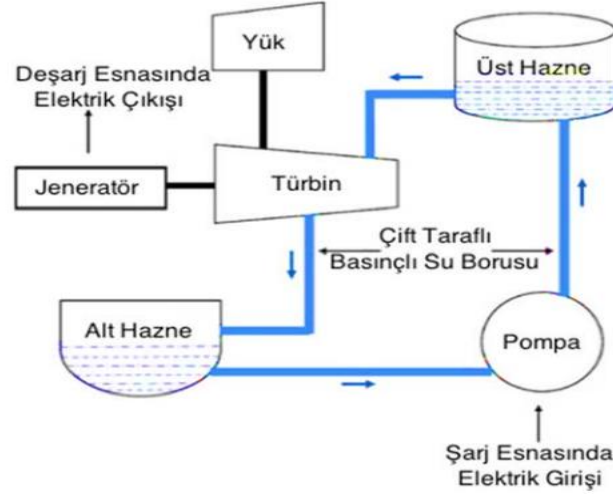
HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithm) hibrid enerji sisyeimlerinin yönetilmesinde kullanılan optimizasyon programıdır.

2.6 Parçacık Sürü Optimizasyonuna Giriş

PSO sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek Kenedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Temel olarak sürü zekâsına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rasgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu jenerasyon sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) denir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Bu yaklaşma hızı rasgele gelişen durumdur ve çoğu zaman sürü içinde bulunan bireyler yeni hareketlerinde bir önceki konumdan daha iyi konuma gelirler ve bu süreç hedefe ulaşınca kadar devam eder. PSO, Sipariş miktarı belirleme, çizelgeleme problemleri, güç ve voltaj kontrolü, motor parametrelerini belirleme, tedarik seçimi ve sıralama problemleri gibi bir çok optimizasyon problemlerinde başarı ile kullanılmıştır [124-125].

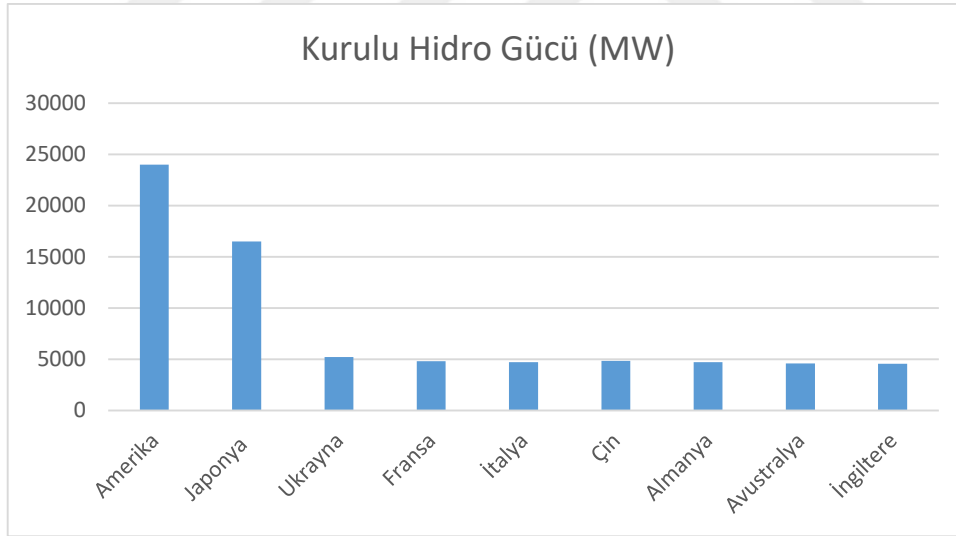
2.7 Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Teknolojisi

Hidroelektrik santraller akarsuların enerjilerini elektriğe dönüştürürler. Akarsuların sahip olduğu enerji miktarı, suyun akış yüksekliği ve düşüş hızı ile orantılıdır. Büyük bir nehirde akan su, büyük miktarda potansiyel ve kinetik enerji taşır. Kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar ve türbin kanatlarına çarparak enerjisini kanatlara bırakır. Kanatlar jeneratöre bağlı olan türbin milinin dönmesini sağlar ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür [126-127]. Bu yolla, suyun enerjisinden elektrik enerjisi elde edilir. Hidroelektrik santraller termik santrallerle kıyaslandığında, kolayca devreye girip çıkabilen sistemlerdir ve pik ihtiyacın karşılanmasına hızlı yanıt vermektedirler. Ciddi boyutlara ulaşan enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, rezervuarlı hidroelektrik santrallerin dahi pik yük ihtiyacını karşılamakta yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir [128-129]. Puant yük ihtiyacı dikkate alındığında, klasik hidroelektrik santraller ve pompaj depolamalı santrallerin diğer tüm sistemlere kıyasla daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde, alt ve üst olmak üzere iki rezervuar bulunmaktadır. Rezervuarlar nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı, deniz veya inşa edilecek yapay havuz olabilmektedir. Enerji talebinin yüksek olduğu veya elektriğin pahalı olduğu zamanlarda, üst rezervuarda biriktirilmiş olan suyun alt rezervuara düşürülmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Enerji talebinin az olduğu zamanlar veya elektriğin ucuz olduğu zamanlarda ise pompa çalıştırılarak su, alt rezervuar seviyesinden üst rezervuar seviyesine yükseltilir [130-131]. Su alma yapısı üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilmektedir. Yeraltı santralli olarak yapılan pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde su iletim yapısı olarak çoğunlukla basınçlı kuyu ve enerji tüneli kullanılmaktadır. Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde pompa ve türbin elemanlarının tersinir olarak kullanılabilmesi büyük avantajlar sağlayabilir. Tersinir pompa-türbin ile puant zamanlarda sistem, türbin olarak çalıştırılarak enerji üretilirken, pompa ile su, üst rezervuara gönderilerek enerji depolanabilmektedir [132-133]. Hidro tabanlı depolama ünitesi prensip gösterimi Şekil 2.13'da verilmiştir.



Şekil 2.13 Hidro tabanlı depolama ünitesi üretim ve depolama durumu görseli[134]

Ülkelerin pompaj depolamalı batarya sistemlerindeki durumları da bu sistemin kullanılabilir bir sistem olduğunu göstermektedir. Ülkelerin genel durumları Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Bu kapsamda bu teknolojiye en yüksek payı ABD almaktadır [134-135].



Şekil 2.14 Hidro tabanlı depolama potansiyelleri ülkelere göre değerlendirme tablosu

Türkiye’de pompaj depolamalı santral çalışmalarına ilk kez 2005 yılında başlanmıştır. Bu maksatla, çeşitli seviyelerde proje çalışmaları yapılmış ve 17 adet ilk etüt seviyesinde pompaj depolamalı hidroelektrik santral raporu hazırlanmıştır. 2011 yılında sonuçlanan “Türkiye Pik Talebin Karşılanması İçin Optimal Güç Üretimi” projesinde devreye alınması düşünülen pompaj depolamalı hidroelektrik

santrallerin kapasiteleri ve devreye alma sürelerinin tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada, Türkiye için 2010-2030 yılları arasındaki pik güç üretim planı da incelenmiştir. Türkiye için potansiyel pompaj depolamalı hidroelektrik santral yerleri, talebin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterler açısından araştırılmıştır. Kademeli eleme sonucunda, alt rezervuarları Gökçekaya Barajı ve hidroelektrik santral olan Gökçekaya Pompaj Depolamalı HES ve Altınkaya Pompaj Depolamalı HES'in kavramsal tasarımı yapılmıştır. 12 Şubat 2014 tarihinde de resmi olarak Gökçekaya hidro tabanlı depolama ünitesinin fizibilite çalışmalarına başlanılmıştır.

2.8 Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri

Kooperatifler ortak ihtiyaçları daha kolay gerçekleştirebilmek için kurulan organizasyonlardır. Bir diğer ifadeyle kooperatifler, bireylerin gönüllülük esasına göre bir araya geldiği ve kendi çıkarlarını maksimize ettiği örgütsel yapılardır. Ekonomik ve sosyal yönden toplumlar için kazanımlar sağlayan bu yapıların diğer bir fonksiyonu da mikro ve makro ölçekteki toplumsal ihtiyaçlara cevap verebilmesidir. Dünya tarihinde eski yıllara dayanan çeşitli kooperatif çalışmaları vardır. Kooperatiflerin bugünkü haline benzer şekilde ortaya çıkması 1844 yılına dayanmaktadır. Bu yılda 28 tekstil işçisi “Rochdale Adil Öncüler Birliği” adıyla bir tüketim kooperatifi kurmuşlardır. Bu yapı insanların içinde bulunduğu kötü yaşam koşullarını iyileştirme amacıyla kurulmuş ve ilkeler doğrultusunda hareket etmiştir. Bunun yanı sıra kooperatifliğin tarım sektöründe, yapı sektöründe ve daha birçok sektörde uygulamaları bulunmaktadır. Bu sektörlerden biri de yenilenebilir enerji sektörüdür.

Yenilenebilir enerji kooperatifleri sürdürülebilir ve yerinde üretimle ülkelerin enerji kalitelerini arttırmaktadır, santral kurulumlarını daha uygulanabilir kılarak ülkelerin enerji profillerine etki etmektedir. Enerji üretiminin tüketim noktasında yapılmasına katkı sağlayarak enerji bağımsızlığına da fayda sağlamaktadır.

Enerji kooperatiflerinin ilk örnekleri 1930’lu yıllarda görülmüştür. Büyük buhranın etkileri ile enerji kooperatifleri kurulmuş ve kırsal bölgelere ilk defa elektrik verilmiştir. Bugün Amerika Birleşik Devletleri, Ulusal Kooperatif İşletme Birliği verilerine göre, üç trilyon dolardan daha fazla varlıkları olan yaklaşık 30,000 kooperatifin sağladığı 500 milyar doların üzerindeki gelir ile güçlü bir kooperatif iş

sektörüne dönüşmüştür. Ve ABD'nin yaklaşık %12 lik enerji ihtiyacı bu enerji kooperatiflerinden sağlanmaktadır.

İngiltere'de ise enerji kooperatifleri 1990'lı yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda ilk olarak Baywind Enerji Kooperatifi rüzgâr tribünleri aracılığıyla kendi elektriğini üretmiştir. Kurulan 2500 kWp elektrik enerjisi gücü ile ortalama 1100 adet evin günlük ihtiyacı karşılanmıştır. Bu kooperatifin 1300'den fazla ortağı vardı ve 1.2 milyon Euro fon oluşturulmuştur. Bugün ise İngiltere'de yenilenebilir enerji üretimi kooperatiflerinin sayısı 43'ü bulmuştur. Ve bu kooperatiflerde yerel halk 16 milyon Euro civarında yatırım gerçekleştirmiştir.

Almanya'da kooperatifçilik çalışmaları da hızla ilerlemektedir. 500 civarında kurulan yenilenebilir enerji kooperatifi ile yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların tutarı 800 milyon Euro'ya ulaşmıştır. Almanya'da kurulan bu enerji kooperatifleri 2007 yılından sonra neredeyse 6 kat artış göstermiştir. Almanya'da kurulan örnek bir kooperatif Weissacher Tal Enerji Kooperatifidir. Bu kooperatif belediye ait bir itfaiye deposu, bir ilkokul, ve bir antrepo çatısını ilk etapta kullanmıştır. Belediye burada çatı alanı noktasında sorumluluk almıştır. Kooperatifin 14 000 civarında üyesi bulunmaktadır. Her biri 50 Euro olan payları bölge halkı satın alarak yatırım bütçesini oluşturmuştur. Ve bu yatırımlar belediye binalarının çatılarında elektrik üreten 330 kWp gücünde 10 santralle başlamıştır ve akabinde farklı uygulamalar ile devam etmiştir. Weinssacher Tal Enerji Kooperatifi bu fonlama çalışmaları ve hukuki dayanak için hukukçular ve bankacılardan destek almıştır. Burada bankalar ile olan iş birliği protokolleri süreci hızlandıran temel yapı taşlarıdır. Bu örneğe ek olarak kuruluan bir diğer kooperatifte ise Greenpeace Enerji Almanya'nın 20.000 üye ve 100.000'den fazla müşterisi (özel müşteriler ve işletmeler) olan kooperatifi olmayı başarmıştır. Greenpeace enerjinin kooperatif modelinde ise her bir hisse 55 Euro'dan satılmıştır.

Türkiye'de ise kooperatifçilik eski yıllara dayanmaktadır. Mevcutta farklı amaçlara hizmet edilen kooperatiflerde ise 7 milyondan fazla ortak bulunmaktadır. Kooperatifler yaklaşık 47621 kooperatif ile yapı sektöründe yoğunlaşmaktadır. Bunu 12830 ile tarım 12915 ile diğer kooperatifler takip etmektedir. Enerji kooperatifleri ise yok denecek kadar azdır. Ancak 2012 yılından sonra yenilenebilir enerji kooperatiflerine ilgi giderek yükselen bir ivme ile artmaktadır. 2012 yılında

hazırlanan Ulusal Kooperatifçilik eylem planında yenilenebilir enerji kooperatiflerinden bahsedilmiştir. Ve ilk olarak yenilenebilir enerji kooperatifi Denizli'nin Tavas ilçesinde kurulmuştur. Akabinde Karaman, Çorum, Amasya ve izmir illerinde yenilenebilir enerji kooperatifleri kurulmuştur. Bu santraller ve yapıları aşağıda verilmiştir.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kooperatifleri 2 Ekim 2013 tarihli ve 28783 sayılı Resmi Gazete ’de yayınlanan “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik” in 5 inci maddesi ile yasal olarak bir temele dayandırılmıştır. Yapılan ilave yönetmelikler ile 100 kişiye kadar ortağı olan kooperatifler 1 MW’ a kadar, 100 ile 500 arası ortağı olanlar 2 MW’a kadar, 500 ile 1000 arası üyeye sahip olanlar 3 MW, 1000 den fazla ortağı olanlar ise 5 MW’a kadar kurulum yapabilmektedir. Bu kapasitelere lisanssız olarak ulaşmak mümkündür. Kapasiteler arazi tipi santralleri kapsadığı gibi çatı üzeri güneş enerjisi sistemlerini de kapsamaktadır. Bu kapasiteler Tablo 2.7’ de verilmektedir.

Tablo 2.7 Türkiye’de kooperatif sistemlerin güçlere göre üye sayısı

Üye Sayısı	Maksimum Kurulu Güç Kapasitesi
0-100	1000 kWp
100-500	2000 kWp
500-1000	3000 kWp
1000-	5000 kWp

Yenilenebilir enerji kooperatiflerinin kurulum aşamalarını ortaklık yapısı, yasal çerçeve ve proje aşaması olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu başlıklar kendi altında ince ayrıntılara ve kısıtlımlara sahiptir. Bu kooperatifçilik süreci Tablo2.8’de detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 2.8 Kooperatif kurulum aşamaları tablosu

Kurulum Aşamaları	
Ortaklık Yapısı	*Kooperatifler aynı dağıtım bölgesindeki ortaklar tarafından kurulur ve en az 7 ortak bulunması gerekmektedir *Ortaklar özel kişiler olabileceği gibi tüzel kişiler de olabilmektedir. *Kooperatifler sadece konut abonelerinden ya da ticari abonelerden oluşmaktadır *Ortakların katılım bedeli minimum 100 TL olarak belirlenmiştir.
Yasal Çerçeve	*Kooperatif ortakları ilk olarak kooperatif ana sözleşmesi taslağını oluşturmalıdır. *Bu sözleşmede kooperatifin adı, kooperatifin merkezinin nerede olacağı, ne tür bir enerji kaynağı ile üretim yapacakları, en az ne kadar sermaye koyabilecekleri ve ortaklık şartları mutlaka bulunmalıdır. *Ana sözleşme Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü'ne onay için iletilir. Onay yazısı alınmasına müteakip ticaret sicil müdürlüğüne tescil başvurusu yapılmaktadır.
Proje Aşaması	*Kooperatif yönetimi arazinin kurulacağı yeri belirlerken ilk olarak trafo kapasitelerine bakmalıdır. Şayet trafo kapasitesi yok ise şebekeye enerji satışı mümkün olmayacaktır. *Trafo kapasitesi ve uygulama yapılacak arazi belirlendikten sonra kurulacak sistem için kurum görüşlerine başvurulmalıdır.

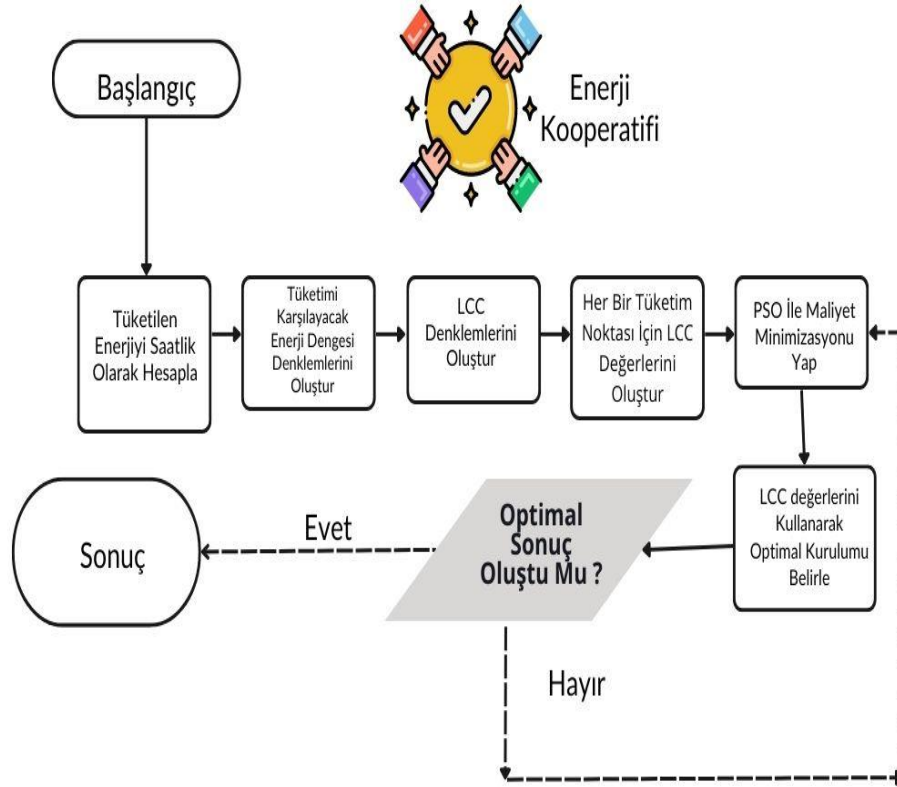
	Tüm şartların olumlu olması durumunda bölge dağıtım şirketine santral için başvuru gerçekleştirilebilir. *Dağıtım şirketi veya TEDAŞ Genel Müdürlüğü'ne (Kurulu Güce bağlı olarak değişir) sunulan proje dosyası ile projeler onaylatılır. Ve bağlantı anlaşması imzalanmak üzere tekrar ilgili dağıtım şirketine başvuru yapılır. Ve Bağlantı anlaşması imzalanır. Sonrasında santral kurulumuna geçilir ve santral kurulduktan sonra devreye alınarak enerji üretimine başlanır.
--	---

KOOPERATİF TABANLI MİKRO ŞEBEKE UYGULAMASI

Bu çalışmada fotovoltaik üretim tesisini temel üretim kaynağı olarak kullanan, depolama ünitesi olarak hidro tabanlı depolama sistemini kullanan, birden fazla yük modelinden oluşan, şebeke bağlantılı ve üretimini kooperatif temelli gerçekleştiren mikro şebeke modeli tasarlanmıştır. Sistem çalışma metodolojisi şu Şekilde gerçekleşmektedir;

- Mikro şebekelere ait 1 yıllık enerji talepleri saatlik olarak alınmaktadır,
- Yük talebini karşılayacak PV sistem şebekeye bağlantılı olarak çatı üzerine entegre edilmektedir,
- Depolama ünitesi olarak hidro tabanlı depolama ünitesi kullanılmaktadır,
- Yükü karşılayabilecek enerji üretim santralinin yaşam boyu maliyet denklemleri oluşturulmaktadır,
- Yaşam boyu maliyeti minimize etmek için parçacık sürü optimizasyonu tekniği kullanılmaktadır.
- Parçacık sürü optimizasyonu tekniğinde sürü yaşam boyu maliyeti minimize ederek, yük talebini karşılayacak optimal boyutlandırma sonuçlarını tayin etmektedir.
- İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşunun yatırımcılara etkisinin azaltılması için de kooperatif modeli benimsenmektedir. Kooperatif modeli ile mikro şebekeler kurumlarını kollektif olarak maliyet ve kar paylaşımı metodu ile yapmaktadırlar.
- Kooperatif modeline özel teşvikler uygulamaya alınarak önerilen sistemin uygulanabilirliği arttırılmıştır. Ve teşvik modelleri sisteme entegre edilmiştir.

Çalışma metodolojisini gösteren akış diagramı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Kooperatif yapısı yaşam boyu maliyeti kurucular arasında bölüştürmek ve sistem yayılımını arttırmak amacıyla tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 Sistem akış diagramı

3.1 Kooperatif Tabanlı Mikro Şebeke Optimizasyonu Yaklaşımı

Kooperatif tabanlı mikro şebeke optimizasyonunda optimizasyon amacı olarak yaşam boyu maliyet minimizasyonu seçilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak parçacık sürü optimizasyonu tercih edilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonunda her iterasyon için Personal Best(Pbest), Global Best(Gbest) değerleri hesaplanır. Görüldüğü üzere parçacık sürü algoritmasındaki bu güncellemeler basit toplam ve çarpımlardan oluşmakta ve türev bilgisi gerektirmemektedir. Öğrenme faktörleri olan $c1$ ve $c2$ her parçacığı pbest ve gbest değerlerine doğru çeker. Denklemdaki $rand1$ ve $rand2$ ise 0-1 arasında seçilmiş rasgele sayılardır, k iterasyon sayısını göstermektedir.

Çalışmada PSO Matlab ortamında kod yazılımları ile oluşturulmuştur. Çalışmamızda oluşturulan kodlar çalışmamızın ekler kısmında verilmektedir.

Eylemsizlik ağırlığı olan w her iterasyonda doğrusal olarak azaltılmalı ve birden küçük seçilmelidir.

Bu çalışmada karar değişkenleri N_{hidro} ve APV değerleridir. C katsayısı 1,49, sürü boyutu 100, maksimum iterasyon sayısı 250 olarak seçilmiştir. Eylemsizlik ağırlığı her iterasyonda doğrusal olarak azaltılmaktadır. Optimizasyon çalışmasında kullanılan parametreler, kısıtlar, amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Optimizasyon Amacı	Yaşam Boyu Maliyet Minimizasyonu
Amaç Fonksiyonu	$Min LCC(Apv, N_{hidro})= C+ OM+ R-S$
Karar Değişkenleri	Apv: Kurulum Yapılabilecek Optimal PV Alanı Nhidro: Kurulum Yapılacak Optimal Sayıda Hidro Ünitesi
Optimizasyon Parametreleri	C: İlk Yatırım Maliyeti OM: İşletme Bakım Maliyeti R: Yenileme Maliyeti S: Hurda Değer Maliyeti
Güç Dengesi Ve Kısıtlar	$P_{load}= P_{pv}+ P_{hidro}$ $P_{hidro}= 0,92 \times P_N$ $P_N= 22 \text{ kW}$ $P_{hidro} \geq 0$ $P_{pv} \geq 0$ $P_p= N \times (1-U_t)$ $P_t= N \times U_t$ $P_{hidro} \leq P_{Load} \times 0,5$

Şekil 3.2 Sistem amaç fonksiyonu, parametreleri, karar değişkenleri ve kısıtları

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

- Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.

iii. Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (pbest) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.

iv. Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (gbest) seçilir.

v. Pozisyon ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir.

$$V_i(k+1) = w.v_i(k) + C1. \text{Rand1}(k). (Pbest_i(k) - X_i(k)) + C2. \text{Rand2}(k). (Gbest(k) - X_i(k))$$

$$X_i(k+1) = X_i(k) + V_i(k+1)$$

PSO denklemlerinde kullanılan optimizasyon parametreleri aşağıda verilmektedir;

x: Parçacık değeri

v: Parçacığın değişim hızı

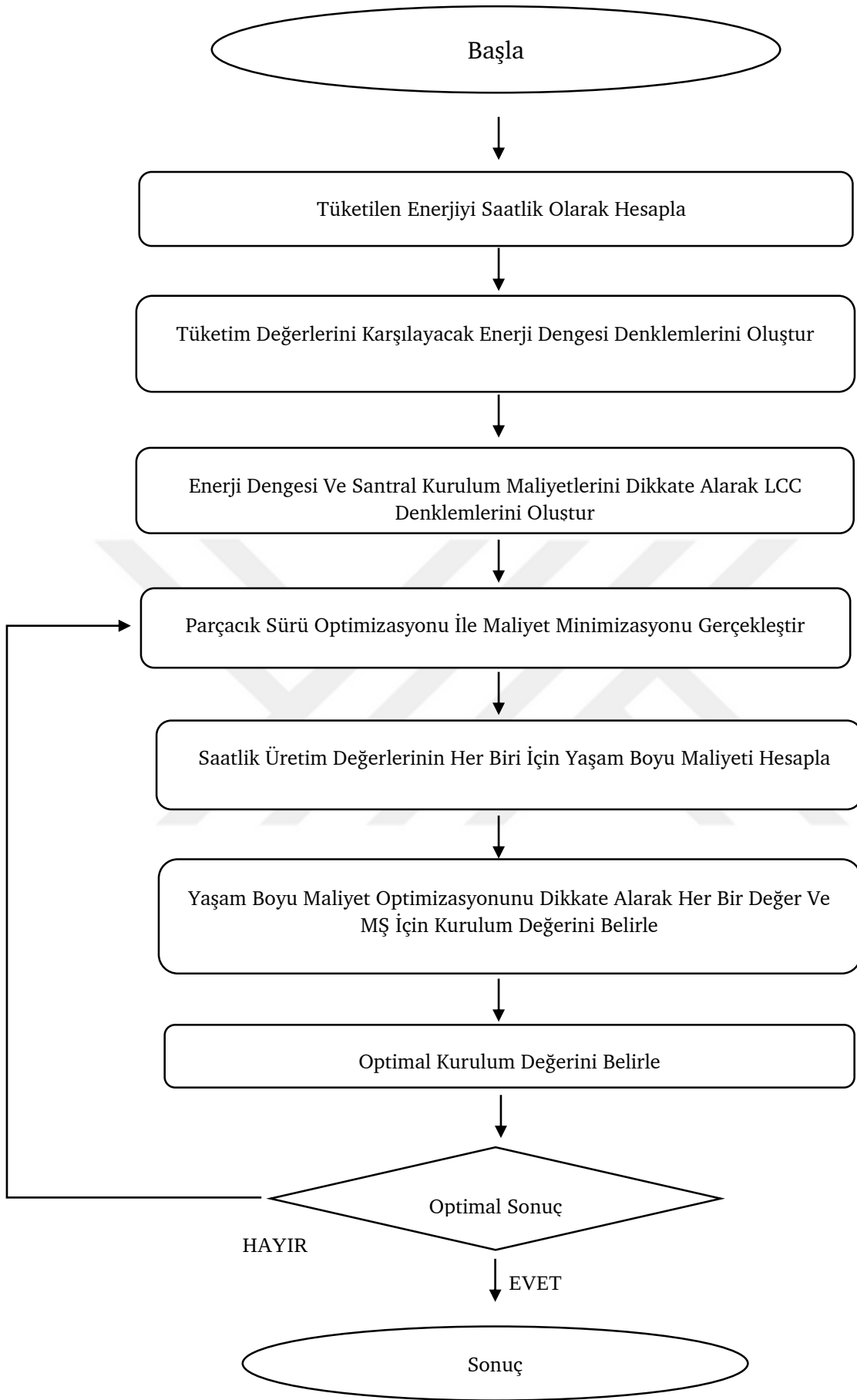
c1, c2: Sabit değerler

rand1, rand2: Rastgele üretilen değerler

pbest: Parçacığın çözüme en çok yaklaştığı durum

gbest: Tüm parçacıklar arasında çözüme en çok yaklaşılan durum olmak üzere dikkate alınmaktadır.

Parçacık sürü optimizasyonunun bizim çalışmamıza özel akış diagramı Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Sistem genel akış diagramı

3.1.1 Amaç Fonksiyonu

Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak yaşam boyu maliyetin minimize edilmesi seçilmiştir. Literatürde verilen yaşam boyu maliyet denklemleri kullanılmıştır. Hem fotovoltaik sistem hem de hidro tabanlı depolama ünitesi verileri gerçek değerlerden türetilmiştir.

Kurulacak sistemin yaşam boyu maliyetini kurulum yapacak otoriteye sunan ekonomik değerlendirme denklemidir. Denklem (3.1)'de yaşam boyu maliyet denklemi verilmektedir. Denklem (3.2), Denklem (3.3), Denklem (3.4), Denklem (3.5), Denklem (3.6), Denklem (3.7), Denklem (3.8), Denklem (3.9), Denklem (3.10), Denklem (3.11) ve Denklem (3.12) kullanılarak yaşam boyu maliyet denklemi amaç fonksiyonu haline getirilerek hesaplanmıştır.

$$LCC=C+OM+R-S \quad (2.1)$$

$$\text{MinLCC}(\text{APV}, N_{\text{hidro}})=\sum Ck + OMk + Rk - Sk \quad \text{k€} \quad \text{PV,Hidro} \quad (2.2)$$

$$LCC_{\text{PV}}=CPV+OMPV+RPV-SPV \quad (2.3)$$

$$CPV=a_{\text{PV}} \cdot \text{APV} \quad (2.4)$$

$$OMPV=BPV \cdot \text{APV} \cdot \sum_{j=1}^N \left(\frac{1+Ep_v}{1+i} \right)^j \quad (2.5)$$

$$BPV=0,01 \cdot a_{\text{PV}} \quad (2.7)$$

$$EPV=0,075 \quad (2.8)$$

$$SPV=Y \cdot \text{APV} \cdot ((1+E)/(1+i))^N \quad (2.9)$$

$$Y=0,25 \cdot a_{\text{PV}} \quad (2.10)$$

$$i=0,1 \quad (2.11)$$

$$E=0,1(\text{Yıllık}\%10) \quad (2.12)$$

Yaşam boyu maliyet denklemi; kurulması planlanan sistemin, enerji santralinin, ilk kurulum maliyeti, işletme bakım maliyeti, yenileme maliyeti ve hurda değerleri dikkate alarak gerçekleştirilen ekonomik değerlendirme metodudur. Burada hidro tabanlı depolama sisteminin yaşam boyu maliyet denklemi oluşturularak amaç fonksiyonu 1. kısmı oluşturulmuş olmaktadır. İfade edilen denklem parametreleri; $LCChidro$ hidro sistemin yaşam boyu maliyetini, $Chidro$ hidro sistemin ilk kurulum maliyetini, $OMhidro$ hidro tabanlı depolama sistemin işletme bakım maliyetini,

Rhidro hidro tabanlı depolama sisteminin yenileme maliyetini, Shidro ise hurda değer maliyetini ifade etmektedir. E hidro sisteminin eskalasyon oranını, İ değeri yıllık faiz oranını ifade etmektedir. 0,92 değeri inverter verimini, j sistemin yaşam ömrünü, yıllık operasyon bakım maliyeti Bhidro, Nhidro hidro tabanlı depolama ünitesi sayısını, Yhidro hidro sisteminin yeniden satış maliyetini ifade etmektedir.

$$LCCHidro = Chidro + OMhidro + Rhidro - Shidro \quad (2.13)$$

$$Chidro = Nhidro \cdot Ahidro \quad (2.14)$$

$$OMhidro = Nhidro \cdot Bhidro \cdot \sum_{j=1}^K \left(\frac{1 + Nhidro}{1 + i} \right)^j \quad (2.15)$$

$$Rhidro = 0 \quad (2.16)$$

$$Shidro = Y \cdot Nhidro \cdot ((1 + E)/(1 + i))^K \quad (2.17)$$

$$Yhidro = 0,25 \cdot Ahidro \quad (2.18)$$

3.1.2 Güç Dengesi Ve Kısıtlar

Çalışmamızda yük talebi Pload, PPV, PV üretimden elde edilen güç, PT jeneratörün türbin halinde çalışması, Pp ise jeneratörün pompa halinde çalışmasını ifade etmektedir. PN hidro tabanlı depolama ünitesinin nominal gücünü, ut ise binary değişkeni ifade etmektedir. Çalışmada binary değişken hidro tabanlı depolama ünitesinin şarj ve deşarj durumunun eş zamanlı oluşma durumunu önlemektedir. Kısıtlar aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir.

$$Pload = PPV + PT - Pp \quad (2.19)$$

$$Pp = 0,92 \cdot PN \quad (2.20)$$

$$PT = 0,92 \cdot PN \quad (2.21)$$

$$PN = 22 \text{ kW} \quad (2.22)$$

$$Pp \leq N \cdot (1 - ut) \quad (2.23)$$

$$PT \leq N \cdot (ut) \quad (2.24)$$

$$Pp \geq 0 \quad (2.25)$$

$$PT \geq 0 \quad (2.26)$$

Eğer;

$$PPV(t). \text{İnverterverimi} \geq Pload \quad (2.27)$$

3.2 Durum Çalışmaları

Oluşturulan sistem farklı durumlar için değerlendirilerek bulgular elde edilmiştir. Bu durumların ilki bir yük profili ve bu profili karşılayan PV sistem ve hidro tabanlı depolama ünitesinden oluşmaktadır. Bir sonraki aşamada mikro şebeke sayısı artırılarak 5 farklı mikro şebeke üzerinden değerlendirme yapılmıştır, daha sonraki durumlarda ise yük profilleri daha büyük olan mikro şebekeler sisteme dâhil edilmiştir. Tüketime minimum olduğu noktalarda hidro tabanlı depolama ünitesi şarjı gerçekleştirilmiştir. Böylelikle kurulu güç azaltılmaya çalışılmıştır. Son durum çalışmasında fon kaynaklarına erişim, kdv muafiyeti, FIT, NEM, ek sübvansiyonlar, işletme bakım teşvikleri sisteme dâhil edilerek incelenmiştir. Yapılan durum çalışmaları Tablo3.1’de gösterilmektedir. Aynı Tablodeğerlendirme aşamasında da gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Durum çalışmaları karşılaştırma tablosu

DURUM ÇALIŞMALARI/ ÖZELLİKLER	ŞEBEKE BAĞLANTISI	MÜNFERİT HİDRO	MERKEZİ HİDRO	MŞ'LER ARASI ENERJİ ALIŞVERİŞİ	MŞ TOPLULUĞU	KOOPERATİF TEMELLİ YATIRIM	ÇATI ÜZERİ ALAN KISITI DEVREDE OLMA DURUMU	HİDRO KAPASİTESİ SINIRLAMA	GERÇEK TÜKETİM DEĞERLERİ	FİNANS ERİŞİMİ-TEŞVİK DAHLİ	TÜKETİM VERİ SAYISI
Durum Çalışması 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72
Durum Çalışması 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72
Durum Çalışması 3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760
Durum Çalışması 4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760
Durum Çalışması 5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760
Durum Çalışması 6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760
Durum Çalışması 7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760
Durum Çalışması 8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8760

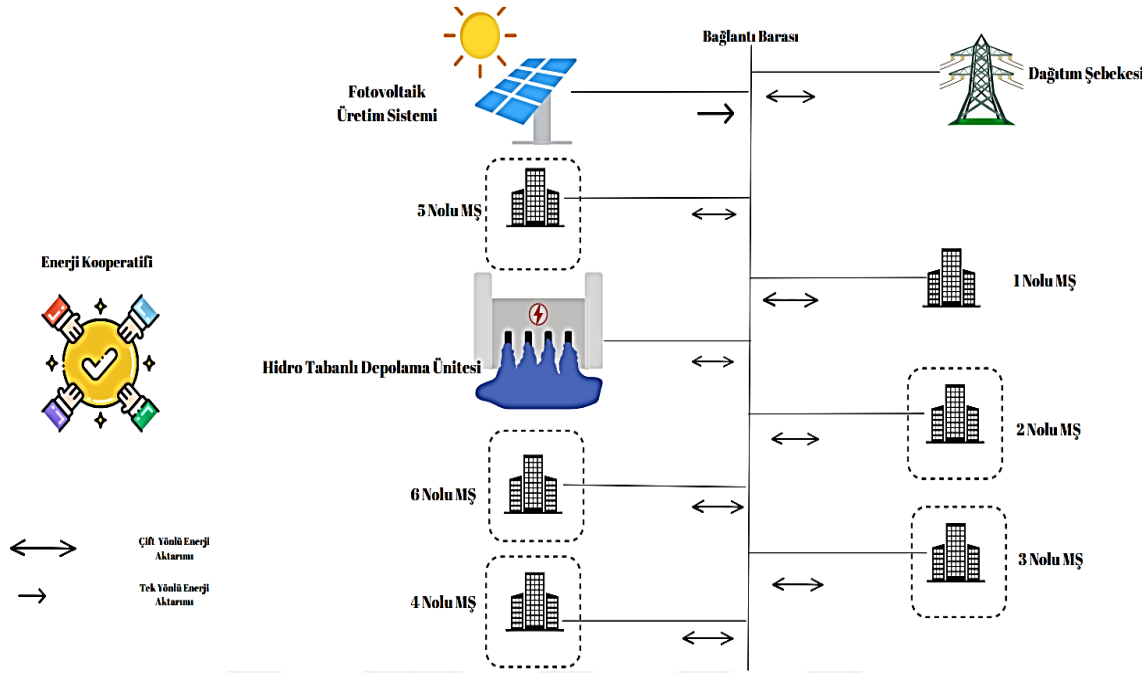
Daha sonraki caselerde ise mikro şebekeler arası enerji alışverişi sağlanarak en uygun kurulum sağlanmaya çalışılmıştır. Çatı üzeri alan kapasitesi de dikkate alındığında kurulumlar kısıtlandırılarak yük alışverişi ve şebeke desteği ile yük talebi karşılanmıştır.

3.2.1 Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Münferit Olması Durumu

3.2.1.1 1. Durum Çalışması

Bu sistemde hidro tabanlı depolama ünitesi 22 kW lık paketler halinde değerlendirilmiştir. Ve her saatlik değerinde hidro tabanlı depolama ünitesi kapasitesi sabit kabul edilmiştir. MŞ yük tüketimleri Türkiye genel tüketimlerinin

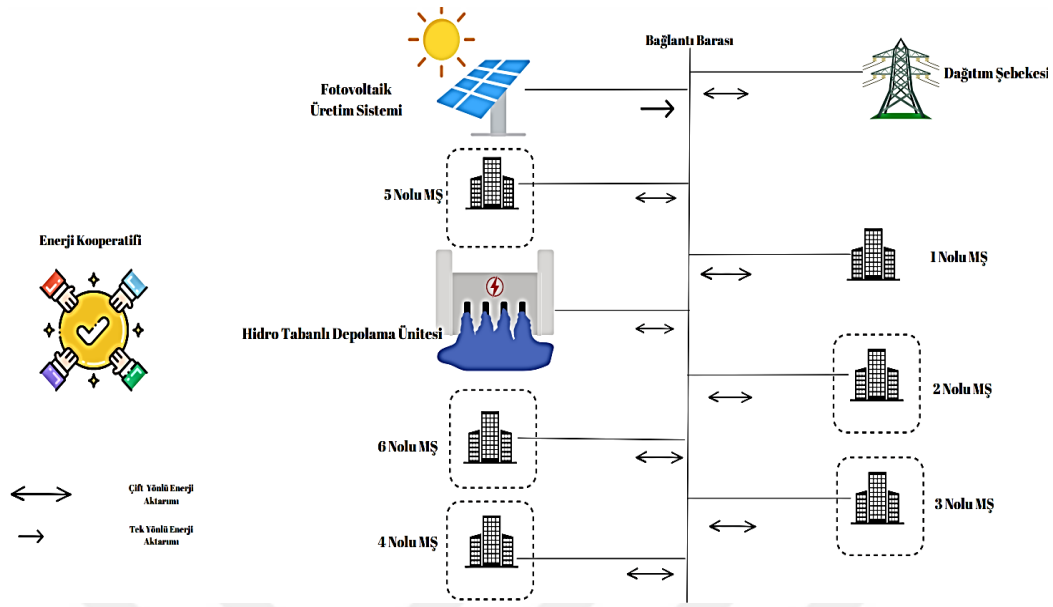
ölçeklendirilmesi ile elde edilmiştir ve 72 adet veri üzerinde çalışılmıştır. Çatı üzeri alan kapasitesi, hidro tabanlı depolama ünitesi kurulum zorluğu dikkate alınmamıştır. Şebeke bağlantısı sağlanmamıştır. Şarj deşarj dikkate alınmadığından sistemin yük talebini karşılayacak üretim değerleri optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda parçacık sürü optimizasyonu kümelenme göstermemiştir. Gündüz saatlerde PV ilk kurulumu en yüksek tepeye ulaştırma, hidro tabanlı depolama ünitesini ise minimum noktaya çekmeye çalışmıştır. Bunun sebebi PV sistemin yaşam boyu maliyetinin hidro tabanlı depolama ünitesinden düşük olmasıdır. Bir diğer taraftan gece saatlerinde ise PV güç üretimi olmadığı için talep hidro tabanlı depolama ünitesinden karşılanmaktadır. Yaşam boyu maliyet analizi denklemlerine göre optimizasyon gerçekleştiğinden her saatte oluşan değerlerin optimal noktası sonuç olarak üretilmiştir. PSO sonuç olarak en düşük 73 metre kurulum yapılması halinde en az da 7 adet depolama ünitesi kurulması halinde minimum maliyetle talebin karşılanacağı sonucu oluşmuştur. Çalışma diagramı Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir. Kurulu güç olarak 7 adet depolama ünitesi 140 kW ve 73 metre PV kurulum alanı da yaklaşık 35 kW kurulu güç anlamına gelmektedir. Böylelikle toplamda 175 kW kurulu güç tesis edilmiştir. Burada Hidro tabanlı depolama ünitesi sayısı yüksek çıkmıştır.



Sisteme şayet ek kaynaklar veya şebeke eklenmesi durumunda hidro tabanlı depolama ünitesi yaşam boyu maliyeti şebeke ortalama yaşam boyu maliyeti dikkate alınarak sürünün davranışları değişecek ve sonuç o duruma göre üretilecektir.

3.2.1.1 2. Durum Çalışması

Yapılan bu case çalışmasında hidro tabanlı depolama ünitesi 22 kW'lık paketler halinde sisteme dahil edilmiştir. Şebeke bağlantısı sağlanmıştır ancak sadece sürdürülebilirlik açısından fayda sağlamaktadır. Yani tüm tüketim talepleri hidro ve PV sistemden karşılanmaktadır. Hidro kapasitesi saatlik azalılar ile 0 noktasına kadar azaltılmıştır ve kapasitesi kısıtlanmamıştır. Bu case modelinde 130 kW PV kurulum gerçekleştirilmiştir ve 107 adet hidro ünitesi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Hidro çok yüksek güçlere çıkmaktadır. Bunun sebebi hidro kapasitesinin azaltılması ile güç talebini her değer için sağlama prensibi sebebiyle algoritma sonucu en güvenli bölgede üretmektedir. Bu nedenle yüksek kurulu güçlere geçilmiştir. Ve bu durum bizim için istenmeyen bir durumdur. Bu durum çalışmada değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.5'de verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.

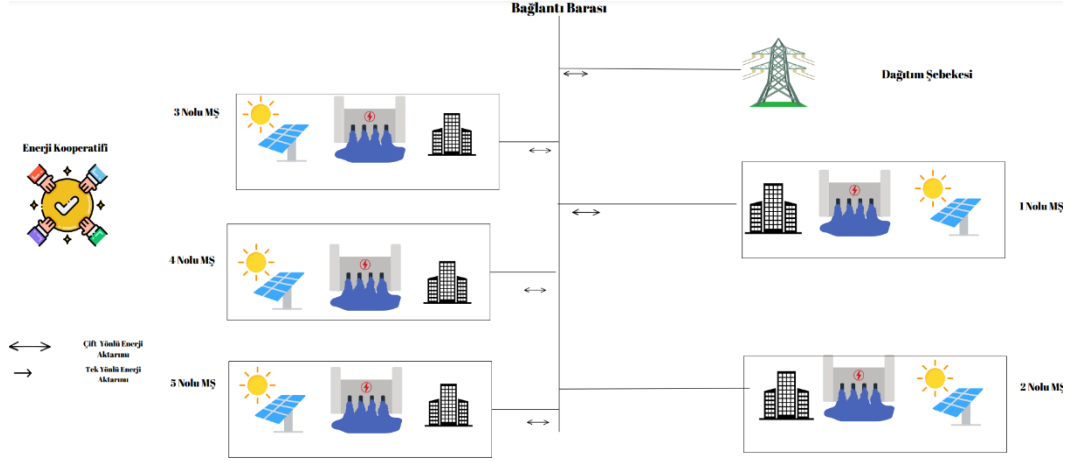


Şekil 3.5 2.Durum çalışması prensip gösterimi

Kurulu güç değeri talep gücün üzerine çıktığında enerji dengesi gerçekleştirilmiş oluyor ancak maliyet minimizasyonu gerçek anlamda gerçekleşmemiş oluyor. Ayrıca hidro kurulu gücünün bu şekilde artması depolamadan ziyade ana kaynak statüsüne erişmesine neden olmaktadır. Oysa bizim çalışmamızda hidro tabanlı depolama ünitesi depolama olarak kullanılmaktadır ve yardımcı kaynak statüsündedir.

3.2.1.1 3. Durum Çalışması

Yapılan durum çalışmasında 5 farklı mikro şebeke modeli sisteme dahil edilmiştir. Mikro şebekelerin hepsini ayrı ayrı besleyecek 5 farklı hidro tabanlı depolama ünitesi sisteme dahil edilmiştir. Bu durum çalışmasında değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.6'da verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.



Şekil 3.6 3. Durum çalışması prensip gösterimi

Tüketimler aynı bölgede ve çatı üzerlerine kurularak elde edilmiştir. Ancak çatı alanı kısıtları dikkate alınmamıştır, MŞ'ler arası enerji alışverişi dikkate alınmamıştır. Sistem şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır ancak şebeke ile minimum enerji alışverişi hedefi dikkate alındığından sadece gerekli anlarda şebeke devreye girmektedir.

Durum çalışmalarında kullanılan yüklere ait MŞ'lerin yük profilleri aşağıda verilmiştir. Çalışmada 1 yıllık üretim verileri saatlik olarak incelenmiştir. Burada yatay veriler saatleri, dikey veriler ise o saate ait mikro şebekede gerçekleşen tüketimleri göstermektedir.

MŞ1'de Gece saatlerinde tüketim genel olarak 3 kWh değerinin altına düşmektedir. Bu durumun istisnalarının olduğu durumlar vardır ancak genel olarak durum böyledir. En yüksek tüketim değerleri ise akşam 16.00/21.00 saatleri arasındadır. Bu değer 120-250 kWh değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. MŞ 250 kWh tüketim değerlerine nadiren yaklaşmış olsa da genel tüketim değerleri bu değer altındadır.

MŞ2'nin gece saatlerinde tüketimi 0 a yaklaşmaktadır. En yüksek tüketimi akşam 20.00 saatlerinde gerçekleşmektedir. En yüksek tüketim değerleri 260 kWh'ın altındadır. Nadiren akşam saatlerinde ulaşılan bu değer genel ortalamasının çok üzerindedir.

MŞ3 yine en yüksek tüketim değerlerine saat 20.00/22.00 saatleri arasında ulaşmaktadır. En yüksek tüketim anlarında 259 kWh tüketim gerçekleştirmiştir. Bu değer sadece akşam saatlerinde gerçekleşmekte olup gündüz saatlerindeki tüketim

değerleri 100-150 kWh değerleri arasında seyretmektedir. Gece saatlerinde ise (01.00/05.00) tüketim 3 kWh değerinin altında seyretmektedir.

MŞ4 en yüksek tüketim değerlerine akşam 19.00/22.00 saatleri arasında ulaşmaktadır. Gece 01.00/05.00 saatleri arasında en düşük değerini almaktadır. Gece saatlerinde tüketim bazı günlerde 3 kWh değerinin altında kalmaktadır. Genel olarak gerçekleşen bu durum bazı istisnai durumlarda farklılaşma göstermektedir.

MŞ5 en yüksek tüketimlere 19.00/22.00 saatleri arasında gerçekleşmektedir. Bu değer 220 kWh civarındadır. En düşük tüketim değerleri ise gece 01.00/05.00 saatleri arasında gerçekleşmiştir.

Bu durumda:

MŞ1 için; 69 kW PV kurulu güç ve 18 adet hidro ünitesi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu da 396 kW hidro kurulu gücü anlamına gelmektedir.

MŞ2 için; 64 kW fotovoltaik kurulu güç ve 17 adet hidro ünitesi sonucu üretilmiştir. Bu da 374 kW hidro kurulu gücü anlamına gelmektedir.

MŞ3 için; 77,5 kW fotovoltaik kurulu güç ve 20 adet hidro ünitesi sonucu üretilmiştir. Bu da 440 kW hidro kurulu gücü anlamına gelmektedir.

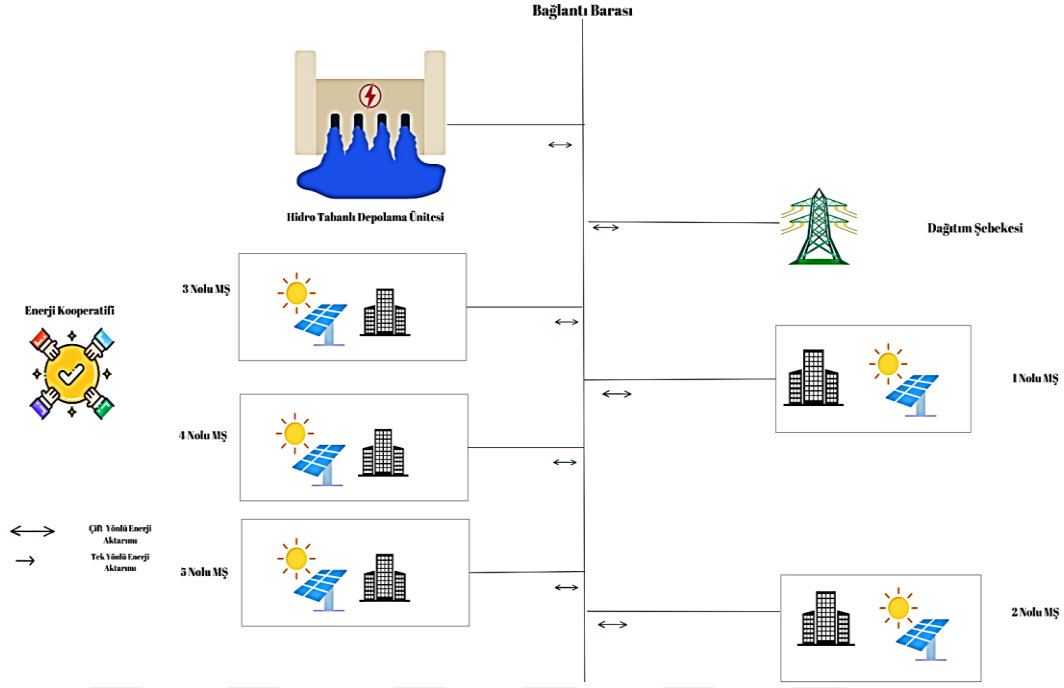
MŞ4 için; 73,5 kW fotovoltaik kurulu güç ve 20 adet hidro ünitesi sonucu üretilmiştir. Bu da 440 kW hidro kurulu gücü anlamına gelmektedir.

MŞ5 için; 72 kW fotovoltaik kurulu güç ve 19 adet hidro ünitesi sonucu üretilmiştir. Bu da 418 kW hidro kurulu gücü anlamına gelmektedir.

3.2.2 Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi Merkezi Olması Durumu

3.2.2.1 4. Durum Çalışması

Bu case çalışmasında 5 farklı mikro şebeke modeli için tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi tasarımı yapılmıştır. Her mikro şebeke çatısına kurulacak PV sistem ile sistemin toplam yük talebi karşılanmaktadır. Tek bir hidro kurulumu hidro kurulum alanı sorununa çözüm üretmek ve maliyeti azaltmak için planlanmaktadır. Bu durum çalışmasında değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.7’de verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.

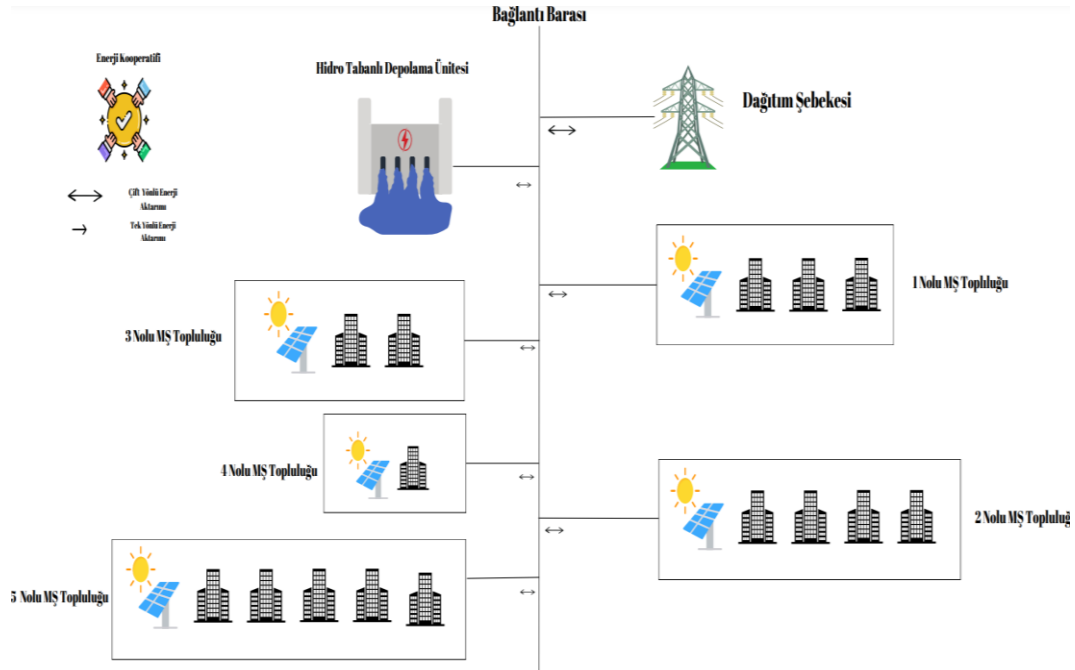


Şekil 3.7 4. Durum çalışması prensip gösterimi

Çatı üzeri alan kısıtı dikkate alınmamıştır ve mikro şebekeler arası enerji alışverişi yapılmamaktadır. Algoritma 11 adet Hidro Ünitesi yani 240 kW ,1200 kW PV kurulum gerçekleştirmiştir. Gündüz saatlerinde güneş enerjisine yoğunlaşmıştır. Tüketicinin minimum olduğu saatlerde şebeke hidroju beslemiş ve aynı zamanda talebi karşılamıştır. Böylelikle güç dengesi kısıtını sağlayabilmek için minimum şebeke kurulumu 480 kW olarak gerçekleştirilmiştir

3.2.2.2 5. Durum Çalışması

Bu case çalışmasında birden fazla tüketim noktasından oluşan 5 farklı mikro şebeke için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu durumda şebeke entegrasyonu vardır ancak şebeke sadece destekleyici olarak bulunmaktadır. Ana amaç şebeke ile en alt seviyede alışveriş sağlanmasıdır. Mikro şebekeler arası alışveriş de bu modelde dikkate alınmamıştır. Tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi sistemin depolama ihtiyacını karşılamaktadır. Bu durum çalışmasında değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.8’de verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.



Şekil 3.8 5. Durum çalışması prensip gösterimi

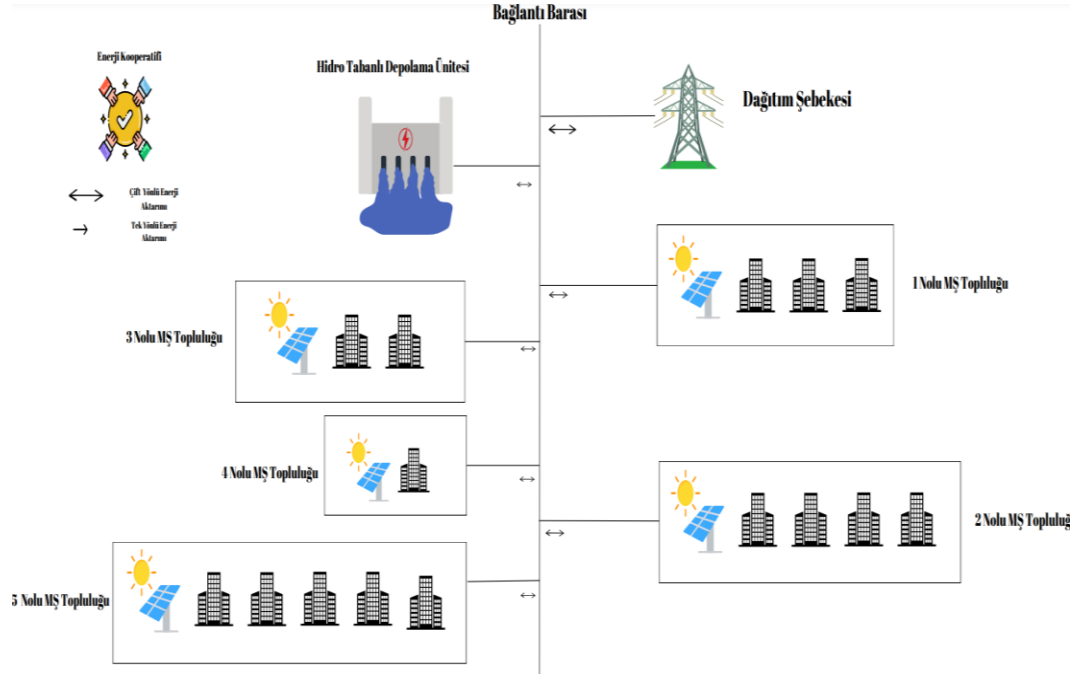
Çatı üzeri alan kısıtı dikkate alınmamıştır. 5 farklı mikro şebeke içerisinde farklı yükler oluşturularak mikro şebeke kolonisi oluşturulmuştur. Sistem şebekeye bağlıdır ancak şebeke destekleyici statüsünde bulunmaktadır. Kurulan bu sistemde MŞ1 3, MŞ2 4, MŞ3 2, MŞ4 1, MŞ5 5 adet yük profilinden oluşmaktadır. Bu durumda algoritmamız 1020 kW PV kurulu güç, 260 adet hidro tabanlı depolama ünitesi sonucu üretmiştir.

3.2.2.3 6. Durum Çalışması

Bu case çalışmasında birden fazla tüketim noktasından oluşan 5 farklı mikro şebeke için optimizasyon çalışması yapılmıştır. 5.durumdan farklı olarak ısıtma değerleri %50 arttırılarak değerlendirmeye alınmıştır. Bu durumda şebeke entegrasyonu vardır ancak şebeke sadece destekleyici olarak bulunmaktadır. Ana amaç şebeke ile en alt seviyede alışveriş sağlanmasıdır. Mikro şebekeler arası alışveriş de bu modelde dikkate alınmamıştır. Tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi sistemin depolama ihtiyacını karşılamaktadır. Çatı üzeri alan kısıtı dikkate alınmamıştır. 5 farklı mikro şebeke içerisinde farklı yükler oluşturularak mikro şebeke kolonisi oluşturulmuştur. Sistem şebekeye bağlıdır ancak şebeke destekleyici statüsünde bulunmaktadır. Kurulan bu sistemde MŞ1 3, MŞ2 4, MŞ3 2, MŞ4 1, MŞ5 5 adet yük profilinden oluşmaktadır. Bu durumda algoritmamız 680 kW PV kurulu güç,

260 adet hidro tabanlı depolama ünitesi sonucu üretmiştir. Bu durum çalışmasında değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.9’da verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.

Bu durum çalışması bize şunu göstermektedir: Işıma kapasitesi PV kurulu gücü ciddi oranda azaltmaktadır ancak hidro tabanlı depolama ünitesi kurulumunu etkilememektedir.



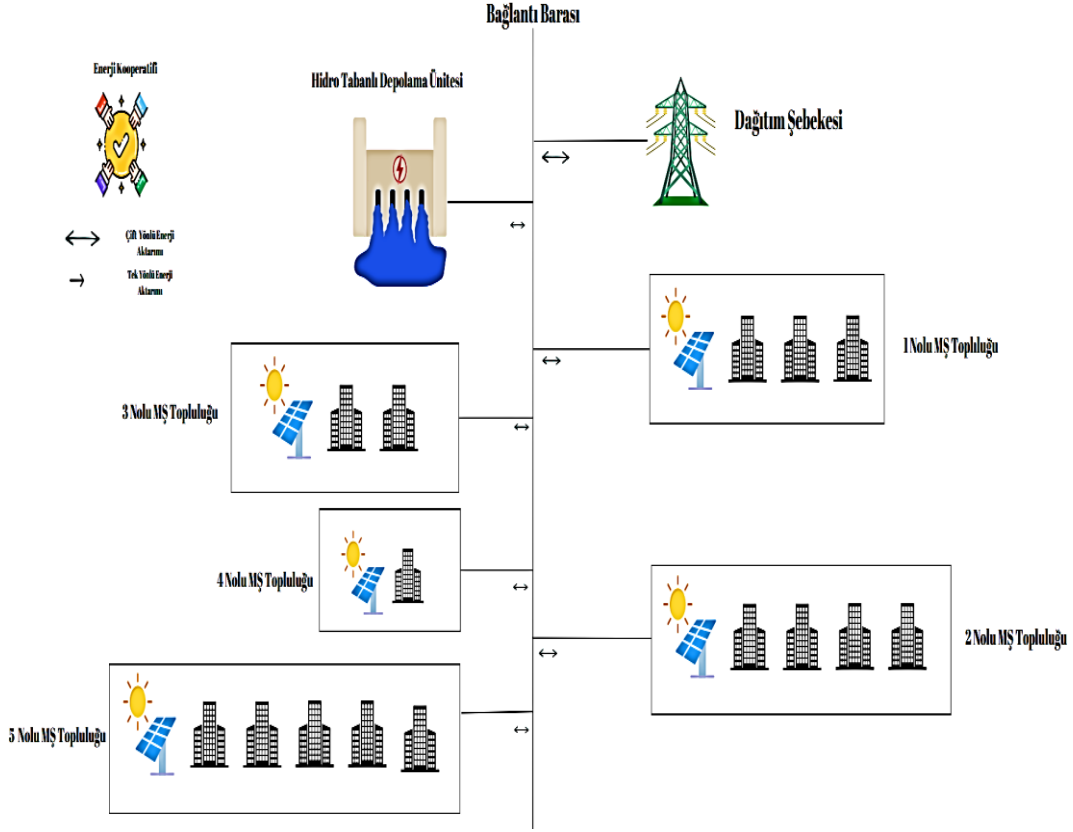
Şekil 3.9 6. Durum çalışması prensip gösterimi

Çünkü hidro tabanlı depolama ünitesi sayısını belirleyen enerji dengesi denklemleridir. Gece saatlerinde PV kurulu güç olmadığından şebeke ile entegrasyon da en aza indirilmek istendiği için gece saatlerinde özellikle tüketimin yüksek olduğu pik saatlerinde talep tamamen hidro sistemden karşılanmaktadır. Bu saatte hidro kapasitesi de düşük olduğunda ünite sayısı maksimum tüketimin de üzerine çıkmaktadır.

3.2.2.4 7. Durum Çalışması

İlk 6 case çalışmasından elde edilen bulgular dikkate alınarak 7. Durum çalışması oluşturulmuştur. Bu case çalışmasında 5 farklı mikro şebeke modeli için 1 hidro depolama ünitesi tasarlanmıştır. Hidro tabanlı depolama ünitesi azalışları kısıtlanmıştır. Hidro tabanlı depolama ünitesi miktarı daha önceki durum çalışmalarında maksimum güç tüketiminin de üzerine çıkmıştı. Bu sorun hidro

tabanlı depolama ünitesinden faydalanma oranı azaltılarak, şebeke ile şarj durumunu sürekli hale getirerek çözülmeye çalışılmıştır. Bu durum çalışmasında değerlendirilen sistemin çalışma diagramı Şekil 3.10'da verilmektedir. Şekilde kesikli çizgi kutusunda bulunanlar durum çalışmasına dahil olmayan kısımları göstermektedir.



Şekil 3.10 7. Durum çalışması prensip gösterimi

Hidro tabanlı depolama ünitesi kurulu gücü maksimum tüketimin %50 sini aşmayacak şekilde kısıtlandırılmıştır. Bunun nedeni hidro tabanlı depolama sisteminin ana enerji üretim kaynağı olmamasıdır. Bu durum çalışmasında şebeke kurulu gücü en yüksek tüketim noktalarında hidro kapasitesini azaltabilmek için tüketimi destekleyici olarak kullanılmıştır. Talebin en yüksek olduğu noktalar güneş enerjisinin aktif olmadığı saatlerdir, bu nedenle hidro tabanlı depolama ünitesini kısıtlamak doğru sistemin tasarlanması açısından önemlidir. PV kurulu güç değiştirilmemiştir.

PV oranı artırma fikri burada akla gelebilir ancak burada hidro kurulu gücü arttıran kısım gece saatlerinde güneş enerjisinin olmadığı durumlardır. Bu durumda;

PV kurulu güç 1020 kW, hidro tabanlı depolama ünitesi de 670 kW hidro kurulu güç elde edilmiştir. Mikro şebekeler arası enerji alışverişi sağlanarak eksik kalan enerji şebekeden sağlanacaktır.

Bu durum çalışmasında çatı üzeri kurulum alanları kısıtları da devreye alınmıştır. Bu kısıtlar;

MŞ1 kuruluma uygun çatı potansiyeli 85 kW,

MŞ2 kuruluma uygun çatı potansiyeli 130 kW,

MŞ3 kuruluma uygun çatı potansiyeli 150 kW,

MŞ4 kuruluma uygun çatı potansiyeli 220 kW,

MŞ5 kuruluma uygun çatı potansiyeli 250 kW,

Bu nedenle şebekeler arası her saatte enerji alışverişi oluşmaktadır. Ve ayrıca bu kurulu alanların yetersiz kaldığı case 7 için aynı veya farklı dağıtım bölgesinden çatı kiralama metoduyla kurulum yapılabilecek veya arazi kurulumlarıyla desteklenebilir.

3.2.3 Teşvik Mekanizmalarının Sisteme Entegrasyonu Ve Finansa Ulaşımın Dikkate Alınması Durumu (8. Durum)

Kurulan kooperatif temelli mikro şebeke modelinde ilk yatırım maliyetinin, işletme bakım maliyetlerinin finansmanının hazır olduğu model dikkate alınmıştır. Ayrıca kooperatif temelli sistemlere ait var olan ve olabilecek teşvik modelleri entegre edilmemişti. Bu teşvik mekanizmalarının ve finansal durumların sisteme entegrasyonu bu bölümde gerçekleştirilmiştir.

Yenilenebilir enerji çalışmalarına Türkiye’de NEM, FIT ve KDV muafiyeti teşvikleri uygulanmaktadır. Doğrudan kooperatif sistemlerine özel teşvikler verilmemektedir. Ancak bizim modelimizde NEM ve FIT teşvikleri kooperatiflere özel alım garantisinin 20 yıla çıkarılması ve alım değerlerinin tek kullanıcılara kıyasla %25 daha uzun olması durumu gerçekleştirilmiştir. Bu durum yaşam boyu maliyet denklemine doğrudan etki etmemekle birlikte kooperatif sistemine olan ilginin artmasına ve son tüketicinin sisteme entegrasyonunun artmasına imkan sağlamaktadır.

Bu durum çalışmasında; Türkiye’de fona ulaşımın zor olduğu son tüketici dikkate alınan ilk yatırım maliyetinin finans kuruluşlarından sağlandığı model, KDV muafiyeti teşvikinin devreye alındığı model, ek sübvansiyon ve faiz desteğinin sağlandığı model, işletme bakım desteğinin sağlandığı model dikkate alınarak sistem optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Birimsel ilk yatırımın finansa erişimin olmamasından kaynaklı yükselişi yaşam boyu maliyeti direct olarak arttırmıştır. Ancak güç dengesi kısıtı sebebiyle optimizasyon sonuçları değişiklik göstermemiştir. Optimizasyon sonuçlarına bu durumun etkisini gözlemleyebilmek için yük esnekliği sağlanarak bazı yüklerin tüketim alışkanlıkları değiştirilerek saatlik yük tüketimi değerleri organize edilmiştir.

A. İlk Yatırım Maliyetinin Finans Kuruluşlarından Karşılandığı Durum

Yapılan çalışmada birimsel ilk yatırım maliyeti apv parametresi 60 dolar, ahidro ise 1000 dolar olarak sisteme dahil edilmişti. Ancak bu parametreler fonun hazır olduğu durumda geçerli olan parametrelerdir. Birimsel ilk yatırımın hazır olmadığı durumlarda finans kuruluşlarından destek sağlanmaktadır. Kullanıcıya göre değişmekle birlikte aylık 0.99 vade farkı oranı ile finans sağlanmaktadır. Bu durum aşağıdaki eşitsizlik ile ifade edilmiştir. Bu tariff edilen durumun uygulanması hali uygulanıyorsa şartıyla, uygulanmaması durumu uygulanmıyorsa koşuluyla denkleme işlenmiştir.

$$a = \begin{cases} \text{Uygulanmıyorsa,} & apv = 60, ahidro = 1000 \\ \text{Uygulanıyorsa,} & apv = 116,22, ahidro = 1925,55 \end{cases}$$

Bu değerler ile 7. durum çalışması tekrar uygulanarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir;

PV kurulu güç 952 kW, hidro tabanlı depolama ünitesi ise 4004 kW.

B. Yatırıma KDV Muafiyeti Teşvikinin Uygulandığı Durum

Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarına KDV muafiyeti uygulanmaktadır. Türkiye’de mevcut KDV yenilenebilir enerji sistemlerinde 0 olarak dikkate alınmaktadır. Şayet gerekli şartlar ve başvurular gerçekleştiğinde. Bu durumda kurulan mikro şebeke modelinde birimsel ilk yatırım maliyeti hem hidro sistemler için hem de fotovoltaik ekipmanlar için değişmektedir. Birimsel ilk

yatırım maliyeti apv, PV sistemler için 60 dolar değerindedir. Hidro tabanlı depolama sistemi içinse bu değer 1000 dolar değerinde çalışmaya entegre edilmiştir. Ancak %18'lik KDV muafiyeti dikkate alındığında apv değeri 49,2 dolara, ahidro değeri de 820 dolara gerilemektedir. Bu durum aşağıdaki eşitsizlik ile ifade edilmiştir Bu tariff edilen durumun uygulanması hali uygulanıyorsa şartıyla, uygulanmaması durumu uygulanmıyorsa koşuluyla denkleme işlenmiştir.

$$a = \begin{cases} \text{Uygulanmıyorsa,} & apv = 60, ahidro = 1000 \\ \text{Uygulanıyorsa,} & apv = 49,2, ahidro = 820 \end{cases}$$

Bu değerler ile optimizasyon gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir;

Bu değerler ile 7. durum çalışması tekrar uygulanarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir;

PV kurulu güç 952 kW, hidro tabanlı depolama ünitesi sayısı 4004 kW.

C. KDV Muafiyeti, Kooperatif Temelli Sistemlere Ek Sübvansiyon, 0 Faizli Fon Teşviklerinin Uygulanması Durumu

Türkiye’de yenilenebilir enerji sistemlerine doğrudan uygulanan bir ek sübvansiyon teşviki bulunmamaktadır. Ancak dünyada ek sübvansiyonlar ile de teşvikler sağlanmaktadır. Bunlardan en yaygın ilk yatırım maliyetinin bir kısmının devlet tarafından karşılanmasıdır.

Bu bölümde KDV muafiyeti ek %20’ lik kooperatif sübvansiyonu uygulanması ve 0 faizli fon teşviklerinin üçü dikkate alınarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Mevcutta bu kooperatif teşviki bulunmamaktadır. Ancak olması durumunda optimizasyona etkileri incelenmiştir. Bu durumda apv değeri 39,6 dolar, ahidro değeri ise 656 dolar değerine gerilemektedir. Bu durum aşağıdaki eşitsizlik ile ifade edilmiştir. Bu tariff edilen durumun uygulanması hali uygulanıyorsa şartıyla, uygulanmaması durumu uygulanmıyorsa koşuluyla denkleme işlenmiştir.

$$a = \begin{cases} \text{Uygulanmıyorsa} & apv = 60, ahidro = 1000 \\ \text{Uygulanıyorsa} & apv = 39,6, ahidro = 656 \end{cases}$$

Bu değerler ile 7.durum çalışması tekrar uygulanarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir;

PV kurulu güç 885 kW, Hidro tabanlı depolama nitesi sayısı 3652 kW.

D. İşletme Bakım Maliyetleri Teşvikleri İle Optimizasyonun Gerçekleştirilmesi

Birimsel işletme bakım maliyetleri alışmamızda Bpv parametresi ile ifade edilen maliyetlerdir. Yaşam boyu maliyet denkleminde doğrudan bulunan bu maliyete yönelik uygulanabilecek %20 lik bir teşvik ile oluşan durumlar bu bölümde incelenmektedir. Bpv 0,6 dolar değerinden bu teşvik uygulandığında 0,48 değerine gerilemektedir. Bhidro ise 10 dolar değerinden 8 dolar değerine gerilemektedir.

$$B = \begin{cases} \text{Uygulanmıyorsa,} & B_{pv} = 0,6, B_{hidro} = 10 \\ \text{Uygulanıyorsa,} & B_{pv} = 0,48, B_{hidro} = 8 \end{cases}$$

Bu değerler ile 7.durum çalışması tekrar uygulanarak optimizasyon gerçekleştirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir;

PV kurulu güç 970 kW, hidro tabanlı depolama nitesi sayısı 12760 kW.

DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Oluşturulan sistem farklı durumlar için değerlendirilerek bulgular elde edilmiştir. Bu durumların ilki bir yük profili - bu profili karşılayan PV sistem- hidro tabanlı depolama ünitesinden oluşmaktadır. Bir sonraki aşamada mikro şebeke sayısı artırılarak 5 farklı mikro şebeke üzerinden değerlendirme yapılmıştır, daha sonraki durumlarda ise yük profilleri daha büyük olan mikro şebekeler sisteme dâhil edilmiştir. Tüketime minimum olduğu noktalarda hidro tabanlı depolama ünitesi şarjı gerçekleştirilmiştir. Böylelikle kurulu güç azaltılmaya çalışılmıştır. Daha sonraki caselerde ise mikro şebekeler arası enerji alışverişi sağlanarak optimal kurulum gerçekleştirilmiştir. Kurulan Sistemde 7 adet durum çalışması yapılmıştır ve bu durum çalışmalarının oluşturulma içerikleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Durum çalışması değerlendirme tablosu

DURUM ÇALIŞMALARI/ÖZELLİKLER	ŞEBEKE BAĞLANTISI	MÜNFERİT HİDRO	MERKEZİ HİDRO	MŞLER ARASI ENERJİ ALIŞVERİŞİ	MŞ TOPLULUĞU	KOOPERATİF TEMELLİ YATIRIM	ÇATI ÜZERİ ALAN KISITI DEVREDE OLMA DURUMU	HİDRO KAPASİTESİ SINIRLAMA	GERÇEK TÜKETİM DEĞERLERİ	FİNANS ERİŞİMİ-TEŞVİK DAHLİ	TÜKETİM VERİ SAYISI
Durum Çalışması 1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	72
Durum Çalışması 2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	72
Durum Çalışması 3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760
Durum Çalışması 4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760
Durum Çalışması 5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760
Durum Çalışması 6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760
Durum Çalışması 7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760
Durum Çalışması 8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8760

Çatı üzeri alan kapasitesi de dikkate alındığında kurulumlar kısıtlandırılarak yük alışverişi ve şebeke desteği ile yük talebi karşılanmıştır.

- 1.durum çalışmasında yük profili olarak 72 adet veriye sahip bir profil kullanılmıştı ve şebekeye bağlı olmayan, hidro kapasitesi azalmayan bir sistem tasarlanmıştı. Bu modelde şebeke entegrasyonu, çatı üzeri alan kısıtları dikkate alınmamıştı. Bu nedenle oluşan sistem sonuçları reel değerlerden uzak sonuçlar üretmişti bu durum düzeltilerek geliştirildi.
- 2.durum çalışmasında şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir ancak şebekeden sadece arıza durumlarında yararlanma yöntemi tercih edilmiştir. Hidro tabanlı depolama ünitesi kapasitesi saatlere sair azalan bir modele

dönüştürülmüştür. Bu işlemlerin sonucunda algoritma gerçeğe yakın PV kurulumu sağlamış ancak hidro tabanlı depolama ünitesi sayısı gerçeğin çok üzerinde bir değerde seyretmiştir. Bunun sebebi hidro tabanlı depolama ünitesi kapasite azalışının sınırlandırılmayışı olmuştur. Bu durum geliştirilerek çalışmalara devam edilmiştir.

- 3.durum çalışmasında mikro şebeke sayısı 5 e çıkarılmıştır, yük profilleri gerçek değerlerden elde edilmiştir ve her bir MŞ için ayrı kurulum tasarlanmıştır. Bu durumda her bir mikro şebeke için ayrı bir hidro tabanlı depolama ünitesi sisteme alınmıştır. Ancak bu durum gerek maliyet gerekse hidro tabanlı depolama ünitesi kurulum alanı kısıtından dolayı uygulanabilirliği az bir sistemdir. Burada algoritma gerçeğe yakın bir PV değer ve yüksek sayılabilecek hidro tabanlı depolama ünitesi kurulumları gerçekleştirmiştir.
- 4.durum çalışmasında tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi ve 5 MŞ sisteme dahil edilmiştir. Burada anlamlı PV sonuçlarının yanında toplam ihtiyacın üzerinde hidro kurulumu gerçekleşmiştir. Bu durum ekonomik olarak yüksek sonuçlar verilmesine neden olmuştur. Bu nedenle şebeke entegrasyonu ve hidro tabanlı depolama alanı deşarj sınırlandırılması ve şebekelerin maksimum talebinin altında bir kurulum kısıtı sistem için gereklidir.
- 5.durum çalışmasında hidro tabanlı depolama ünitesi kısıtlandırılması yapılmış, tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi modeli sağlanmış ancak bu hidro tabanlı depolama ünitesinde kapasite azalışı durumu nedeniyle hidro kurulumu yüksek seviyelere çıkmıştır.
- 6.durum çalışmasında mikro şebeke modeli genişletilmiştir. Mikro şebekelerin altında birden fazla yük durumu değerlendirilmiştir. Tek bir yük gibi değerlendirilen sistemde tüm MŞ'ler için tek bir hidro tabanlı depolama ünitesi modeli benimsenmiştir. Burada da hidro tabanlı depolama ünitesi kısıtı konulmuştur. Ancak PV kurulumu için çatı alanı kısıtları ve MŞ'ler arası alışveriş aktifleştirilmemiştir.
- 7.durum çalışmasında mikro şebekeye kurulabilecek hidro tabanlı depolama ünitesi kurulu gücü maksimum tüketim değerinin %50 sini geçmeyecek şekilde kısıtlandırılmıştır. Hidro tabanlı şarj deşarj durumu dikkate

alınmıştır. Ancak deşarj kapasitesi kısıtlandırılmıştır. MŞ'lerin çatı üzeri alan kısıtları dikkate alınarak MŞ'ler arası alışveriş aktif hale getirilmiştir.

- Yüklerin tüketimleri güneş enerjisinin bulunmadığı akşam 19.00/22.00 saatlerinde artış göstermektedir ve en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Ve bu saatlerde sadece hidro tabanlı depolama ünitesi devrede olduğu durumlarda çok yüksek kurulu güçlere çıkılması gerekmektedir. Bu durum mali değerler dikkate alındığında istenmeyen bir durumdur. Ayrıca şebeke entegrasyonu olmak zorundadır. Çünkü hidro tabanlı depolama ünitesi şarj durumları gece saatlerine denk geldiğinde şebeke ile yükler beslenmelidir. Hidro tabanlı depolama ünitesi zamana sair kapasitesi azalan bir sistemdir. Bu nedenle kapasitesin çok azaldığı saatler enerji tüketiminin arttığı saatlere denk geldiği durumlarda hidro kurulum seviyesi artmaktadır. Bu nedenle hidro tabanlı depolama ünitesi kurulumu maksimum tüketim noktasının %50 seviyesi ile kısıtlandırılmıştır. Ayrıca çatı üzeri alan kısıtları da gerçekliği yüksek sistem tasarlanması için önemlidir. Alan kapasitesi kısıtıyla kurulum yapılamayacağı durumlarda enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi için MŞ'ler arası enerji alışverişleri aktifleştirilmiştir. Böylelikle şebeke ile minimum alışveriş sağlanacak, şebeke entegrasyon sorunları en aza indirilmiş olacak, iletim-dağıtım kayıpları azaltılmış olacak, iletim dağıtım hattı yatırımlarına olan gereksinim de azaltılmış olacaktır.
- Kooperatif sistemlere uygulanan ve uygulanabilecek teşvik sistemleri mikro şebekemize entegre edilmiştir. Böylelikle yaşam boyu maliyet optimizasyon denklemine doğrudan etki etmeneyn FIT ve NEM teşvikleri düzenlenmiştir. Sabit satınalma değeri %25 oranında yükselterek tüketicilerin enerjiyi satış teşviki arttırılmıştır. Ayrıca alım süresi de 20 yıla çıkarılarak kooperatiflere özel pozitif ayrımcılık yapılarak, daha öngörülebilir piyasa şartları oluşturulmuştur.
- Birimsel ilk yatırım ve işletme bakım sistemlerinde fona ulaşımın mümkün olmadığı, finans kaynaklarından sağlandığı, faiz teşviklerinin uygulandığı ve ek sübvansiyon teşviklerinin sağlandığı durumlar dikkate alınmıştır. Tüm bu durumlar incelendiğinde ilk yatırım finanmanına sahip olmayan uygulayıcılar için 0,99 faiz oranı ile ilk yatırım fonu sağlanmaktadır. 10 yıl geri ödeme sisteminde bu modelde yaşam boyu maliyetin arttığı ve

kurulması gereken santralin kurulu güç değerlerinin ise değişmediği gözlemlenmiştir. Ancak yük esnekliği de sisteme dahil edildiğinde yaşam boyu maliyetin değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

- Ayrıca işletme bakım maliyetleri sisteme dahil edildiğinde kurulu güç talep tarafı esnekliği arttırılmadığı durumda aynı sonucu üretmektedir. Ancak talep tarafı esnekliği ile güç dengesi kısıtı genişletildiğinde kurulum yapılması gereken güç değerlerinin azaldığı ve yaşam boyu maliyetin düşüş gösterdiği gözlemlenmektedir.
- Birimsel ilk yatırım, faiz ve ek sübvansiyon teşviklerinin yaşam boyu maliyete ve optimal kurulumu etkisinin işletme bakım maliyetinden daha az olduğu gözlemlenmektedir. Teşvik mekanizmalarının mikro şebekeye entegre edilmesi durumundaki sonuçlar Tablo 4.2’de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Teşvik mekanizmalarının mikro şebekeye entegre edilmesi durumundaki sonuçlar

Sistemin İşleyiş Şekli	Değişiklik Oluşan Parametre	Değişiklik Gösteren Parametre İlk Durumu	Değişiklik Gösteren Parametre Son Durumu	Sonuç
İlk Yatırım Maliyetinin Finans Kuruluşlarından Karşılandığı Durum	apv ahidro	apv=60 ahidro= 1000	apv=116,22 ahidro=1925,55	PV= 952 kW Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi= 4004 kW
Yatırıma KDV Muafiyeti Teşvikinin Uygulandığı Durum	apv ahidro	apv=60 ahidro= 1000	apv=49,2 ahidro=820	PV= 952 kW Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi= 4004 kW
KDV Muafiyeti, Kooperatif Temelli Sistemlere Ek Sübvansiyon, 0 Faizli Fon Teşviklerinin Uygulanması Durumu	apv ahidro	apv=60 ahidro= 1000	apv=39,6 ahidro=656	PV= 885 kW Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi= 3652 kW
İşletme Bakım Maliyetleri Teşvikleri İle Optimizasyonun Gerçekleştirilmesi	Bpv Bhidro	Bpv=0,6 Bhidro= 10	Bpv=0,48 Bhidro= 8	PV= 970 kW Hidro Tabanlı Depolama Ünitesi= 12760 kW

Yapılan çalışmada şebekeye bağlı, fotovoltaik enerji üretim sistemi tabanlı, depolama ünitesi olarak hidro tabanlı batarya sistemini kullanan, kooperatif temelli çalışan mikro şebeke modelleri tasarlanmıştır. Tasarlanan modelde yaşam boyu maliyet analizi denklemi amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Matlab ortamında yaşam boyu maliyet denklemi minimize edilerek boyutlandırma optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kurulan system tamamen yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim sistemi olarak tasarlanmıştır ve kurulumlar kooperatif temelli olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda konvensiyonel batarya sistemleri kullanılan çalışmalara kıyasla bu çalışmada tamamen yenilenebilir kaynaklar tercih edilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak da parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalarda pso yoğunluklu olarak tercih edilmiştir, diğer sezgisel-metasezgisel algoritmalar da tercih edilmiştir. Ancak pso kullanım oranı sonuçlarının gerçeğe yakınlığı sebebiyle optimizasyon çalışmalarına daha uygundur.

Yapılan çalışmalar sonucunda mikro şebeke modeli-modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde temel sorun gece saatlerinde güneş enerjisinin olmayışı ve hidro tabanlı depolama ünitesinin enerji kapasitesinin saatlere göre azalışıdır. Bu sorunları çözmek üzere hidro tabanlı depolama ünitesinin deşarj kapasitesi sınırlandırılmıştır. Ayrıca hidro tabanlı depolama ünitesinden faydalanma oranı maksimum tüketimin %50 seviyesinde seçilmiştir. Böylelikle yüksek kurulum sorunun önüne geçilmiştir. Mikro şebeke sayısı arttırılarak mikro şebeke kolonisi oluşturulmuş ve çatı üzeri alan kısıtları da dikkate alınmıştır. Oluşan algortima modeli 8 farklı case çalışması ile doğrulanmıştır. Her bir case çalışmasında sorunlar irdelenmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. Ve sonuç olarak tüketimi karşılayacak minimum yaşam boyu maliyetinde optimal boyutlandırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kooperatif sistemle kurulan bu modele teşvik mekanizmaları da entegre edilerek kurulumlar teşvik edilmiştir. Bu kapsamda sisteme faiz teşvikleri, ek sübvansiyonlar, NEM, FIT, işletme bakım destekleri dahil edilmiştir. Optimizasyon tüm bu teşvik değerleri ile yeniden doğrulanmıştır.

Yapılan çalışma ile tüketim noktasında enerji üretimi gerçekleştiren(prosumer) mikro şebeke modeli geliştirilmiştir. Tek bir hidro tabanlı(merkezi) depolama ünitesi mikro şebekelerin ihtiyacını karşılamak üzere planlanmıştır. Böylelikle tamamen yenilenebilir kaynaklara dayanan şebeke ile minimum enerji alışverişi içerisinde olan şebeke modeli literature ve daha sonraki akademik çalışmalara sunulmuştur. Kurulan sistemin son tüketicilere oluşturabileceği ekonomik maliyet düşünülerek kurulan sistem kooperatif temelli olarak oluşturulmuştur. Ayrıca çatı üzeri kurulum yapılabilecek potansiyel alanlar da dikkate alınarak çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmaya başka enerji kaynakları eklenerek sistemin maliyeti daha da aşağı çekilebileceği kanaatine ulaşılmıştır. Ancak çalışma temel mantığı tamamen yenilenebilir enerjiye dayalı bir üretim sistemi kurmak olduğundan bu çalışmalara ilerleyen araştırmalarda yer verilecektir.

Bu çalışmanın literature yeni bir model sunacağı kanaatine ulaşılmıştır. Bu çalışma temel alınarak gelecek çalışmalarda şu uygulamalar tasarlanabilir; sisteme farklı üretim kaynakları(rüzgar-batarya vb) eklenme metodu ile sistem esnekliği artırılabilir ve maliyet minimizasyonu farklı bir boyutta gerçekleştirilebilir, ayrıca lidar ve benzeri alan ölçüm metodları kullanılarak gerçek çatılarda ölçümler alacak ve minimum maliyetle o çatılara kurulabilecek hibrid sistemler tasarlanabilir, farklı ekonomik modeller kullanılarak optimizasyonlar farklı açılardan değerlendirilebilir, diğer sezgisel ve metasezgisel algoritmalar kullanılarak sistem yeniden tasarlanabilir ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak literatüre sunulabilir, Net Zero Building çalışmaları kapsamına destek olarak bu algoritma ve model sunulabilir.

Kooperatif temelli uygulanan bu sistem ile yatırım maliyetinin bireyler üzerindeki finansman yükü azaltılmıştır. Türkiye gibi fon kaynaklarına ulaşımın kısıtlı olduğu ülkelerde yatırıma teşvik açısından bu durum önem arz etmektedir. Ancak yasal alt yapı henüz istenilen düzeye ulaşmamıştır ve düzenleme gerekmektedir. Yasal alt yapıyı uygun hale getirebilecek çalışmalar şunlardır;

Farklı dağıtım bölgelerindeki yatırımcıların kooperatife dahil olmasının yasal altyapısı oluşturulmalıdır.

Kooperatiflerde güçlere göre üye sayıları Türkiye’de sınırlandırılmıştır. Bu sınırlar dahilinde 1 MW üretim kooperatifine en fazla 100 kişi abone olabilmektedir. Bu değer arttırılarak en az 500 sayısına çıkarılmalıdır.

Türkiye’nin yenilenebilir enerji yönetmeliklerinde kooperatiflere doğrudan uygulanan bir teşvik bulunmamaktadır. Mevzuatta yapılacak bir revizyon ile kooperatif uygulamaları doğrudan teşvik edilirse kooperatiflerin yaygınlaşması artacaktır. Uygulamaya alınabilecek teşvikler aşağıda sıralanmaktadır;

- Vergi muafiyeti,
- Düşük faizli kredi desteği,
- FIT,
- NEM,
- Ek sübvansiyonlar

Kooperatif uygulamaları kamu yatırımları için de kullanılabilir. Portfolyo Standartları olarak değerlendirilebilecek bu teşvikler ile kamu binalarının çatıları kooperatif yatırımcılarının fonlaması ile etkin değerlendirilebilir. Böylelikle kamu binalarında kurulacak sistemler de çalışmamıza dahil edilerek ülkedeki fotovoltaik kurulum düzeyi arttırılabilir. Yatırımcılar enerjinin doğrudan dağıtım şirketlerinin sistemine dahil edebilir ve başka bir bölgede kullandıkları enerjiden mahsup edebilirler, ihtiyaç fazlası enerjiyi ulusal şebekeye satabilirler.

-
- [1] J. Peng, L. Lu, H. Yang “Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 19, pp. 255-274, 2013.
 - [2] T. Bhattacharya, A.K. Chakraborty, K. Pal “Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India”, *J Sol Energy*, pp. 1-5, 2014.
 - [3] V.V. Tyagi, N.A.A. Rahim, N.A. Rahim, J.A.L. Selvaraj “Progress in solar PV technology: research and achievement” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 20, pp. 443-461, 2013.
 - [4] H. Kim, E. Park, S.J. Kwon, J.Y. Ohm, H.J. Chan “An integrated adoption model of solar energy technologies in South Korea” *Renew Energy*, vol. 66, pp. 523-531, 2014.
 - [5] T.M. Razykov, C.S. Ferekides, D. Morel, E. Stefanakos, H.S. Ullal, H.M. Upadhyaya “Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects” *Sol Energy*, vol. 85, pp. 1580-1608, 2011.
 - [6] M.A. Green “Photovoltaics: technology overview ” *Energy Policy*, vol. 28 pp. 989-998, 2000.
 - [7] J.L. Silveira, C.E. Tuna, W.Q. Lamas “The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 20, pp. 133-141, 2013.
 - [8] L.E. Chaar, L.A. Lamont, N.E. Zein “Review of photovoltaic Technologies *Renew Sustain Energy Rev*”, vol. 15, pp. 2165-2175, 2011.
 - [9] N.S. Lewis “Introduction: solar energy conversion” *Chem Rev*, Vol. 115, pp. 12631-12632, 2015.
 - [10] D. Akinyele, R. Rayudu “Review of energy storage technologies for sustainable power networks” *Sustain Energy Technol Assess*, Vol. 8, pp. 74-91, 2014.
 - [11] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation” *Appl Energy*, vol 137, pp. 511-536, 2015.
 - [12] D. Wu, F. Tang, T. Dragicevic, J.C. Vasquez, J.M. Guerrero “A control architecture to coordinate renewable energy sources and energy storage systems in islanded microgrids” *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 6 (3) , pp. 1156-1166, 2015.
 - [13] V. Kumar, A.S. Pandey, S.K. Sinha “Grid integration and power quality issues of wind and solar energy system: A review 2016 International Conference on Emerging Trends in Electrical Electronics” *Sustainable Energy Systems (ICETEESES)* , pp. 71-80, 2016.
 - [14] G. Goyer, G. Watson “The Laser and its Application to Meteorology” *Bull. Am. Meteorol. Soc.* Vol 44, pp 564–570, 2003.

- [15] U.Weiss, P. Biber, S. Laible, K. Bohlmann, A.Zell “Plant Species Classification Using a 3D LIDAR Sensor and Machine Learning” In Proceedings of the 2010 Ninth International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 339–345, 2010.
- [16] K. Badarinath, S.K. Kharol, A.R. Sharma “Long-range transport of aerosols from agriculture crop residue burning in Indo-Gangetic Plains—A study using LIDAR, ground measurements and satellite data” J. Atmos. Solar Terr. Phys. Vol.71, 112–120,2009.
- [17]A. Gelbart, B.C. Redman, R.S. Light, C.A. Schwartzlow, A.J. Griffis “Flash lidar based on multiple-slit streak tube imaging lidar” In Laser Radar Technology and Applications VII; SPIE Press: Bellingham, WA, pp. 9–18, 2002.
- [18] G. Kim, Y.Park “LIDAR pulse coding for high resolution range imaging at improved refresh rate” Opt. Express 2016, vol. 24, pp. 23810,2016.
- [19] R. Ryf, H.R. Stuart, C.R. Giles “MEMS tip/tilt and piston mirror arrays as diffractive optical elements. In Advanced Wavefront Control: Methods, Devices, and Applications III” International Society for Optics and Photonics: pp. 58940C, 2005.
- [20] L. Dong, W.Zhu, Y.Zhao, X. Liu, J. Zhang, W. Liu, X. Zhou “A novel optical-mechanical scanning passive THz imaging system” In Proceedings of the 2012 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Vol 37, pp. 1–2,2012.
- [21] S.T.S Holmstrom, U. Baran, H. Urey, “MEMS Laser Scanners: A Review” J. Microelectromech. Syst, vol. 23, pp. 259–275,2014.
- [22] U.Baran, D. Brown, S. Holmstrom, D. Balma, W.O. Davis, P. Mural, H. Urey, “Resonant PZT MEMS Scanner for High-Resolution Displays” Microelectromech. Syst. vol.21,pp. 1303–1310,2012.
- [24] N. Jayaweera, N.Rajatheva, M. Latva-Aho “Autonomous Driving without a Burden: View from Outside with Elevated LiDAR” In Proceedings of the 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), vol.89, pp. 1–7,2019.
- [25] F. Martins, C. Felgueiras, M. Smolkova, N. Caetano Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in european countries Energies, vol. 12, pp. 66-88,2019.
- [26] N. Abas, A. Kalair, N. Khan “Review of fossil fuels and future energy Technologies”Futures, vol. 69, pp. 31-49,2015.
- [27] A.García-Olivares, J. Solé, O. Osychenko “Transportation in a 100% renewable energy system” Energ Conver Manage, vol.158, pp. 266-285,2018.
- [28] M. Gholikhani, H. Roshani, S. Dessouky, A.T. Papagiannakis “A critical review of roadway energy harvesting Technologies” Appl Energy, vol. 261, pp. 114388,2020.
- [29] H.P. Ikkur, S. Saha “A comprehensive techno-economic review of microinverters for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)” Renew Sustain Energy Rev, vol.47, pp. 997-1006,2015.

- [30] Y. Gu, W. Li, Y. Zhao, B. Yang, C. Li, X. He “Transformerless inverter with virtual DC bus concept for cost-effective grid-connected PV power systems” IEEE Trans Power Electron, vol. 28, pp. 793-805,2013.
- [31] P.B. Quater, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, M. Aghaei “Light unmanned aerial vehicles (UAVs) for cooperative inspection of PV plants” IEEE J Photovoltaics, vol. 4, pp. 1107-1113,2014.
- [32]A. Kirsten Vidal de Oliveira, M. Aghaei, R. Rüther Aerial infrared thermography for low-cost and fast fault detection in utility-scale PV power plants Sol Energy, vol 211, pp.712-724,2020.
- [33] F. Grimaccia, S. Leva, A. Dolara, M. Aghaei “Survey on PV modules' common faults after an O&M flight extensive campaign over different plants in Italy” IEEE J Photovoltaics, vol. 7, pp. 810-816,2017.
- [34] N.G. Dhere, N. Shiradkar, E. Schneller, V. Gade “The reliability of bypass diodes in PV modules Reliab Photovolt Cells, Modul Components” Syst VI, vol 4. pp. 8825,2013.
- [35] N. Shiradkar, V. Gade, K. Sundaram “Predicting service life of bypass diodes in photovoltaic modules” IEEE 42nd Photovolt Spec Conf PVSC 2015, 2015.
- [36] A. Eskandari, J. Milimonfared, M. Aghaei “Line-line fault detection and classification for photovoltaic systems using ensemble learning model based on I-V characteristics” Sol Energy, vol. 211, pp. 354-365,2020.
- [37] International Energu Agency 2018-2019 Renewable Energy Report
- [38] Solar Power Europe / Global Market Outlook For Solar Power 2019-2024 Report
- [39] D. Chiaroni ve diğ. “Renewable energy generation: Incentives matter, in woodrow clark (Ed.)” Global Sustainable Communities Handbook: Green Design Technologies and Economics, pp. 347-368, 2014.
- [40] M. Bhattacharya, , S.R. Paramati, I. Ozturk ve S. Bhattacharya, “The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries” AppliedEnergy, vol.162,pp.733-742, 2016.
- [41]R. Steenblik, “Subsidies: The distorted economics of biofuels. Joint Trans-port Research Centre, OECD, vol.2007(3), pp. 2007, 2007.
- [42] S. Abolhosseini, A.Heshmati, “ The main support mechanisms to finance renewable energy development” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 40,pp. 876–885,2014.
- [43] C.L. Crago, I.Chernyakhovskiy “Solar PV Technology Adoption in the United States: An empirical investigation of state policy efectiveness” Ag-ricultural & Applied Economics Association's, 2014 AAEE Annual Meeing, vol.20,pp.1-20 2014.
- [44] China Institute, China’s renewable energy & Clean-Tech Market, Summary Report, (March), University of Alberta, 2016.
- [45] Ö. Selvitop,” Yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik yöntemleri: Ülkemiz ve AB ülkelerindeki durum” ICCI, vol.7(17),pp.123-160, 2015.

- [46] O.Yılmaz “Yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler ve Türkiye. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi” T.C. Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı, 2015.
- [47] OECD raporu https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RE_FIT# Erişim Tarihi 16.05.2022
- [48] T. Sternkopf, Legal sources on renewable energy - Promotion in Germany.
- [49] V. Fthenakis, J.E. Mason, K. Zweibel “The technical, geographical, and economic feasibility for solar energy to supply the energy needs of the US”. Energy Policy, vol.37(2),pp387–99, 2009.
- [50] H. Liming H, E. Haque, S.Barg, “Public policy discourse, planning and measures toward sustainable energy strategies in Canada” Renewable Sustainable Energy Rev Vol.12(1):91–115,2008.
- [51] BMWi, EEG-Umlage 2017: Fakten und Hintergründe, Report, Berlin, 2017.
- [52] S. Lüthi, “Effective Renewable Energy Policy - Empirical Insights from Choice Experiments with Project Developers”, University of St. Gallen, 2011.
- [53] I. Weiss, Assesment of 12 National Policy Frameworks for Photovoltaics, European Best Practice Report, 2006.
- [54] P. Mir-Artigues, E. Cerdá, and P. Del Río “Analyzing the Impact of Cost-Containment Mechanisms on the Profitability of Solar PV Plants in Spain” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 46, pp. 166–177, 2015.
- [55] A. Çelik A, E. Özgür E “ Review of Turkey’s photovoltaic energy status: Legal structure, existing installed power and comparative analysis” IDEAS, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.134(C),pp 155-175, 2020.
- [56] Legal Sources on Renewable Energy (RES LEGAL). France: overall summary. <http://www.res-legal.eu/search-by-country/france/>. Erişim Tarihi 21.02.2021
- [57] Commission De regulation De L’energie France. Arrêtés tarifaires photovoltaïques en metropole. <https://www.cre.fr/Pages-annexes/open-data>. Erişim Tarihi 21.02.2021.
- [58] H.Pengwei, R. Qun, C. Minhui, “ The VAT for photovoltaic electricity decreased by half is equal to increase electricity price” Renewable Energy Society, 2013.
- [59] K. Lo, “A Critical review of China’s rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 29, pp. 508-516, 2014.
- [60] M. Pocchi, Feed-In Tariff Handbook for Asian Renewable Energy Systems, Winston & Strawn, 2014.
- [61] S.C. Bhattacharya, J.Chinmoy “Renewable energy in India: Historical developments and prospects”, Energy, vol. 34(8),pp.981-991, 2009.
- [62] P. Ashok “Non-Conventional Energy Sources in India e Progress and Policy Perspective, Asia Energy Vision 2020” Sustainable Energy Supply, vol 30. pp.30-44,2020.

- [63] A. Gambhir, D. Shantanu, T. Vishal, S. Vijaypal “Solar Rooftop PV in India: Need to Prioritize In-situ Generation for Selfconsumption with Net-metering Approach”, Policy Discussion Paper, 2012.
- [64] F. Dela, J.S. Francisco, C. Ortiz, L. Rafael, D.S. Álvarez “Solar radiation calculation methodology for building exterior surfaces” *Solar Energy*, vol 79(5), pp 513–22, 2006.
- [65] A.R. Mohamedar, K.T. Lee, “Energy for sustainable development in Malaysia: energy policy and alternative energy” *Energy Policy* vol. 34, pp.2388–2397, 2006.
- [66] L.K. Wiginton, H.T. Nguyen, J.M. Pearce “Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy” *Comput Environ Urban Syst* vol34(4), pp. 345–57, 2010.
- [67] S. Sgouridis, et al “RE-mapping the UAE’s energy transition: an economy-wide assessment of renewable energy options and their policy implications” *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol.50, pp.25-45, 2015.
- [68] A. Mokri, M. Aal Ali, M. Emziane “Solar energy in the United Arab Emirates: a review” *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol 28, pp.340-375, 2013.
- [69] S. Sgouridis, et al. “A sustainable energy transition strategy for the United Arab Emirates: evaluation of options using an integrated energy model” *Energy Strategy Rev*. Vol. 2 (1) pp.8-18, 2013.
- [70] Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (RCREEE), *Arab Future Energy Index 2015: Renewable Energy*, vol.42, pp.25-40, 2015.
- [71] <https://www.enerji.gov.tr/> Erişim Tarihi 15.07.2022
- [72] P. Sun, P.-y. Nie “A comparative study of feed-in tariff and renewable portfolio standard policy in renewable energy industry” *Renew. Energy*, vol. 74, 255-262, 2015.
- [73] T. Couture, Y. Gagnon “An analysis of feed-in tariff remuneration models: implications for renewable energy investment” *Energy Pol*, vol. 38 (2), pp.955-965, 2010.
- [74] Z. Yu-zhuo, Z. Xin-gang, R. Ling-zhi, L. Ji, L. Ping-kuo “The development of China’s biomass power industry under feed-in tariff and renewable portfolio standard: a system dynamics analysis” *Energy*, vol.139, pp.947-961, 2017.
- [75] X.-g. Zhao, Y. Zhou, Y. Zuo, J. Meng, Y.-z. Zhang “Research on benchmark price of tradable green certificate based on system dynamics: a China perspective” *J. Clean. Prod*, vol. 230, pp.241-252, 2019.
- [76] J. Ahmad, M. Imran, A. Khalid, W. Iqbal, S.R. Ashraf, M. Adnan, S.F. Ali, K.S. Khokhar “Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar” *Energy*, vol.148, pp.208-234, 2018.
- [77] S. Sukumar, H. Mokhlis, S. Mekhilef, K. Naidu, M. Karimi “Mix-mode energy management strategy and battery sizing for economic operation of grid-tied microgrid” *Energy*, vol.118, pp.1322-1333, 2017.

- [78] T.G. Paul, S.J. Hossain, S. Ghosh, P. Mandal, S.A. Kamalasadan “Quadratic Programming Based Optimal Power and Battery Dispatch for Grid-Connected Microgrid” IEEE Trans. Ind. Appl., vol.54(2), pp.1793-1805, 2018.
- [79] C. Delgado, J.A. Dominguez-Navarro “Optimal design of a hybrid renewable energy system” In Proceedings of the 2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 14399372 2014.
- [80] S.A. Helal, R.J. Najee, M.O. Hanna, M.F. Shaaban, A.H. Osman, M.S. Hassan, “An energy management system for hybrid microgrids in remote communities” Can. Conf. Electr. Comput. Eng, 16963537, 2017.
- [81] E.C. Umeozor, M. Trifkovic “Energy management of a microgrid via parametric programming” IFAC-PapersOnLine, vol.11, pp.272-277,2016.
- [82] C.A. Correa, G. Marulanda, A.Garces “Optimal microgrid management in the Colombian energy market with demand response and energy storage” In Proceedings of the 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting vol.14,pp. 7741905, 2016.
- [82] G. Cardoso, T. Brouhard, N.DeForest, D. Wang, M. Heleno, L. Kotzur “Battery aging in multi-energy microgrid design using mixed integer linear programming” Appl. Energy, vol.231, pp.1059-1069, 2018.
- [83] R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín, J. Contreras “Optimization of control strategies for stand-alone renewable energy systems with hydrogen storage.”Renew Energy, vol.32, pp.1102-1126,2007.
- [84] S. Chalise, J. Sternhagen, T.M. Hansen, R. Tonkoski “Energy management of remote microgrids considering battery lifetime” Electr. J., vol 29, pp.1-10, 2016.
- [85] A. Chaouachi, R.M. Kamel, R. Andoulsi, K. Nagasaka “Multiobjective intelligent energy management for a microgrid” IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 60, pp. 1688–1699,2013.
- [86] H. Li, A.T. Eseye, J. Zhang, D. Zheng “Optimal energy management for industrial microgrids with high-penetration renewables” Prot. Control Mod Power System, vol. 2(12), pp. 41601, 2017.
- [87] M. Abedini, M.H. Moradi S.M. Hosseinian, “Optimal management of microgrids including renewable energy sources using GPSO-GM algorithm” Renew. Energy. Vol.90(c), pp.430-439, 2016.
- [88] M. Marzband, F. Azarinejadian, M. Savaghebi, J.M. Guerrero “An optimal energy management system for islanded microgrids based on multiperiod artificial bee colony combined with markov chain” IEEE System Journal, vol.11(3), pp. 1712-1722, 2017.
- [89] A.S.O. Ogunjuyigbe, T.R. Ayodele, O.A. Akinola “Optimal allocation and sizing of PV/Wind/Split-diesel/Battery hybrid energy system for minimizing life cycle cost, carbon emission and dump energy of remote residential building” Appl. Energy, vol.171, pp.153-171
- [90] K.P. Kumar, B. Saravanan “Day ahead scheduling of generation and storage in a microgrid considering demand Side management” J. Energy Storage, vol.21, pp.78-86,2019.

- [91] M.A. Hossain, H.R. Pota, S. Squartini, A.F. Abdou “Modified PSO algorithm for real-time energy management in grid-connected microgrids” *Renew. Energy*, vol.136, pp.746-751, 2019.
- [92] M. Azaza, F. Wallin “Multi objective particle swarm optimization of hybrid micro-grid system: A case study in Sweden” *Energy*, vol.123, pp.108-118, 2017.
- [93] N. Wu, H. Wang “Deep learning adaptive dynamic programming for real time energy management and control strategy of micro-grid” *J. Clean Prod*, vol.204, pp.1169-1177, 2018.
- [94] W. Zhuo “Microgrid energy management strategy with battery energy storage system and approximate dynamic programming” In *Proceedings of the 2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, vol.37, pp 1108-1120, 2018.
- [95] A. Merabet, K. Tawfique Ahmed, H. Ibrahim, R. Beguenane, A.M.Y.M. Ghias, “Energy Management and Control System for Laboratory Scale Microgrid Based Wind-PV-Battery” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol.8(1), pp.144-155, 2017.
- [96] N.A. Luu, Q.T. Tran, S. Bacha “Optimal energy management for an island microgrid by using dynamic programming method”, In *Proceedings of the 2015 IEEE Eindhoven PowerTech*,
- [97] L. Raju, A.A. Morais, R. Rathnakumar, S. Ponnivalavan, L.D. Thavam “Micro-grid grid outage management using multi-agent systems” In *Proceedings of the 2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, 2017.
- [98] T. Bogaraj, J. Kanakaraj “Intelligent energy management control for independent microgrid Sadhana” *Acad. Proc. Eng. Sci*, vol.41, pp.755-769, 2016.
- [99] A. Anvari-Moghaddam, A. Rahimi-Kian, M.S. Mirian, J.M. Guerrero “A multi-agent based energy management solution for integrated buildings and microgrid system. *Appl. Energy*, vol.203, pp.41-56, 2017.
- [100] C.X. Dou, B. Liu “Multi-agent based hierarchical hybrid control for smart microgrid” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4(2), pp.771-778, 2013.
- [101] M. Mao, P. Jin, N.D. Hatziaargyriou, L. Chang “Multiagent-based hybrid energy management system for microgrids” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol.5(3), pp.938-946
- [102] M.C. Hu, S.Y. Lu, Y.H. Chen “Stochastic programming and market equilibrium analysis of microgrids energy management systems” *Energy*, vol. 113, pp.662-673, 2016.
- [103] J. Shen, C. Jiang, Y. Liu, X. Wang, “A Microgrid Energy Management System and Risk Management under an Electricity Market Environment” *IEEE Access*, vol.4, pp.2349-2356, 2016.
- [104] E. Kuznetsova, Y.F. Li, C. Ruiz, E. Zio, “An integrated framework of agent-based modelling and robust optimization for microgrid energy management” *Appl. Energy*, vol.1, pp.70-88, 2014.

- [105] M. Elsied, A. Oukaour, H. Gualous, R. Hassan “Energy management and optimization in microgrid system based on green energy” *Energy*, vol.84, pp. 125-138, 2015.
- [106] A. Mondal, S. Misra, L.S. Patel, S.K. Pal, M.S. Obaidat “DEMANDS: Distributed energy management using noncooperative scheduling in smart grid” *IEEE Syst. J.*, vol.12(3), pp.2645-2653, 2018.
- [107] M. Prathyush, E.A. Jasmin “Fuzzy Logic Based Energy Management System Design for AC Microgrid” In *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, pp.45-55, 2018.
- [108] L. Ma, N. Liu, J. Zhang, W. Tushar, C. Yuen “Energy Management for Joint Operation of CHP and PV Prosumers Inside a Grid-Connected Microgrid: A Game Theoretic Approach” *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol.12(5), pp.1930-1942, 2016.
- [109] K. Jia, Y. Chen, T. Bi, Y. Lin, D. Thomas, M. Sumner “Historical-Data-Based Energy Management in a Microgrid with a Hybrid Energy Storage System” *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol.13(5), pp.2597-2605, 2017.
- [110] D. Arcos-Aviles, J. Pascual, F. Guinjoan, L. Marroyo, P. Sanchis, M.P. Marietta “Low complexity energy management strategy for grid profile smoothing of a residential grid-connected microgrid using generation and demand forecasting”, *Appl. Energy*, vol.205, pp. 69-84, 2017.
- [111] N. Liu, X. Yu, C. Wang, J. Wang “Energy Sharing Management for Microgrids with PV Prosumers: A Stackelberg Game Approach” *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol.13(3), pp.1088-1098, 2017.
- [112] B. Zhao, Y. Shi, X. Dong, W. Luan, J. Bornemann “Short-term operation scheduling in renewable-powered microgrids: a duality-based approach” *IEEE Transaction and Sustainable Energy*, vol 5(1), pp.209-217, 2014.
- [113] A. Hooshmand, B. Asghari, R. Sharma “A novel cost-aware multi-objective energy management method for microgrids” In: 2013 IEEE PES innovative smart grid technologies (ISGT), pp.1-6, 2013.
- [114] K. Ma, G. Hu, C.J. Spanos “Energy consumption scheduling in smart grid: A noncooperative game approach” 9th Asian control conference (ASCC), vol.9, pp. 1–6, 2013.
- [115] C.O. Adika, L. Wang “Energy management for a customer owned grid-tied photovoltaic micro generator” In: 2013 IEEE power and energy society general meeting (PES). pp. 1–5, 2013.
- [116] Q. Jiang, M. Xue, G. Geng “Energy management of microgrid in grid-connected and stand-alone modes” *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 28(30), pp.3380–9, 2013.
- [117] Y. Manjili, A. Rajaei, M. Jamshidi, B. Kelley “Intelligent decision making for energy management in microgrids with air pollution reduction policy. 7th international conference on system of systems engineering (SoSE), vol.7. pp. 13–8, 2012.
- [118] Giacomoni AM, Goldsmith SY, Amin SM, Wollenberg BF. Analysis, modeling, and simulation of autonomous microgrids with a high penetration of

- renewables. In: 2012 IEEE power and energy society general meeting. IEEE; 2012. p. 1–6
- [119] Jaganmohan Reddy Y, Pavan Kumar Y, Sunil Kumar V, Padma Raju K. Distributed anns in a layered architecture for energy management and maintenance scheduling of renewable energy hps microgrids. In: 2012 International conference on advances in power conversion and energy technologies (APCET). IEEE; 2012. p. 1–6.
- [120] Liu X, Wang P, Loh PC. A hybrid ac/dc microgrid and its coordination control. *IEEE Trans Smart Grid* 2011;2(2):278–86.
- [121] K. Suman, J. M. Guerrero and O. P. Roy, "Optimisation of solar/wind/bio-generator/diesel/battery based microgrids for rural areas: A PSO-GWO approach", *Sustain. Cities Soc.*, vol. 67, pp.102723, 2021.
- [122] M. A. Hannan, M. G. M. Abdolrasol, M. Faisal, P. J. Ker, R. A. Begum and A. Hussain, "Binary particle swarm optimization for scheduling MG integrated virtual power plant toward energy saving", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 107937-107951, 2019.
- [123] W. Shi, D. Liu, X. Cheng, Y. Li and Y. Zhao, "Particle swarm optimization-based deep neural network for digital modulation recognition", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 104591-104600, 2019.
- [124] S. K. Gharghan, R. Nordin, M. Ismail and J. A. Ali, "Accurate wireless sensor localization technique based PSO-ANN algorithm for indoor and outdoor track cycling", *IEEE Sensors J.*, vol. 16(2), pp. 529-541, 2016.
- [125] A. Aljanad, N. M. L. Tan, V. G. Agelidis and H. Shareef, "Neural network approach for global solar irradiance prediction at extremely short-time-intervals using particle swarm optimization algorithm", *Energies*, vol. 14(4), pp.1213,2021.
- [126] A.B. Awan, M. Zubair, G. Sidhu, A.R. Bhatti, A.G. Abo-Khalil "Performance analysis of various hybrid renewable energy systems using battery, hydrogen, and pumped hydro-based storage units" *Int J Energy Res.* vol. 43(12), pp. 6296- 6321,2019.
- [127] A. Morabito, P. Hendrick "Pump as turbine applied to micro energy storage and smart water grids: a case study" *Appl Energy*, vol.241, pp.567- 579,2019.
- [128] Rehman S, Al-Hadhrami LM, Alam MM. Pumped hydro energy storage system: a technological review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015; 44: 586- 598.
- [129] Das BK, Hoque N, Mandal S, Pal TK, Raihan MA. A techno-economic feasibility of a stand-alone hybrid power generation for remote area application in Bangladesh. *Energy*. 2017; 134: 775- 788.
- [130] S. Lin S, T. Ma, M.S. Javed "Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings" *Energ Conver Manage*, vol.222, pp.113199,2020.
- [131] T. Ma, H. Yang, L. Lu, J. Peng "Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: modeling and techno-economic optimization" *Appl Energy*, vol. 137, pp. 649- 659,2015.

- [132] K. Kusakana “Feasibility analysis of river off-grid hydrokinetic systems with pumped hydro storage in rural applications” *Energ Conver Manage*, vol.96, pp. 352- 362,2015.
- [133] K. Kusakana “Hybrid DG-PV with groundwater pumped hydro storage for sustainable energy supply in arid areas” *J Energy Storage*, vol.18, pp.84- 89,2018.
- [134] K.R. Vasudevan, V.K. Ramachandaramurthy, G. Venugopal, JB. Ekanayake “Variable speed pumped hydro storage: a review of converters, controls and energy management strategies” *Renew Sustain Energy Rev.*, vol.135, pp.110156,2020.
- [135] Y. Wu, T. Zhang, K. Chen, L. Yi “A risk assessment framework of seawater pumped hydro storage project in China under three typical public-private partnership management modes” *J Energy Storage*, vol. 32, pp.101753,2020.
- [136] www.mundosolar.com/ Erişim Tarihi 09.04.2023



OPTİMİZASYON KODLARI

```

%%
Qpv=60;
Espv=0.075;
Beta_pv=0.6;          %0.1*60
i=0.1;
%-----
Cpv=Qpv;
%-----
N=30;
a=0;
for j=1:N
    a=a+((1+Espv)/(1+i))^j;
end
Ompv=Beta_pv*a;
%-----
Ef=0.2;
Ypv=15;                %0.25*60
Spv=Ypv*((1+Ef)/(1+i))^N;
Rpv=0;
%-----
LCC_Apv=((Cpv+Ompv+Rpv+Spv);    %Apv ile carpılması gerekiyor
%-----
ahidro=1000;
%-----
Chidro=ahidro;
%-----
Betahidro=0.01*ahidro;
K=30; % K=H yıl
Eshidro=0.075;
b=0;
for j=1:K
    b=b+((1+Eshidro)/(1+i))^j;
end
Omhidro=Betahidro*b;
%-----
Yhidro=250;
Shidro=Yhidro*((1+Ef)/(1+i))^N;
%-----
Rhidro=0;
%-----
LCC_Nhidro=(Chidro+Omhidro+Rhidro+Shidro); %Nhidro ile carpılması gerekiyor
%-----
%%
fonksiyon= @(x)x(1)*LCC_Apv+x(2)*LCC_Nhidro; % LCC_Apv*Apv+LCC_Nhidro*Nhidro
% 276.9107*Apv+656213.165*Nhidro
% x(1)->Apv ve x(2)->Nhidro
--

```

```

%-----
ornek_sayisi=8760;
degerler=zeros(ornek_sayisi,2);
for a=100:100 %50:10:150
for i=1:ornek_sayisi

if (0<I(i)) %gündüz hidrolar kapalı
    Apv_ustsinir=ceil((a/100)*T(i)/(0.9*I(i)));% alt sınır enerji ihtiyacı %ceil yukarı tamsayıya yuvarlama
    Apv_ustsinir=inf; % üst sınır sonsuz %ceil(T(i)/(0.9*I(i)));
    Nhidro_altsinir=0; %max(degerler(:,2))
    Nhidro_ustsinir=ceil((a/100)*T(i)/(0.9*HidroSaatlikKapasite(i)));
else %gece solarlar kapalı
    Apv_altsinir=0;
    Apv_ustsinir=ceil((a/100)*T(i)/(0.9*I(i)));
    Nhidro_altsinir=ceil((a/100)*T(i)/(0.9*HidroSaatlikKapasite(i)));% alt sınır enerji ihtiyacı
    Nhidro_ustsinir=inf; % üst sınır sonsuz %ceil(T(i)/(0.9*22));
end

%-----
Ustsinir=[Apv_ustsinir,Nhidro_ustsinir];
Altsinir=[Apv_altsinir,Nhidro_altsinir];
%-----
degisken_sayisi=2; % x(1)->Apv ve x(2)->Nhidro

%-----PSO seçenekleri-----
options = optimoptions('particleswarm','SwarmSize',100,'SelfAdjustmentWeight',1.49,'SocialAdjustmentWeight',1.49,'MaxIterations',250,'HybridFcn',@fmincon); %'PlotFcn','pswplotbestf',
%-----
if (0<I(i) || 0<HidroSaatlikKapasite(i))
[x,fval,exitflag,output] = particleswarm(fonksiyon,degisken_sayisi,Altsinir,Ustsinir,options);
degerler(i,:)=x;

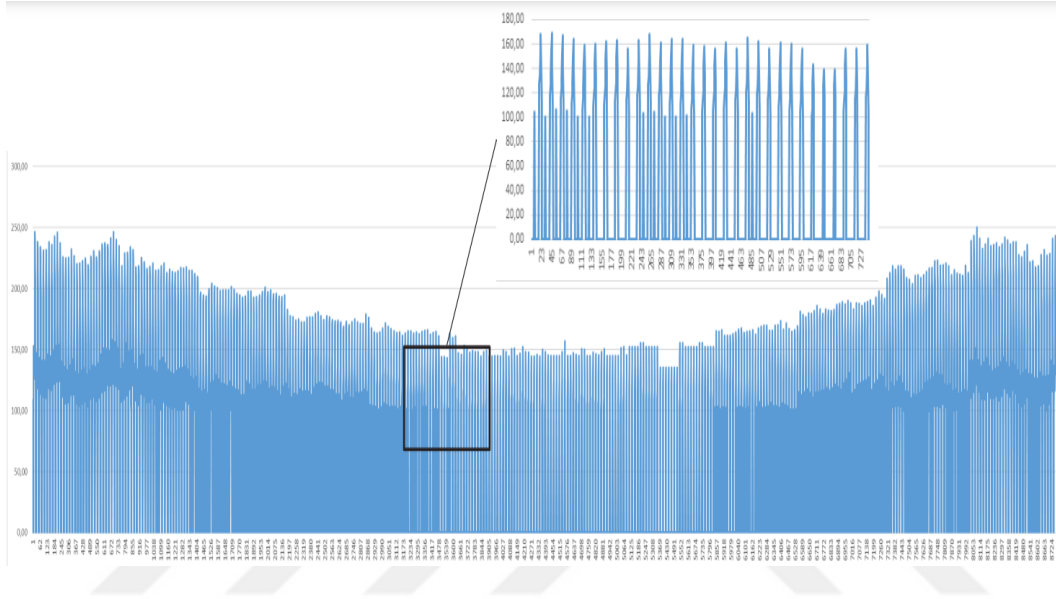
% x sonuç x(1)->Apv ve x(2)->Nhidro
% fval fonksiyonun aldığı son değer
% exitflag optimizasyon bittimi
% output optimizasyonla ilgili bilgiler

%fonksiyon iki linear bağımsız değişkenin toplamından oluştuğu için değişken değerleri alt sınırlara gidiyor
%figure()
end
end
miktar(a/10,:)=max(degerler(:,1)),max(degerler(:,2));
fprintf('solar %d adet ve hidro %d adet ',max(degerler(:,1)),max(degerler(:,2)))
end

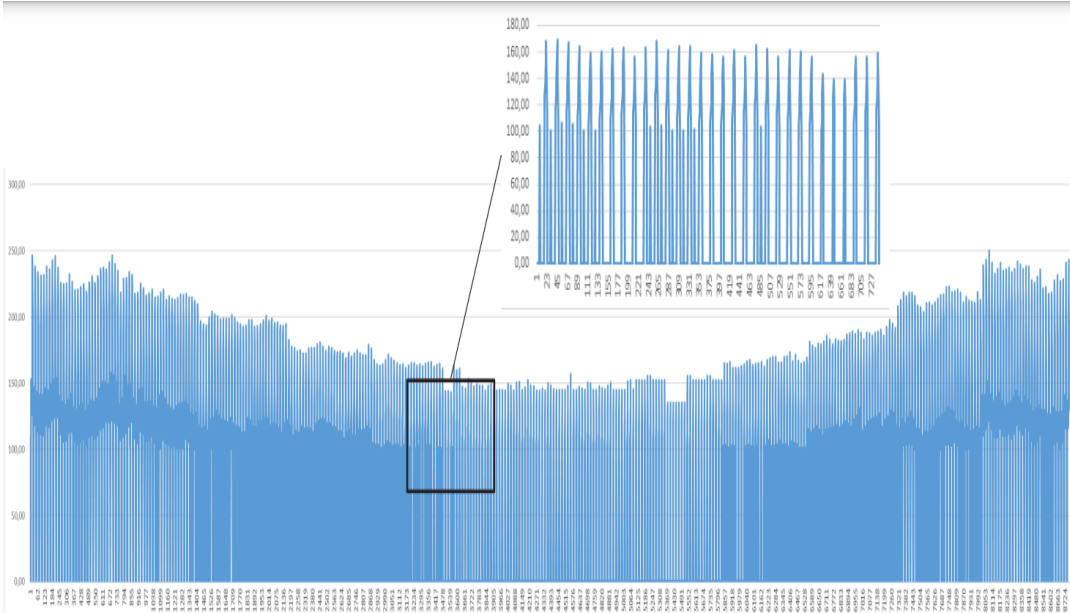
```

B

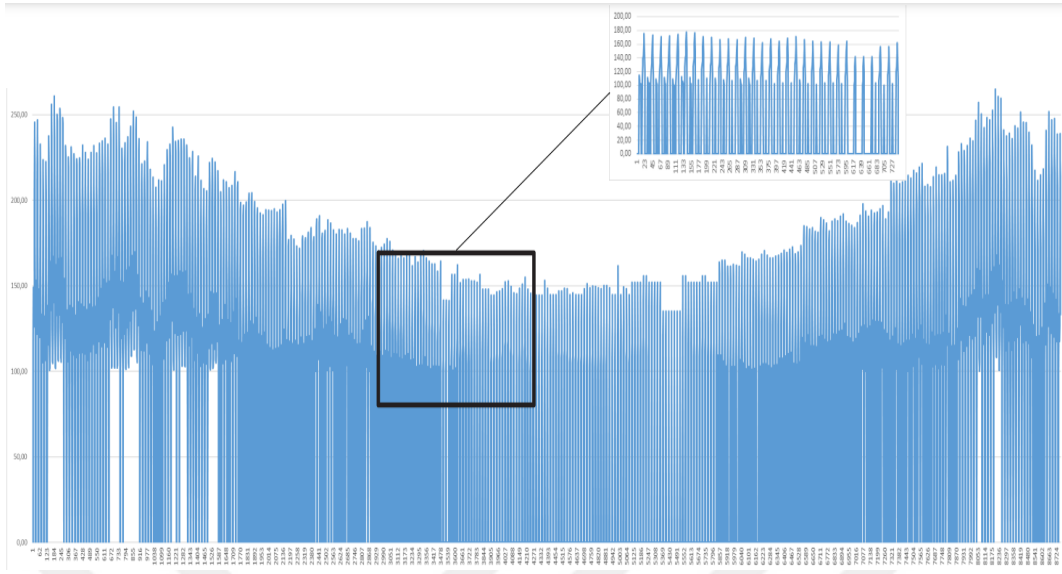
ÇALIŞMADA KULLANILAN YÜKLERE AİT PROFİLLER



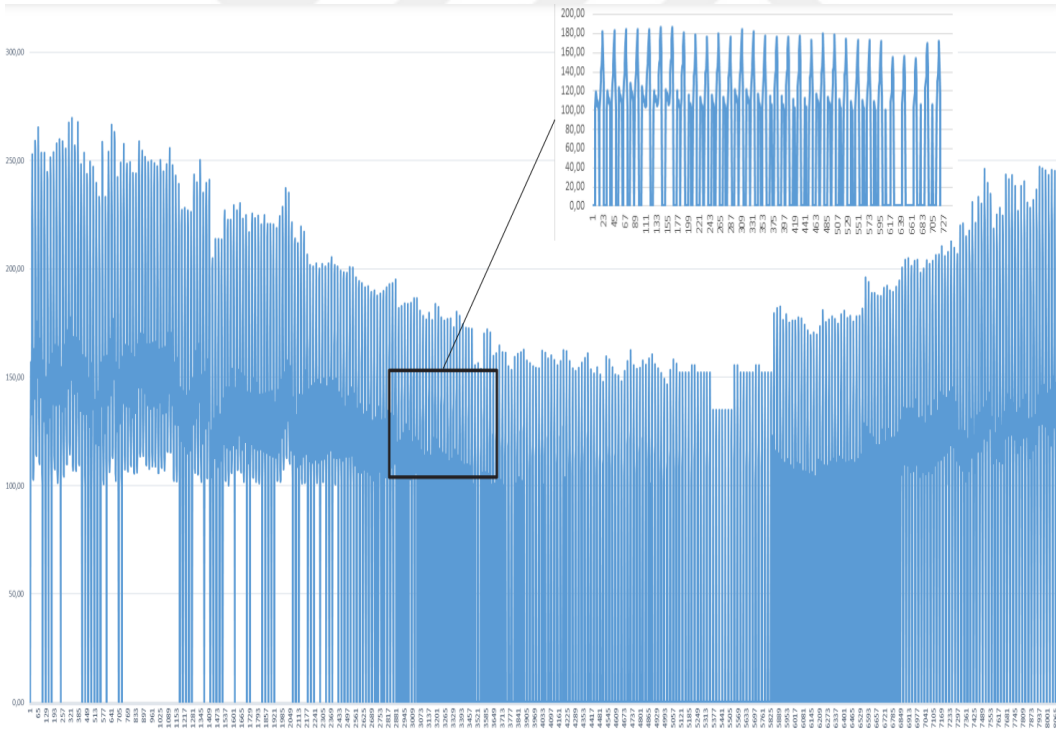
Şekil B.1 MŞ yük profili 1



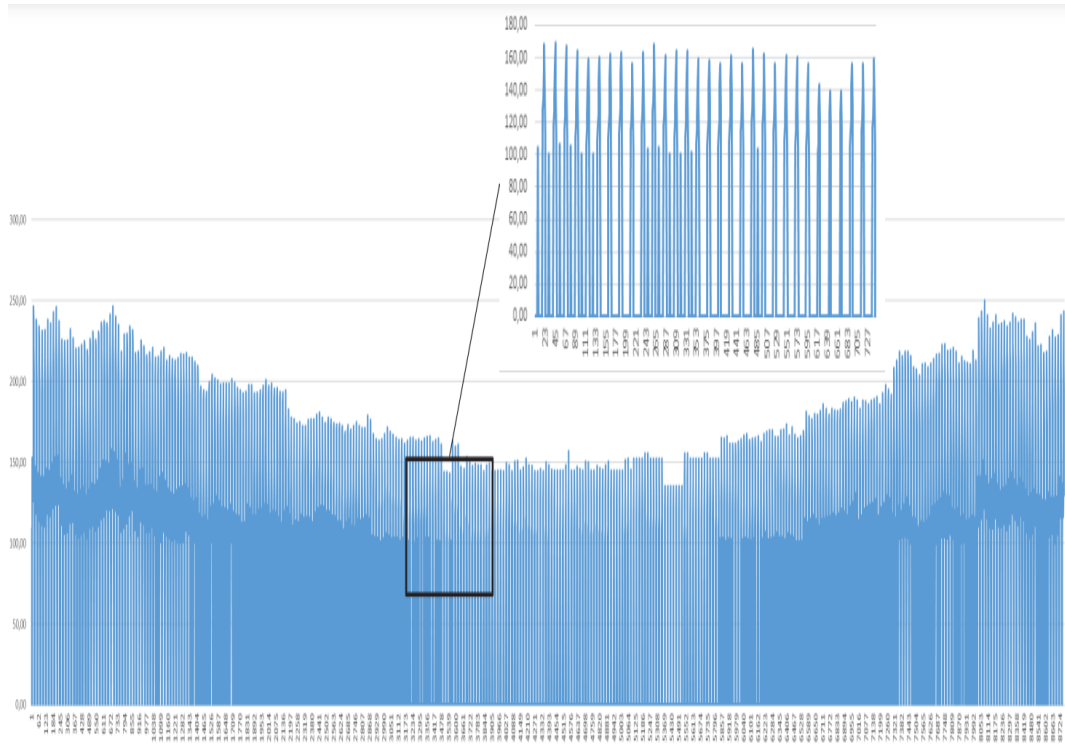
Şekil B.2 MŞ yük profili 2



Şekil B.3 MŞ yük profili 3



Şekil B.4 MŞ yük profili 4



Şekil B.5 MŞ yük profili 5

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. U.Kılıç, B.Kekezoğlu, Ali Durusu, ‘‘Optimal Sizing Of Rooftop Photovoltaic System In Microgrid With Hidro-Based Energy Storage: A Particle Swarm Optimization Aproach’’,2022 IEEE Global Energy Conference, 2022.
Doi:10.1109/GEC55014.2022.9986727

Makaleler

1. U.KILIÇ, B. KEKEZOĞLU, ‘‘A review of solar photovoltaic incentives and Policy: Selected countries and Turkey’’, Ain Shams Engineering Journal, 13(5), 2022(SCI-Expanded). Doi :10.1016/j.asej.2021.101669

